

# Juomakelpoista merivettä

Teoriassa ja käytännössä

LAHDEN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan ala  
Energia- ja ympäristötekniikka  
Ympäristötekniikka  
Opinnäytetyö  
Syksy 2017  
Annakaisa Juutilainen  
Satu Kunnas

Lahden ammattikorkeakoulu  
Energia- ja ympäristötekniikka

JUUTILAINEN, ANNAKAISA: Juomakelpoista merivettä  
KUNNAS, SATU: Teoriassa ja käytännössä

Ympäristötekniikan opinnäytetyö, 53 sivua, 6 liitesivua

Syksy 2017

TIIVISTELMÄ

---

Opinnäytetyössä käsiteltiin maailmassa vallitsevaa puhtaan veden pulaa ja mahdollisuuksia, joita meriveden puhdistaminen juomakelpoiseksi tarjoaa tämän ongelman vähentämiseen. Aihetta tutkittiin teorian lisäksi käytännön kokeella. Teoriaosuudessa käsiteltiin meriveden erilaisia puhdistusmenetelmiä ja niihin liittyviä ongelmia ja mahdollisuuksia. Käytännön kokeella selvitettiin eri menetelmien tehokkuutta suolapitoisuuden ja epäpuhtauksien poistossa ja tuloksia verrattiin juomavedelle asetettuihin laatuvaatimuksiin. Työssä esiteltiin myös jo käytössä olevia pienemmän ja suuremman mittakaavan puhdistuslaitoksia.

Käytännön osuudessa testit valittiin käytössä olevien välineistön ja resursien rajoissa. Meriveden puhdistusta testattiin hiekkasuodatuksella ja kuivatuilla banaaninkuorilla. Tarkoituksena oli selvittää, miten muun muassa ihmisten selviytymistapauksissa ja vedenpuhdistamoillakin käytettävä hiekkasuodatus aktiivihiekin kanssa puhdistaa merivedestä muiden epäpuhtauksien lisäksi bakteereja. Banaaninkuoria käytettiin testaamaan niiden tehokkuutta poistaa merivedestä rautaa. Banaaninkuoritestin pohjattiin tutkimukseen, jossa oli todettu kuorien poistavan vedestä raskasmetalleja. Banaaninkuorikäsitteily viimeisteltiin tislauksella.

Puhdistusmenetelmien testipäivänä huomattiin, ettei hiekkasuodatus aktiivihiekin kanssa poistanut kaikkia bakteereja merivedestä. Sähkönjohtokyky laski hieman ja saliniteetti pysyi ennallaan, mutta ne olivat jo laatusuosituksen rajoissa alkutilanteessa. Rautapitoisuutta hiekkasuodatus laski laatusuosituksissa asetettujen rajojen alle. Banaaninkuorten kohdalla todettiin, että tislauksen olisi kannattanut jättää tekemättä. Tislauksen käytännössä nolasi tutkimustulokset eikä saatu selville, mitä banaaninkuoret todellisuudessa puhdistivat. Siitä syystä tämä testi suoritettiin uudelleen ja tislauksen jätettiin pois. Uuden testin perusteella todettiin rautapitoisuuden, saliniteetin ja sähkönjohtokyvyn nousseen. Sen sijaan pH laski.

Asiasanat: merivesi, puhdistaminen, saliniteetti, banaaninkuoret, hiekkasuodatus, suolanpoisto, käänteisosmoosi

Lahti University of Applied Sciences  
Degree Programme in Energy and Environmental Technology

JUUTILAINEN, ANNAKAISA: Drinkable seawater  
KUNNAS, SATU Theory and practice

Bachelor's Thesis in Environmental Engineering, 53 pages, 6 pages of appendices

Autumn 2017

## ABSTRACT

---

This thesis concentrated to the lack of clean drinking water in the world and the opportunities which cleaning seawater into drinking water offers to solve this problem. In addition to the theory, the subject was studied by a practical experiment. The theoretical part was concerned with various methods of purification of seawater and related problems and opportunities involved. A practical experiment was performed to investigate the effectiveness of various methods in eliminating salinity and impurities. These results were compared to the quality requirements set for drinking water. The study also introduced the smaller and larger scale desalination plants already in operation.

In the practical part, the tests were selected within the limits of the equipment and resources in use. Seawater purification was tested in two ways by sand filtration with activated carbon and dried banana peels. The purpose was to find out how the sand filtration with activated carbon, the method used for human survival and water treatment plants, will purify bacteria in addition to other pollutants. Banana peels were used to test their effectiveness in removing iron from seawater. This test was based on a study which proved that banana peel could remove heavy metals from the water. The banana peel treatment was finalized by distillation.

The test revealed that sand filtration with activated carbon did not remove all bacteria from seawater. The electricity conductivity decreased slightly, and the salinity remained unchanged, but they were already within the limits of the quality recommendations in the initial situation. The iron content of the water was reduced during the sand filtration within the limits set in the water quality recommendations. Concerning the banana peels, it was noted that it would have been preferable to leave distillation out. In practice distillation rescinded the results of the research, and therefore it remained unclear what the banana peel actually cleaned from the water. That is why this test was repeated, and distillation was omitted. Based on the new test it was discovered that the iron content, salinity and electrical conductivity increased. The pH decreased.

Key words: seawater, decontamination, salinity, banana peel, sand filtering, desalination, reverse osmosis

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	KIRJALLISUUSKATSAUS JA TULEVAISUUDENNÄKYMÄT	3
2.1	Opinnäytetyöt	3
2.2	Ympäristövaikutukset	5
2.3	Talousveden laatuvaatimukset ja laatusuosituks <sup>et</sup> vs. merivesi	5
2.4	Tulevaisuus	7
3	PUHDISTUSMENETELMÄT	10
3.1	Kuumennustekniikat	10
3.2	Kalvotekniikka	13
3.3	Grafeeni	15
3.4	Muut tutkinnan alla olevat	17
4	SYDNEYN SUOLANPOISTOLAITOS SDP	18
4.1	Puhdistusprosessi	18
4.2	Laitoksen ympäristövaikutukset	20
5	KOTITALOUKSIEN PUHDISTUSLAITTEISTOT	22
5.1	AquaThor 310	22
5.2	Rozell 50	24
5.3	WatMan Bluewater Prowat 400	26
5.4	Yhteenveto	28
6	TUTKIMUSARTIKKELI	30
6.1	Johdanto	30
6.2	Käytetyt menetelmät	30
6.3	Tulokset	31
6.4	Johtopäätökset	31
7	EMPIIRINEN TUTKIMUS	32
7.1	Johdanto	32
7.2	Aineisto ja menetelmät	33
7.3	Tulokset	39
7.4	Tulosten yhteenveto	42
7.5	Huomiot ja haasteet	45
8	YHTEENVETO	46

LÄHTEET

48

LIITTEET

54

## LYHENNELUETTELO

**Anioni** = Negatiivinen ioni, joka on vastaanottanut elektrodeja

**Anodi** = Elektrodi, jolla hapetusreaktio tapahtuu

**Atomiabsorptiospektrometri (AAS)** = Analyysimenetelmä, joka on soveltuva alkuainemäärityksiin. Ryhmitellään sen mukaan, miten aine saadaan atomimuotoon

**FAAS** = AAS-menetelmän tavallisin atomisointitapa. Näyte asetetaan liekkiin, jossa yhdisteet atomisoituvat

**FTIR** = Infrapunamenetelmä, jolla mitataan molekyylien rakennetta. FTIR-laitteistolla on parempi signaali-kohinasuhde, suuri säteilyn läpäisevyyskyky ja parempi taajuuksien erotuskyky

**Hiutaloittaminen** = Sakan kasvatusmenetelmä, jolloin se on helpompi poistaa vedestä

**Kationi** = Positiivinen ioni

**Katodi** = Anodin vastaelektrodi, jossa tapahtuu pelkistyminen

**Komprimointi** = Aineen puristumista kokoon paineen nostamista varten

**Käänteisosmoosi** = Puhdistusmenetelmä, jossa vesi kulkee paineen avulla puoliläpäisevän kalvon läpi

**MED** = Multi-Effect Distillation, monivaihelauhdutukseen perustuva tislau

**Micromeritics ASAP 2010** = Laitteisto, jolla määritetään aineen ominaispinta-ala

**MSF** = Multi Stage Flash distillation, monivaihehöyrystymiseen perustuva tislau

**Osmoosi** = Luonnollinen ilmiö, jossa puoliläpäisevä kalvo päästää vain riittävän pienet molekyylit, kuten veden lävitsensä kalvon toiselle puolelle. Vesi tasapainottaa puolien pitoisuseroja siirtymällä suuremman konsentraation omaavalle puolelle.

**Potentiaaliero** = Kahden pisteen välinen jännite

**Raakavesi** = Puhdistamaton vesi, joka puhdistetaan juomavedeksi tai teollisuuden tarpeisiin

**Saliniteetti** = Suolaisuus, suolapitoisuus. Laaduton luku. Koostuu konservatiivisten ionien kokonaispitoisuudesta (g/kg).

**Sentrifugi** = Linko, jolla erotellaan toisistaan eritiheyksisiä aineita keskipakovoiman avulla

**Spektri** = Säteilyn taajuusjakauma

**Suolaliuos** = Korkean suolapitoisuuden omaava liuos, joka erotetaan vedestä käänteisosmoosiprosessissa

**Tislaus** = Menetelmä, jossa vesi kuumennetaan kiehumispisteeseen, jolloin se muuttuu höyryksi. Vesimolekyylit siirtyvät kaasuna ja epäpuhtaudet jäävät pois.

**VCD** = Vapour Compression Distillation, höyryn komprimointiin perustuva tislaus

## 1 JOHDANTO

Maapallon kasvava väestö kärsii vesipulasta. Maapallon pinta-alasta valtaosa on vettä, mutta vain murto-osa makeaa, juomakelpoista vettä. Siitäkin suurin osa on sitoutunut jäätiköihin. Ilmastonmuutoksen myötä sään ääri-ilmiöt lisääntyvät, kuivat alueet kuivuvat entisestään ja myrskyt voimistuvat. Keskitasaajan molemmin puolin kuivuus pahenee, ja sen myötä ihmiset pakenevat navoille päin. Vaikka napojen lähellä on tällä hetkellä riittävästi puhdasta vettä, tulee tilanne muuttumaan osittain näiden syiden vuoksi. Tämän vuoksi on tärkeää löytää uusia keinoja tuottaa puhdasta vettä, kun ympäröivä luonto ei kykene sitä enää meille tuottamaan.

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan, kuinka merivedestä voi saada juomakelpoista. Työssä käytetään erilaisia tutkimusmenetelmiä, kirjallisuuteen tutustumista sekä empiiristä kokeellista tutkimusta. Kirjallisella osuudella luodaan pohjaa tuleville testeille. Näillä menetelmillä pyritään luomaan kokonaisvaltainen kuva tämänhetkisestä tilanteesta meriveden tuottamisessa puhtaaksi juomavedeksi. Tiedossa on jo meriveden tunnetuin ja haastavin ongelma, suolapitoisuus, joka on eliöille liian suuri. Suolanpoistoon on keinoja, mutta se vaatii runsaasti energiaa. Tässä työssä ei kuitenkaan keskitytä valtamerien suolapitoisuuteen vaan lähempänä sijaitsevaan Itämereen, jota on mahdollista tutkia käytännön kautta tarkemmin. Opinnäytetyön kokeellisessa osiossa ei myöskään pyritä valmistamaan täysin puhdasta ja juomakelpoista, laatuvaatimusten täyttämää, vettä. Kokeissa keskitytään vain selvittämään sitä, miten vedestä kyetään poistamaan suola mahdollisimman hyvin.

Kirjallisessa katsauksessa tutustutaan jo olemassa oleviin suolanpoistolaitoksiin ja kotitalouksiin suunniteltuihin laitteisiin sekä muutamiin aiheesta tehtyihin opinnäytetöihin ja innovatiivisiin ratkaisuihin, joita on jo tarjolla. Vedenpuhdistukseen liittyy myös lainsäädäntö, joka ohjaa sen parissa toimivia. Tällä katsauksella halutaan pohjustaa käytännön osuutta ja selvittää, miksi aihe on niin tärkeä. Luvussa 7 kerrotaan kahdesta toteutetusta puhdistusmenetelmästä, joista toinen pohjaa tieteelliseen tutkimukseen



siitä, kuinka banaaninkuoret poistavat jokivedestä myrkyllisiä raskasmetalleja. Tämä on tärkeä lähde tälle testille ja kyseisestä tutkimuksesta kerrotaan luvussa 6. Toisessa testissä puhdistetaan merivettä perinteisemmällä tavalla hiekkasuodattamalla vettä. Tässä testissä keskitytäänkin enemmän vain tutkimaan, kuinka hyvin vastaava puhdistus voisi toimia kotiooloissa.

Liitteisiin on koottu juomavedelle asetetut laatuvaatimukset, kopio kenttälomakkeesta sekä kaksi kappaletta tutkimustodistuksia.

## 2 KIRJALLISUUSKATSAUS JA TULEVAISUUDENNÄKYMÄT

Suomalaisille puhdas, omasta keittiön hanasta tuleva juomavesi on itsensäselvyys. Maailmalla tilanne on toinen. Huolimatta siitä, että 70 % maapallon pinnasta on vettä, on siitä makeaa vettä vain 2,5 %. Tästäkin osa on sitoutunut jäätiköihin ja juotavaksi kelpaavaa vettä on vain prosentin verran (Suomen YK-liitto 2014).

Meriveden puhdistamisesta juomakelpoiseksi on tehty maailmalla jo useita opinnäytetöitä ja raportteja. Seuraavaksi esitellään kaksi, joista toinen keskittyy suolanpoistolaitoksiin ja toinen kotitalouksiin soveltuviin laitteistoihin. Suolanpoistotavat aiheuttavat vaikutuksia ympäristöön ja mereneläviin. Talousveteen liittyvät myös juomaveden laatuvaatimukset ja -suositukset. Näitä verrataan merivedestä saatuihin aiempiin tutkimustuloksiin. Tulevaisuudessakin riittää vielä pohdittavaa.

### 2.1 Opinnäytetyöt

#### **Jani Hietanen: Environmental impacts of desalination technologies**

Jani Hietanen on kirjoittanut vuonna 2016 Metropolian ammattikorkeakoululle opinnäytetyön aiheesta: Environmental impacts of desalination technologies. Työssään hän tutkii, kuinka meriveden suolanpoistoprosessit toimivat juomaveden valmistuksessa ja miten tämä vaikuttaa ympäristöön. Sen lisäksi hän käy läpi keinoja, joilla sosiaalista mediaa voi käyttää hyödyksi tietoisuuden lisäämisessä. Luvussa 2.2 käydään läpi Hietasen mainitsemia ympäristövaikutuksia ja luvussa 3 muutamia puhdistusmenetelmiä tarkemmin, esimerkiksi MSF-tekniikka. Yhteenvedossa Hietanen päätyy siihen, että energiatehokkaimmat tekniikat on tehty uusiutuvien energialähteiden avulla. Niissä on vain se ongelma, että niitä pitää vielä tutkia ja kehittää lisää. Sosiaalisen median hyödyntämisestä tietoisuuden lisäämisessä hän mainitsee, miten se on upea mahdollisuus saada ja kiinnittää ihmisten huomiota omalle viestille. Onnistuminen sosiaalisessa mediassa ei ole riippuvainen kuitenkaan siitä, miten moni näkee tämän viestin, vaan kuinka moni kokee sen olevan merkittävä. Sen vuoksi onkin tunnistettava

kohderyhmä ja päättää sen perusteella sosiaalisen median väylä, jota kautta heitä yrittää tavoittaa. (Hietanen 2016.)

### **Heidi Virtanen: Järviveden puhdistaminen juomavedeksi**

Heidi Virtanen on kirjoittanut vuonna 2011 Metropolian ammattikorkeakoululle opinnäytetyön aiheesta: Järviveden puhdistaminen juomavedeksi. Työssään hän selvittää, kuinka järvivedestä saa juomakelpoista kotitalouskäyttöön. Virtanen käy läpi joidenkin epäpuhtauksien poistomenetelmiä, esimerkiksi raudanpoisto onnistuu ioninvaihdolla sekä saostuksella ja suodatuksella. Radon saadaan poistettua ilmastuksella ja aktiivihieillä. Aktiivihieillä poistetaan myös maku- ja hajuhaittoja. Lisäksi Virtanen etsii opinnäytetyössä esiteltävälle käyttökohteelle soveltuvan vedenpuhdistuslaitteiston. Ehdolla olevista laitteista hän vertailee puhdistuksen tehokkuutta ja toimivuutta sekä hintoja. Yhteenvetona Virtanen toteaa kotikäyttöön sopivan puhdistetun talousveden tuottamisen olevan verrattain helppoa. (Virtanen 2011.)

### **Yhteenveto**

Hietanen on kertonut suolanpoistosta laajemmalla skaalalla, kun taas Virtanen on keskittynyt kotitalouksiin. Hietasen työssä kiinnostavaa on ympäristövaikutusten huomiointi, Virtanen ei näitä maininnut. Virtanen käy läpi talousveden laatuvaatimukset ja kertoo talousveden ominaisuuksista ja haitta-aineista. Kokonaisuudessaan tämä opinnäytetyö tulee olemaan osittain samantyyppinen kuin nämä kaksi Metropoliasa tehtyä opinnäytetyötä. Kerromme yhdestä suolanpoistolaitoksesta sekä muutamasta kotitalouteen suunnitellusta laitteistosta, mutta emme kuitenkaan paneudu Virtasen esittelemiin järviveden puhdistukseen soveltuviin laitteistoihin. Ne eivät ole suunniteltu meriveden puhdistukseen, johon tässä opinnäytetyössä keskitytään. Laitteistojen koot ovat kuitenkin samaa suuruusluokkaa ja idea niissä on sama. Vedestä on saatava juomakelpoista.

## 2.2 Ympäristövaikutukset

Meriveden suolanpoistolla on mahdollisuus saada puhdasta vettä myös niille alueille, joilla sitä ei muuten ole. Suolanpoistoa on kuitenkin kritisoitu sen mahdollisesti aiheuttamista ympäristövaikutuksista. Suolanpoiston aiheuttamat ympäristövaikutukset riippuvat esimerkiksi laitoksen sijainnista, sisäänoton ja purkupaikan sijainneista ja suolanpoistoprosessissa käytetävästä tekniikasta. Myös energiankulutus on ongelma. (Danoun 2007, 18; Hietanen 2016, 10.)

Energiankulutus suolanpoistoprosessissa on suhteellisen korkea. Jos energian lähteenä ovat fossiiliset polttoaineet, aiheutuu prosessista tällöin kasvihuonekaasuja. Jos meriveden sisäänotossa käytetään virtaa, joka on nopeampi kuin merenelävien liikkumisnopeus, se aiheuttaa eliöiden kuoleman niiden joutuessa kiinni sisäänottoaukkoon. Ulosvirtauksessa mereen lasketaan vedestä puhdistettu suolaliuos, joka sisältää mahdollisesti puhdistuskemikaaleja sekä jäännöksiä esikäsitteystä. Tällöin myös nämä jäännökset joutuvat mereen, mikä aiheuttaa haittaa ympäristölle. Suolaliuos on myös kaksi kertaa suolaisempaa kuin normaali merivesi, joten se voi aiheuttaa meren tasapainon horjumista ja sen takia eliöiden kuolemaa sekä aiheuttaa vahinkoa meren populaatiolle. Suolaliuos voi aiheuttaa lisäksi lämpösaastetta purkupaikan lähellä nostamalla veden lämpötilaa, joka voi myös tehdä hallaa meriympäristölle. Vaikutuksia aiheuttavat myös meluhaitat, jotka tulevat korkeapainepumpuista ja talteenottoturbiineista. (Danoun 2007, 20; Hietanen 2016, 11.)

## 2.3 Talousveden laatuvaatimukset ja laatusuositukset vs. merivesi

Talousvedellä tarkoitetaan ”juomavettä sekä elintarvikkeiden tuotannon, valmistuksen, jalostuksen, säilyttämisen tai kaupanpidon yhteydessä käytettävää vettä” (Terveydensuojelulaki 763/1994, 16§).

Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa 1352/2015 talousveden laatuvaatimuksista sanotaan seuraavaa:

*Talousvedessä ei saa olla pieneliöitä, loisia tai mitään aineita sellaisina määrinä tai pitoisuuksina, joista voi aiheutua terveyshaittaa ihmisille. Talousveden on täytettävä...taulukossa...esitetyt laatuvaatimukset. (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista 1352/2015, 4 §.)*

Suomen Ympäristökeskuksen tarjoamasta Herttatietojärjestelmästä selvitettiin Kotkan alueelta aiemmin otettujen merivesinäytteiden tuloksia (Ympäristökeskus 2017). Näillä oli tarkoitus kartoittaa, mitä siitä yleensä tutkitaan ja millaisia tuloksia on saatu. Sen pohjalta oli helpompi lähteä suunnittelemaan omia puhdistusmenetelmiä. Tiedoista koottiin keskiarvot taulukkoon ja verrattiin asetukseen 1352/2015. (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista 1352/2015, 4 §.)

TAULUKKO 1. Merivesi vastaan talousvesi (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista 1352/2015, 4 §; Suomen Ympäristökeskus 2017. Herttatietopalvelu)

	<b>Merivesi</b>	<b>Talousvesi</b>
pH	7,6	6,5-9,5
Sähkönjohtavuus $\mu\text{S}/\text{cm}$	5706	< 2500
Saliniteetti g/kg	3,3	
Sameus FNU	2,2	1,0
Väriluku mg/l Pt	19,3	5,0
Bakteerit kpl/100ml	6	0,0
Nitriitti-nitraatti mg/l	0,072	0,50*
Rauta $\mu\text{g}/\text{l}$		200

\*pelkkä nitriitti

Kotkan alueelta kootuista tiedoista huomattiin, ettei merivedestä ole tutkittu ainakaan näiden tietojen pohjalta rautapitoisuutta (taulukko 1). pH-arvo on taulukon mukaan ainoana talousveden rajoissa. Nitriitti-nitraatti ei ole vertailukelpoinen johtuen siitä, että talousvedessä näille ei ole yhteisarvoa, vaan arvot ilmoitetaan erikseen. Talousvedessä ei tutkita saliniteettipitoisuutta, vaan se ilmoitetaan sähkönjohtavuuden avulla. Laatuvaatimukset löytyvät kokonaisuudessaan liitteestä 1.

Yksi tämän opinnäytetyön tärkeimmistä aiheista liittyy raudanpoistoon, johtuen luvussa 7 tehtävien testien pohjana toimivasta artikkelista. Vaikka rauta on elimistön toiminnan kannalta hyvin tärkeä hivenaine, voi se liian korkeina pitoisuuksina olla haitallista. Rauta on yksi tavallisimmista talousvettä haittaavista aineista Suomessa (Ympäristö.fi 2017). Talousvedessä tulisi olla rautaa alle 100 µg/l, enimmäispitoisuutena kuitenkin 200 µg/l ja yksityisissä kaivoissa 400 µg/l. Raudan aiheuttamia haittoja ovat lähinnä maku- ja hajuhaitat, mutta se voi aiheuttaa myös esimerkiksi vatsakiipua. Se, milloin ihminen maistaa raudan vedessä, on yksilöllistä, asettuen kuitenkin yleensä välille 500 µg/l -1000 µg/l. Kun rautaa on talousvedessä paljon, pääsevät jotkut rautaa lisääntyäkseen tarvitsevat bakteerit kasvaamaan ja silloin niitä on vaikea myös poistaa vedestä. (Aqva 2016.)

## 2.4 Tulevaisuus

Meriveden suolapitoisuuden ja suolanpoiston korkea hinta ovat syitä, miksi suurin osa juomavedestä tulee puhtaan veden lähteistä, kuten pohjavedestä, järvistä ja joista. Ilmaston muutokset, väestönkasvun aiheuttamat paineet sekä rajoittunut saatavuus uusista edullisista keinoista tuottaa puhdasta vettä, ovat saaneet vesituotannon kiinnostumaan meriveden mahdollisuuksista juomaveden tuotannossa. Tällä hetkellä suolanpoistolla tuotettava juomavesi vastaa noin yhtä prosenttia maailman juomavedestä, mutta määrä kasvaa koko ajan. Kahden viime vuosikymmenen aikana suolanpoistetun veden kustannukset ovat laskeneet dramaattisesti. Tähän ovat vaikuttaneet muun muassa kehitys käänteisosmoositekniologiassa, jossa kalvot on suunniteltu tuottamaan enemmän vettä per kalvoelementti.

Yksi vaikuttava tekijä on myös suolanpoistolaitosten rinnakkaissijoittaminen voimalaitoksen kanssa. Kehitys teknologiassa on mahdollistanut 80 prosentin energian käytön vähenemisen viimeisessä kahdessakymmenessä vuodessa.

Vuosikymmenten ajan Lähi-itä on ollut johtavia suolanpoistomaita, johtuen fossiilisten polttoaineiden matalista kustannuksista. Myös muut maat ovat rakentaneet valtavia suolanpoistolaitoksia; erityisesti länsimaista Yhdysvallat on parantanut toimintaansa. Viimeisen kymmenen vuoden aikana näiden maiden lisäksi myös esimerkiksi Israel ja Australia ovat kasvattaneet suolanpoistokapasiteettiaan. (Ylänen 2012, 29.)

Viimeisten vuosien aikana suolanpoistolaitosten kapasiteetti on kasvanut huomasti ja vettä tuotetaan päivittäin noin 87 miljoonaa m<sup>3</sup>/vrk. Suolanpoistomarkkinoilla kalvotekniikka vastaa 73 prosenttia kapasiteetista ja kuumennustekniikka 27 prosenttia, joista MSF vastaa 74 prosenttia ja MED 27 prosenttia. (Waterworld 2016.)

Uusia, innovatiivisia suolanpoistoteknologioita ja kehittyviä välineistöjä julkaistaan muutaman vuoden välein. Jatkuvan tuotannon kustannusten alenemisten ansiosta odotetaan vallitsevan trendin, kasvava riippuvaisuus merestä juomaveden lähteenä, nopeutuvan. Teknologiassa tapahtuvien edistysaskeleiden ansiosta odotetaan myös, että suolattomaksi tehdyn veden kustannukset vähenevät 20 prosenttia seuraavan viiden vuoden aikana. Seuraavan kahdenkymmenen vuoden aikana kustannukset vähenevät 60 prosenttia (taulukko 2). Suolanpoistetusta vedestä odotetaan tulevan mahdollinen kustannustehokas kilpailija juomavesituotannossa. (Voutchkov 2016.)

TAULUKKO 2. Suolanpoiston muuttujien ennuste (Voutchkov 2016)

Suolanpoistolaitosten muuttujat	Veden hinta USD/m <sup>3</sup> (€)	Rakennuskustannukset USD/MLD (€)	Sähköenergian kulutus (Kwh/m <sup>3</sup> )	Kalvon tuottavuus m <sup>3</sup> /kalvo
2016	0,8 - 1,2 (0,7 - 1,0)	1,2 - 2,2 (1,0 - 1,9)	3,5 - 4,0	28 - 47
5 vuoden päästä	0,6 - 1,0 (0,5 - 0,9)	1,0 - 1,8 (0,9 - 1,6)	2,8 - 3,2	35 - 55
20 vuoden päästä	0,3 - 0,5 (0,3 - 0,4)	0,5 - 0,9 (0,4 - 0,8)	2,1 - 2,4	95 - 120

Kun kyse on suolanpoiston tulevaisuudesta, on otettava huomioon hyvien puolien lisäksi myös mahdolliset ongelmat. Luvussa 2.2 mainittujen ympäristövaikutusten lisäksi on suolanpoistossa riskejä ja huonoja puolia myös tulevaisuudessa, jos kaikkia mahdollisia seikkoja ei oteta huomioon.



### 3 PUHDISTUSMENETELMÄT

Meriveden puhdistusprosessissa vedestä tehdään juomakelpoista erottamalla siitä liuenneet suolat sekä muut mineraalit. Käytetyimmät suolanpoistomenetelmät meriveden puhdistuksessa ovat kalvotekniikka ja kuumennustekniikat. Lisäksi käytetään tekniikoita, jotka yhdistävät kalvo- ja kuumennustekniikoita. Molemmat tekniikat ovat hyvin energiaintensiivisiä, ja kehittämistyötä tehdään, jotta löydettäisiin tapoja vähentää energiankulutusta näissä prosesseissa. Näiden lisäksi on vielä kehitteillä olevia tai ei niin laajasti käytössä olevia menetelmiä, kuten grafeeni- ja AaltoRO-menetelmät.

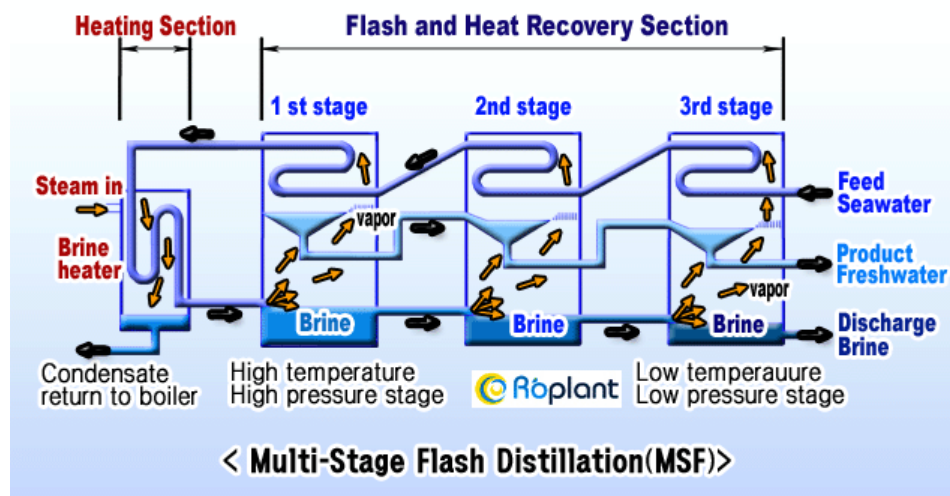
#### 3.1 Kuumennustekniikat

Kuumennuksessa käytetään lämpöä höyrystämään merivesi, tiivistämään vesihöyry ja tällä tavoin tuotetaan puhdasta vettä. Eniten käytetyt tekniikat ovat monivaihehöyrystymiseen perustuva tislauk (MSF) ja monivaihelauhdutustislauk (MED). MSF-tislauk on selvästi hallitseva kuumennukseen perustuva suolanpoistotekniikka. (Ylänen 2012, 21.) Pienemmässä mittakaavassa ja harvemmin käytetään höyryn komprimointia (Hietanen 2016).

#### **Monivaihehöyrystymiseen perustuva tislauk (MSF)**

MSF-puhdistusprosessissa merivesi kulkee usean haihdutusvaiheen läpi kuumennusosioon (kuvio 1). MSF-tislauk koostuu useasta haihdutusvaiheesta. Kussakin vaiheessa annos suolaista vettä haihtuu höyryksi joutuessaan siitä, että paine on edellistä vaihetta alempi. Paine pidetään tasossa, joka on hieman alhaisempi kuin raakaveden höyrystymispiste. Energiatehokkain tapa on käyttää raakavettä ensin lauhduttimena ja sitten kuumentaa vesi puhdistusta varten.

KUVIO 1. MSF-tislauksen toimintaperiaate (Water Industry Network 2017)

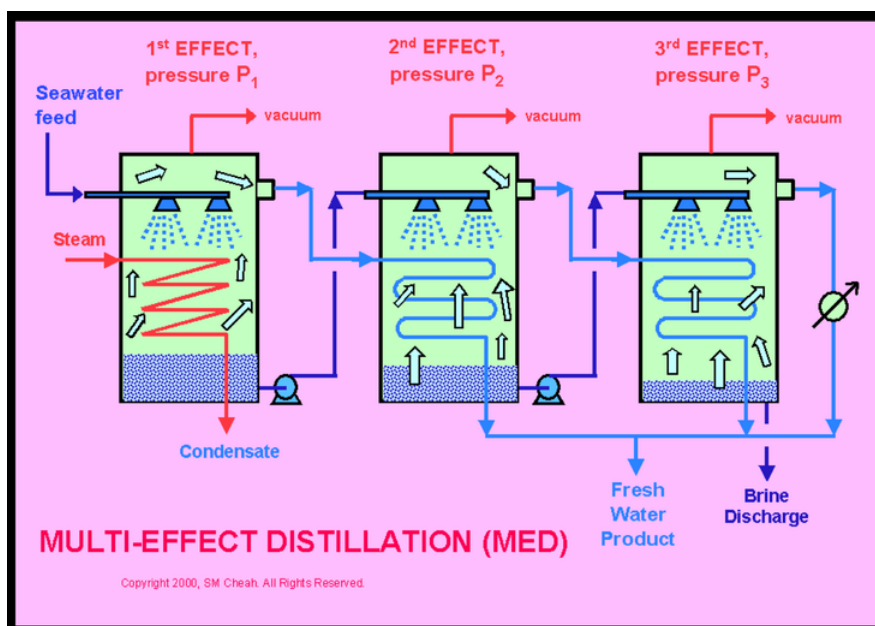


Kuumennuksen jälkeen höyry siirtyy putkiston pinnalle, jonka sisällä merivesi kulkee ja höyry tiivistetään takaisin vedeksi. Vaiheita prosessissa on yleensä 15 - 25. Prosessissa on lisälämmönlähde, joka lisää lämpöä mahdollistaen prosessin. (Ranne 2000, 21; Ylänen 2012, 20; Hietanen 2016, 11 - 12.)

### Monivaihelauhdutustislaus (MED)

Monivaihelauhdutustislaus on kaikista vanhin suolanpoistomenetelmä. MED on MSF:n tavoin kuumennusmenetelmä ja perustuu tislaukseen monessa vaiheessa, alenevassa paineessa (kuvio 2). Erona on, että MSF:ssä käytetään painetta ja lämpöä höyrystämään raakavettä, kun taas MED-prosessissa höyrystynyttä vettä käytetään lämmönlähteenä haihtumisessa. Ensimmäisessä vaiheessa osa raakavedestä haihtuu kuumaksi höyryksi kuumassa putkessa olevan höyryn haihduttaessa sitä.

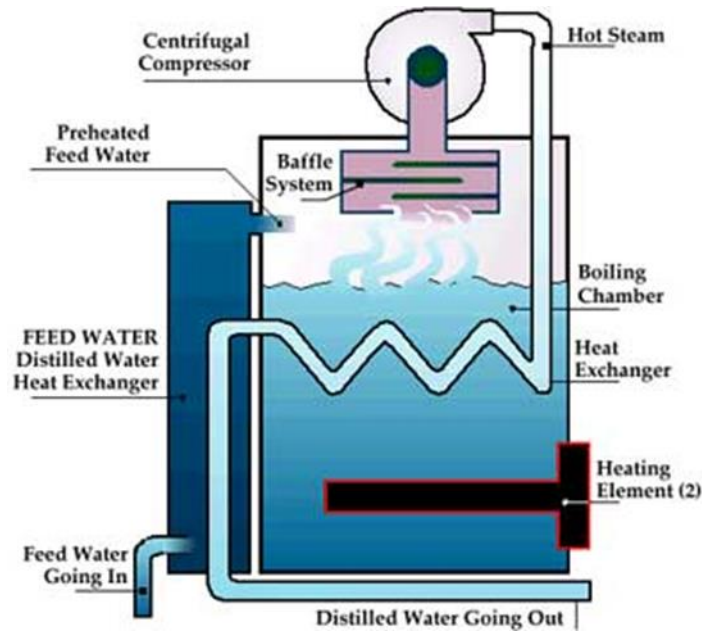
KUVIO 2. MED-tislauksen toimintaperiaate (Salton Sea Sense 2017)



Kuuma höyry nousee ensimmäisen vaiheen kammion yläosaan, josta se siirtyy putkeen ja toiseen vaiheeseen. Loppu raakavedestä, joka ei ole haihtunut, siirtyy kammion pohjalle, mistä se ohjautuu seuraavan vaiheen kammioon. Haihtuminen tapahtuu, kun paine alenee aina seuraavaan vaiheeseen siirryttäessä. Vaiheita MED-prosessissa on yleensä 8-16. (Ylänen 2012, 20; Hietanen 2016, 12 - 13.)

### Höyryn komprimointi (VCD)

VCD-menetelmää käytetään hyvin rajallisesti ja yleensä yhdessä jonkin muun menetelmän kanssa, kuten esimerkiksi monivaihelauhdutustislauksen kanssa. Höyryn komprimointiyksiköitä on monenlaisia systeemejä ja ne perustuvat yleensä mekaaniseen kompressoriin. Prosessi ei tarvitse mitään ulkoista lämmönlähdettä, koska tarvittava lämpö tulee veden puristumisesta (kuvio 3). Tämä tekniikka on usein käytössä muun muassa hoteleissa pienen kapasiteettinsa vuoksi. Prosessi alkaa lämmityselementistä. Kun kiehuminen alkaa, keskipakokompressori alkaa paineistaa höyryä, jonka lämpötila nousee ennen kuin se siirtyy lämmönvaihtajaan.



KUVIO 3. Höyryn komprimoinnin toimintaperiaate (Aquatechnology 2017)

Kuumentunut höyry toimii prosessin kuumavesikattilana, joten lämmityselementti menee pois päältä. Kun höyry luovuttaa sidottua lämpöään, höyry tiivistyy puhtaaksi vedeksi. Tässä vaiheessa tiivistynyt vesi on vielä hyvin kuumaa, joten sitä käytetään jälkilämmitykseen sisään tulevalle raakavedelle. (Hietanen 2016, 13 - 14.)

### 3.2 Kalvotekniikka

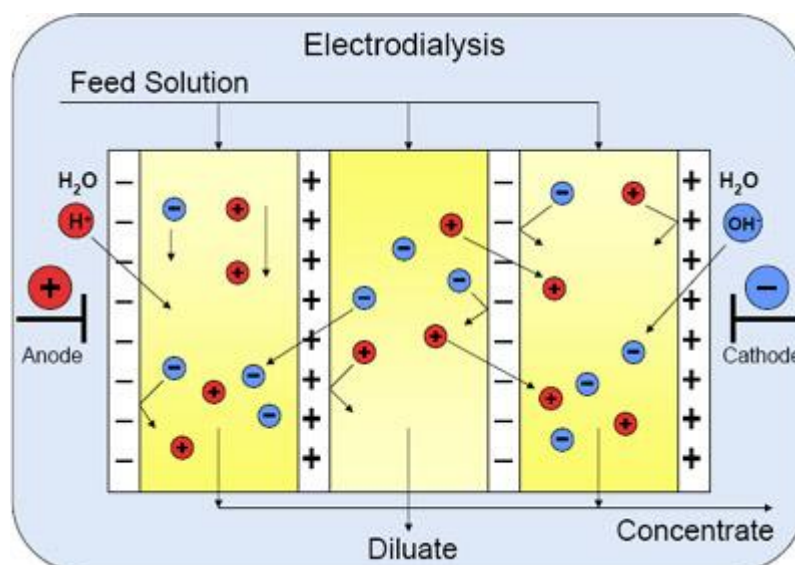
Kalvotekniikoiden käyttö on lisääntynyt viime vuosikymmenten aikana, sillä nämä prosessit ovat melko energiatehokkaita (Hietanen 2016, 15). Kalvotekniikka voidaan jakaa kahteen pääryhmään, jotka ovat elektrodialyysiin

perustuva suolanpoisto sekä käänteisosmoosi. Elektrodialyysiin perustuva suolanpoisto on otettu käyttöön 1960-luvun alkupuolella, noin 10 vuotta aiemmin kuin käänteisosmoosi. (Buros 1990, 14.)

### Elektrodialyysiin perustuva suolanpoisto

Elektrodialyysiin perustuva suolanpoisto on kalvomenetelmä kuten käänteisosmoosi, mutta toimii ilman suurta painetta (kuvio 4). Prosessissa vettä puhdistetaan sen virratessa kalvojen välissä, jotka vuorotellen läpäisevät anionit ja kationit. Ioneja poistetaan, kun katodi- ja anodilevyjen väliin luodaan potentiaaliero, jolloin anionit liikkuvat anodilevyyn päin ja kationit katodilevyyn päin.

KUVIO 4. Elektrodialyysiin perustuvan suolanpoiston toimintaperiaate

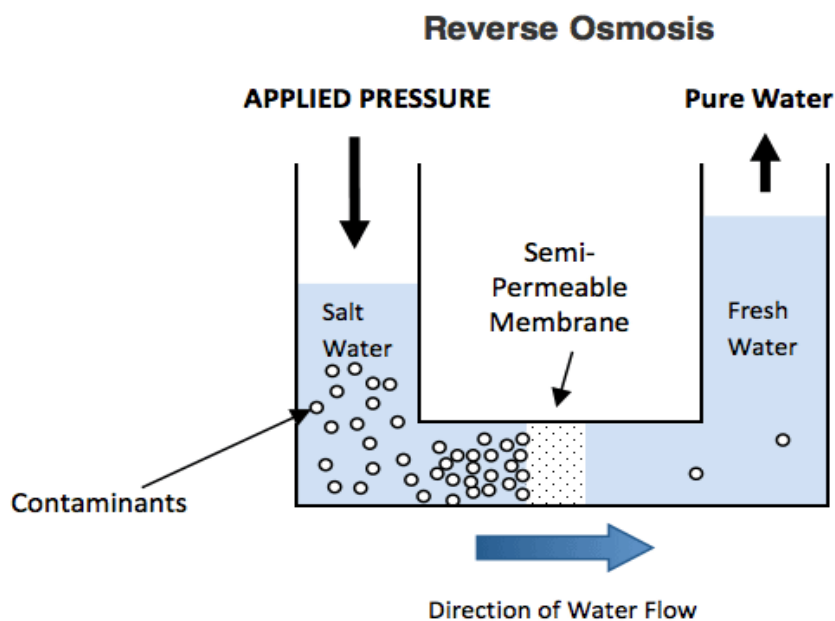


(Fumatech 2017)

Joka toinen kalvo läpäisee anionit ja joka toinen kationit, joten potentiaalieron vallitessa ionit jäävät kalvojen väliin ja joka toisesta solusta syntyy puhdistettua vettä. Kalvoja on mahdollista lisätä ja vähentää, riippuen vaadittavasta vedenlaadusta. (Kaasalainen 2017, 18 - 19.)

### Käänteisosmoosi

Käänteisosmoosi perustuu luonnolliseen ilmiöön, osmoosiin. Käänteisosmoosissa periaate on päinvastainen ja paine täytyy prosessiin tehdä keinotekoisesti. Käänteisosmoosissa käytetään kalvotekniikkaa (kuvio 5).



KUVIO 5. Käänteisosmoosin toimintaperiaate (Puretec 2017)

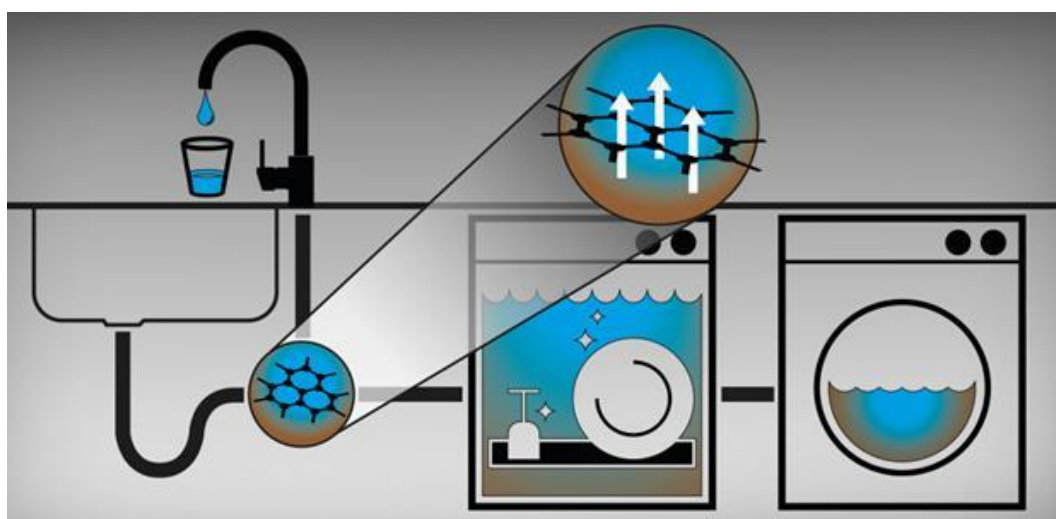
Prosessissa vesi työnnetään kalvon läpi korkean paineen avulla, jolloin vedessä olevat suola ja mineraalit jäävät kalvoon ja vain vesi pääsee kalvon läpi. (How stuff works 2017.) Käänteisosmoosi tarvitsee esikäsittelyn, joka poistaa suuremman aineksen vedestä, jotta kalvo pysyy toimintakunnossa (Buros 1990, 18).

### 3.3 Grafeeni

Grafeeni on hyvin ohut, vain yhden hiiliatomin paksuinen hiilikalvo, joka on maailman ohuin mutta samalla kestävin materiaali. Se on tuhat kertaa terästä vahvempi materiaali. Meriveden puhdistuksessa grafeenia voidaan

hyödyntää tekemällä siitä käänteisosmoosiprosessiin puoliläpäiseviä kalvoja. Grafeenista saadaan jopa 500 kertaa ohuempia kalvoja kuin tällä hetkellä on käänteisosmoosissa käytössä. Mitä ohuempi kalvo, sitä vähemmän painetta tarvitaan, eli prosessi vie silloin myös vähemmän energiaa. Idean grafeeniin saivat fyysikot Andre Geim ja Konstantin Novoselov vuonna 2004. He irrottivat teipin avulla lyijykynän grafiitista ohuita kalvoja. Tällä tavoin he pääsivät viimein siihen asteelle, että lopputuloksena lastut olivat vain yhden hiiliatomin paksuisia. (Suomen Kuvalehti 2013.)

Keväällä 2016 Sandvik Coromant -niminen yritys järjesti grafeenihaastekilpailun, jolla haluttiin saada nuoret suunnittelijat kehittämään innovatiivisia ideoita grafeenin kotikäyttöön. Kilpailun voitti 23-vuotias Nadia Ayad. Hän keksi käyttää grafeenia suodattimena suolanpoistossa (kuvio 6).



KUVIO 6. Grafeeni toimii puhdistuskalvona (Sandvik Coromant 2017)

Tällä innovatiivisella suolanpoistotekniikalla kotitalouksien pesu- ja tiskivedet voi suodattaa juomavedeksi. Grafeeni on kapeahuokoista, minkä seurauksena se saa kuivassa tilassa aikaan tyhjiön. Veteen upotettaessa sen läpi voi virrata nopeasti kaksi molekyylikerrosta vettä ja pieniä ioneja. Erottelukykyä kuvaa myös grafeenin suuri kapillaarivoima. Lisätutkimukset

ovat osoittaneet grafeenikalvon olevan suolanpoistokyvyltään parempi kuin osmoosikalvojen. Kotitalouksissa grafeenia voisi käyttää pesuvesien puhdistamiseen ja meren rannalla asuvat voisivat hyödyntää sitä suolanpoistossa. Tulevaisuudessa grafeeni tulee todennäköisesti olemaan hyvin tärkeä materiaali veden puhdistuksessa. (Sandvik Coromant 2016.)

### 3.4 Muut tutkinnan alla olevat

Prisma Studion 17.6.2016 julkaisemassa artikkelissa Tuomas Kiukas kirjoittaa otsikolla ”Juomavesi on uusi öljy – aaltoenergialla vettä jokaiselle?” erilaisista suolanpoistotekniikoista. Esimerkiksi Aalto-yliopistolla on kehitetty AaltoRO-järjestelmä, jossa meressä on aaltovoimala, joka paineistaa merivettä halutulle tasolle ja siirtää paineistetun veden sen jälkeen putkea pitkin mantereella sijaitsevalle käänteisosmoosilaitokselle. Siellä makea vesi erotetaan suolaisesta. Tähän liittyen Markus Ylänen on diplomityössään tutkinut hankkeen kannattavuutta. Aaltovoima on hyvin kallista ja työssään Ylänen löysi kuusi aluetta, joilla se voisi olla kannattavaa. Näihin lukeutuvat Yhdysvaltain länsiosat, Etelä-Afrikka, Chile, Havaiji ja Australia. Australiaan onkin tullut nyt ensimmäinen aaltovoimalla pyörivä laitos. Toiseksi artikkelissa mainitaan Segwayn kehittäjä Dean Kamen, joka on luonut Slingshot-menetelmän, josta on tehty myös dokumenttielokuva. Slingshotin toiminta perustuu tislaukseen. Siinä merivettä keitetään, jolloin puhdas vesihöyry nousee pois ja suola jää tilalle. Vesihöyryä paineistetaan, kunnes bakteereja ja viruksia ei enää ole. Tämän jälkeen puhdas vesihöyry jäädytetään ja syntyy juomakelpoista vettä. Lopuksi artikkelissa kerrotaan retkikäyttöön soveltuvasta pillistä. Sillä voidaan auttaa yksittäisiä ihmisiä alueilla, joilla ei ole juomakelpoista vettä. Pillillä saadaan noin tuhat litraa suodatettua vettä. Niitä onkin viety muun muassa Pakistanin tulva-alueille. (Kiukas 2016.)



## 4 SYDNEYN SUOLANPOISTOLAITOS SDP

Maailmassa suolanpoistolaitoksia toimii 120 maassa yli 21 000. Melkein 50 prosenttia laitoksista puhdistaa merivettä ja maailmanlaajuisesti noin 300 miljoonaa ihmistä käyttää juomavetenään vettä, joka on puhdistettu suolanpoistolla. (Parcolnews 2016.) Maailman suurin sekä kalvotekniikkaa että kuumennustekniikkaa käyttävä suolanpoistolaitos on Ras Al Khair Saudi-Arabiassa (Water Technology 2017), ja suurin pelkkää kalvotekniikkaa käyttävä laitos on Sorek Tel Avivissa Israelissa (Water Technology 2014).

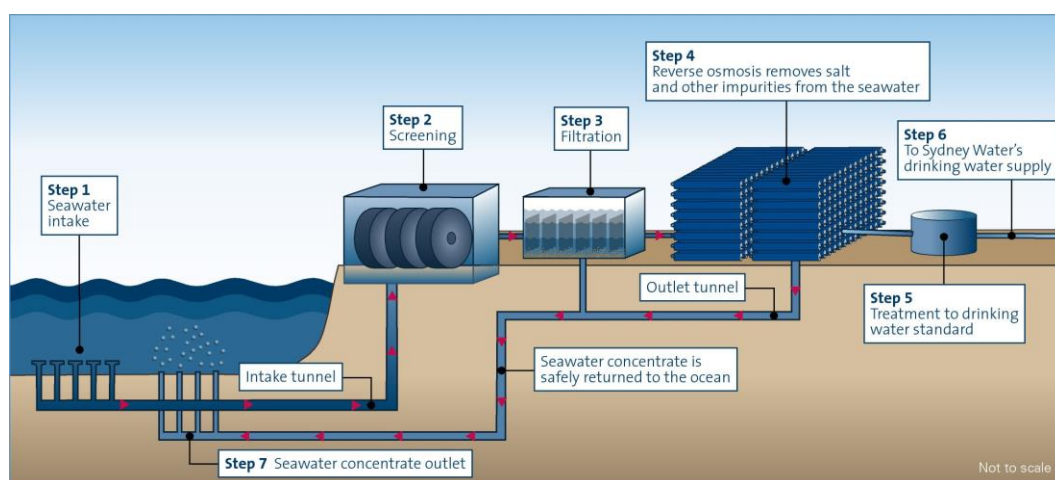
Sydneyn suolanpoistolaitos on yksi Australian suurimmista suolanpoistolaitoksista. Se on aloittanut toimintansa 28. tammikuuta 2010. Laitoksen omistaa Ontario Teachers' Pension Plan Board, The Infrastructure Fund (TIF) ja Utilities Trust of Australia (UTA). Laitos tuottaa juomavettä 250 miljoonaa litraa vuorokaudessa, ollen 15 prosenttia Sydneyn kokonaisvedenjakelesta ja vastaa 1,5 miljoonan Sydneyn asukkaan vedentarvetta. Suolanpoistolaitoksessa käytettävä energia on täysin uusiutuvaa energiaa tulien varta vasten laitoksen tarpeeseen rakennetulta tuulifarmilta Capital Hill Wind Farmilta. (Sydney Desalination Plant 2017.) Laitoksen energiankulutus täydellä teholla on karkeasti arvioituna 46 megawattia.

### 4.1 Puhdistusprosessi

Merivesi otetaan merestä 2,5 kilometrin pituisen tunnelin läpi, neljän sisäänottamon kautta, jotka sijaitsevat noin 25 - 30 metrin syvyydessä. Virtaustaso on vähäisempi kuin vallitseva virta, jotta merenelävät voivat uida sisäänottamon ympärillä jäämättä kiinni. Merivesi kulkee merenalaisessa ja maanalaisessa tunnelissa laitokseen painovoiman avulla ja menee rumpusiivilän läpi, joka suodattaa 3 mm isomman aineksen pois. Tulokanavaa käytetään virtauksen päästämiseen laitokseen.

Esikäsitellyssä painovoima poistaa orgaanisia ja hienojakoisia hiukkasia hiekka- ja hiilisuodatuksella. Hiutaloittamisainetta lisätään meriveteen sito-

maan pienempiä hiukkasia yhteen, jotta ne saadaan helpommin suodatettua pois. Suodatuksessa syntyneestä jätteestä erotetaan vesi kiinteästä aineesta, minkä jälkeen se loppusijoitetaan kaatopaikalle. Suodatettu merivesi pumpataan sitten käänteisosmoosirakennukseen lisäpumppuaseman keskipakopumpuilla (kuvio 7). (Sydney Desalination Plant 2017.)



KUVIO 7. Sydneyn suolanpoistolaitoksen prosessikaavio (Sydney Desalination Plant 2017)

Käänteisosmoosivaiheessa paine nostetaan 50 - 60 barin paineeseen riippuen kaudesta, sillä veden suolapitoisuus vaihtelee. Vesi työnnetään käänteisosmoosikalvojen läpi, jolloin vedestä poistuu suola ja mineraalit. Kalvoja on laitoksessa 36 000. Käänteisosmoosijärjestelmä on kaksivaiheinen. Ensimmäisessä vaiheessa on kolmetoista kanavaa ja toisessa seitsemän. Vedestä poistunut suolajäte ohjataan energian talteenottolaitteeseen, jossa sitä käytetään hyödyksi sisään tulevan veden paineistamisessa. Loput suolajätteestä lasketaan takaisin mereen. (Sydney Desalination Plant 2017.)

Käänteisosmoosista tullut vesi uudelleenmineralisoidaan ja siihen lisätään fluoridia, jotta se täyttää Australian juomavedelle asetetut laatuvaatimukset. Tämän jälkeen vedelle tehdään lopullinen desinfiointi ja siirretään 40 miljoonan litran kokoiseen juomavesisäiliöön. Säiliöstä vettä pumpataan 18 kilometrin pituisen putkiston läpi juomavesiverkostoon. Noin 58 prosenttia sisään otetusta vedestä palautuu takaisin mereen. Se on kaksinkertaisesti suolaisempaa kuin alkuvaiheessa ja asteen lämpimämpää. Vesi palautuu normaaliin suolapitoisuuteensa ja lämpötilaansa 50 - 75 metrin säteellä poistosta. (Sydney Desalination Plant 2017.)

#### 4.2 Laitoksen ympäristövaikutukset

Suolanpoistolaitosten mahdollisia ympäristövaikutuksia ovat energiankulutus, kasvihuonekaasupäästöt, laitoksen vaikutukset meren eliöille ja meriympäristölle. Sydneyn suolanpoistolaitoksen sisäännotossa käytetään mereneliöiden luonnollista liikkumisnopeutta hitaampaa virtaa, jotta eliöt eivät jää kiinni aukkoon. Laitoksen purkupaikka on suunniteltu niin, että suolaliuoksen hajaantuminen maksimoidaan. Suolaliuos päätyy mereen hajautussuuttimen kautta. Sisäänotto ja purkupaikka eivät ole sijoitettuina lähelle uimarantoja tai herkkiä merialueita. Energia suolanpoistolaitokselle tulee kokonaan uusiutuvasta energiasta, jolloin ympäristövaikutukset ovat mahdollisimman pienet. Energialähteenä käytetään tuulivoimaa ja lisäksi käytetään energian talteenottolaitetta, jonka avulla suolajätteestä tehdään energiaa ja näin vähennetään laitoksen energiantarvetta noin 40 prosentilla. (Sydney Desalination Plant 2005, 13.)

Sydneyn suolanpoistolaitoksella toimi kuuden vuoden ajan ohjelma nimeltään Marine and Estuarine Monitoring Program, jonka tarkoituksena oli suojella merta ja rannikkoa laitoksen ympärillä. Ohjelma keräsi tietoa merivedestä, ekologisuudesta ja meren elämästä ennen laitoksen rakentamista, sen aikana ja sen jälkeen. Näiden tietojen pohjalta saatiin selville, ettei suolaliuos aiheuta merkittäviä vaikutuksia meriveden laatuun tai vesiekologiaan. Lisäksi Sydneyn suolanpoistolaitos sijaitsee 45 hehtaarin

alueella, josta 15 hehtaaria kuuluu kasvistonsa ja eläimistönsä vuoksi ympäristönsuojelualueeseen. Tämän vuoksi aluetta valvotaan tarkasti. (Sydney Desalination Plant 2017.)

## 5 KOTITALOUKSIEN PUHDISTUSLAITTEISTOT

Markkinoilla on erikokoisia ja -mallisia merisuodatinlaitteistoja. Mallivalikoima ja hinta vaihtelevat jonkin verran. Halvimmillaankin meriveden puhdistuksesta joutuu kuitenkin maksamaan tuhansia euroja. Tässä vertailaan kolmea saman kokoluokan laitetta, jotka kaikki on mahdollista saada alle kymmenellä tuhannella. Vertailut laitteet on suunniteltu yksityiskäyttöön kotitalouksiin.

### 5.1 AquaThor 310

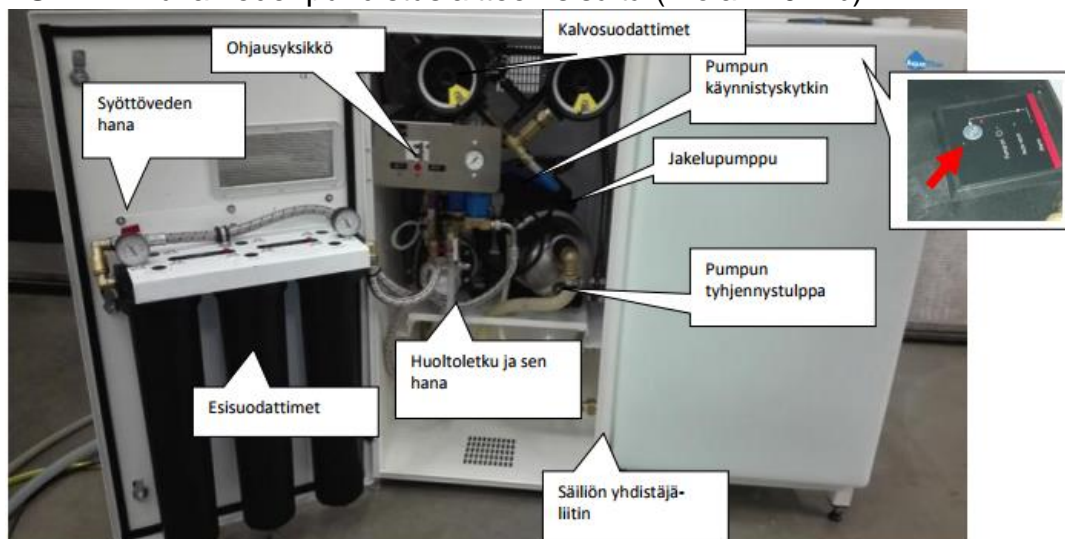
AquaThor 310 on tarkoitettu puhtaan juomaveden valmistukseen luonnonvesistä. Tekniikkana toimii käänteisosmoosi, kemikaaleja ei käytetä. Raakaveden voi ottaa merestä, järvestä, kaivosta ja lähteestä. UV-puhdistin on mahdollista saada lisävarusteena. Vedenpuhdistus on energiatehokasta. Kapasiteetiltaan laite soveltuu perhekäyttöön, mutta se on suunniteltu kompaktiksi ja on sen myötä vähän tilaa vievä (kuva 1). Laite on kehitetty ja valmistettu Suomessa. (Biolan 2017a.)



KUVA 1. AquaThor 310 (Biolan 2017a)

Laitteen toimintaperiaate on yksinkertainen. Aluksi raakavesi pumpataan keskusyksikköön. Keskusyksikössä vesi kulkee esisuodattimien läpi, joita on kolme. Ensin on 20 µm paksu sedimenttisuodatin, seuraavaksi 5 µm paksu aktiivihiilisuodatin ja lopuksi toinen 1 mm paksu sedimenttisuodatin. Seuraavassa vaiheessa korkeapainepumpulla nostetaan veden paine 7-16 bariin ja se syötetään kalvosuodatuspiiriin. Siellä puhdas vesi puristuu käänteisosmoositekniikkaa hyödyntäen kalvon läpi. Tästä erottuva hyvin suolapitoinen vesi siirtyy syöttöpiirissä kulkevaan veteen ja se poistuu poistoletkuun ja sitä kautta takaisin raakaveden lähteeseen. Puhdas vesi kerääntyy puhdasvesisäiliöön. Säiliössä toimii ohjausyksikkö (kuva 2), joka säätelee veden korkeutta, pysäyttää pumpun sen täytyttyä ja huolehtii siitä, että säiliön täytön jälkeen laitteisto puhdistaa itse itsensä. Jos laitetta ei käytetä aikoihin, tekee laite joka tapauksessa puhdistuskierroksen aina 12 tunnin välein. (Biolan 2017b.)

KUVA 2. Kuva vedenpuhdistuslaitteen sisältä (Biolan 2017b)



## 5.2 Rozell 50

Rozell 50 on suositeltu ”mukavaan vapaa-ajan asumiseen” (kuva 3.). Kapasiteetin 50 l/h sanotaan riittävän puhtaan juomaveden saantiin sekä lisäksi astian- ja pyykinpesukoneen ja suihkun vaatimaan vesimäärään. Tekniikkana käytetään käänteisosmoosia. Tässä on lisäksi UV-valokäsittely mukana. Laitteessa on vähäinen huollontarve, ja siinä toimii automaattinen itsepuhdistusmenetelmä. Rozell 50 asennetaan seinälle asennuskiskoon. Sen myötä se ei vie lattialta tilaa. Vähäisen tehontarpeen ansiosta laitteen voi yhdistää aurinkopaneeleihin.



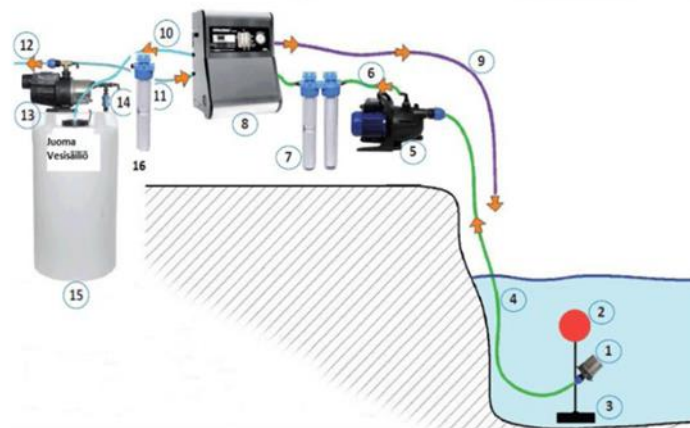
KUVA 3. Rozell 50 (juomavesi.fi 2017)

Huoltotoimenpiteisiin ja -kustannuksiin kuuluvat esisuodatinparin vaihto 3-4 krt/kausi (touko-syyskuu), keväisin aktiivihiihinsuodattimen vaihto sekä mineraalihiekan lisääminen. Talveksi laitteistoon laitetaan glykolia. Suodatinpari maksaa 25 €/pari, aktiivihiihi 35 €, mineraalihiekka 17,50 € ja glykoli 45

€. Nämä huollot ja hinnat ovat Rozell 50 -paketin myyjän ilmoittamia hinnoja.

Toimintaperiaatteeltaan Rozell 50 on samantyyppinen kuin AquaThor 310 (kuvio 8). Aluksi merivesi imetään imuletkua pitkin merivesipumppuun. Pumpusta vesi menee paineletkua pitkin kaksoisuodattimeen ja siitä vedenpuhdistajaan.

### Vedenpuhdistuslaitteiston toimintaperiaate ja osat



1. Meriveden sisäänotto
2. Kova kelluke(poiju)
3. Ankkuri/paino
4. Meriveden imuletku
5. Merivesipumppu
6. Meriveden paineletku
7. Meriveden kaksoisuodatin
8. Rolux 100 vedenpuhdistaja
9. Poistovesiletku
10. Juomavesiletku vesisäiliöön
11. Huuhteluvesiletku Roluxiin
12. Juomavesiletku käyttäjälle
13. Jakelupumppu
14. Vesisäiliön imuputki
15. Juomavesisäiliö
16. Mineraalisuodatin

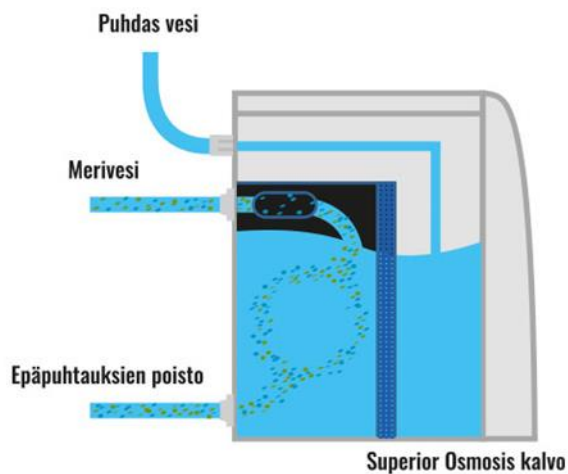
KUVIO 8. Toimintaperiaate ja osat (juomavesi.fi 2017)

Tässä vaiheessa suolalla rikastunut vesi siirtyy poistovesiletkua pitkin takaisin mereen ja puhdistettu vesi juomavesisäiliöön. Toimintaperiaatekuvaan on merkitty tarkemmin muutkin osat, muun muassa huuhteluvesiletku sekä juomavesiletku. (juomavesi.fi 2017.)



### 5.3 WatMan Bluewater Prowat 400

WatManin valmistama Prowat 400BCV-HR on suunniteltu nimenomaan merialueiden saarimökeille saaristoissa ja rannikoilla. Siinä hyödynnetään uutta käänteisosmoositeknologiaa, jossa käytössä on SuperiorOsmosis-kalvo (kuvio 9). Laitteen kerrotaan mahtuvan pieneen tilaan ja olevan helppo asentaa. Laite on kooltaan 225 x 466 x 470mm (kuva 4). Prowattia käytetään ilman varastosäiliötä, se on itsessään ns. direct flow -suodatin. Järjestelmään saa lisättyä varastosäiliön, jolloin siitä riittää muihinkin vesikalusteisiin, kuten suihkuun ja mökin käyttövesialtaisiin. (Mr.LVI 2017.)



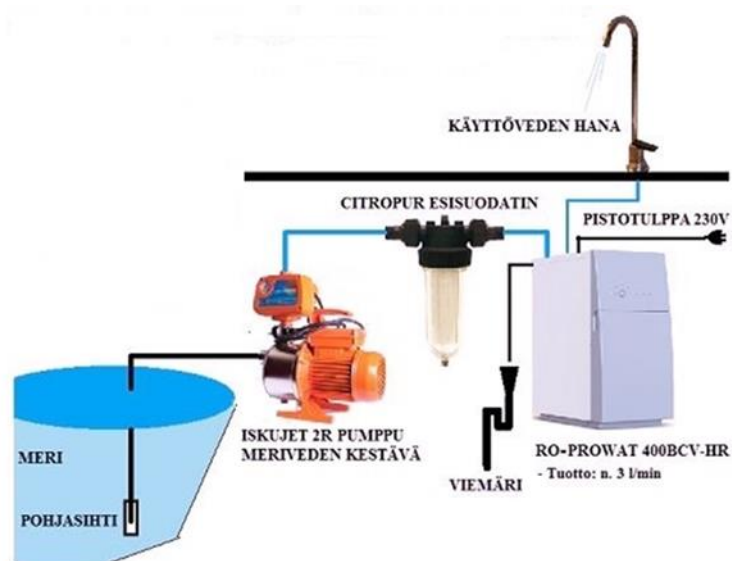
KUVIO 9. SuperiorOsmosis -kalvo (Vedensuodatin.fi 2017)



KUVA 4. Prowat 400BCV-HR (Mr.LVI 2017)

Kuviosta 10 näkee direct flow -periaatteen, miten vesi pumpataan merestä ja esisuodattimen kautta se menee RO-Prowat -laitteistoon ja siitä suoraan käyttöveden hanaan. Huoltoon kuuluvat esisuodattimien vaihto 4-6 kk välein. RO-kalvo vaihdetaan 4-6 vuoden välein. (Mr.LVI 2017.)

KUVIO 10. Direct flow (Mr.LVI 2017)



## 5.4 Yhteenveto

Laitteiden tehoksi valmistajat ilmoittavat laitteesta riippuen 125 – 1 500 W. Puhtaan veden tuotto vaihtelee 50 - 250 l/h. Kaikki laitteet käyttävät tekniikkana käänteisosmoosia. Puhdistusteho tällä tekniikalla on kaikilla vertailtavilla laitteilla yli 95 %.

Halvin puhdistuslaite on WatManilla. Se maksaa 5 600 €, on kooltaan pienin ja tuottaa 180 l/h puhdasta vettä. Puhdistusteho on arseenia lukuun ottamatta yli 95 %. Siinä on suuren vesituoton vuoksi päädytty ratkaisuun, ettei pakettiin kuulu juomavesisäiliötä, vaan se tilataan tarvittaessa erikseen. Hinnaltaan seuraavaksi edullisin on Afflux Waterin Rozell 50, joka maksaa 6 700 €. Sen käyttökustannukset ovat edullisimmat, maksimissaan 197,50 €. Käyttökustannuksista löytyi tarkempi erittely kohdasta 5.2. Tuotto sillä on vertailun pienin, mutta puhdistusteho lähes 100 %. Kallein on Biolanin toimittama AquaThor 310, joka on kooltaan isoin ja tuotoltaan tuottavin. Käyttökustannuksia ei ollut saatavilla. AquaThor 310 puhdistaa myös jonkin verran radonia. Vertailun tulokset löytyvät taulukosta 3.

TAULUKKO 3. Vertailu kotitalouksiin tulevista puhdistuslaitteista.

Vedenpuhdistuslaite	AquaThor 310	Rozell 50	Prowat 400BCV-HR
Toimittaja/valmistaja	Biolan Ekoasuminen Oy	Afflux Water	WatMan
Koko lxxs (mm)	790x1100x1040	400x500x200	225x466x470
Puhdasvesisäiliö	310 l	140 l	-
Teho	1 500W	125W	530W
Tekniikka	RO	RO	RO
Tuotto	250 l/h	50 l/h	180 l/h
Puhdistusteho	95-99 % arseeni, fluoridi, nitraatti, nitriitti, uraani, ammonium, kloridi, mangaani, rauta, bakteerit. Jonkin verran radonia.	99,9 % natrium ja muut epäpuhtaudet	95-100 % kloridi, natrium, fluoridi, uraani, nitraatti, nitriitti, alumiini, kupari, lyjy, elohopea, nikkeli. 60-99 % arseenin.
Käyttökustannukset	-	197,50 €/vuosi	350 €/vuosi
Hankintahinta sis. Alv	7 800 €	6 700 €	5 600 €

AquaThor 310 on turhan massiivinen sekä tuotoltaan että puhdasvesisäiliön kooltaan ajatellen mökkikäyttöä. Jos perheen, johon kuuluu ainakin kolme henkilöä, vakituinen koti sijaitsee meren tai järven rannalla eikä mahdollisuutta kunnalliseen veteen ole, niin siinä tapauksessa AquaThor 310 voisi olla paras vaihtoehto. Prowat taas kärsii siitä, ettei siinä ole juomavesisäiliötä. Jos rantamökki on hyvin pieni ja siellä toimitaan kantovesiperiaatteella, niin siinä tapauksessa tämä pienin ja edullisin vaihtoehto voisi tulla kyseeseen. Paksuhiuksinen saattaisi kuitenkin kaivata mökille suihkua. Vadissa on hankala pestä ja huuhdella hiuksia. Joten Rozell 50 voisi toimia tällaisen henkilön kohdalla parhaiten. Se on kompaktin kokoinen, säiliön koko on riittävä mökkikäyttöön, hankintahinta on kohtuullinen ja vuosittaiset käyttökustannukset ovat myös kohtuulliset.

## 6 TUTKIMUSARTIKKELI

Yksi tärkeimmistä tässä opinnäytetyössä käytetyistä lähteistä on brasilialaisten tutkijoiden 16. helmikuuta 2011 julkaisema tieteellinen tutkimusartikkeli ”Banana peel applied to the solid phase extraction of copper and lead from river water: Preconcentration of metal ions with a fruit waste”. Siinä tutkitaan miten kuivatut banaaninkuoret poistavat jokivedestä myrkyllisiä raskasmetalleja, kuten kuparia ja lyijyä (Castro et al. 2011).

### 6.1 Johdanto

Artikkelissa perehdyttiin tutkimukseen jauhetun banaaninkuoren kyvystä uuttaa lyijy- ja kupari-ioneja sekä prosessiin kuuluvia parametreja jokivedestä. Kuparin ja lyijyn uuttamisprosessi saavutti tasapainon 10 minuutissa ja metalli-ionien uutto oli suotuisin pH 3:n yläpuolella.

### 6.2 Käytetyt menetelmät

Metalli-ionit määritettiin atomiabsorptiospektrometrillä (AAS, PerkinElmer AA700). Jauhetut banaaninkuoret erotettiin eräkokeissa metalliliuoksen pinnalle nousevasta nesteestä, supernatantista, käyttäen sentrifugia (FANEM Excelsa II). Kuivatut banaaninkuoret jauhettiin ensin FRITSCH Pulverisette 6 -kuulamyllyssä 20 minuuttia nopeudella 500 rpm. Jauhamisen jälkeen banaaninkuorten hiukkaset siivilöitiin raekokoon 35 - 45 µm. Ominaispinta-ala ja huokoskokojakauma määritettiin 2,0 grammasta banaaninkuorijauhetta käyttämällä Micromeritics ASAP 2010 -laitteistoa. 10 ml standardisoitua metalli-ioni-liuosta siirrettiin 50 ml:n sentrifugiputkiin ja jokaiseen putkeen lisättiin 0,02 grammaa jauhettua banaaninkuorta. Seoksia sekoitettiin mekaanisesti 1 - 60 minuutin intervalleissa 30 °C huoneenlämpötilassa kineettisen reaktion tutkimiseksi. pH-arvon vaikutusta uuttamisprosessissa tutkittiin 1 - 5 välillä laimennetuilla typpihappo- ja natriumhydroksidiliuoksilla. Jäännösmetallipitoisuus supernatantissa määritettiin FAAS:lla. Kiinteän faasin uuttopylväsmenettely toteutettiin seuraavanlaisesti: Esikonsentraatiomenetelmä tehtiin 1,2 cm pitkällä lasipylväällä,

jonka sisähalkaisija oli 2,8 mm. Lasipylväs täytettiin 0,02 grammalla jauhattua banaaninkuorta, ja esikonsentroituvan metalliliuoksen tilavuus asetettiin 20 millilitraan.

### 6.3 Tulokset

Jauhettujen banaaninkuorten FTIR-laitteen mittaama spektri tallennettiin, jotta saatiin identifioitua funktionaaliset ryhmät metalli-ionien koordinoitua varten. pH-liuoksen vaikutus kuparin ja lyijyn poistamiseen banaaninkuorijauheen pinnalta osoitti, että pidätysprosentti pH:lla on yli 90% arvolla 3 ja noin 98 % arvoilla 4 ja 5.

### 6.4 Johtopäätökset

Banaaninkuorijauhe on erittäin houkutteleva biomateriaali alhaisten kustannustensa takia ja siksi, että se ei vaadi muutosreaktiota kuten muut tämäntyyppisissä töissä käytettävät materiaalit. Tulokset osoittavat, että jauhattua banaaninkuorta voidaan lisätä raakaan jokiveteen metallien poistamiseksi ja esikonsentroiduksi 20-kertaisella rikastuskertoimella. Tämä systeemi on hyödynnettävissä raakaveden hivenmetallilajien määrittämisessä.

## 7 EMPIIRINEN TUTKIMUS

Puhdistusmenetelmien testipäivä oli 09.10.2017.

### 7.1 Johdanto

Empiirisessä tutkimuksessa puhdistettiin merivettä kahdella menetelmällä; kuivatuilla banaaninkuorilla sekä perinteisellä hiekkasuodatuksella. Banaaninkuorilla on todettu olevan myrkyllisiä raskasmetalleja poistava vaikutus (Castro et al. 2011). Merivedessä on runsaasti rautaa, keskimäärin 1000-3000 µg/l (Lenntech 2017), ja banaaninkuorilla testattiin raudanpoistokykyä. Rauta ei ole ihmisen terveydelle haitallista, mutta juomaveden laatuun vaikuttavien seikkojen lisäksi rauta vedessä aiheuttaa muun muassa putkistojen syöpmistä (Aqva 2016). Tulevaisuudessa meriveden puhdistaminen tulee yhä tarpeellisemmaksi ja sen siirtämiseksi kotitalouksiin tarvitaan putkistoja. Tällä hetkellä rautaa poistetaan vedestä muun muassa ioninvaihdolla, ilmastamalla, hapettamalla ja suodattamalla sekä katalysoivilla massoilla (Terveiden ja hyvinvoinnin laitos 2017). Hiekkasuodatuksella haluttiin testata kotitekoisen puhdistamon tehoa, ja kuinka riittävä se on merivedelle. Hiekkasuodatus on jo käytössä jätevedenpuhdistamoilla sekä vedenottamoilla, ja halusimme kokeilla sen toimivuutta. Viimeistelimme hiekkasuodatuspuhdistuksen aktiivihiilellä, jonka tarkoituksena oli poistaa jäljelle jäävät epäpuhtaudet. Suolaa kumpikaan menetelmistä ei poista, joten lopuksi tislasimme banaaninkuorilla puhdistetun meriveden. Hiekkasuodatuksen jälkeen emme tislanneet vettä, sillä lähtökohtaisesti suolapitoisuus on kummassakin sama, joten sitä ei koettu tarpeelliseksi. Testeissä käytettiin lähimpänä sijaitsevaa Itämerä, joka on murtovesiallas. Siitä johtuen puhdistusmenetelmät eivät ole suoraan sovellettavissa valtameriin.

Meriveden raakanäytteen sekä kahden eri puhdistusprosessin läpi kulkeeneen meriveden eri aineiden pitoisuudet tutkittiin Eurofins Environment Finland Oy:ssä, joka on akkreditoitu laboratorio Lahdessa. Siellä tutkittiin näistä kolmesta vesinäytteestä bakteerit; suolistoperäiset enterokokit ja

escherichia coli, sameus, väriluku, nitriitti, hapenkulutus ja rauta. Koulun laboratoriossa tutkimme vesistä pHn, sähkönjohtokyvyn sekä saliniteetin.

Oletimme banaaninkuorien poistavan jonkin verran rautaa. Kuorista olisi saattanut myös itsessään irrota joitain yhdisteitä, joita ei välttämättä saataisi eroteltua lopullisista tuloksista luotettavasti. Tislauksen seurauksena tiedettiin veden tulevan täysin suolattomaksi. Hiekkasuodatuksella oletimme tulevan todennäköisesti kirkkaampaa vettä, josta bakteerit olisivat lähes kadonneet aktiivihiihen käytön myötä. Tähän veteen jäisi kuitenkin suolaa, sillä sitä ei ollut tarkoitus tislata pois. Suolapitoisuus mitattiin molemmista vesistä eri vaiheissa ja vielä lopuksikin, joten oletimme myös, että sitä yllättävästi voi kadota hiekkasuodatuksessakin.

## 7.2 Aineisto ja menetelmät

Käytetty vesi haettiin Limnos-näytteenottimella Itämerestä, Norssalmen mattolaiturilta Kotkasta. Alkuperäinen näytteenottoaika olisi ollut viiressä sijaitseva silta, mutta näytteenottoon soveltumattomien sääolosuhteiden vuoksi oli siirryttävä suojaisampaan paikkaan. Tarkemmat näytteenottotiedot löytyvät kenttälomakkeesta, liite 2.

Vettä otettiin yhteensä 6,25 l, joista 1 x 1 l sekä 1 x 250 ml meni sellaiseenaan Eurofinssin laboratorioon tutkittavaksi ja loput viisi litraa kahteen valitsemaamme puhdistusmenetelmään. Vettä tarvittiin jokaiseen erään 250 ml bakteerianalyysiä ja noin 1 litra muita analyyseja varten. Vesi tutkittiin Eurofinssin laboratoriossa sekä ennen puhdistusta että puhdistusmenetelmien jälkeen. Rahoituksen saimme Lahden ammattikorkeakoululta. Tutkimustodistukset löytyvät liitteestä 3.

### **Välineistö ja valmistelut**

Testipäivän aikainen välineistö:

- kuivatut banaaninkuoret
- mortteli
- seuloja 0,5 mm



- dekanttereita
- ehrlenmeyereita
- litran muovipulloja
- ravistin
- suppilo
- suodatinpusseja
- tisluslaitteisto
- suodatinhiekkaa, raekoko n. 2 mm
- aktiivihiltä
- lasivillaa
- statiiveja
- pH-mittari
- johtokyky mittari

Testeissä käytetyt banaaninkuoret oli leikattu noin 1 cm<sup>2</sup> kokoisiksi paloiksi ja laitettu kuivumaan 105 °C:seen koulun laboratorion lämpökaappiin 3 vuorokaudeksi. Hiekka saatiin Kymen vedeltä ja aktiivihili kaupasta.

Kuivatut banaaninkuoret jauhettiin morttelilla seulakokoon 0,5 mm. Tarvitava määrä banaaninkuoria käytössä olevalle vedelle oli 4 grammaa. Tämä laskettiin puhdistuksen pohjana toimivasta artikkelista. Siinä mainittiin suhde 0,02 g jauhetta / 10 ml. Vettä oli käytössä 2 litraa. Laskenta on kaavassa 1.

$$\frac{2l}{0,01l} = 200 \rightarrow 200 \cdot 0,02g = 4g \quad (1)$$

Hiekkasuodatusta varten hiekka oli pesty hanavedellä ja poistettu siten huumus. Aktiivihiltä ei pesty, sillä pakkauksessa kerrottiin sen olevan puhdis-

tettu. Merivesi oli lähtötilanteessa hajutonta ja värittään kellertävää. Meriveden raakanäytteestä mitattiin alkutilanne ennen puhdistusten aloittamista (taulukko 4).

TAULUKKO 4. Puhdistamaton merivesi.

pH	Sähkönjohtokyky μS/cm	Saliniteetti	Sameus	Väriluku	Enterokokit	E. coli	Nitriitti	Rauta	CODMn
6,8	754	0,3	6,4	50	31	37	<7,0	300	8,3

Saliniteetin avulla laskettiin massaprosentti kaavalla 2.

$$m(\%) = \frac{S\left(\frac{g}{kg}\right) \cdot m_{vesi1}}{m_{vesi2} + \left(S\left(\frac{g}{kg}\right) \cdot m_{vesi1}\right)} \cdot 100\% \quad (2)$$

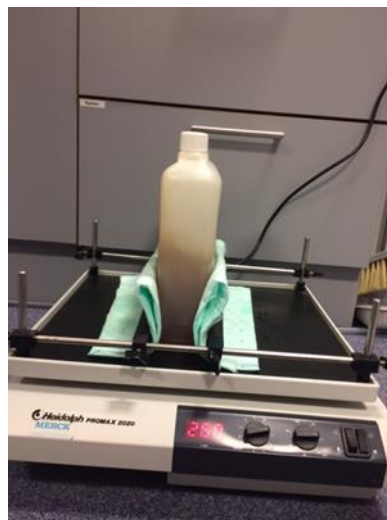
Tätä varten mitattiin kaksi litraa vettä, jonka massa oli 2,0325 kg. Kaavassa S on 0,3 g/kg,  $m_{vesi1}$  2,0325 kg ja  $m_{vesi2}$  on 2 032,5 g.

### Kuivatut banaaninkuoret ja tislaus

Kaksi litraa puhdistamatonta merivettä kaadettiin kolmeen korkilliseen litran muovipulloon, joihin lisättiin suppilolla banaaninkuorijauhetta (kuva 5) 4 grammaa. Pullot laitettiin ravistelukoneeseen tunniksi (kuva 6).



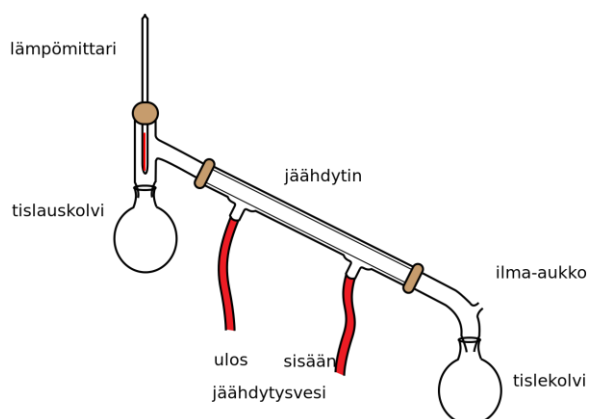
KUVA 5. Jauhettua banaanikuorta. (Annakaisa Juutilainen)



KUVA 6. Ravistelijä. (Annakaisa Juutilainen)

Ravistelun jälkeen vesi laskettiin suodatinpussin läpi, jotta banaanijauhe suotautuisi pois. Seuraavaksi suoritettiin välimittaukset, jonka jälkeen oli tislauksen vuoro. Ohessa kuva tisluslaitteistosta (kuva 7 & kuva 8).

tisluslaitteisto:



KUVA 7. Tislauslaitteisto (Wikipedia 2017)



KUVA 8. Käytetty tislauslaitteisto (Satu Kunnas)

Tislauskolviin kaadettiin 500 ml vettä. Kolvi oli vuorattu foliolla lämmön karkaamisen ehkäisemiseksi. Tislauksen jälkeen vesi toimitettiin laboratorioon analysoitavaksi.

### **Kuivatut banaaninkuoret osa 2**

Merivesinäyte haettiin samasta paikasta kuin edellisellä kerralla (taulukko 5).

TAULUKKO 5. Näytteenottotiedot 14.11.2017.

Ottoaika	14.11.2017 15:00
Lämpötila	
Ilma	3,5 °C
Vesi	4,1 °C
Tuuli	
Nopeus	4 m/s
Suunta	260 °C
Pilvisyys	8/8

Nyt emme suorittaneet alkumittauksia merivedelle, vaan lähdimme siitä oletuksesta liikkeelle, että se on pitoisuuksiltaan samaa luokkaa kuin aiempi näyte. Puhdistaminen toteutettiin 15.11.2017 koulun laboratoriossa. Ravistelun jälkeen vesi vietiin suoraan laboratorioon analysoitavaksi. Banaaninkuoripuhdistuksen osa 2. eroaa ensimmäisestä siten, että siitä analysoitiin vain rautapitoisuus. Itse puhdistaminen suoritettiin samalla tavalla kuin ensimmäisellä kerralla.

### **Hiekkasuodatus**

Käytössä oli 1,5 litran muovipullo, josta poistettiin pohja. Pullo puhdistettiin tislattulla vedellä. Alimmaiseksi pulloon tuli lasivillaa, siitä ylöspäin aktiivihiiltä noin 5 cm:n kerros ja päällimmäiseksi suodatushiekkää noin 8 cm:n kerros. Pullo kiinnitettiin puristimella statiiviin, jotta se saatiin pysymään kiinni (kuva 9).

KUVA 9. Hiekkasuodatin (Annakaisa Juutilainen)



Puhdistamatonta merivettä lisättiin kerrallaan vain sen verran, että pullo pysyi kiinni eikä tulvinut yli. Merivettä puhdistettiin kaksi litraa. Puhdistuksen jälkeen vesi toimitettiin laboratorioon analysoitavaksi.

### 7.3 Tulokset

#### **Banaaninkuorikäsitely ja tislauk**

Ravistimen jälkeen veden väri oli muuttunut oranssinkeltaiseksi ja siinä oli voimakas banaanimainen haju (kuva 10). Taulukossa 6. on tämän vaiheen tulokset.



naani2

5,7

1121

0,5

510

KUVA 10. Vesi ravistelun jälkeä (Annakaisa Juutilainen)

#### TAULUKKO 6. Tulokset ravistimen jälkeä.

Ravistimen jälkeä vedestä ei analysoitu laboratoriossa raudan lisäksi muita pitoisuuksia. Alkutilanteeseen verrattuna pH laski yhdellä yksiköllä, sähkönjohtokyky 1,5-kertaistui, saliniteetti kohosi ja rauta hypähti lähes kaksinkertaiseksi.

Ravistinkäsittelyn jälkeä vesi tislattiin. Vettä tislattiin yhteensä 850 ml ja siihen kului aikaa 3 h 41 min. Jäähdytykseen käytettävä vesimäärä oli 225 l/h, eli vettä kului yhteensä 828,8 litraa. Tislauksen jälkeä vedestä oli lähtenyt kaikki banaaninkuorikäsitteä aikana tullut väri ja se oli muuttunut täysin kirkaaksi. Lopputuloksena veden haju oli imelän makeahko ja se maistui hieman palaneelta. Tulokset ovat taulukossa 7.

## TAULUKKO 7. Tulokset tislauksen jälkeen.

	Banaani 1
pH	4,5
Johtokyky $\mu\text{S}/\text{cm}$	26,6
Saliniteetti g/kg	0
Sameus NTU	0,93
Väriluku mg Pt/l	<5
Enterokokit pmy/100 ml	0
E. coli mpn/100 ml	0
Nitriitti $\mu\text{g}/\text{l}$	<7,0
Rauta $\mu\text{g}/\text{l}$	<10
CODMn mg/l	8,4

Nyt pH oli selvästi pudonnut happaman puolelle ja lukema 4,5 on hengenvaarallinen juomavedessä. Muutkin lukemat tipahtivat lähelle nollaa, ainoastaan COD<sub>Mn</sub> oli lievästi kohonnut.

### Hiekkasuodatus

Aikaa suodatukseen meni 35,5 min/litra ja vettä suodatettiin kaksi litraa, joten yhteensä aikaa kului 71 min. Sähkönjohtokyky, saliniteetti ja nitriitti säilyivät ennallaan. Bakteerit vähenivät puoleen, pH kohosi kolme yksikköä ja rauta väheni viisinkertaisesti. Sameus ja väriluku pienuivat selvästi (taulukko 8) ja tämä näkyi konkreettisesti veden kirkkauden muutoksissa (kuva 11). Maku puhdistetussa vedessä oli hyvä.



## TAULUKKO 8. Hiekkasuodatintulokset.

	Hiekka
pH	9,7
Johtokyky $\mu\text{S}/\text{cm}$	728
Saliniteetti g/kg	0,3
Sameus NTU	2,1
Väriluku mg Pt/l	<5
Enterokokit pmy/100 ml	17
E. coli mpn/100 ml	18
Nitriitti $\mu\text{g}/\text{l}$	<7,0
Rauta $\mu\text{g}/\text{l}$	57
CODMn mg/l	<0,50



KUVA 11. Ennen ja jälkeen hiekkasuodatuksen (Annakaisa Juutilainen)

#### 7.4 Tulosten yhteenveto

Taulukossa 9 on nähtävillä sekä alkutilanteen että eri puhdistusmenetelmien tulokset. Tulosten yhteenvedon laatimisessa apuna on toiminut limnologi, FM Paula Jäntti Eurofins Environment Testing Finland Oy:stä. Hän

on ollut myös avuksi näytteenottoa sekä laboratorioanalyyskejä suunniteltaessa.

TAULUKKO 9. Merivesi = alkutilanne, Hiekka = hiekkasuodatuksen jälkeen, Banaani1 = tislauksen jälkeen ja Banaani2 = ravistimen jälkeen.

	Merivesi	Hiekka	Banaani1	Banaani2
pH	6,8	9,7	4,5	5,7
Johtokyky $\mu\text{S}/\text{cm}$	754	728	26,6	1121
Saliniteetti g/kg	0,3	0,3	0	0,5
Sameus NTU	6,4	2,1	0,93	-
Väriluku mg Pt/l	50	<5	<5	-
Enterokokit pmy/100 ml	31	17	0	-
E. coli mpn/100 ml	37	18	0	-
Nitriitti $\mu\text{g}/\text{l}$	<7,0	<7,0	<7,0	-
Rauta $\mu\text{g}/\text{l}$	300	57	<10	510
COD <sub>Mn</sub> mg/l	8,3	<0,50	8,4	-

Lähtötuloksissa meriveden pH ja sähkönjohtavuus olivat valmiiksi talousveden laatuvaatimusten mukaiset. Saliniteetti oli vähäinen, kokonaisuudessaan suolapitoisuutta oli sen mukaan vain 0,3 g/kg. Sameus ja väriluku ylittivät laatuvaatimukseen nähden reippaasti. Tämä näkyi myös kellertävänä värinä. Epäpuhtaudesta kertovia bakteereja löytyi jonkin verran. Nitriitti alitti jo valmiiksi määritysrajat. Rautapitoisuus ylitti talousveden laatusuosituksen 200  $\mu\text{g}/\text{l}$  ja samoin teki COD<sub>Mn</sub> 8,3 mg/l > 5,0 mg/l.

Banaaninkuorikäsitteilyn ja tislauksen jälkeen pH oli hyvin hapan, jopa 4,5. Hiekkasuodatus lisäsi veden emäksisen puolelle lähelle pH-arvoa 10. Sähkönjohtokyky säilyi hiekkasuodatuksessa ennallaan, kun taas tislauksen jälkeen se putosi 30-kertaisesti ja banaaninkuorikäsitteily vastaavasti 1,5-kertaisti sen. Tästä johtuen onkin ymmärrettävää, että hiekkasuodatuksessa saliniteetti säilyi myös ennallaan, tislauksessa se putosi nolnaan ja banaaninkuorikäsitteilyssä kohosi hieman. Sekä hiekkasuodatus että tislaukset kirkastivat veden, mutta vain tislaukset saivat veden sameuden alle laatuvaatimusten 1,0 NTU. Bakteerit hävisivät tislauksen myötä täysin, hiekkasuodatuksessa niiden määrä puolittui. Nitriitin pitoisuus säilyi kaikissa me-

netelmissä ennallaan. Hiekkasuodatus ja tislaukset poistivat rautaa kiitettävästi, hiekalla puhdistetusta vedestä hävisi rautaa viisinkertaisesti ja tislauksessa se meni alle määritysrajojen. Banaaninkuorikäsittely taas yllättäen lähes kaksinkertaisti raudan määrän. Hapenkulutus oli hiekkasuodatuksessa vähäinen, tislauksessa se säilyi ennallaan.

Meriveden tyypillinen suolapitoisuus on 3,5 massaprosenttia. Laskennassa saatu pitoisuus 0,03 m(%) eroaa tyypillisestä 3,47 massaprosenttiyksiköllä. Suolapitoisuuden matala pitoisuus johtuu todennäköisesti näytteenotto paikasta, joka ei ollut tähän tutkimukseen optimaalinen. Se oli ensinnäkin rannan tuntumasta otettu ja toisekseen liian matala. Parempi olisi ollut päästä jollekin yleiselle näytteenotto paikalle kauemmas merelle ja saada näyte otettua muutamien metrien syvyyksistä. Rannalla esiintyy ylimääräisiä epäpuhtauksia ja pinnan tuntumassa eritoten voi olla enemmän pienthiukkasia ja kesäisin myös levää. Nämä voivat vaikuttaa suurestikin lähtötilanteeseen. Sähkönjohtavuus ei ylittänyt missään vaiheessa juomaveden laatusuosituksia. Tislauksen jälkeinen pH 4,5 on vaarallisen hapan, eikä sellainen vesi sovellu juotavaksi. Banaaninkuorikäsittelyn aiheuttama rautapitoisuuden nousu ja hiekkasuodatinpuhdistuksen jälkeinen viisinkertainen raudan väheneminen osoittaa, että hiekkapuhdistus on näiden tulosten perusteella toimivampi menetelmä raudan poistossa. Banaaninkuorikäsittelyn jälkeinen tulos ei ole verrattavissa pohjana olleeseen tutkimusraporttiin, sillä laboratoriossa käytetyt menetelmät poikkesivat sen verran toisistaan. Banaaninkuorijauheen käsittelyssä ilmeni kuitenkin huomionarvoinen seikka, jauhettu banaaninkuori on hyvin tiivis materiaali. Se pakkautui voimakkaasti suppiloon, johon oli päässyt hieman vettä, eikä suppilosta sen jälkeen mennyt mikään läpi. Tätä ominaisuutta saattaisi voida hyödyntää esimerkiksi paikkausmateriaaleissa. Näiden puhdistusmenetelmien testaamisen perusteella voidaan kuitenkin todeta, ettei yksikään puhdistusmenetelmä riitä yksinään, vaan jokainen vaatii lisäkäsittelyä ennen kuin puhdistettu vesi täyttää puhtaan juomaveden laatuvaatimukset ja -suositukset.

## 7.5 Huomiot ja haasteet

Testipäivän haasteet alkoivat heti ensimmäisestä pH-mittarin kalibroinnista. Kalibrointi ei onnistunut, joten meidän oli pyydettävä opettajalta apua siihen. Lopulta vaihdoimme mittaria ja saimme työn jatkumaan. Käytössämme oleva kannettava tietokone oli myös todella hidas, joten se toi haasteita muistiinpanojen kirjoittamiseen. Lisää haastetta toi artikkeli, jonka pohjalta teimme banaaninkuoritestin, sillä sen verkkoversio ei ollut enää saatavilla. Onneksi opettajaltamme se löytyi tulostettuna versiona.

Banaaninkuoret olisi pitänyt saada jauhettua seulakokoon 35-45  $\mu\text{m}$ . Meillä oli kuitenkin käytössä jauhukseen vain mortteli, joten niin pientä jauhetta oli mahdoton saada. Päädyimme siis seulakokoon 0,5 mm. Ravisteluvaiheessa aluksi valitsemamme 2 litran dekanteri loiskutti vettä yli, joten meidän oli jaettava vesi, johon oli jo lisätty banaaninkuorijauhe, kolmeen erilliseen astiaan. Tämä aiheutti sen, että banaaninkuoret jakautuivat epätasaisesti pulloihin, ja siten luultavasti vaikutti tulokseen, koska banaaninkuoria meni pulloihin eri määrä. Myöskään pulloet eivät pysyneet kunnolla ravistelun aikana kiinni, joten jouduimme sammuttelemaan ravistelijaa melko monta kertaa. Täten myös ravisteluun tarvittava aika 1 h ei ollut enää täysin tarkka. Tislaus itsessään sujui hyvin ilman ongelmia, mutta se oli hitaampaa kuin olimme alun perin ajatelleet. Koska testipäivämme venyi iltaan asti, meidän oli tyydyttävä vähempään tislattuun vesimäärään, jotta ehdimme viedä näytteet vielä laboratorioon ennen sulke-misaikaa. Tarvittava vesimäärä olisi ollut 1250 ml, mutta ehdimme saada tislattua noin 850 ml. Tislaus kulutti myös valtavasti vettä vaatiessaan jatkuvasti juoksevan lauhdutusveden.

Päivän päätteeksi teimme myös yhden huomion. Olimme tehneet virheen, kun olimme tislanneet banaaninkuorijauheen käytön jälkeen keltaisen veden. Tislaus poistaa vedestä käytännössä kaiken, sillä se höyrystää likaveden ja tislekolviin siirtyy vain puhdas vesihöyry. Näin ollen emme voineet enää tietää, mitä banaaninkuoret oikeasti ovat poistaneet ja mitä ei. Tämän seurauksena päädyimme siihen, että suoritamme tuon puhdistusmenetelmän uudelleen.

## 8 YHTEENVETO

Tutkimme opinnäytetyössämme teoriassa ja käytännössä, kuinka merivedestä voi saada juomakelpoista. Teoriaosuudessa tutustuimme aiheeseen lukemalla erilaisia julkaisuja, joista sitten rajasimme alueet, joihin tässä työssä keskityttiin. Käsittelimme suolanpoiston ympäristövaikutuksia sekä tämän hetken tilannetta ja tulevaisuuden näkymiä. Otimme selvää erilaisista puhdistusmenetelmistä, yleisemmistä ja innovatiivisimmista, sekä laitteistoista, joita on käytössä Suomessa ja maailmalla. Selvitimme myös juomavedelle asetettuja laatuvaatimuksia ja -suosituksia, joita vertasimme puhdistetun meriveden arvoihin.

Käytännön osuudessa valitsimme kaksi erilaista menetelmää meriveden puhdistamiseksi. Valitsimme Hiekkasuodatuksen aktiivihiihen kanssa toiseksi puhdistusmenetelmäksi, sillä halusimme selvittää, kuinka eräolosuhteissa ja vedenpuhdistamoillakin toimiva tekniikka todellisuudessa poistaa epäpuhtauksia ja erityisesti bakteereja. Toisena menetelmänä käytimme kuivattuja ja jauhettuja banaaninkuoria. Veimme merivettä Eurofinsin laboratorioon tutkittavaksi puhdistamattomana raakavetenä, hiekkasuodatuksen jälkeen sekä banaaninkuorikäsittelyn ja tislauksen jälkeen. Alun perin tarkoituksena oli ottaa selvää banaaninkuorten kyvystä poistaa merivedestä rautaa. Idean saimme löytämästämme tutkimuksesta, jossa oli tutkittu banaaninkuorten kykyä poistaa raskasmetalleja jokivedestä. Kuitenkin työtä tehdessä alkuperäinen ajatus unohtui, ja päädyimme testipäivänä banaaninkuorikäsittelyn jälkeen tislaamaan veden ilman välitteitä. Myöhemmin pyysimme lisää rahoitusta banaaninkuorikäsittelyn jälkeen tehtävää rautapitoisuuden analysointia varten ja suoritimme käsittelyn uudelleen. Sitä, puhdistavatko banaaninkuoret kenties joitakin muitakin epäpuhtauksia, emme saaneet tietää, koska muita arvoja emme enää tutkituttaneet.

Hiekkasuodatuksessa ilmeni, etteivät bakteerit hävinneet niin hyvin kuin olimme odottaneet. Banaaninkuoret eivät myöskään poistaneet rautaa, vaan pikemminkin lisäsivät sitä. Tästä johtuen voidaan todeta, että hiekkasuodatus ei sovellu yksityisten ihmisten juomaveden puhdistuskäyttöön

eikä banaaninkuoria voida hyödyntää meriveden raudanpoistossa. Banaaninkuorikäsitteilyä tehdessä totesimme, että banaaninkuorijauhe on hyvin tiheää. Jauhetta voisi mahdollisesti jatkokehittää hyödynnettäväksi esimerkiksi paikkausmateriaalina.

Olisimme halunneet painottaa työssämme enemmän käytännönkokeiden osuutta. Aika oli kuitenkin rajallinen, eikä se ollut sen vuoksi mahdollista. Harmittava virhe oli banaaninkuorten tislauksen ja sitä seuraava työn lisääntyminen sekä hetkellinen motivaation puute. Teoriaosuuden tekeminen sujui hyvin ja materiaalia aiheeseen löytyi kattavasti. Ongelmia tuotti toisinaan englanninkielinen materiaali, jossa oli paljon entuudestaan tuntemattomia sanoja. Myös esimerkiksi Castron tutkimuksen aihepiiri oli melko tuntematon, joten sen sisäistämiseen meni enemmän aikaa. Castron tutkimuksen kääntämisessä tapahtui kuitenkin suurin oppimisprosessi. Kokonaisuudessaan työ oli mielenkiintoinen ja opettavainen. Meriveden puhdistamisessa juomakelpoiseksi riittää vielä työsarkaa ja tämän opinnäytetyön avulla siihen voi saada uusia ajatuksia, joita lähteä kehittämään eteenpäin.

## LÄHTEET

Aquatechnology 2017. Höyryn komprimointi, toimintaperiaate [Viitattu 5.11.2017]. Saatavissa:

<http://www.aquatechnology.net/vaporcompressiondistillers.html>

Aqva 2016. Mitä vedessäni on [Viitattu 27.11.2017]. Saatavissa:

[https://www.aqva.fi/Mit\\_vedess\\_ni\\_ono/ekauppa/g323](https://www.aqva.fi/Mit_vedess_ni_ono/ekauppa/g323)

Biolan 2017a. AquaThor 310 [Viitattu 2.10.2017]. Saatavissa:

<https://www.biolan.fi/tuotteet/veden-puhdistus/talousveden-puhdistus/aquathor-310.html>

Biolan 2017b. AquaThor 310 vedenpuhdistuslaite, käyttö- ja huolto-ohje [Viitattu 6.11.2017]. Saatavissa: [https://www.biolan.fi/media/ohjeet-ja-esitteet/aquathor-310\\_kaayttoohje\\_1\\_0\\_web.pdf](https://www.biolan.fi/media/ohjeet-ja-esitteet/aquathor-310_kaayttoohje_1_0_web.pdf)

Buros, O.K. 1990. The ABCs of desalting [Viitattu 16.10.2017]. Saatavissa:

<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:SY-RaNpo4huMJ:https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html%3Fid%D5875f4aa93553b907e126b7f%26asset-Key%3DAS%253A449268453515267%25401484125354489+&ck=1&hl=fi&ct=clnk&gl=fi>

Castro, Renata S.D.; Caetano, Laercio; Ferreira, Guilherme; Padilha, Pedro M.; Saeki, Margarida J.; Zara, Luiz F.; Martines, Marco Antonio U.; Castro, Gustavo R. 2011. Banana Peel Applied to the Solid Phase Extraction of Copper and Lead from River Water: Preconcentration of metal ions with a fruit waste. Brasilia : Industrial & Engineering Chemistry Research 2011 [Viitattu 25.9.2017]. Saatavissa: [https://www.researchgate.net/profile/Pedro\\_Padilha/publication/228478589\\_Banana\\_Peel\\_Applied\\_to\\_the\\_Solid\\_Phase\\_Extraction\\_of\\_Copper\\_and\\_Lead\\_from\\_River\\_Water\\_Preconcentration\\_of\\_Metal\\_Ions\\_with\\_a\\_Fruit\\_Waste/links/0046351d5ac4a09a48000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Pedro_Padilha/publication/228478589_Banana_Peel_Applied_to_the_Solid_Phase_Extraction_of_Copper_and_Lead_from_River_Water_Preconcentration_of_Metal_Ions_with_a_Fruit_Waste/links/0046351d5ac4a09a48000000.pdf)

Danoun, R. Desalination Plants: Potential impacts of brine discharge on 2007 [Viitattu 29.10.2017]. Saatavissa: <http://cdn.waleedzubari.com/envi%20impact%20of%20desalination/Desalination%20Plants.pdf>

Fumatech 2017. Elektrodialyysiin perustuva tekniikka, toimintaperiaate [Viitattu 5.11.2017]. Saatavissa: <http://www.fumatech.com/EN/Membrane-processes/Process%2Bdescription/Electrodialysis/index.html>

Hietanen, Jani. Environmental impacts of desalination technologies. Helsinki : Metropolian ammattikorkeakoulu 2016 [Viitattu 16.10.2017]. Saatavissa: [http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/112289/hietanen\\_jani.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/112289/hietanen_jani.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

How stuff works 2017. How Reverse Osmosis Works [Viitattu 6.11.2017]. Saatavissa: <https://science.howstuffworks.com/reverse-osmosis1.htm>

Juomavesi.fi 2017. Rozell 50 [Viitattu 2.10.2017]. Saatavissa: <http://www.juomavesi.fi/tuotteet/1-rozell-50/>

Juomavesi.fi 2017. Toimintaperiaate [Viitattu 2.10.2017]. Saatavissa: <http://www.juomavesi.fi/toimintaperiaate/>

Jäntti, Paula 2017. Limnologi, FM. Eurofins Environment Testing Finland Oy. Haastattelu 27.11.2017.

Kaasalainen, Joonas. 2017. Voimalaitoksen vedenkäsittelyn uudet menetelmät [Viitattu 16.10.2017]. Saatavissa: <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/30957/TMP.objres.718.pdf?sequence=>

Kiukas, Tuomas 2016. Juomavesi on uusi öljy – aaltoenergialla vettä jokaiselle? [Viitattu 21.11.2017]. Saatavissa: <https://yle.fi/aihe/artikkeli/2016/06/17/juomavesi-uusi-oljy-aaltoenergialla-vetta-jokaiselle>

Krishna, Hari J. Introduction to Desalination Technologies 2017 [Viitattu 16.10.2017]. Saatavissa: <https://texaswater.tamu.edu/readings/desal/intro-todesal.pdf>



Lenntech 2017. Iron in water (Fe + H<sub>2</sub>O) [Viitattu 2.10.2017]. Saatavissa: <https://www.lenntech.com/periodic/water/iron/iron-and-water.htm>

Mr.LVI 2017. RO-Prowat400BCV-HR [Viitattu 2.10.2017]. Saatavissa: <https://www.vesikauppa.com/index.php/merivedestae-juomavettae/ro-prowat-400bcv-hr>

parcolnews 2016. Desalination plants worldwide: the numbers [Viitattu 16.10.2017]. Saatavissa: <http://www.parcolnews.com/2016/04/desalination-plants-worldwide-the-numbers/>

Phillip, William ja Elimelech, Menachem 2011. The Future of Seawater desalination: Energy, technology and the environment [Viitattu 16.10.2017]. Saatavissa: <https://albertsk.fi-les.wordpress.com/2012/08/science-2011-elimelech-712-71.pdf>

Puretec 2017. Käänteisosmoosi, toimintaperiaate [Viitattu 5.11.2017]. Saatavissa: <http://puretecwater.com/images/reverse-osmosis-diagram.gif>

Ranne, Aulis 2000. Multi supply plant, sähkö ja vesi. VTT tiedotteita [Viitattu 16.10.2017]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2060.pdf>

Salton Sea Sense 2017. Monivaihdelauhdutustislous, toimintaperiaate [Viitattu 5.11.2017]. Saatavissa: <https://saltonseasense.com/2015/10/09/desalting-the-sea/>

Sandvik Coromant 2016. Grafeeni voi olla ratkaisu vesipulaan [Viitattu 13.11.2017]. Saatavissa: [https://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/mww/pages/inn\\_nadia.aspx](https://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/mww/pages/inn_nadia.aspx)

SciDev.Net 2011. Banana peel can purify water, say scientists [Viitattu 25.7.2017]. Saatavissa: <http://www.scidev.net/global/pollution/news/banana-peel-can-purify-water-say-scientists.html>

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista 1352/2015, 4 §. 2015. Finlex [Viitattu 16.10.2017]  
Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20151352>

Suomen Kuvalehti 2013. Grafeenilla saadaan suola pois merivedestä [Viitattu 6.11.2017]. Saatavissa:  
<https://suomenkuvalehti.fi/jutut/ulkomaat/grafeenilla-saadaan-suola-pois-merivedesta/>

Suomen YK-liitto 2014. Vesi [Viitattu 18.9.2017]. Saatavissa:  
<http://www.ykliitto.fi/yk70v/ekologinen/vesi>

Suomen Ympäristökeskus 2017. Herttatietopalvelu [Viitattu 16.10.2017].  
Saatavissa: [http://www.syke.fi/fi-FI/Avoin\\_tieto/Ymparistotietojarjestelmat](http://www.syke.fi/fi-FI/Avoin_tieto/Ymparistotietojarjestelmat)

Sydney Desalination Plant 2017. Caring for the environment; 100 percent renewable energy [Viitattu 13.11.2017]. Saatavissa:  
<http://www.sydneydesal.com.au/caring-for-the-environment/100-renewable/>

Sydney Desalination Plant 2017. Caring the environment; Marine environment [Viitattu 13.11.2017]. Saatavissa:  
<http://www.sydneydesal.com.au/caring-for-the-environment/marine-environment/>

Sydney Desalination Plant 2017. Infrastructure [Viitattu 13.11.2017]. Saatavissa: <http://www.sydneydesal.com.au/how-we-do-it/infrastructure/>

Sydney Desalination Plant 2017. Process Overview [Viitattu 13.11.2017]. Saatavissa: <http://www.sydneydesal.com.au/how-we-do-it/process/process-overview/>

Sydney desalination Plant 2005. Summary of the environmental assessment [Viitattu: 29.10.2017]. Saatavissa: <http://www.sydneydesal.com.au/media/1146/2005-environmental-assessment.pdf>

Terveyden ja hyvinvoinninlaitos 2017. Raudan enimmäispitoisuudet ja poisto talousvedestä [Viitattu 27.11.2017]. Saatavissa:

<https://www.thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/vesi/talousvesi/kaivovesi/kaivo-veden-kemialliset-epapuhautudet/rauta/raudan-enimmaispuitoisuudet-ja-poisto-talousvedesta>

Terveydensuojelulaki 763/1994, 16 § 1994. Finlex [Viitattu 6.11.2017].

Saatavissa:

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1994/19940763?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=763%2F1994%20talousvesi#Pidp450930112>

Vedensuodatin.fi 2017. Merivedestä juomavettä vapaa-ajan asunnolle [Viitattu 2.10.2017]. Saatavissa: <http://www.vedensuodatin.fi/>

Virtanen, Heidi 2011. Järviveden puhdistaminen juomavedeksi. Helsinki : Metropolian ammattikorkeakoulu [Viitattu 16.10.2017]. Saatavissa:

<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/30285/lopputy-oPDF.pdf?sequence=1>

Voutchkov, Nikolay 2016. International Water Association [Viitattu

3.11.2017]. Saatavissa: <http://www.iwa-network.org/desalination-past-present-future/>

Water Industry Network 2017. Monivaihderyrystymiseen perustuva tislauksen toimintaperiaate [Viitattu 5.11.2017]. Saatavissa:

<http://www.roplant.org/contents.asp?Depth1=6&Depth2=1>

Water Technology 2014. Ras Al Khair Desalination Plant, Saudi Arabia

[Viitattu 16.10.2017]. Saatavissa: <http://www.water-technology.net/projects/-ras-al-khair-desalination-plant/>

Water Technology 2017. Sorek desalination plant, Israel [Viitattu

16.10.2017]. Saatavissa: <http://www.water-technology.net/projects/sorek-desalination-plant/>

Waterworld 2016. Desalination and water reuse markets continue to recover [Viitattu 21.11.2017]. Saatavissa: <http://www.waterworld.com/articles/wwi/2016/11/desalination-and-water-reuse-markets-continue-to-recover.html>

Wikipedia 2017. Wikipedia [Viitattu 16.10.2017]. Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Tislaus>

Ylänen, Markus 2012. Wave Powered Desalination by Reverse Osmosis - A Feasibility Study [Viitattu 5.11.2017]. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201212083435>

Ympäristö 2017. Raudan ja mangaanin poisto kaivovedestä [Viitattu 27.11.2017]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/no-name/%7B83DB2466-D193-49DE-B23B-482324E09630%7D/57155>

## LIITTEET

LIITE 1. Talousveden laatuvaatimukset ja -suositukset

LIITE 2. Kenttälomake

LIITE 3. Tutkimustodistukset

## LIITE 1. Talousveden laatuvaatimukset ja -suositukset

## TALOUSVEDEN LAATUVAATIMUKSET JA –SUOSITUKSET

## LIITE I

Taulukko 1. Mikrobiologiset laatuvaatimukset (enimmäistiheys)

		Huomautus
<i>Escherichia coli</i>	0 pmy/100 ml	(1)
Suolistoperäiset enterokokit	0 pmy/100 ml	

Taulukko 2. Kemialliset laatuvaatimukset (enimmäispitoisuus)

		Huomautus
Akryyliamidi	0,10 µg/l	(2)
Antimoni	5,0 "	
Arseeni	10 "	(4)
Bentseeni	1,0 "	
Bentso(a)pyreeni	0,010 "	
Boori	1,0 mg/l	
Bromaatti	10 µg/l	(3)
Kadmium	5,0 "	
Kromi	50 "	
Kupari	2,0 mg/l	
Syanidit	50 µg/l	
1,2-dikloorietaani	3,0 "	
Epikloorihydrini	0,10 "	(2)
Fluoridi	1,5 mg/l	(4)
Lyijy	10 µg/l	
Elohopea	1,0 "	
Nikkeli	20 "	
Nitraatti (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	50 mg/l	(5)
Nitraattityppi (NO <sub>3</sub> -N)	11,0 " "	
Nitriitti (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0,5 "	(5)
Nitriittityppi (NO <sub>2</sub> -N)	0,15 "	
Torjunta-aineet	0,10 µg/l	(6 ja 7)
- " - yhteensä	0,50 "	(6)
Polysykliset aromaattiset hiilivedyt	0,10 "	(8)
Seleeni	10 "	
Tetrakloorieteeni ja trikloorieteeni yhteensä	10 "	

## Huomautukset:

- 1) *Escherichia colin* tunnistus standardimenetelmässä kuvatussa laajuudessa
- 2) pitoisuus lasketaan käytetystä polymeeristä tuoteselosteen mukaan enimmillään irtoavasta tai liukenevasta määrästä; vedessä todetun aineen raja-arvona sovelletaan havaitsemisrajaa
- 3) desinfiointitehoa vaarantamatta on pyrittävä mahdollisuuksien mukaan tätä alempaan pitoisuuteen
- 4) talousvedelle, jota ei juoda tai joka ei päädy suoraan elintarvikkeeseen tai joka ei suoraan joudu kosketuksiin elintarvikkeiden kanssa elintarvikkeiden valmistuksen, jalostuksen, säilytyksen ja markkinoille saattamisen yhteydessä arseenin laatuvaatimus on **alle 20 µg/l** ja fluoridin **alle 5,0 mg/l**
- 5) nitriitin enimmäispitoisuus vesilaitokselta lähtevässä vedessä on 0,10 mg/l; nitraattipitoisuus/50 + nitriittipitoisuus/3 ei saa ylittää arvoa 1
- 6) tarkoitetut yhdisteet orgaanisia hyönteis-, rikkaruoho-, sieni-, ankerois-, punkki-, levä- ja jyrsiämyrkkijä, orgaanisia limantorjunta-aineita sekä muita vastaavia tuotteita sekä yhdisteiden metabolia-, hajoamis- ja reaktiotuotteita
- 7) aldrinin, dieldriinin, heptakloorin ja heptaklooriepoksidin raja-arvo on 0,030 µg/l
- 8) tarkoitetut yhdisteet bentso(b)fluoranteeni, bentso(k)fluoranteeni, bentso(ghi)peryleeni, indaani-(1,2,3-cd)-pyreeni
- 9) tarkoitetut yhdisteet kloroformi, bromoformi, dibromikloorimetaani, bromidikloorimetaani
- 10) tarkoitetut yhdisteet tri- tetra- ja pentakloorifenoli

---

**Taulukko 3. Laatusuosituks**


---

Huomautus	<i>Enimmäispitoisuus</i>	
Alumiini	200 µg/l	
Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	0,50 mg/l	
Ammoniumtyppi (NH <sub>4</sub> -N)	0,40 "	
Kloridi	100 "	(1,2)
Mangaani	50 µg/l	(3)
Rauta	200 "	(3)
Sulfaatti	250 mg/l	(1,4)
KmnO <sub>4</sub> -luku	20 mg/l	
COD <sub>Mn</sub> , O <sub>2</sub>	5 mg/l	
Koliformiset bakteerit	0 pmy/100 ml	(5)
Radon	300 becquerel/l	(6)
	<i>Tavoitetaso</i>	
pH	6,5 - 9,5	(1)
Sähkönjohtavuus	alle 2 500 µS/cm	(1)
Sameus	1,0 NTU	
Väriluku	5	
Haju ja maku	ei selvää vierasta hajua tai makua	

---

**Huomautukset:**

- 1) vesi ei saa olla syövyttävää
- 2) vesijohtomateriaalien syöpymisen ehkäisemiseksi kloridipitoisuuden tulisi olla **alle 25 mg/l**
- 3) 1 §:n 3 kohdan talousvedelle raudan enimmäispitoisuus on **alle 400 µg/l** ja mangaanin enimmäispitoisuus **alle 100 µg/l**
- 4) vesijohtomateriaalien syöpymisen ehkäisemiseksi sulfaattipitoisuuden tulisi olla **alle 150 mg/l**
- 5) 1 §:n 3 kohdan talousvedelle koliformisten bakteerien enimmäispitoisuus on **alle 100 pmy/100 ml**
- 6) 1 §:n 3 kohdan talousvedelle radonin enimmäispitoisuus on **alle 1000 becquerel/l**



## Liite 2. Kenttälomake

### **Kenttälomake**

Paikan nimi: Norssalmen sillan kupeessa oleva mattolaituri, Kotka

Kokonaissyvyys: 1,80 m

Ottopäivä ja klo: 8.10.2017 16:00

Näytteen ottaja: Satu Kunnas

Näkösyvyys: 1,20 m

Ottopaikka: 1,0 m

Ilman lämpötila: 10 °C

Pilvisyys: 8/8

Tuulen nopeus: 6 m/s

Tuulen suunta: 125°

Veden lämpötila: 11 °C

Ulkonäkö: K

Haju: H

Huomioita: Runsasta sadetta

## Liite 3. Tutkimustodistukset

Eurofins  
Tutkimustodistus  
Projekti: 170294/1

Pvm: 20.10.2017  
1/1



Lahden ammattikorkeakoulu, Tekniikan ala

Niemenkatu 73  
15140 LAHTI

Tutkimuksen nimi:	Lahden ammattikorkeakoulu, merivesinäyte	Näytteenottopvm:	8.10.2017
Asiakkaan viite:	Tekniikan ala / Tapani Helkiliä	Näyte saapui:	9.10.2017
Näytteenottaja:	Satu Kunnas	Analysointi aloitettu:	9.10.2017

#### Vesitutkimus

	Merivesi	Hiekka	Banaani	Yksikkö	Menetelmä	
Näytteenottopisteet	17SL	17SL	17SL			
Näytenumero	06825	06830	06831			
<b>MÄÄRITYKSET</b>						
Suolistoperäiset enterokokit	31	17	0	pmy/100ml	ISO 7899-2 <sup>1</sup>	L
Escherichia coli	37	18	0	mpn/100 ml	ISO 9308-2 <sup>1</sup>	L
Sameus	6,4	2,1	0,93	NTU	EF2024 <sup>1</sup>	L
Väriluku	50	<5	<5	mg Pt/l	EF2014 <sup>1</sup>	L
CODMn	8,3	<0,50	8,4	mg/l	EF2012 <sup>1</sup>	L
Nitriitti (NO <sub>2</sub> )	<7,0	<7,0	<7,0	µg/l	EF2035 <sup>1</sup>	L
Rauta (Fe)	300	57	<10	µg/l	EF3000 <sup>1</sup>	L

<sup>1</sup> FINAS -akkreditoitu menetelmä. Mittausepävarmuus ilmoitetaan tarvittaessa. Akkreditointi ei koske lausuntoa.

#### Eurofins Environment Testing Finland Oy

Sami Tyrväinen  
FM, kemisti, +358 50 434 4092

**Laboratoriot** L Analysoitu Lahdessa

**Jakelu** satu.kunnas@student.lamk.fi; annakaisajuutilainen@gmail.com

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä.

Eurofins Environment Testing Finland Oy  
Niemenkatu 73, 15140 Lahti  
Kiltterinkuja 2, 01600 Vantaa

Y-tunnus 2752292-5

www.eurofins.fi  
Kotipaikka Lahti



Eurofins  
Tutkimustodistus  
Projekti: 170294/2

Pvm: 16.11.2017  
1/1



Lahden ammattikorkeakoulu, Tekniikan ala

Niemenkatu 73  
15140 LAHTI

Tutkimuksen nimi:	Lahden ammattikorkeakoulu, merivesinäyte	Näytteenottopvm:	14.11.2017
Näytteenottopiste:	Merivesi	Näyte saapui:	15.11.2017
Näytteenottaja:	Satu Kunnas	Analysointi aloitettu:	15.11.2017

#### Vesitutkimus

Määritys	17SL08261	Yksikkö	Menetelmä	
Rauta (Fe)	510	µg/l	EF3000 <sup>1</sup>	L

<sup>1</sup> FINAS -akkreditoitu menetelmä. Mittausepävarmuus ilmoitetaan tarvittaessa. Akkreditointi ei koske lausuntoa.

#### Eurofins Environment Testing Finland Oy

Sami Tyrväinen  
FM, kemisti, +358 50 434 4092

**Laboratoriot** L Analysoitu Lahdessa

**Jakelu** satu.kunnas@student.lamk.fi; annakaisajuutilainen@gmail.com

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä

Eurofins Environment Testing Finland Oy  
Niemenkatu 73, 15140 Lahti  
Kiltterinkuja 2, 01600 Vantaa Y-tunnus 2752292-5

www.eurofins.fi  
Kotipaikka Lahti

