



Saana Kaarakainen

## Veden kierrätysmahdollisuuksien arviointi IFF:n tehtaalla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

1.12.2021

## Tiivistelmä

Tekijä: Saana Kaarakainen  
Otsikko: Veden kierrätysmahdollisuuksien arviointi IFF:n tehtaalla  
Sivumäärä: 36 sivua  
Aika: 1.12.2021

Tutkinto: Insinööri (AMK)  
Tutkinto-ohjelma: Bio- ja kemiantekniikka  
Ammatillinen pääaine: Bio- ja elintarviketekniikka  
Ohjaajat: Jälkikäsitteilytiimin vetäjä Filip Lundqvist  
Lehtori Timo Seuranen

---

Insinööriyön aiheena oli veden kierrätysmahdollisuuksien arviointi IFF:n Hangon tehtaalla. Tehtaalla prosessiveden käyttömäärä ja jäteveden hydraulinen kuorma luovat ajoittain pullonkauloja tuotantoon ja tulevat aiheuttamaan haasteita tehtaan laajenemiselle tulevaisuudessa. Investointien avulla molempia kohteita olisi mahdollista laajentaa, mutta ensin haluttiin selvittää, voisiko kyseisiä investointeja välttää tai viivästyttää kierrättämällä jotakin jätevesifraktiota uudelleen käyttöön. Työn tavoitteena oli kartoittaa mahdollisesti hyödynnettävissä olevat jätevesivirrat ja käyttökohteet, priorisoida toteutusideat ja suunnitella parhaan kohteen toteutus.

Työssä lähdettiin liikkeelle koostamalla kirjallisuuskatsaus veden kierrätyksen periaatteista ja käytössä olevista menetelmistä. Saman aikaisesti tehtaan henkilökunnalta kerättiin ideoita veden kierrätykseen liittyen haastatteluiden ja sähköpostitse lähetetyn kyselyn avulla. Vastauksien perusteella saatiin listattua kohteita, jotka voisivat soveltua jäteveden lähteiksi ja käyttökohteiksi. Tämän jälkeen kunkin kohteen vedenkulutus laskettiin tehtaan tiedonkeruu- ja toiminnanohjausjärjestelmien avulla. Tiedossa olevan vedenkulutuksen perusteella saatiin priorisoitua ideoita. Toteutusideoiden rajausta jatkettiin tarkastelemalla kunkin vaihtoehdon kierrätettävissä olevan veden määrää ja toteutuksen vaikeutta. Jäljelle jääneet ideat esitettiin perusteluneen tehtaan johtoryhmälle, minkä jälkeen mahdolliset toteutusideat rajattiin kahteen parhaimpaan: granulaattituotannon alkuhuuhdesäiliön veden hyödyntämiseen granulaattituotannon poistokaasunpesureilla ja entsyymituotannon alkuhuuhdesäiliön veden hyödyntämiseen entsyymituotannon poistokaasunpesurilla.

Simuloinnin avulla tarkasteltiin, miten säiliöiden vedenkulutus muuttuisi eri tilanteissa, jos vettä käytettäisiin pesujen alkuhuuhdeiden lisäksi poistokaasunpesureilla. Simuloinnin perusteella sekä entsyymituotannon että granulaattituotannon alkuhuuhdesäiliöiden vettä olisi mahdollista hyödyntää kaasunpesureilla. Granulaattituotannossa kannattavinta olisi kierrättää vettä uudelleenkäyttöön uusimmille, vain puhdasta vettä käyttäville kaasunpesureille. Yhtä täsmällistä arviointia ei voitu tehdä entsyymituotannon puolelle, sillä tulevan kaasunpesurin tarkkaa vedenkulutusta ei vielä tiedetä. Tulosten perusteella työtä voitaisiin jatkaa automatisoimalla alkuhuuhdesäiliöiden veden lisäys ja sen perusteella arvioida, toimisiko ideat käytännössä. Yritykselle tehtiin myös projektiehdotukset molemmista ideoista.

Avainsanat: jätevesi, veden kierrätys, jäteveden uudelleenkäyttö

## Abstract

Author: Saana Kaarakainen  
Title: Assessment of Water Recycling Options in IFF's Plant  
Number of Pages: 36 pages  
Date: 1 December 2021

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Biotechnology and Chemical Engineering  
Professional Major: Biotechnology and Food Engineering  
Supervisors: Filip Lundqvist, Recovery Knowledge Team Leader  
Timo Seuranen, Lecturer

---

The subject of the thesis was assessment of water recycling options in IFF's Hanko plant. There was a need for this project because the usage of process water and hydraulic load of wastewater sometimes creates bottlenecks in operations and causes challenges for plant expansions. The production of process water and wastewater treatment could be expanded with investments but first it was necessary to investigate if those investments could be avoided or delayed by recycling water. The aim of the project was to survey available wastewater fractions and water recycling applications, prioritize implementation ideas and plan the implementation of the best application.

First a literature review regarding principles and applications of water recycling was conducted. Simultaneously ideas about water recycling were gathered by interviewing the experts at the plant and sending an email survey to all staff. Based on the responses, potential wastewater sources and applications were listed. Using the plant's data collection system and enterprise resource planning system, the water consumption of every unit was calculated. After that, it was possible to prioritize ideas by their water consumption. Delimiting of the options was continued by viewing the amount of recyclable water and the difficulty of implementation of different ideas. The remaining ideas were presented to the plant's management team and then the ideas were limited to two. The best ideas were as follows: using water from granulate production's pre-rinse tank for granulate production's scrubbers and using water from enzyme production's pre-rinse tank for enzyme production's scrubber.

The simulation was used to examine how the water consumption of the tanks would change in different situations if the water would be used in the scrubbers in addition to the CIP's pre-rinsing. On the basis of the simulation, it would be possible to use the water from enzyme production's and granulate production's pre-rinse tanks in scrubbers. In granulate production it would be the most profitable to use water in the latest scrubbers. Similar assessment could not be made in the enzyme production because the new scrubber's water consumption is not known yet. On the basis of the results, the project could be continued by automating the addition of water to the pre-rinse tanks and then assessing whether the practical implementation would work. Lastly, project proposals were made for the company.

Keywords: wastewater, water recycling, wastewater reuse

# Sisällys

## Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
2	IFF, Genencor International Oy	2
2.1	Tuotantoprosessi	2
2.1.1	Entsyymituotanto	3
2.1.2	Granulaattituotanto	4
2.2	Vedenkäyttö ja jäteveden muodostuminen tuotantoprosessissa	4
3	Veden kierrätys	5
3.1	Veden kierrätysratkaisut maailmalla	6
3.2	Veden kierrätysratkaisut Suomessa	9
3.3	Jäteveden kierrätyksen haasteet	12
4	Työn toteutus	14
5	Veden kierrätysmahdollisuudet tehtaalla	15
5.1	Potentiaaliset jäteveden lähteet	15
5.2	Potentiaaliset jäteveden käyttökohteet	18
6	Veden laatuvaatimukset	21
6.1	Lainsäädäntö	22
6.2	IFF:n tehtaalla laatujärjestelmä	23
6.3	Jäteveden potentiaalisten käyttökohteiden laatuvaatimukset	23
7	Mahdolliset toteutusideat	25
8	Toteutusideoiden priorisointi	28
9	Tulokset	30
10	Yhteenveto	31
	Lähteet	33

## Lyhenteet ja käsitteet

CIP: *Clean-in-place*. Automatisoiduilla kiertopesuilla puhdistetaan suljettuja prosessilaitteita. Kiertopesun teho perustuu kemikaalien käyttöön, mekaaniseen vaikutukseen, vaikutusaikaan ja lämpötilaan.

IFF: *International Flavors & Fragrances, Inc.* IFF on yhdysvaltalainen, maailmanlaajuisesti toimiva yritys elintarvikkeiden, juomien, tuoksujen, terveyden ja biotieteiden alalla. Hangon Genencor International Oy -tehdas kuuluu IFF:n konserniin.

Kalvosuodatus:

Kalvosuodatukseen kuuluu erilaisia erotusmenetelmiä, joissa puoliläpäisevä kalvo pidättää ja päästää läpi laitteeseen syötetyn seoksen ainesosia.

MF: *Microfiltration*. Mikro-suodatus on kalvosuodatustekniikka, jossa kalvon huokoskoko on 0,05–10 µm, eli kalvo pidättää tätä kokoa suuremmat partikkelit, kuten esim. solut.

NF: *Nanofiltration*. Nanosuodatus on kalvosuodatustekniikka, joka kalvon huokoskoosta riippuen päästää läpi korkeintaan 100–300 Daltonin kokoiset partikkelit. Pidättää mm. sokerit, itiöt ja aminohapot.

Permeaatti: Kalvosuodatuksessa kalvon läpäissyt virta.

Retentaatti: Kalvosuodatuksessa pidättynyt virta.

RO-laite: Käänteisosmoosilaitte. Käänteisosmoosi on kalvosuodatustekniikka, jossa vesi kulkee paineen avulla puoliläpäisevän kalvon läpi. Kalvon toiselle puolelle pääsevät kokonsa takia vain vesimolekyylit ja toiselle puolelle pidättyvät vedessä olevat epäpuhtaudet ja suolat.

UF: *Ultrafiltration.* Ultrasuodatus on kalvosuodatustekniikka, joka kalvon huokoskoosta riippuen päästää läpi korkeintaan 1–100 kiloDaltonin kokoiset partikkelit. Pidättää mm. proteiinit ja polysakkaridit.

## 1 Johdanto

Insinööri työ tehtiin IFF (International Flavors & Fragrances, Inc), Genencor International Oy:lle, joka on biotekniikan alalla kansainvälisesti toimiva yritys ja valmistaa entsyymejä teollisuuden käyttöön fermentointiprosessilla. Fermentointi tarkoittaa organismien kasvatusta erityisissä bioreaktoreissa ja entsyymit ovat proteiineja, jotka toimivat biologisina katalyytteinä eli ne nopeuttavat kemiallisia reaktioita. Entsyymit toimivat ainoastaan tiettyjen yhdisteiden kanssa ja siten katalysoivat vain tiettyjä reaktioita. Hangossa teollisuusentsyymejä tuotetaan pääasiassa pesuaine- ja rehuteollisuuden käyttöön, ja lopputuotteet ovat joko liuosmuodossa tai kuivina granuleina. Teollisuudessa valmistetut rehent- syymit edistävät eläinrehujen ravintoaineiden imeytymistä pilkkomalla aineet helpommin hyödynnettävissä olevaan muotoon ja lisäävät siten rehujen hyöty- suhdetta sekä vähentävät ympäristökuormitusta. Pesuaine-entsyymit poistavat tehokkaasti tahroja (esim. valkuaisaine- ja rasvatahrat) mahdollistaen alhaisem- mat pesulämpötilat ja lyhyemmät pesuajat. Lisäksi pyykinpesuaineissa käytettä- vät pesuaine-entsyymit kirkastavat värejä ja pehmentävät tekstiilejä. [1.]

Insinööri työ aiheena oli arvioida veden kierrätysmahdollisuuksia IFF:n tehtaalla Hangossa. Työn tarve lähti siitä, että hetkittäin sekä prosessiveden käyttömäärä että jäteveden hydraulinen kuorma ovat pullonkauloja tehtaalla ja tulevat siksi aiheuttamaan haasteita tehtaan laajenemiselle lähitulevaisuudessa. Investoin- neilla molempia kohteita voitaisiin tarvittaessa laajentaa, mutta ensin haluttiin selvittää, olisiko mahdollista välttää tai viivästyttää kyseisten investointien sisäl- lyttämistä mahdollisiin laajennusprojekteihin kierrättämällä jotakin jätevesifrak- tiota uudelleen käyttöön. Jätevedeksi luokitellaan kaikki prosesseissa käytetyt vedet ja tehtaan alueella syntyvät hulevedet. Tällä hetkellä tehtaalla käytettävä prosessivesi tuotetaan pääosin merivedestä käänteisosmoosilaitteen (RO-laite) avulla ja desinfioimalla se vielä UV-reaktorilla. Lisäksi vettä ostetaan Hangon kaupungilta. Työn tavoitteina oli kartoittaa ja priorisoida mahdollisesti hyödyn- nettävissä olevat jätevesivirrat ja käyttökohteet. Tavoitteena oli myös suunnitella parhaan kohteen toteutus.

## 2 IFF, Genencor International Oy

Genencor International Oy:n tehdas on vuodelta 1972, jolloin Fermion rakennutti Hankoon penisilliinitehtaan. Vuonna 1977 Suomen Sokeri osti kyseisen tehtaan ja alkoi tuottamaan glukonihappoa ja natriumglukonaattia, kunnes vuonna 1982 alkoi entsyymien tuotanto. Genencor International Oy perustettiin vuonna 1990 ja Hangon toimipisteestä tuli yksi sen tuotantolaitoksista. Siitä lähtien tuotantokapasiteettia on lisätty jatkuvasti investointiohjelmien avulla. [2.] Aiemmin Genencor on toiminut sekä Daniscon että DuPont-konsernin alla ja kuuluu tällä hetkellä IFF:n konserniin. IFF on yhdysvaltalainen yhtiö, joka toimii maailmanlaajuisesti elintarvikkeiden, juomien, tuoksujen, terveyden ja biotieteiden alalla. IFF:n tarkoituksena on hyödyntää tiedettä ja luovuutta paremman maailman puolesta ja yhtiön visiona on olla kumppani tärkeiden ratkaisujen löytämisessä [3]. Genencor International Oy on entsyymitehdas, joka tuottaa teollisuusentsyymejä pääasiassa pesuaine- ja rehuteollisuuteen. Tehtaalla valmistettavat teollisuusentsyymituotteet ovat joko liuoslopputuotteita tai granuloituja, kuivia entsyymilopputuotteita.

### 2.1 Tuotantoprosessi

Teollisuusentsyymejä valmistetaan fermentoimalla mikrobisoluja tehdasympäristössä. Fermentoinnissa mikrobeja kasvatetaan niin, että ne alkavat muodostaa aineenvaihduntatuotteitaan eli entsyymejä ja riittävän solukasvun aikaansaamiseksi mikrobeja pyritään fermentoimaan kullekin kannalle optimaalisimmissa olosuhteissa. Hangon tehtaalla tuotantoprosessi tapahtuu kahdella eri osastolla: entsyymituotannossa ja granulaattituotannossa. Entsyymituotannossa tuotetaan entsyymejä fermentoimalla mikrobeja ja lopuksi fermentti käsitellään siten, että se on valmis granuloitavaksi. Granulointi tarkoittaa tuotteen rakeistusta. Granulaattituotannossa entsyymikonsentraatista valmistetaan siis granulaatteja leijupetikuivureissa ja pakataan lopputuotteet toimitettavaksi asiakkaille.



### 2.1.1 Entsyymituotanto

Entsyymituotantoprosessi alkaa laboratoriossa tapahtuvasta herätyskasvatuksesta, joka yleensä siirretään välifermenttoriin kasvamaan ennen varsinaista tuotantofermentointia. Kasvualustat valmistetaan panosprosesseina sekä välifermenttoreihin että tuotantofermenttoreihin, ja alusta koostetaan tyypillisesti erilaisista hiili- ja typpilähteistä, suoloista, vaahdonestoaineesta ja vedestä. Ennen kuin mikrobi siirretään fermenttoriin kasvamaan, kasvualusta steriloidaan kuumentamalla. Alustaa sekoitetaan ja ilmastetaan koko fermentoinnin ajan. Tuotannon kannalta oleellisia parametreja mitataan jatkuvatoimisesti ja niitä on mahdollista säätää prosessin aikana. [4.]

Fermentoinnin valmistuttua liuos siirretään harvestointisäiliöihin, joissa fermenttiä jäädytetään ja stabiloidaan solunerotusta varten. Tarvittaessa mikrobisolut voidaan hajottaa myös harvestointivaiheessa. Entsyymi saadaan erotettua solumassasta ja muista kiintoaineista suodattamalla fermentti erilaisilla suodatusmenetelmillä lopputuotteesta riippuen. Fermentissä olevat solut ja muu kiintoaine voidaan flokkuloida paremman suodatustuloksen aikaansaamiseksi. Flokkuloinnin avulla kiintoaineet tarttuvat toisiinsa ja muodostavat isompia partikkeleita, jolloin ne suodattuvat paremmin pois liuksesta. Solumassan ja kiintoainesten poiston jälkeen entsyymiliuos konsentroidaan suodattamalla. Suodatuksesta saadaan kaksi erillistä virtaa: entsyymikonsentraatti sekä permeaatti. Suodatuksessa muodostunut permeaatti sisältää fermentointialustan raaka-aineista peräisin olevia aineita ja ravinteita. Permeaatti voidaan johtaa vielä nanosuotimille, joissa siitä poistetaan hiiliyhdisteitä ja ravinteita ennen siirtoa jätevedenpuhdistamolle. Entsyymikonsentraatti tarvittaessa formuloidaan ja kirkassuodatetaan painesuotimien avulla. Konsentraatin ollessa valmis se stabiloidaan ja osa tuotteista formuloidaan ennen kuin liuos siirretään granuloinnin varastosäiliöihin tai lopputuotesäiliöön ja sieltä pakkaukseen. [4.]

### 2.1.2 Granulaattituotanto

Granulaattituotannossa entsyymikonsentraatista valmistetaan kuivia granulaatteja. Granulaattien valmistus tapahtuu leijupetikuivureissa, joissa granulointiytimiä leijutetaan imemällä ilmaa granulaattorin läpi samalla, kun entsyymikonsentraattia ja syöttöliuoksia suihkutetaan kerroksittain. Käytettävä syöttöliuos valmistetaan mm. sokerista, suoloista, tärkkelyksestä, polymeereistä, pinta-aktiivisista aineista, vedestä ja väriaineista. Lämmitetyssä ilmassa vesi haihtuu ja päällyste kuivuu ytimien päälle. Lopuksi valmiit granulaatit kuivataan ja jäähdytetään. Ennen pakkausta granulaatit seulotaan laatuspesifikaatioiden mukaisesti. [4.]

### 2.2 Vedenkäyttö ja jäteveden muodostuminen tuotantoprosessissa

Tuotantoprosessissa vettä kuluu itse tuotteen lisäksi jäähdytykseen, lämmitykseen, laitteistojen pesuihin ja huuhteluihin, poistokaasunpesureihin ja muihin pölynpoistojärjestelmiin. Veden kulutusta pesuissa minimoidaan käyttämällä CIP-pesuja (clean in place). CIP eli kiertopesu tarkoittaa suljettujen prosessilaitteistojen puhdistusta ilman, että laitteita tarvitsee avata tai purkaa. Laitteissa kierrätetään pesuliuoksia, jolloin niiden vaikutusaika, lämpötila, kemiallinen energia ja virtausnopeudesta muodostuva mekaaninen energia saavat aikaan laitteen puhdistuksen. CIP-pesujen avulla voidaan pestä esim. putkistoja, laitteistoja ja säiliöitä. [5.] Jätevesiä muodostuu tehtaalla mm. lauhdevesistä, pesu- ja huuhteluvesistä, poistokaasunpesurien käyttämästä vedestä ja suodatuksissa jäljelle jäävästä permeaatista.

Granulaattituotannon lauhdevesi ohjataan Adven Oy:n kattilalaitokselle, jossa tuotetaan prosessihöyryä IFF:n tehtaan käyttöön ja osalla entsyymituotannon lauhteista esilämmitetään lämmintä käyttövettä. Pesukeskuksissa käytettyjä huuhtelu- ja pesuvesiä palautetaan takaisin pesusäiliöihin tiettyjen laatuvaatimusten mukaan, jolloin niitä käytetään alkuhuhteina tai uudelleen pesuliuoksissa. Granulaattituotannon poistokaasunpesureilla hyödynnetään entsyymien konsentroidinnista syntyvää permeaattia. Muut prosessijätevedet ohjataan Hangon Puhdistamo Oy:n jätevedenpuhdistamolle. Puhdistamo sijaitsee Genencor

International Oy:n ja Fermion Oy:n tehtaiden kanssa samalla teollisuusalueella ja siellä käsitellään ainoastaan entsyymitehtaan ja lääkeainetehtaan prosessijätevesiä. Puhdistamolle johdettavien jätevesien lisäksi fermentin suodatuksessa muodostuu mädättämölle kuljetettavaa solumassasuodatusjätettä, jonka mukana poistuu jonkin verran vettä.

### 3 Veden kierrätys

Veden kierrätyksen tehostaminen alkaa tulevaisuudessa olemaan välttämättömyys maailman vesivarantojen pienentyessä jatkuvasti. Vaikka Suomessa vettä riittääkin, vesivarantojen ehtyminen alkaa näkymään myös Suomen teollisuudessa, kun EU:ssa ollaan tiukentamassa ympäristövaatimuksia veden käytön suhteen. Globaaleilla markkinoilla vesijalanjäljen suuruus on nykypäivänä yksi merkittävä kilpailutekijä. [6.] Vesijalanjälki siis kuvaa, kuinka paljon vettä ja millaisia vesivaroja tuotteen valmistuksessa on käytetty. Vapaan veden vähenemisen lisäksi myös ilmastonmuutos ja sen hidastaminen tuo omia haasteitaan jäteveden käsittelyyn ja painostaa yrityksiä kehittämään uusia tapoja kierrättää jätevettä.

Suomessa teollisuus käyttää vettä noin 8 000 miljoonaa kuutiota vuodessa ja tuottaa jätevettä noin 850 miljoonaa kuutiota samassa ajassa. Suomen teollisuudessa vettä kuluttavat eniten massa- ja paperiteollisuus, kemianteollisuus ja elintarviketeollisuus. [6.] Jätevettä syntyy useasta eri lähteestä: vesihuoltojärjestelmistä, veden kierrätysjärjestelmistä, tuotannon suorasta veden käytöstä, prosessivesistä sekä sadevesien keräilyjärjestelmistä [7, s. 45]. Jäteveden kierrätyksen tehostaminen tuo yrityksille useita hyötyjä: vesijalanjälki pienenee, toiminnan kestävyys paranee ja käyttökustannukset alenevat. Jätevesistä voidaan myös ottaa talteen mm. lämpöä, raaka-aineita tai ravinteita, ja jätevedestä, joka sisältää runsaasti orgaanisia aineita, voidaan tuottaa biokaasua [8]. Jäteveden hyödyntäminen voi tapahtua joko suoraan yhdestä kohteesta toiseen kohteeseen tai vesi voi vaatia jonkinlaista käsittelyä, ennen kuin sitä voidaan käyttää uudelleen. Jos yrityksen toiminnasta syntyvää jätevettä ei pystytä hyödyntämään yrityksen sisällä, on vaihtoehtona siirtää jätevesi toiselle, lähellä sijaitsevalle yritykselle, joka pystyy hyödyntämään sitä toiminnoissaan. Tällaista

järjestelyä, jossa eri teollisuuden alat sitoutuvat pitkäaikaisesti vaihtamaan tarvittavia materiaaleja ja hyöty on molemminpuolinen, kutsutaan teolliseksi symbioosiksi. Esimerkiksi biokaasulaitokset sekä kasvin- ja kalanviljelylaitokset ovat hyviä jäteveden käyttökohteita. [9.]

### 3.1 Veden kierrätysratkaisut maailmalla

Teollisuuden vedenkulutus oli 22 % koko maailman vedenkulutuksesta vuonna 2012, ja maailmanlaajuisesti eniten vettä kuluttavat kemianteollisuus, terästeollisuus sekä sellu- ja paperiteollisuus. [10; 11, s. 296.] Valtioiden osalta teollisuudessa runsaiten vettä käyttävät Yhdysvallat ja Kiina, ja korkean tulotason valtioissa vettä kulutetaan enemmän kuin pienituloisemmissa valtioissa. Puhtaan veden puute on pahimmillaan Lähi-idässä, Pohjois-Amerikassa ja Etelä-Aasiassa. [12.]

Veden kustannukset ovat nousseet muiden raaka-aineiden kanssa samalle tasolle ja nykyään vesi on hyvin arvokas hyödyke. Kuitenkin lähes kaikilla teollisuudenaloilla kertaalleen käytetty vesi päätyy suoraan jätevedeksi, mikä suurentaa tuotteiden vesijalanjälkeä ja aiheuttaa herkästi luonnonvesien pilaantumista. Ratkaisuna olisi jäteveden käsittely niin, että sitä voitaisiin käyttää uudelleen tai että vesi olisi turvallista laskea takaisin ympäristöön. Monet teollisuusyritykset ovat siirtymässä jäteveden uudelleenkäyttöön, jopa kehitysmaissa. [13.] Eniten puhdistettua jätevettä käyttävät Yhdysvallat, Saudi-Arabia ja Egypti. Suurin käyttökohde kierrätettävälle vedelle onkin teollisuus ja eri alueiden kastelujärjestelmät. [14, s. 2.] Euroopassa suoritetussa veden uudelleenkäytön kokeilussa huomattiin, että veden suoraan uudelleenkäyttöön suhtauduttiin eri tavoin eri teollisuusaloilla: galvaanisessa teollisuudessa ja energiantuotannossa veden uudelleenkäyttö oli yleistynyt resurssien korkeiden kustannusten ja kiristyneiden päästörajoitusten takia, kun taas tekstiili- ja elintarviketeollisuudessa kierrätettyyn veteen suhtauduttiin vielä epäillen, koska pelättiin, että veden mahdolliset epäpuhtaudet heikentäisivät lopputuotteen laatua. [7, s. 79.] Paine keksiä ratkaisuja jäteveden hyödyntämiseen on kova jatkuvan väestönkasvun, elintason kohoamisen sekä uhkaavan vesipulan takia [15]. Jäteveden kierrätys ja

kiinnostus veden uudelleenkäyttöön lisääntyy, kun keksitään ratkaisuja, joissa uudelleenkäyttö pystytään toteuttamaan kustannustehokkaasti [13].

Mahdollisuudet jätevesien uudelleenkäyttöön vaihtelevat eri toimialoilla ja riippuvat veden jätemäärästä ja -pitoisuudesta, veden puhdistustekniikoista sekä jätevesistandardeista. Lisääntynyt tietoisuus ympäristön tilasta ja jätevesijärjestelmiä koskevien määräysten kiristyminen on pakottanut teollisuusyritykset ottamaan käyttöön erilaisia jäteveden puhdistustekniikoita, koska useimmilla teollisuudenaloilla tarvitaan jonkin asteista veden puhdistusta ennen sen uudelleenkäyttöä. Yleisesti käytettyjä puhdistusmenetelmiä ovat suurimman kiintoaineen erottamiseen käytetyt sedimentaatio, hapetusprosessit ja biologinen ravinteiden poisto. Muiden epäpuhtauksien poistoon käytetään mm. aktiivihiltä, ilmastripausta, ioninvaihtoa, flokkulointia tai kemiallista koagulaatiota. Uusimpia vedenpuhdistustekniikoita ovat erilaiset kalvosuodatustekniikat: mikrosuodatus, ultrasuodatus, nanosuodatus sekä käänteisosmoosi. [13.] Kalvosuodatustekniikat perustuvat puoliläpäisevään kalvoon, joka päästää läpi osan suodatettavasta seoksesta. Syöttö jakautuu suodatuksessa siis permeaattiin, joka on kalvon läpäissyt virta ja retentaattiin, joka on pidätynyt virta. Kalvon rakenteen mukaan eri kalvosuodatusmenetelmät pidättävät eri kokoisia partikkeleita (taulukko 1) ja siten voidaan valita käyttötarkoitukseen sopivin menetelmä. [16.] Vettä voidaan vielä lisäksi desinfioida kloorin, otsonin tai UV-säteilyn avulla [13].

Taulukko 1: Eri kalvosuodatustekniikat ja niiden ominaisuudet.

<b>Tekniikka</b>	<b>Huokoskoko (µm)</b>	<b>Pidättyvät partikkelit</b>
Mikrosuodatus	0,05–10	solut, kolloidit
Ultrasuodatus	0,002–0,1	proteiinit, polysakkaridit
Nanosuodatus	0,001	sokeri, aminohapot
Käänteisosmoosi	päästää vain vesimolekyylit läpi	liuenneet suolat

Alkuun monet yritykset ottivat käyttöön yksinkertaisempia fysikaaliskemiallisia jäteveden käsittelymenetelmiä, mutta vähitellen on siirrytty tehokkaampiin

biologisiin menetelmiin ja kalvotekniikoiden hyödyntämiseen. Esimerkiksi mikro-suodatuksella, käänteisosmoosilla ja ioninvaihdolla on saatu hyviä tuloksia jäteveden puhdistuksessa ja vettä on pystytty kierrättämään onnistuneesti. Kalvotekniikoiden avulla jätevedestä on saatu poistettua useimmat epäpuhtaudet, mikä on lisännyt jäteveden uudelleenkäytön mahdollisuuksia. Kalvotekniikoiden etuja ovat myös pieni tilantarve, parempi prosessinohjaus sekä mahdollisuus ajoittaiseen käyttöön. [13.]

Kierrätettyä jätevettä käytetään mm.

- maataloudessa peltojen kastelussa
- julkisten ulkoilualueiden, kuten puistojen, golfkenttien ja leikkikenttien kastelussa
- teollisuudessa jäähdytyksessä, lämpökattiloiden syöttövetenä, prosessivetenä, pesu- ja huuhteluvesinä sekä pölynpoistojärjestelmissä
- pohjaveden täytössä
- virkistys- ja ympäristökäytössä kalankasvatustaloksilla, soiden parannuksessa, virtauksen lisäämisessä ja lumen tekemisessä
- kaupunkiympäristöissä palonsammutusjärjestelmissä, ilmastoinneissa ja saniteettiviemäreissä
- joissakin paikoissa myös juomavetenä [10; 11, s. 295–296; 17, s. 1351–1354].

Teollisuudessa kierrätettyä jätevettä hyödynnetään yleisimmin jäähdytyksessä ja kuumavesisäiliöissä. Prosessissa kiertänyttä vettä voidaan käyttää uudelleen myös muihin käyttötarkoituksiin, kunhan vesi on laadultaan vaaditun mukaista. Prosessiveden uudelleenkäyttöä suunnitellessa tulee tarkastella prosessien veden laatu- ja käyttövaatimuksia. Yleensä teollisuudessa käytetään korkealaatuista vettä, vaikka kaikki prosessit eivät sitä vaatisivatkaan. Optimaalisinta olisi, jos vettä voitaisiin hyödyntää useita kertoja joko samoissa tai eri käyttökohteissa, koska puhtaan veden saatavuus hankaloituu jatkuvasti. [18.]

Singaporessa jopa 40 % koko valtion veden tarpeesta on nykyään kierrätettyä jätevettä, jota käytetään pääosin teollisuudessa, mutta sitä on kuivina kausina voitu lisätä myös juomaveteen tehokkaan puhdistuksen ansiosta. Vuoteen 2060 mennessä kierrätetyn jäteveden tulisi kattaa 55 % Singaporen veden tarpeesta. [19.] Singaporen lisäksi myös Saksassa on kokeiltu hyödyntää jätevettä

juomateollisuudessa: yhdysvaltalainen vedenkäsittelyn teknologiayritys Xylem pani olutta käsiteltyyn jäteveeseen. Olut oli juomakelpoista, eikä maussa havaittu eroja verratessa sitä vastaaviin markkinoilla myytäviin olutjuomiin. Laboratorio-kokeissakaan ei havaittu mitään jäämiä tai sivutuotteita. Valmistamalla olutta puhdistettuun jäteveeseen Xylem ja Berliinin jätevesilaitos halusi tuoda esiin nykyaikaisen vedenpuhdistustekniikan tason ja veden kierrätyksen mahdollisuudet. Olut ei kuitenkaan tullut yleiseen myyntiin, vaan se esiteltiin Berliinin IWA Water reuse 2019 -messuilla. [20.]

Monien muiden teollisuusyritysten tavoin myös IFF huomioi maailman vedenpuutteen pyrkimyksellään vähentää veden kulutusta lisäämällä käytön tehokkuutta ja kehittämällä muita vedenhallintastrategioita. IFF:n tavoitteena on lisätä kierrätetyn veden käyttöä yli puoleen tarvittavasta vedestä tehtaillaan vuoteen 2025 mennessä. Veden kierrätyksen tavoitteet liittyvät prosesseihin, joissa vesi ei ole suoraan kontaktissa tuotteiden kanssa. IFF:n Alankomaiden Tilburgin tehtaalla aloitettiin vuonna 2019 projekti koskien veden kierrätystä. Projektin tuloksena tehtaalla onnistuttiin kierrättämään 84 000 m<sup>3</sup> vettä vuoden 2020 aikana. IFF:n mukaan noin 18 % IFF:n tehtaiden käyttämästä vedestä vuonna 2019 tuli alueilta, joilla veden puute on vakava tai erittäin vakava. Alankomaissa tehdyn projektin myötä IFF aikoo hyödyntää tietoaan veden kierrätyksen mahdollisuuksista ja pyrkii toteuttamaan uusia vesihankkeita eri toimipisteissään. [21; 22.]

### 3.2 Veden kierrätysratkaisut Suomessa

Suomen teollisuudella olisi jäteveden uudelleenkäytön suhteen paljon parannettavaa. Vaikka Suomessa veden vähyys ei aja teollisuusyrityksiä etsimään uusia veden kierrätysmahdollisuuksia, kannustaa siihen kuitenkin mahdollinen rahan säästö sekä vastuullisuus. Veden kierrätys tuo yrityksille kustannussäästöjä jäteveden käsittelykustannusten vähenemisen ja puhtaan veden tarpeen pienentämisen myötä sekä energiansäästöjä, jos valmiiksi lämpimiä vesivirtoja on mahdollista kierrättää tai ottaa lämpimistä virroista lämpöenergiaa talteen. Kansainvälisesti toimivat yritykset voivat myös parantaa mainettaan järkevän veden käytön avulla. [6.] Suomessa päätöksentekijät ja toimijat ovat asettaneet tavoitteita kiertotalouden suhteen: YK on perustanut vesivastuusitoumuksen

haasteeksi yrityksille, ja lisäksi Suomen valtioneuvosto on luonut valtiolle ja yrityksille yhteisen tavoitteen olla maailman vesivastuullisimpia vuoteen 2030 mennessä.

YK:n kestävän kehityksen tavoitteiden toimeenpanoon kuuluvan vesivastuuseurituksen avulla yritykset pystyvät arvioimaan vesiriskinsä ja kehittämään kestävästä vedenkäyttöä toiminnoissaan. Valtioneuvoston rahoittamassa Vesivastuu2030-hankkeessa taas kartoitetaan ja innovoidaan ratkaisuja, joiden avulla saavutettaisiin maailman vesivastuullisimman valtion tavoite. [23.]

Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnon julkaisusarjassa 2020:9 haasteltiin elintarviketeollisuuden toimijaa, jonka mukaan erityisesti vientiasiakkaat ovat kiinnostuneita yritysten vedenkäytöstä tuotteiden tuotannossa. Toimijan mukaan elintarviketeollisuudessa veden kierrättämisen suurimpana haasteena on käytetyn veden laatu ja siihen liittyvät tiukat vaatimukset. Samaan aikaan, kun veden kulutusta tulisi vähentää, ovat tuotteiden laatuvaatimukset ja hygieniamääräykset kasvaneet jatkuvasti, mikä on lisännyt prosessipesujen määrää. Lisäksi tuotantoprosesseissa syntyvä kierrätettävä vesijäte joudutaan yleensä varastoimaan ennen uudelleenkäyttöä, mikä lisää mikrobiologisten riskien mahdollisuutta. [24, s. 15, 37–38.] Suomen teollisuusyritysten veden kierrätysratkaisujen katsauksessa keskitytään elintarvikealan ja biotekniikan alan yritysten jäteveden kierrätykseen, sillä IFF valmistaa Hangossa tuotteita, jotka ovat usein rehu- tai elintarvikelaatuisia, mikä luo veden kierrätykselle enemmän rajoitteita.

Valio Oy:n Lapinlahden maidonjalostuslaitoksella, Riihimäen meijerillä ja Seinäjoen tehtaalla vedenkäyttöä on pyritty vähentämään CIP-pesujen käytöllä. Pesuissa hyödynnetään lisäksi muualta tehtaalta saatavia jäähdytys- ja lauhdevesiä sekä viimeisiä huuhteluvesiä käytetään uudelleen alkuhuuhteina. Vedenkulutusta vähennetään optimoimalla pesuja. [25; 26; 27.] Lapinlahden tehtaalla lauhdevesien laatua tarkkaillaan johtokykymittauksilla ja tekemällä vedestä viikoittain mikrobiologinen määrittely. Johtokykymittauksen perusteella lauhteet ohjataan joko lauhdevesiverkoston kautta keräilyvesisiiloon tai suoraan jätevesiviemäriin. Kierrätettäväksi kelpaavaa lauhdevettä hyödynnetään pesukeskuksissa, lämmönvaihtimissa ja voimalaitoksella höyrykattilan syöttövetenä.



Lämmönvaihtimissa käytetty vesi voidaan usein käyttää vielä uudelleen ja ohjata takaisin lauhdevesien keräilyyn. Näiden lisäksi lauhdevettä on ajateltu käytettävän maidon keräily- ja siirtoautojen ulkopuoliseen pesuun. [25.] Riihimäen tehtaalla pesuista ja huuhteista kerättiin vuonna 2010 talteen lähes 200 000 m<sup>3</sup> vettä. Talteen otettu vesi käsitellään UV-säteilyllä ja käytetään pesuissa uudelleen sellaisiin kohteisiin, joissa ei ole kontaminaatoriskiä. Tuotantoprosesseissa syntyvät lauhdevedet käytetään pesukeskuksessa pesuliuosten valmistukseen ja meijeripakkausten pesuun. [26.] Seinäjoen tehtaalla haihturien lauhteita hyödynnetään kuumien pesuliuosten valmistukseen ja kattilalaitoksella syöttövetenä [27].

Oy Hartwall Ab:n panimolla ja virvoitusjuomatehtaalla Lahdessa CIP-pesukukset kierrättävät pesuliuoksia, ja pullojen ja laitteistojen pesuliuoksia käytetään useamman kerran. Lisäksi vierteen jäähdytyksestä tuleva lämmin vesi käytetään tehtaan tuotantoprosessissa. [28.] Sinebrychoff Supply Company Oy:n Keravan panimolla ja virvoitusjuomatehtaalla vettä kierrätetään käyttämällä uudelleen kiertopesujen loppuhuuhdetta ja kierrätysmuovipullojen huuhteluvettä [29].

Roal Oy:n Rajamäen entsyymituotantolaitoksella kokeiltiin hyödyntää käytettyjä huuhteluvesiä uudelleen tuotantoprosessissa. Huuhteluvesillä korvattiin osa fermentoinnin kasvualustaan tarvittavasta vedestä, joka on aiemmin ollut kokonaisuudessaan vesijohtovettä. Huuhteluvesien käyttöä testattiin eri pitoisuuksilla ja koefermentoinneissa käytettiin sellulaasia tuottavaa *Trichoderma reesei*-homeetta. Koekasvatusten perusteella huuhteluvesien eri pitoisuuksilla ei huomattu olevan merkittäviä muutoksia homeen kasvuun eikä entsyymisaantoihin, verrattuna pelkän vesijohtoveden käyttöön. [30.]

Genencor International Oy on lähitulevaisuudessa käynnistämässä biopolymeerin tuotannon tehtaallaan Jokioisissa. Siellä on tarkoituksena hyödyntää prosessissa syntyviä lämpimiä lauhdevesiä höyryntuotannossa ja sivuvirtojen konsentroidusta syntyvää vettä päätuotteen suodatuksessa. Muita lämpimiä vesivirtoja on ajateltu voivan käyttää pesuvesinä. [31.]

Jätevettä voidaan kierrättää tehtaan sisällä eri kohteissa, mutta sitä voidaan kierrättää myös eri yritysten kesken. Adven Oy on suunnitellut rakentavansa Hankoon, IFF:n tehtaan yhteyteen biokaasulaitoksen, jonka syöte koostuisi IFF:n ja Hangon Puhdistamo Oy:n sivuvirroista. Kaikki nämä sivuvirrat sisältävät eri määriä vettä. Biokaasulaitoksen avulla jätevesiä saataisiin kierrätettyä ja biokaasusta tuotettaisiin sähköä ja lämpöä. Jätevedenpuhdistamon lietteen lisäksi biokaasulaitoksella saataisiin hyödynnettyä entsyymituotannosta syntyviä orgaanisia sivuvirtoja, jotka nyt kuljetetaan muualle käsiteltäviksi tai jotka ohjataan vedenpuhdistamolle. Laitoksella olisi mahdollisuus käsitellä noin 70 000 tonnia entsyymitehtaalla syntyviä sivuvirtoja vuodessa. Lisäksi Adven rakentaisi mädätysjäännöksen vedenkierrätysjärjestelmän. Biokaasulaitoksen vedenpuhdistuksessa syntyisi haihdutettua ja kalvosuodatettua permeaattia, joka voitaisiin esim. kierrättää takaisin Hangon puhdistamolle tai IFF:n tehtaalle. Biokaasulaitoksen olisi tarkoitus aloittaa toimintansa vuonna 2023. [32; 33.]

### 3.3 Jäteveden kierrätyksen haasteet

Ennen kuin jätevettä voi lähteä kierrättämään kohteesta toiseen, on oltava tietoinen sekä kierrätettävän veden laadusta että kohteessa käytettävän veden laatuvaatimuksista. Lisäksi yrityksen laatustandardit on otettava huomioon. Pahimmillaan kierrätettävän veden mukana voi tulla epätoivottuja mikrobeja, jolloin laitteistot, linjat ja tuotteet voivat kontaminoitua ja siten aiheuttaa ympäristö-, terveys- ja laaturiskejä. Mikrobeille jätevesi on hyvä kasvuympäristö sen sisältämien ravinteiden vuoksi ja osa mikrobeista on taudinaiheuttajia, minkä takia niitä ei myöskään haluta työympäristöön. Jos vesi on kovin epäpuhdasta, se voi aiheuttaa myös laitteiden nopeampaa kulumista tai rikkoutumista ja tuotteiden laatu voi kärsiä. Taulukossa 2 on listattuna mahdollisia riskejä veden eri käyttökohteiden mukaan. Yritysten omien laatuvaatimusten lisäksi jäteveden uudelleenkäyttöön voivat vaikuttaa myös valtion omat ohjeet ja rajoitukset veden vaaditun laadun ja kierrätyksen osalta.

Taulukko 2. Jäteveden käyttökohteita ja niihin liittyviä mahdollisia riskejä. [15, s. 1356; 34, s. 20.]

Jäteveden käyttökohteet	Mahdolliset riskit
Rehu- ja ruoantuotantoprosessit	Terveysriskit taudinaiheuttajien takia
Jäähdytysvesijärjestelmät	Kalkin muodostuminen Mikrobiologinen kasvu Korroosio Likaantuminen Taudinaiheuttajien aerosolipäästöt
Lämmitysjärjestelmät	Vaahtoaminen Kalkin muodostuminen Laitteen syöpyminen Höyryn happamuus
Prosessivesi	Veden laadun vaikutus tuotantoprosessiin ja lopputuotteisiin

Jäteveden kierrätys vaatii yleensä myös investointeja. Jos jätevettä ei voida kierrättää suoraan kohteesta toiseen, tarvitaan laitteistoa veden puhdistamiseen. Laitteistoa suunniteltaessa pitää olla tarkkana, että vesi puhdistuu niin, että se on laatuvaatimusten mukaista, mutta vettä ei kuitenkaan tulisi puhdistaa turhaan yli vaatimusten. Puhdistukseen tarvittavaa laitteistoa on helpoin suunnitella silloin, kun tiedetään, mitä puhdistettava jätevesi sisältää ja mitä siitä halutaan saada pois. Investointi vedenpuhdistuslaitteistoon pienentäisi jatkossa jäteveden käsittelykuluja, puhtaan veden käyttökustannuksia ja voisi mahdollistaa veden uudelleenkäytön useaan kertaan, mikä taas pienentäisi tuotteiden vesijalanjälkeä.

Jäteveden uudelleenkäyttö vaatii yrityksiltä perinteisten toimintojen ja näkemysten muuttamista sekä sitoutumista veden kierrätykseen. Yrityksen

henkilökunnan tulee ymmärtää kestävästi tuotettujen tuotteiden merkitys nykypäivänä niin ympäristön kuin markkinoidenkin kannalta. Jäteveden uudelleenkäytön mahdollisuudet ja hyödyt tulee tehdä tutuiksi koko henkilökunnalle, jotta veden kierrätys saadaan toteutettua parhaalla mahdollisella tavalla. Samaan aikaan tulee olla tietoinen myös kierrätyksen mahdollisista riskeistä. Haastavinta on kuitenkin onnistua muuttamaan ihmisten asenteita positiivisemmiksi jäteveden uudelleenkäytön osalta.

#### **4 Työn toteutus**

Mahdollisia jäteveden hyödyntämisen lähteitä ja kohteita kartoitettiin keräämällä ideoita ja ajatuksia tehtaan henkilökunnalta haastatteluiden ja koko henkilökunnalle sähköpostitse lähetetyn kyselyn avulla. Haastatteluja tehtiin 23 ja kyselyyn saatiin 10 vastausta. Haastattelut kohdistettiin eri osa-alueiden asiantuntijoihin, vuoro-esimiehiin sekä tehtaan johtoryhmään. Kyselyn osalta tavoitteena oli saada vastauksia myös tuotannon työntekijöitä. Eniten ideoita veden kierrätykseen tuli esille haastattelujen yhteydessä, kun oli mahdollista esittää tarkentavia kysymyksiä ja tuoda esiin myös muiden haastateltujen henkilöiden ajatuksia. Haastatteluiden ja kyselyn avulla selvitettyjen mahdollisten jäteveden lähteiden ja kohteiden vedenkulutusta tai -tuottoa laskettiin tehtaan tiedonkeruujärjestelmän ja tuotannon ohjausjärjestelmän avulla.

Kun tiedossa olivat tehtaan suurimmat vedenkulutuksen ja -tuoton kohteet, alettiin eri vaihtoehtoista rajaamaan mahdollisia toteutusideoita. Rajaus tapahtui tarkastelemalla eri kohteissa kierrätettävissä olevan kokonaisveden määrää ja toteutuksen haastavuutta. Toteutuksen haastavuutta arvioitiin veden kierrätykseen tarvittavan laitteiston mukaan, pisteyttämällä eri laitteet toteutuksen kannalta helpoimmasta vaikeimpaan. Näiden lisäksi huomioitiin eri kohteiden laatuvaatimukset ja kierrätettävän veden käyttöön liittyvät mahdolliset riskit. Ideat esitettiin tehtaan johtoryhmälle ja keskustelun perusteella vaihtoehtoja rajattiin edelleen. Kahden parhaimman toteutusidean toimivuutta eri tilanteissa tarkasteltiin simuloinnin avulla ja sitä kautta löydettiin optimaalisimmat tavat ideoiden toteutukseen.

## 5 Veden kierrätysmahdollisuudet tehtaalla

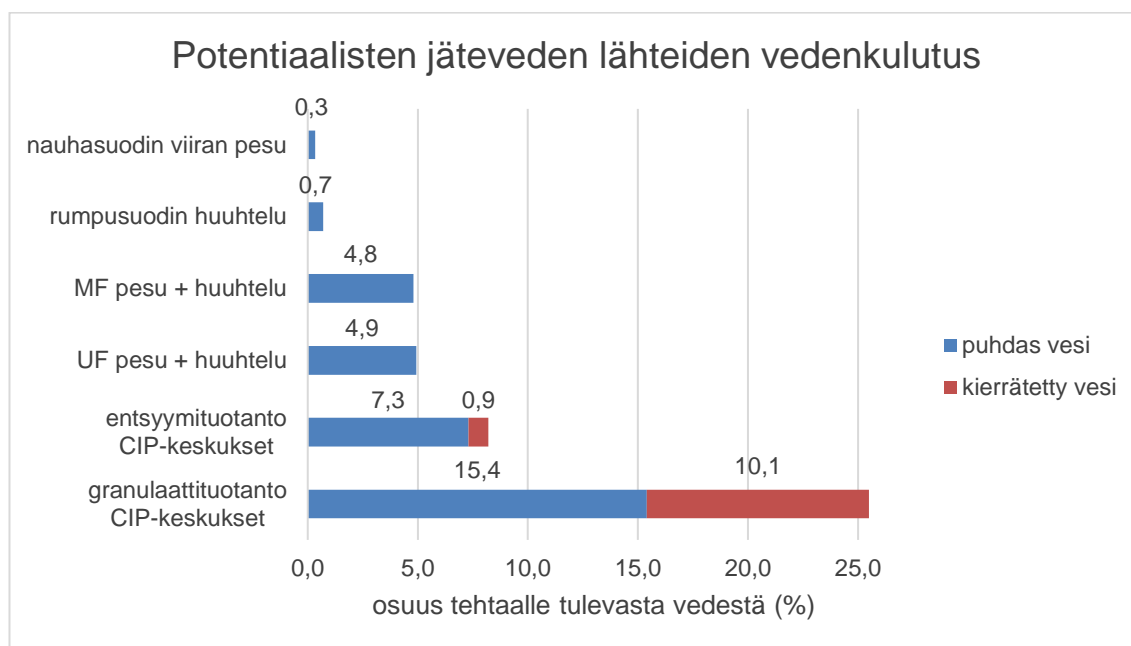
Veden kierrätysmahdollisuuksia kartoitettiin haastatteluiden ja kyselyiden avulla. Tässä luvussa on eritelty ideat mahdollisesti hyödynnettävissä oleviin jätevesivirtoihin ja jäteveden käyttökohteisiin.

### 5.1 Potentiaaliset jäteveden lähteet

Potentiaalisiksi jäteveden hyödyntämisen lähteiksi katsottiin laitteistojen pesuvedet. Entsyymitehtaalla tuotantolaitteiden tulee olla puhtaita, jotta kontaminaattioriskit pystytään minimoimaan, mikä tarkoittaa sitä, että laitteita ja linjoja pestään runsaasti. Laitteistoista eri kalvosuodatuslaitteet käyttävät pesuissaan paljon vettä ja pesuissa on useita syklejä. Pesuvesien kierrätykseen tuli erilaisia ideoita. MF-laitteen (microfiltration eli mikrosuodatus) myöhempien pesuvaiheiden vesiä, jotka ovat jo melko puhtaita ensimmäisten pesusyklariden jälkeen, voitaisiin kerätä ja käyttää uudelleen. Pesuvettä voitaisiin myös kierrättää MF:n pesun sisällä esim. pesun puolen välin jälkeen, jolloin suurin lika olisi jo peseytynyt pois. Yhtenä ideana oli ottaa erilleen MF- ja UF-laitteiden (ultrafiltration eli ultra-suodatus) permeaatti- ja retentaattipuolten pesuvedet. Koska retentaattipuolelta tulee likaisempaa pesuvettä ja permeaattipuolelta puhtaampaa, kiintoaineesta vapaata vettä, voisi permeaattipuolen pesuvedet kerätä talteen ja hyödyntää uudelleen, kun taas retentaattipuolen vedet voitaisiin suoraan viemäroidä. Suodatuslaitteista myös nauhasuotimen viiran pesu käyttää runsaasti vettä. Laitteistojen pesuvesien hyödyntämisen lisäksi linjapesuihin käytettäviä vesiä voitaisiin kierrättää pesuissa jollain tasolla uudelleen. Tehtaalla CIP-keskukset ovat yksiä suurimpia puhtaan prosessiveden kuluttajia, ja niiden käyttämälle vedelle olisi hyvä löytää uusia käyttökohteita.

Pesuvesien lisäksi potentiaalisiksi jäteveden hyödyntämisen lähteiksi katsottiin erilaiset huuhteluvedet. Koska laitteistoja ja linjoja pestään paljon, käytetään myös huuhteluvesiä paljon. Puhtaimmat ja potentiaalisimmat huuhteluvedet saataisiin pesuvaiheiden välissä suoritettavista huuhteluista sekä pesujen jälkeen käytettävistä loppuhuuhteista. Alkuhuuhteet ja pesut vievät mukanaan suurimmat liat, joten väli- ja loppuhuuhteet sisältävät vähiten kiintoaineita.

Kuvassa 1 näkyy potentiaalisten jäteveden lähteiden vedenkulutus suhteutettuna koko tehtaan vedenkulutukseen. Pesukeskuksien kohdalla näkyy punaisella myös kierrätetyn veden käyttömäärä huuhteluissa. Pesukeskuksissa käytetään sekä puhdasta että kierrätettyä vettä, sillä pesuliukuksia ja väli- ja loppuhuuhdevesiä palautetaan eri laatuvaatimusten (mm. johtokyky) perusteella takaisin säiliöihin ja käytetään uudelleen.



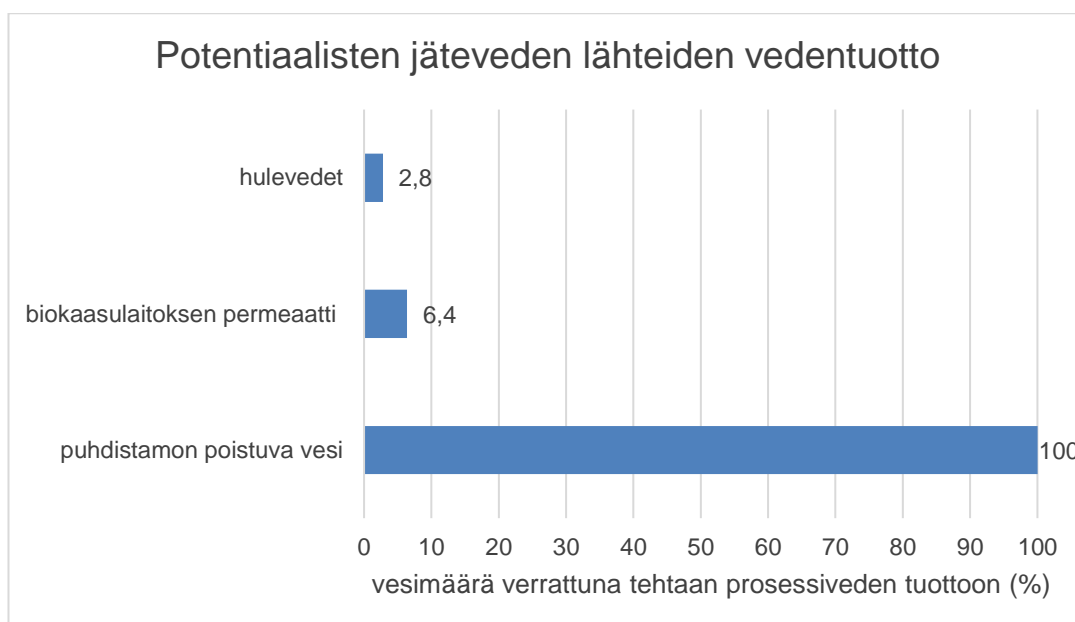
Kuva 1. Potentiaalisten jäteveden lähteiden vedenkulutus suhteessa koko tehtaan vedenkulutukseen.

Jäteveden lähteenä voisi toimia Hangon Puhdistamo Oy:n puhdistettu, poistuva vesi, joka tällä hetkellä johdetaan takaisin mereen. Vaikka poistuvan veden hyödyntäminen ei vähentäisi puhdistamon kuormitusta, se säästäisi veden purkputken kapasiteettia sekä vähentäisi reilusti puhtaan veden käyttötarvetta, sillä poistuvan veden käytettävissä oleva määrä olisi lähes rajaton suhteessa tehtaan veden kulutukseen. Puhdistetun jäteveden käyttö tehtaan prosesseissa ei kuitenkaan olisi ihan yksinkertaista erilaisten laatu- ja turvallisuusvaatimusten takia, koska puhdistamon poistuvassa vedessä on jäljellä jonkin verran kiintoaineita sekä ravinteita, ja jätevesi on mikrobeille otollinen paikka kasvaa. Tunnetuin vesijärjestelmissä viihtyvä taudinaiheuttaja onkin *Legionella pneumophila* -bakteeri. *Legionellan* pitoisuus vedessä kasvaa, kun veden lämpötila on

20–45 °C. Kun vedessä on riittävästi bakteereja, ne voivat aiheuttaa sairastumisia päästessään hengitysilmaan. Otollisia paikkoja *legionellan* kasvulle teollisuusympäristöissä ovat mm. jäähdytysjärjestelmät ja jätevesien puhdistusjärjestelmät. Veden kierrätyksen lisääntyessä *legionella* alkaa helposti kasvamaan järjestelmissä. Yleisesti niitä vastaan käytetään kloorausta tai muita biosideja eli mikrobien torjunta-aineita. *Legionellan* kasvua voidaan hillitä tehostamalla veden vaihtuvuutta ja käsittelemällä vesi UV-säteilyllä sekä kloorauksella [35; 36]. Vaikka Hangon Puhdistamo Oy:n poistuva vesi onkin puhdistettu niin, että se kelpaa laskettavaksi takaisin mereen, vaatisi se vielä lisäpuhdistusta ennen uudelleenkäyttöä tehtaalla.

Tehdasalueen hulevesiäkin voisi hyödyntää. Vedet kertyvät noin 35 000 m<sup>2</sup>:n alueelta sadevesikaivoon, josta ne pumpataan jätevedenpuhdistamolle. Kovien sateiden aikana vettä kertyy kaivoon runsaasti lyhyessä ajassa ja puhdistamo kuormittuu sinne johdettavasta hulevedestä, mikä saattaa luoda pullonkauloja tehtaan tuotantoprosessiin. Siten olisi hyvä, jos hulevedet voitaisiin ohjata muualle hyötykäyttöön. Hulevedet kertyvät kaivoon pääasiassa asfaltoidulta piha-alueelta ja rakennuksien katoilta, eli vesi ei juuri kerää maaperästä ravinteita mukaansa valuessaan kaivoon.

Adven Oy:n suunnitteleman biokaasulaitoksen toteutuessa syntyisi mädätysprosessin yhteydessä haihdutettua ja kalvosuodatettua vettä, permeaattia. Advenin mukaan osa permeaatista hyödynnettäisiin biokaasulaitoksen prosessissa ja loput kierrätettäisiin takaisin Hangon Puhdistamo Oy:lle. Haastatteluissa nousi esiin ajatus biokaasulaitoksella syntyvän permeaatin hyödyntämisestä jossakin tehtaan prosessissa, jotta puhdistamon kapasiteettia pystyttäisiin säästämään kuormitukselta. Permeaatti olisi melko puhdasta, kalvosuodatuksen läpi käyryntä vettä ja siten potentiaalinen vaihtoehto kierrätettävän veden lähteeksi. Jos permeaattia haluttaisiin hyödyntää IFF:n tehtaan prosesseissa, tulisi tietää tarkasti, mitä biokaasulaitokselta lähtevä vesi vielä sisältää. Kuvassa 2 näkyy, kuinka paljon puhdistamon poistuva vesi, hulevedet ja biokaasulaitoksen permeaatti tuottaisivat vettä tehtaan käyttöön suhteessa tehtaan tämänhetkiseen prosessiveden tuottoon.



Kuva 2. Potentiaalisten jäteveden lähteiden vedentuotto suhteessa tehtaan koko prosessiveden tuottoon.

Kuvista 1 ja 2 näkee, että veden kulutuksen perusteella parhaimmat vaihtoehdot jäteveden lähteiksi olisivat puhdistamon poistuva vesi ja granulaattituotannon sekä entsyymituotannon CIP-keskukset. Puhdistamolta poistuva vesi sisältää tietysti lähes kaikki prosessiin sisään tulevat vedet ja siksi sen vedentuotto on 100 % (kuva 2). Näiden lisäksi MF:n ja UF:n pesut ja huuhtelut käyttävät paljon vettä, ja myös mahdollisen biokaasulaitoksen permeaatista saataisiin vettä tehtaan käyttöön.

## 5.2 Potentiaaliset jäteveden käyttökohteet

Granulaattituotannon puolella on käytössä useita poistokaasunpesureita, jotka pyrkivät estämään tuotannossa syntyvien hajukomponenttien ja hiukkasten pääsyn ympäristöön poistokaasujen mukana. Kaasunpesureilla poistokaasuista erotetaan kiintoainehiukkaset johtamalla kaasu vesisumun läpi, jolloin hiukkaset sitoutuvat veteen eivätkä siten leiju kaasun mukana ympäristöön aiheuttaen hiukkaspäästöjä. Poistokaasunpesurit tarvitsevat runsaasti vettä puhdistukseen kaasun tehokkaasti ja haastatteluissa mahdollisiksi jäteveden hyödyntämisen kohteiksi nousi usein granulaattituotannon kaasunpesurit, nimenomaan



vedenkulutuksensa takia. Jäteveden käyttökohteiksi ehdotettiin myös entsyymituotannon poistokaasunpesuria sekä tehtaan muita pölynpoistojärjestelmiä. Kaikki kaasunpesurit ja pölynpoistojärjestelmät käyttävät vettä, ja niissä vesi ei ole kosketuksissa tuotteen kanssa, mikä tekee niistä potentiaalisia kohteita veden uudelleenkäytölle. Jos käytettävä vesi olisi kierrätettyä, veden käyttömäärää voitaisiin lisätä granulaattituotannon kaasunpesureilla, minkä johdosta poistokaasuista saataisiin pestyä hiukkasia varmemmin pois ja hiukaspäästöjen mahdollisuus pieneneisi entisestään. Kierrätettyä vettä käyttämällä jätevedenpuhdistamokaan ei kuormittuisi lisää, kun puhtaan prosessiveden käyttö ei kasvaisi. Granulaattituotannon kaasunpesurien lisäksi kierrätettyä vettä voitaisiin hyödyntää entsyymituotannon poistokaasunpesurilla. Entsyymituotannon kaasunpesurin tarkoitus on poistaa ympäristöön johdettavasta kaasusta pääasiassa hajukomponentteja hajupäästöjen minimoimiseksi. Poistokaasut saattavat lisäksi sisältää jonkin verran hiukkasia, mikrobeita sekä entsyymejä, joita ei haluta päästää ympäristöön. Nykyisellä kaasunpesurilla vedenkulutus ei ole kovin suurta, mutta laitteen uusiminen on ajankohtaista tehtaan laajennusten myötä ja silloin laitteen vedenkulutus tulee kasvamaan.

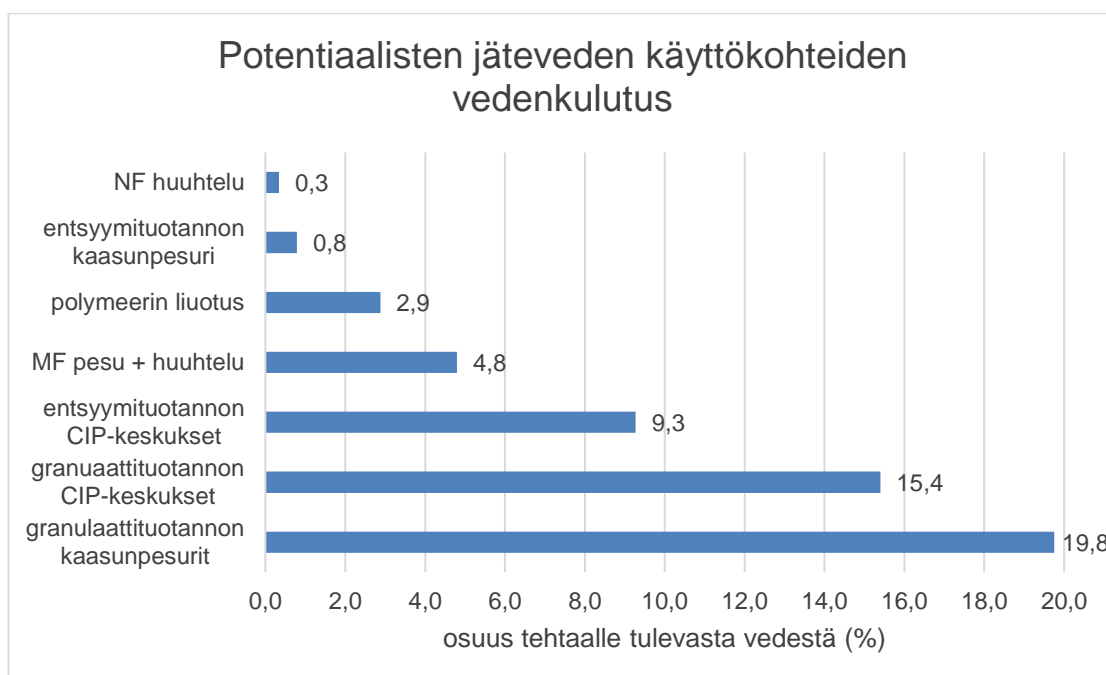
Poistokaasunpesureiden lisäksi granulaattituotannon puolella kierrätettyä vettä voisi käyttää granulaattoreiden syklonipölynkierrätyslaitteistojen pölynliettosäiliöissä. Kyseisissä säiliöissä on vettä, joihin syklonien erottama pöly lietetään, jotta entsyymien leviäminen työtiloihin saadaan estettyä. Osaan tuotteista lietty pöly hyödynnetään vielä ajon aikana, mutta osassa tuotteista lietty pöly ainoastaan viemäroidään. Niiden tuotteiden ajon aikana, joissa pölyä ei voida hyödyntää, voisi säiliöissä käyttää kierrätettyä vettä.

Kuten jäteveden lähteiksi, myös käyttökohteiksi ehdotettiin pesujen huuhteita, CIP-pesuja, MF:n pesuja ja lisäksi NF:n (nanofiltration eli nanosuodatus) huuhtelua. Pesuja edeltävissä huuhteluissa voitaisiin käyttää nykyistä enemmän kierrätettyä vettä, sillä alkuhuuhteen tarkoituksena on huuhdella pois pahin lika ennen pesua. Myöskään NF:n huuhtelu ei vaatisi täysin puhdasta vettä, koska laitteella käsitellään vain entsyymin konsentroinnista syntynyttä permeaattia ennen sen johtamista jätevedenpuhdistamolle, jos puhdistamolle johdettavaa kuormaa on tarvetta vähentää [4]. Kaikista puhtaimpia jätevesiä voitaisiin hyödyntää

MF:n pesuissa tai CIP-pesuissa. Lisäksi pesuvesiä voitaisiin kierrättää MF:llä enemmän joko saman pesun sisällä tai eri pesujen välillä suoran viemäroinnin sijaan. Myös pesukeskuksissa voitaisiin kierrättää jo kertaalleen käytettyä vettä uudelleen käyttöön.

Hangon Puhdistamo Oy:lla kuluu puhdasta vettä polymeerin liuotukseen. Polymeeriä käytetään jätevedenpuhdistamolla tehostamaan lietteen laskeutumista ja tiivistämään lietettä. Polymeeri siis flokkaa kiintoainetta isommiksi flokeiksi ja parantaa flokkien kestävyttä. [37.] Tämä olisi yksi potentiaalinen paikka kierrättää vettä, sillä prosessin kannalta vedelle ei olisi suuria laatuvaatimuksia, kunhan polymeeriliuoksen valmistus onnistuu halutulla tavalla. Polymeeriliuoksen valmistukseen käytetään tällä hetkellä puhdasta prosessivettä, joten se olisi hyvä kohde hyödyntää jotakin tehtaan jätevesifraktiota.

Jos Adven Oy:n biokaasulaitoshanke toteutuu, IFF:n tehtaalla tarvittaisiin todennäköisesti säiliöitä, jonne tuotannossa syntyneitä orgaanisia sivuvirtoja kerättäisiin ja joissa niitä säilytettäisiin ennen syöttöä biokaasulaitokselle. Jos säiliö jäisi tyhjilleen, tulisi olla mahdollisuus huuhdella se, etteivät orgaanisen jätteen jäämät ala haisemaan. Lisäksi biokaasulaitoksella saatetaan tarvita vettä orgaanisen jätteen laimentamiseen. Näihin käyttökohteisiin voisi käyttää kierrätettyä vettä, mutta rajoitukset tiettyjen ravinteiden osalta tulisi huomioida biokaasulaitoksen prosessin takia. Kuvassa 3 näkyy potentiaalisten jäteveden käyttökohteiden vedenkulutus suhteessa koko tehtaan vedenkulutukseen.



Kuva 3. Potentiaalisten jäteveden käyttökohteiden vedenkulutus suhteessa koko tehtaan vedenkulutukseen.

Potentiaaliset jäteveden käyttökohteet ovat pitkälti samoja kuin potentiaaliset jäteveden lähteet. Kuvasta 3 näkee, että vedenkulutuksen perusteella potentiaalisimmat jäteveden käyttökohteet olisivat granulaattituotannon poistokaasunpesurit. Kaasunpesurien jälkeen suurimmat vedenkuluttajat ovat sekä granulaattituotannon että entsyymituotannon CIP-keskukset ja MF:n pesu huuhteluineen. Hangon Puhdistamolla tapahtuva polymeerin liuotus tarvitsee myös runsaasti vettä ja entsyymituotannon uusi kaasunpesuri kuluttaisi vettä huomattavasti enemmän kuin nykyinen.

## 6 Veden laatuvaatimukset

Veden laatuvaatimukset vaihtelevat sen mukaan, mihin käyttöön vesi on tarkoitettu, esim. prosessivedelle ja talousvedelle laatuvaatimukset ovat yleensä erilaisia. Jäteveden hyödyntämisen kohteita suunniteltaessa tuli selvittää kussakin kohteessa käytettävän veden laatuvaatimukset.

## 6.1 Lainsäädäntö

Talousvedeksi luokitellaan vesi, jota käytetään kotitalouksissa juomavetenä, ruoanvalmistukseen ja yleisesti hygienian ylläpitämiseen. Talousvedeksi luokitellaan myös yritysten ja tuotantolaitosten elintarviketuotannossa käyttämä vesi. [38.] IFF:n tehtaalla valmistetaan elintarvikelaatuisia entsyymituotteita, joten niiden tuotantoon käytettävä vesi luokitellaan talousvedeksi. Elintarvikelaatuisten tuotteiden tuotannossa käytetään Hangon kaupungin vettä, mutta myös tehtaan RO-laitteiston avulla tuottama prosessivesi on laitteistojen pesujen kautta välillisesti kontaktissa elintarvikelaatuisten tuotteiden kanssa ja siksi veden laatua valvotaan talousvesiasetuksen mukaan.

Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista mukaan talousvedessä ei saa olla pieneliöitä, loisia tai mitään aineita sellaisina määrinä, että niistä voisi aiheutua terveystahetta ihmisille. Talousveden tulee olla myös muilta ominaisuuksiltaan käyttötarkoitukseen sopivaa, ja se ei esimerkiksi saa aiheuttaa laitteiston haitallista syöpymistä tai muodostaa saostumia käytettävissä laitteistoissa. Kunnan terveystuotantotoiminnan tekee näytteenottosuunnitelman talousveden laadun valvomiseksi silloin, kun talousvesi otetaan kiinteistön omalla vesilaitteistolla. Valvontatutkimusohjelmaan kuuluvat tutkimukset koostuvat erillisten vesinäytteiden ottamisesta ja laboratoriossa tehtävistä tutkimuksista tai jatkuvatoimisista mittauksista, jotka tehdään vedentuotantoketjussa. [39.] Viranomaisvalvonnan tarkoituksena on varmistaa, että talousveden laatu on säännösten mukaista ja turvallista käyttää [38]. Lisäksi omavalvonnan avulla toiminnanharjoittajat voivat itse tunnistaa mahdollista terveystahetta aiheuttavat riskitekijät, arvioida riskit ja hallita ne, sekä toteuttaa seurantaa tarpeelliseksi katsotuille tekijöille. Talousveden käsite on rajattu ihmisten käyttöön tarkoitettuun veteen eli talousvesiasetusta ei sovelleta teollisuuden prosessiveteen silloin, kun se ei ole ihmisten käytössä, päädy elintarviketuotteisiin tai ole kontaktissa elintarviketuotteiden kanssa. [40.]

## 6.2 IFF:n tehtaan laatujärjestelmä

IFF:n tehtaalla on integroitu laatujärjestelmä, joka vastaa seuraavia standardeja:

- laadunhallintajärjestelmä ISO 9001
- ympäristöjärjestelmät ISO 14001
- työterveys- ja työturvallisuusjärjestelmät ISO 45001
- laadun ja rehujen turvallisuuden hallintajärjestelmä FAMI-QS. [4.]

Standardit liittyvät veden kierrätykseen siten, että veden kierrätyksen mahdollisia toteutusideoita suunniteltaessa tulee huomioida kierrätettävän veden määrän ja toteutuksen vaikeuden lisäksi työturvallisuus, elintarviketurvallisuus ja laatu sekä ympäristönäkökulmat. Veden kierrätys ei saa aiheuttaa terveyshaittoja työntekijöille (esim. *legionellan* kasvu järjestelmässä), vaarantaa tuotteen tai tuotantoprosessin laatua (esim. kontaminaatoriski), eikä aiheuttaa päästöjä tai muuta haittaa ympäristölle (esim. hajupäästöt).

Hangon kaupungilta ostetun veden lisäksi tehtaalla käytettävää prosessivettä tuotetaan merivedestä käänteisosmoosilaitteiston ja UV-käsittelyn avulla. Tehtaan elintarviketuotannossa käytettävälle talousvedelle tehdään säännöllisiä elintarvikelain ja terveydensuojalain mukaisia tarkastuksia. Veden laatua seurataan myös omavalvonnalla jatkuvatoimisen mittauksen sekä laboratoriossa analysoitavien näytteiden avulla. [41.]

## 6.3 Jäteveden potentiaalisten käyttökohteiden laatuvaatimukset

Kierrätetyn veden mahdollisilla käyttökohteilla on hieman erilaisia laatuvaatimuksia käytettävän veden suhteen. Laatuvaatimukset vaikuttavat laitteiston valintaan, jota voidaan tarvita veden puhdistamiseen käyttökelpoiseksi sekä siihen, mihin kohteisiin vettä voidaan kierrättää. Laitteiston tarpeeseen vaikuttaa myös uudelleen käytettävän veden laatu.

Pesukeskuksissa kaiken käytettävän veden tulee ehdottomasti olla mikrobiologisesti puhdasta. Alkuhuuhdevesi ei saisi juuri sisältää kiintoaineita, mutta

täysin puhdasta prosessivettä sen ei tarvitse olla. Muun pesukeskuksiin kierrätettävän veden tulisi kuitenkin olla kiintoaineista ja ravinteista puhdasta hyvän pesutuloksen aikaansaamiseksi ja tuoteturvallisuuden takaamiseksi. Kierrätettävä vesi ei saa sisältää tuotannossa käytössä olevia allergeeneja, eikä vesiä mielellään siirrettäisi granulaattituotannon ja entsyymituotannon välillä. Veden sekoittamisessa osastojen välillä on vaarana eri osastoilla käytössä olevien allergeenien leviäminen ja mahdollisen kontaminaatiotilanteen sattuessa myös ei-toivottujen mikrobien leviäminen koko tehtaan alueelle. Pesukeskusten vesiä kierrätettäessä tulee lisäksi huomioida vesien sisältämät eri kemikaalit ja niiden mahdollinen reagointi keskenään.

MF:n huuhteluihin ja pesuihin käytettävän veden tulisi olla mahdollisimman puhdasta, eikä se saisi sisältää mikrobeita. Laitteiden huono pesutulos tai likaisen veden käyttäminen voi aiheuttaa ristikontaminaatiovaaran ja huonontaa tuotteen laatua. Vesien kierrätystä suunnitellessa tulee ottaa huomioon myös aineiden mahdollinen reagointi keskenään, jos eri kemikaaleilla tai entsyymeillä on mahdollisuus joutua kosketuksiin toistensa kanssa.

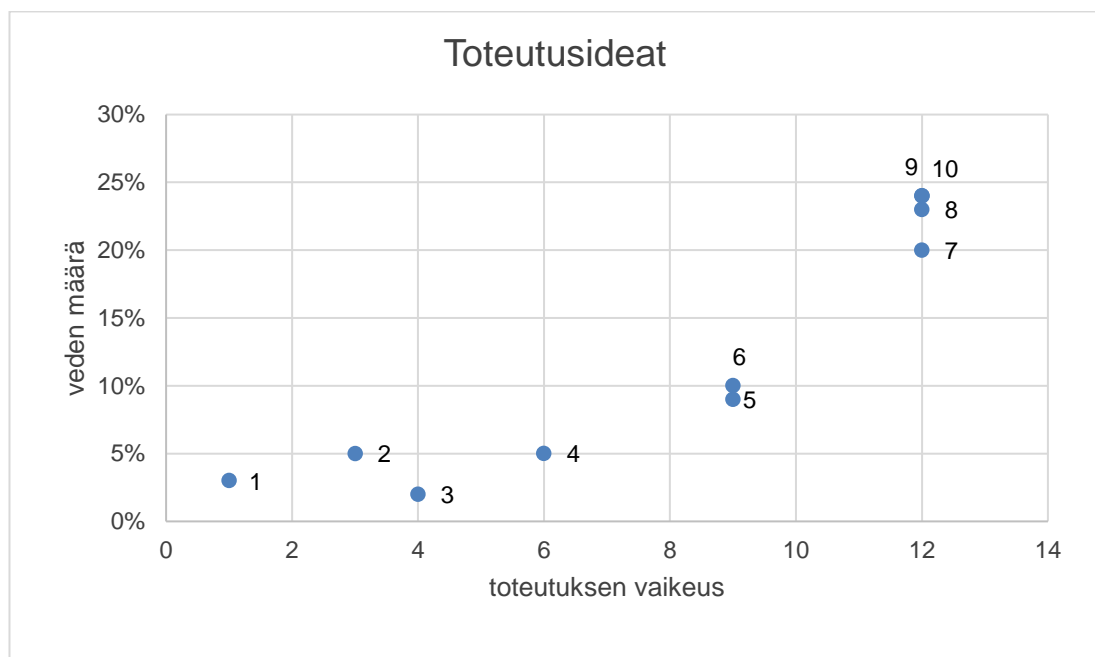
Granulaattituotannon ja entsyymituotannon poistokaasunpesureilla käytettävän veden tulisi olla mikrobiologisesti puhdasta, eikä se saisi sisältää hajukomponentteja mahdollisten hajupäästöjen takia. Granulaattituotannon kaasunpesurien vesi voisi sisältää jonkin verran enemmän kiintoaineita, mitä tällä hetkellä niissä käytettävä puhtaan veden ja entsyymien konsentroinnista syntyvän permeaatin yhdistelmä sisältää. Vedessä olevat proteiinit voivat aiheuttaa kaasunpesureilla veden vaahtoamista, mikä ei ole toivottavaa. Entsyymituotannon kaasunpesurin vedessä ei saisi olla liikaa sokereita eikä kiintoaineita. Kierrätettävän veden lähteen perusteella tulee arvioida myös sen mahdolliset vaikutukset ympäristöön, sillä osa kaasunpesureilla käytettävästä vedestä haihtuu ja siirtyy poistokaasun mukana ympäristöön. Granulaattituotannon pölynliettosäiliöiden vedelle ei ole laatuvaatimuksia, kunhan kierrätettyyn veteen lietettyä pölyä ei hyödynnetä tuotteisiin, vaan vesi viemäroidään pölyn lieton jälkeen.

Jätevedenpuhdistamolla käytetään vettä polymeerin liuotukseen. Tähän käyttöön kierrätettävä vesi ei saisi sisältää kovin paljon ravinteita, koska polymeeriä

käytetään vasta jäteveden puhdistusprosessin loppuvaiheessa. Tällöin prosessiin polymeerin käytön yhteydessä lisätty ravinnepitoinen vesi menisi lähes suoraan takaisin mereen, mitä ei saisi tapahtua, sillä jäteveden puhdistuksen tarkoituksena on minimoida ympäristöön päästettävien ravinteiden määrä.

## 7 Mahdolliset toteutusideat

Vaihtoehtoista lähetettiin valikoimaan mahdollisesti toteutettavissa olevia ideoita eri jäteveden lähteiden ja veden hyödyntämisen kohteiden perusteella. Ensimmäin arvioitiin kunkin lähteen mukaan, mihin kaikkiin kohteisiin vettä voitaisiin hyödyntää. Tämän jälkeen potentiaalisimpia jäteveden lähteiden ja kohteiden yhdistelmiä rajattiin kierrätettävissä olevan veden määrän ja toteutuksen vaikeuden perusteella (kuva 4).



Kuva 4: Toteutusideat sijoittuneena kuvaan kierrätettävissä olevan veden määrän ja toteutuksen vaikeuden mukaan.

Kuvassa 4 näkyvät numeroidut toteutusideat ovat seuraavat:

1. Biokaasulaitoksen permeaatti polymeerin liuotukseen.

2. Entsyymituotannon alkuhuhdesäiliön vesi entsyymituotannon kaasunpesurille.
3. Granulaattituotannon alkuhuhdesäiliön vesi pölynliettosäiliöihin.
4. Granulaattituotannon alkuhuhdesäiliön vesi granulaattituotannon poistokaasunpesureille.
5. Granulaattituotannon poistokaasunpesureilta viemäroitävät vedet takaisin poistokaasunpesureille.
6. Granulaattituotannon alkuhuhdeiden käyttö poistokaasunpesureilla.
7. Puhdistamon poistuvan veden käyttö granulaattituotannon poistokaasunpesureilla.
8. Puhdistamon poistuvan veden käyttö entsyymituotannon poistokaasunpesurilla.
9. Puhdistamon poistuvan veden käyttö pesukeskuksissa.
10. Pesuvesien kierrätys uudelleen käyttöön pesukeskuksissa.

Toteutuksen vaikeus pisteytettiin sen mukaan, millaista laitteistoa toteutukseen ajateltiin tarvittavan ja kuinka haastavaa sen rakentaminen olisi. Taulukossa 3 näkyy pisteytyksen periaate.



Taulukko 3: Toteutuksen vaikeuden pisteytys.

Tarvittava laitteisto	Vaikeus
Ei mitään	0
Putkisto	1
Sihti	2
Desinfiointi	3
Putkisto + säiliö	4
Kalvosuodatus	5

Helpoimmin toteutettavia ideoita olisivat biokaasulaitoksen permeaatin hyödyntäminen jäteveden puhdistamalla polymeerin liuotukseen, entsyymituotannon pesukeskusten alkuhuuhdesäiliön vesien hyödyntäminen poistokaasunpesurilla ja granulaattituotannon pesukeskusten alkuhuuhdesäiliön vesien hyödyntäminen pölynpoistojärjestelmien pölynliettosäiliöissä. Permeaatin hyödyntämistä varten tarvittaisiin vain putkistoa veden johtamiseksi biokaasulaitokselta puhdistamolle käytettäväksi. Entsyymituotannon alkuhuuhdesäiliön vesien käyttämiseksi taas tarvittaisiin putkiston lisäksi sihti varmistamaan, ettei kierrätetyn veden mukana tulisi kiintoaineita kaasunpesurille. Granulaattituotannon alkuhuuhdesäiliön veden hyödyntämiseksi pölynliettosäiliöissä tarvittaisiin putkistoa ja todennäköisesti myös säiliö, johon vesiä voitaisiin kerätä. Näissä ideoissa kierrätetyn veden määrä jäisi melko alhaiseksi.

Hieman haastavammin toteutettavat ideat keskittyvät granulaattituotannon poistokaasunpesureille: granulaattituotannon pesukeskusten alkuhuuhdesäiliön vesien hyödyntäminen kaasunpesureilla, kaasunpesureilta viemäroitävien vesien kierrättäminen takaisin kaasunpesureille ja granulaattituotannon pesukeskusten alkuhuuhdeiden käyttö kaasunpesureilla. Alkuhuuhdeiden ja kaasunpesureilta jo viemäroidyn veden hyödyntäminen kaasunpesureilla vaatisi putkistoa, säiliötä, sihtiä ja todennäköisesti myös veden desinfiointia. Sihdin ja desinfioinnin avulla varmistettaisiin kiintoaineiden ja mikrobien poisto vedestä. Granulaattituotannon pesukeskuksen alkuhuuhdesäiliön veden käyttö kaasunpesureilla vaatisi

putkistoa, mutta mahdollisesti myös sihtiä ja säiliötä. Vaikka vedet kerätään jo alkuhuuhtesäiliöön, menee säiliön yli joskus vesiä suoraan viemäriin ja myös ne olisi hyvä saada talteen. Säiliöön kerättävien väli- ja loppuhuuhteiden pitäisi olla jo varsin puhtaita, koska ne käännetään keräyssäiliöön tiettyjen laatuvaatimusten mukaan, mutta sihdin avulla voitaisiin vielä poistaa mahdollisia kiintoaineita. Alkuhuuhteita ja viemäroitäväksi meneviä vesiä hyödyntämällä saataisiin kierrätettyä jo hieman enemmän vettä.

Kaikista haastavimman toteutuksen vaativat ideat keskittyvät pääasiassa puhdistamon poistuvan veden hyödyntämiseen. Poistuvaa vettä voitaisiin hyödyntää entsyymituotannon ja granulaattituotannon poistokaasunpesureilla sekä pesukeskuksissa. Myös pesukeskusten veden uudelleenkäyttö pesukeskusten sisällä olisi toteutuksen osalta vaativaa. Nämä kaikki ideat tarvitsisivat putkistoa ja säiliön, kalvosuodatuslaitteiston sekä veden desinfiointin. Puhdistamon poistuvasta vedestä tulisi poistaa siinä vielä olevat kiintoaineet ja ravinteet sekä mikrobit. Pesukeskusten vedestä tulisi taas poistaa kemikaalit ja kiintoaineet. Pesuissa käytettävän veden tulisi myös olla kaikin puolin turvallista käyttää sen ollessa välillisesti kontaktissa tuotteiden kanssa, joten laatu- ja turvallisuustekijät tulisi huomioida. Puhdistamolta vettä saataisiin käyttöön lähes rajaton määrä ja sen avulla olisi mahdollista korvata kokonaisuudessaan jonkin kohteen puhtaan prosessiveden käyttö. Pesukeskuksien vesiä kierrättämällä pystyttäisiin vähentämään pesukeskusten veden tarvetta.

## **8 Toteutusideoiden priorisointi**

UF:n ja MF:n pesu- ja huuhteluvesien hyödyntäminen sekä veden kierrättäminen uudelleen käytettäväksi MF:llä hylättiin jo ensimmäisiä mahdollisia toteutusideoita rajatessa. Kaikkia kalvosuodatuslaitteiden vesiä ei voitaisi kierrättää niiden likaisuuden takia ja uudelleen käytettävä vesi vaatisi huolellista puhdistusta esim. kalvosuodatuslaitteen ja desinfiointin avulla. Laatuvaatimukset suodatuslaitteistoissa käytettävälle vedelle ovat tiukat ja tässä ideassa hyöty jäisi pienemmäksi kuin toteutukseen kuuluva vaiva sekä riskit tuotteiden laadun heikentymiseen kasvaisivat.

Aiemmin mainitut kymmenen potentiaalisinta ideaa ja perustelut kullekin idealle esitettiin tehtaan johtoryhmälle ja niistä syntyneen keskustelun perusteella ideoita rajattiin edelleen. Puhdistamon poistuvan veden käyttö päätettiin sulkea pois, koska jätevesijärjestelmissä saattaa olla *legionella*-bakteeria eikä voida ottaa riskiä sen pääsystä tuotantoprosessiin. Puhdistamon poistuvaa vettä hyödynnettäessä veden puhdistuksen ja laadunvalvonnan tulisi olla tarkkaa, mikä aiheuttaisi kustannuksia, eikä vettä pystyttäisi laadunvalvonnasta huolimatta käyttämään prosessivetenä. Tällöin prosessiveden tuotto merivedestä on helpompaa ja riskittömämpää. Puhdistamon poistuvaa vettä hyödynnettäessä saatettaisiin jätevetä puhdistaa varmuuden vuoksi turhankin paljon, mikä ei ole veden kierrätyksen tarkoitus. Myös pesuvesien kierrätys uudelleen käytettäväksi vaatisi paljon laitteistoa ja laadunvalvontaa, sillä pesuvedet ovat välillisesti kosketuksissa tuotteiden kanssa ja voisivat siten aiheuttaa laatu- ja turvallisuusongelmia.

Muita ideoita ei suoraan suljettu pois, mutta kaikista potentiaalisimmilta ja helpoimmin toteutettavissa olevilta vaihtoehdoilta vaikuttivat sekä entsyymituotannon alkuhuuhdesäiliön vesien hyödyntäminen entsyymituotannon poistokaasunpesurilla että granulaattituotannon alkuhuuhdesäiliön vesien hyödyntäminen granulaattituotannon poistokaasunpesureilla. Kyseisten säiliöiden vesiä hyödynnetään jo alkuhuuhdeina, joten ne ovat valmiiksi hyvin puhtaita, eikä kaasunpesureilla käytettävä vesi ole kontaktissa tuotteiden kanssa. Entsyymituotannon puolella alkuhuuhdesäiliön vesiä käytetään huomattavasti vähemmän kuin granulaattituotannon puolella ja granulaattituotannon alkuhuuhdesäiliön yli virtaa välillä palautettavia vesiä viemäriin, kun säiliö on jo täynnä joko puhtaan veden lisäyksen tai palautettujen vesien takia. Näissä ideoissa veden kierrätyksen lisäksi etuna olisi entsyymituotannon puolella alkuhuuhdesäiliön veden nopeampi vaihtuminen ja granulaattituotannon puolella voitaisiin saada palautettua turhaan viemäriin menevät väli- ja loppuhuuhdeet säiliöön.

## 9 Tulokset

Granulaattituotannon ja entsyymituotannon alkuhuhdesäiliöiden vedenkäyttöä poistokaasunpesureilla tarkasteltiin simuloimalla eri tilanteita. Simuloinnin avulla nähtiin, miten säiliöiden vedenkulutus muuttuisi eri tilanteissa ja olisiko kyseisten vesien hyödyntäminen kierrätyksen näkökulmasta kannattavaa. Granulaattituotannon tilanteita simuloitiin sen mukaan, että vedet otettaisiin nykyisestä alkuhuhdesäiliöstä. Alla mainitut vesimäärät on suhteutettu tehtaan nykyiseen kokonaisvedenkulutukseen.

Ottamalla vettä entsyymituotannon alkuhuhdesäiliöstä entsyymituotannon uudelle poistokaasunpesurille, voitaisiin kaasunpesurilla hyödyntää noin 4 % vettä, jos säiliön vedenkäyttö pysyisi muuten nykyisellään ja suurin osa käytetyistä väli- ja loppuhuuhteista kerättäisiin säiliöön. Jos säiliöstä käytettäisiin vettä kaasunpesurin lisäksi myös kaikkiin entsyymituotannon pesujen alkuhuhuhteisiin, olisi vettä hyödynnettävissä kaasunpesurille vielä noin 3 %. Näissä tilanteissa säiliöön tulisi lisätä vain pieniä määriä puhdasta vettä. Simuloimalla kokeiltiin, miltä tilanne näyttäisi, jos säiliöstä otettaisiin kaasunpesurille jatkuvasti reilusti enemmän vettä, kuin sieltä olisi käytettävissä ilman veden lisäystä. Tulosten perusteella kaikki kaasunpesurilla käytettävä vesi olisi kokonaisvedenkulutuksen kannalta hyödyllisin ottaa alkuhuhdesäiliön kautta, vaikka vettä pitäisikin lisätä säiliöön. Nykyisellä käytöllä vettä olisi kokonaisuudessaan hyödynnettävissä noin 5 %.

Hyödyntämällä granulaattituotannon alkuhuhdesäiliön vesiä granulaattituotannon poistokaasunpesureilla voitaisiin seuraavissa vaihtoehdoissa kierrättää vettä noin 5 % tehtaan kokonaisvedenkulutuksesta. Säiliön veden käyttö alkuhuhuhteissa säilyisi ennallaan. Vettä hyödynnettäessä kaikille poistokaasunpesureille, tulisi säiliöön lisätä noin 14 % puhdasta prosessivettä. Jos vettä hyödynnettäisiin neljälle eniten vettä kuluttavalle poistokaasunpesurille, tulisi vettä lisätä noin 8 %. Vettä voitaisiin hyödyntää myös vain uusimmilla kaasunpesureilla, jotka käyttävät kaasun pesuun ainoastaan puhdasta prosessivettä, eivätkä hyödynnä entsyymien konsentroidista saatavaa permeaattia. Tällöin vettä tulisi lisätä noin 3 % ja säiliöön palautettavaa vettä menisi vielä jotain määriä

säiliön yli viemäriin. Jos vettä kierrätettäisiin viiden prosenttiyksikön verran, kyseinen vesimäärä kattaisi noin 25 % poistokaasunpesureiden kokonaisvedenkulutuksesta.

Simuloinnin avulla tutkittiin myös, kuinka nykyistä granulaattituotannon alkuhuuhdesäiliötä 40 % isompi säiliö vaikuttaisi vedenkulutukseen kussakin tapauksessa. Jokaisessa tilanteessa tarvittava veden lisäys isompaan säiliöön olisi pienempi kuin nykyiseen ja vettä olisi mahdollista kierrättää enemmän. Nykyiseen säiliöön ei pystytä palauttamaan kaikkea kierrätettävissä olevaa vettä, vaan säiliöstä vaadittaisiin vielä reilumpaa vedenottoa, että kaikki palautettavaksi tarkoitettu vesi mahtuisi säiliöön.

Simuloinnin tulosten perusteella vettä olisi mahdollista kierrättää alkuhuuhdesäiliöistä poistokaasunpesureille uudelleenkäytettäväksi ja yhteensä näissä kohteissa vettä voitaisiin kierrättää noin 10 % tehtaan kokonaisvedenkulutuksesta. Granulaattituotannon puolella paras vaihtoehto olisi alkuhuuhdesäiliön veden käyttö uusimmilla poistokaasunpesureilla. Tällöin säiliöön tulisi lisätä muutaman prosenttiyksikön verran enemmän vettä kuin nykyään, mutta kierrätettävän veden määrää saataisiin lisättyä. Entsyymituotannon puolella vaihtoehtoja ei voitu arvioida kovin tarkasti, koska uuden poistokaasunpesurin todellista vedenkulutusta ei vielä tiedetä. Simuloinnin perusteella kaasunpesurin vesi olisi kuitenkin kokonaisvedenkulutuksen perusteella kannattavaa ottaa alkuhuuhdesäiliöstä, vaikka sinne jouduttaisiinkin lisäämään vettä.

## **10 Yhteenveto**

Tällä insinööriyöllä pyrittiin selvittämään, olisiko IFF:n Hangon tehtaalla mahdollista veden kierrätyksen avulla välttää tai viivästyttää prosessivedentuotannon ja jäteveden käsittelyn laajentamiseen liittyviä investointeja. Ilman tehokkaampaa veden kierrätystä tai investointeja nämä tekijät tulevat rajoittamaan tehtaan laajenemista tulevaisuudessa. Työn tavoitteina oli kartoittaa ja priorisoida mahdollisesti hyödynnettävissä olevat jätevesivirrat ja käyttökohteet sekä suunnitella parhaan kohteen toteutus.

Työssä saatiin kartoitettua mahdollisesti hyödynnettävissä olevat jätevesivirrat ja niiden käyttökohteet. Haastattelemalla eri toiminnoissa työskenteleviä henkilöitä saatiin kerättyä monipuolisesti erilaisia ideoita. Kartoituksen perusteella eri lähteiden ja kohteiden vedenkulutus laskettiin tehtaan tiedonkeruu- ja toiminnanohjausjärjestelmien avulla, jotta saatiin selville eri toimintojen todellinen vedenkulutus. Samalla huomattiin, että jotkin kohteet, joiden ajateltiin käyttävän runsaasti vettä, eivät kuluttaneetkaan sitä kovin paljoa suhteessa tehtaan kokonaisvedenkulutukseen, ja osa kohteista, joiden tiedettiin käyttävän paljon vettä, kuluttivat sitä vielä enemmän, mitä oli ajateltu. Ideoita saatiin priorisoidua niiden vedenkulutuksen, vesien laatuvaatimusten, kierrätettävissä olevan veden ja toteutuksen vaikeuden perusteella. Parhaiden ideoiden toimivuutta tarkasteltiin simuloinnin avulla ja siten saatiin suunniteltua optimaalisimmat toteutusvaihtoehdot. Työn tavoitteet saatiin siis täytettyä.

Insinööriyön avulla saatiin tarkempaa tietoa tehtaan veden käytöstä ja tällä hetkellä jo kierrätettävän veden määrästä. Samalla saatiin koottua erilaisia toteutusideoita veden kierrätystä koskien. Työtä voisi jatkaa kokeilemalla, kuinka automatisoitu veden lisäys säiliöiden pintarajojen mukaan toimisi alkuhuuhdesäiliöissä ja niiden tulosten perusteella voisi arvioida näiden parhaiden ideoiden toimivuutta ja toteutusta käytännössä. Kierrättämällä vettä alkuhuuhdesäiliöistä poistokaasunpesureille ei kuitenkaan säästetä sellaisia vesimääriä, että investointeja prosessivedentuottoon tai jäteveden käsittelyyn pystyttäisiin välttämään kierrätyksen avulla. Insinööriyön tulosten pohjalta yritykselle tehtiin projektiehdotukset molemmista ideoista, jotta ne voivat mahdollisuuksien mukaan edetä myöhemmin toteutettaviksi.

## Lähteet

- 1 Uusien työntekijöiden perehdytyspäivä. 2020. Yrityksen sisäinen dokumentti. Genencor International Oy.
- 2 TKK – Hanko. 2003. Yrityksen sisäinen dokumentti. Genencor International Oy.
- 3 Our Purpose. Verkkoaineisto. IFF. <<https://www.iff.com/about/purpose>>. Luettu 5.10.2021.
- 4 Ympäristölupapäätös. Genencor International Oy, Hanko. 2016. Etelä-Suomen Aluehallintovirasto.
- 5 Tuotantohygienia. 2012. Yrityksen sisäinen dokumentti. Genencor International Oy.
- 6 Teollisuusyritys voisi säästää jopa miljoonan vettä kierrättämällä. 2019. Verkkoaineisto. Adven. <<https://adven.com/fi/artikkelit/teollisuusyritys-voisi-saastaa-jopa-miljoonan-vetta-kierrattamalla/>>. Luettu 3.9.2021.
- 7 Together for a sustainable future. 2007. Kokousmateriaali. United Nations Industrial Development Organization.
- 8 Palveluun perustuva jätevesien käsittely auttaa teollisuutta säästämään ja tehostamaan prosessejaan. 2021. Verkkoaineisto. Adven. <<https://adven.com/fi/artikkelit/palveluun-perustuva-jatevesien-kasittely/>>. Luettu 20.9.2021.
- 9 Reuse Water between Businesses. Verkkoaineisto. Sustainable Sanitation and Water Management Toolbox. <<https://sswm.info/water-nutrient-cycle/water-use/hardwares/optimisation-water-use-industries/reuse-water-between-businesses>>. Luettu 13.9.2021.
- 10 Wastewater Reuse in Industry. Verkkoaineisto. Sustainable Sanitation Water Management. <<https://sswm.info/water-nutrient-cycle/water-use/hardwares/optimisation-water-use-industries/wastewater-reuse-in-industry>>. Luettu 6.9.2021.
- 11 Fatimah Sa’ad, Siti; Shiun, Lim, Manan, Zainuddin & Wan Alwi, Sharifah-Rafidah. 2021. Industrial wastewater recovery for integrated water reuse management. Integrated and Hybrid Process Technology for Water and Wastewater Treatment. Chapter 14, s. 293–311.

- 12 Ritchie, Hannah & Roser, Max. 2015. Water Use and Stress. Verkkoaineisto. Our World in Data. <<https://ourworldindata.org/water-use-stress>>. Päivitetty heinäkuussa 2018. Luettu 8.9.2021.
- 13 Thazhamon, Dennis. 2020. The Potential for Industrial Wastewater Reuse. Verkkoaineisto. Water Conditioning & Purification International Magazine. <<https://wcponline.com/2020/12/15/the-potential-for-industrial-wastewater-reuse/>>. Luettu 3.9.2021.
- 14 Galkina, Elena & Vasyutina, Olesya. 2018. Reuse of treated wastewater. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
- 15 Teollisuuden veden ja jätteiden käsittely. Verkkoaineisto. Alfa Laval. <<https://www.alfalaval.fi/teollisuusalat/veden-ja-jatteiden-kasittely/teollisuuden-veden-ja-jatteiden-kasittely/>>. Luettu 7.9.2021.
- 16 Ostonen, Alexandr. Kalvoerotusmenetelmät osa 1. 2015. Luentomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 17 Burton, Franklin; Stensel, David & Tchobanoglous, George. 2004. Wastewater Engineering, Treatment and Reuse. 4th ed. New York: The McGraw-Hill Companies.
- 18 Reuse Water within a Business. Verkkoaineisto. Sustainable Sanitation Water Management Toolbox. <<https://sswm.info/water-nutrient-cycle/water-use/hardwares/optimisation-water-use-industries/reuse-water-within-a-business>>. Luettu 6.9.2021
- 19 NEWater. Verkkoaineisto. PUB Singapore's National Water Agency. <<https://www.pub.gov.sg/watersupply/fournationaltaps/newater>>. Luettu 9.9.2021.
- 20 Karlberg, Peter. 2019. Saksalaiset panevat olutta jäteveeteen – Hyvää on, mutta turha odottaa kaupan hyllylle. Verkkoaineisto. Tekniikka ja talous. <<https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/saksalaiset-panevat-olutta-jateveeteen-hyvaa-on-mutta-turha-odottaa-kaupan-hyllylle/6b704c2a-40d8-4440-8de1-8c64388ec60a>>. Päivitetty 14.10.2019. Luettu 19.9.2021.
- 21 Water Management. Verkkoaineisto. IFF. <<https://www.iff.com/responsibilities/environment/water-management>>. Luettu 7.9.2021.
- 22 Environment. Verkkoaineisto. IFF. <<https://www.iff.com/responsibilities/environment>>. Luettu 9.9.2021.
- 23 Suomen ympäristökeskus. 2020. Vastuullista vedenkäyttöä. Verkkoaineisto. Vesi.fi. <<https://www.vesi.fi/vesitieto/vastuullista-vedenkayttoa/>>. Luettu 4.10.2021



- 24 Salminen, Jani; Määttä, Kalle; Noro, Kirsi; Raatikainen, Jenni; Maidell, Marjo; Haimi, Henri; Pohjola, Johanna; Horne, Paula, Karjalainen Anna & Junttila, Ville. 2020. Vesiviisaan bio- ja kiertotalouden kannusteet. Loppuraportti. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminta. 2020:9. Helsinki: Valtioneuvoston kanslia.
- 25 Ympäristölupapäätös. Valio Oy, Helsinki. 2004. Pohjois-Savon Ympäristökeskus.
- 26 Ympäristölupapäätös. Valio Oy, Riihimäki. 2012. Etelä-Suomen Aluehallintovirasto.
- 27 Ympäristölupapäätös. Valio Oy, Seinäjoki. 2013. Länsi- ja Sisä-Suomen Aluehallintovirasto.
- 28 Ympäristölupapäätös. Oy Hartwall Ab, Helsinki. 2020. Aluehallintovirasto.
- 29 Ympäristölupapäätös. Sinebrychoff Supply Company Oy, Kerava. 2021. Aluehallintovirasto.
- 30 Korhonen, Tuuli. 2014. Teollisen entsyymituotannon sivuvirtojen optimointi. Diplomityö. Aalto-yliopisto. Kemian tekniikan korkeakoulu. Aalto-doc-tietokanta.
- 31 Ympäristölupapäätös. Genencor International Oy, Jokioinen. 2021. Aluehallintovirasto.
- 32 Adven toteuttaa Hankoon biokaasulaitoksen. 2020. Verkkoaineisto. Adven. <<https://adven.com/fi/uutiset/adven-toteuttaa-hankoon-biokaasulaitoksen/>>. Luettu 10.9.2021.
- 33 Adven Oy:n biokaasulaitos, Hanko. 2020. Verkkoaineisto. Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. <[https://www.ymparisto.fi/fi-fi/Asiointi\\_luvat\\_ja\\_ymparistovaikutusten\\_arviointi/Ymparistovaikutusten\\_arviointi/YVAhankkeet/Adven\\_Oyn\\_biokaasulaitos\\_Hanko](https://www.ymparisto.fi/fi-fi/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Ymparistovaikutusten_arviointi/YVAhankkeet/Adven_Oyn_biokaasulaitos_Hanko)>. Päivitetty 1.3.2021. Luettu 10.9.2021.
- 34 National Research Council; Division on Earth and Life Studies; Water Science and Technology Board & Committee on the Assessment of Water Reuse as an Approach to Meeting Future Water Supply Needs. 2012. Water Reuse. E-kirja. National Academies Press.
- 35 Legionellabakteerit vesijärjestelmissä. 2021. Verkkoaineisto. Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. <<https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/vesi/legionellabakteerit-vesijarjestelmissa>>. Päivitetty 11.6.2021. Luettu 30.9.2021.

- 36 Björkqvist, Anna. 2018. Legionella vesijärjestelmissä – mittaaminen ja riskienhallinta. Verkkoaineisto. Teollisuuden vesi. <<https://www.teollisuudenvesi.fi/ajankohtaista/legionella-vesijarjestelmissa/>>. Luettu 5.10.2021.
- 37 Hangon Puhdistamon toimintakuvaus. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. Genencor International Oy.
- 38 Talousvesi. 2020. Verkkoaineisto. Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto. <<https://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/talousvesi>>. Päivitetty 30.6.2020. Luettu 4.10.2021.
- 39 Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista. 2015. 17.11.2015/1352
- 40 Talousvettä koskevia säädöksiä. 2020. Talousvesiasetuksen soveltamisohje, ohje 5/2020, osa 1. Helsinki: sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto.
- 41 Tarkastuspöytäkirja. 2020. Yrityksen sisäinen dokumentti. Genencor International Oy.