



**SAVONIA**

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# HKSCAN FINLAND OY

Teurastamon teollisuusjätevesien puhdistusmenetelmät  
ja käsittelyn jäteveden kierrättäminen

TEKIJÄ/T: Eeti Kalliomäki

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Ympäristötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Eeti Kalliomäki	
Työn nimi Teurastamon teollisuusjätevesien puhdistusmenetelmät ja käsitellyn jäteveden kierrättäminen	
Päiväys	20.02.2020
Sivumäärä/Liitteet	39/7
Ohjaaja(t) Tuntiohjaaja Juha-Matti Aalto, Tuntiohjaaja Aku Tuppurainen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) HKScan Finland Oy - Outokummun tuotantolaitos, Ohjaaja teknologia-asiantuntija Kimmo Räsänen	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää teurastamon teollisuusjätevesien puhdistusmenetelmiä ja suunnitella jäteveden kierrätysvesijärjestelmä. Työn tilaajana toimii HKScan Finland Oy Outokummun tuotantolaitos. Työn tavoitteena oli tutkia toiminnalle sopivia puhdistusmenetelmiä ja käsitellyn jäteveden uudelleen käytön mahdollisuuksia. Lopuksi tavoitteena oli suunnitella kierrätysvesijärjestelmä ja esittää vaihtoehtotarkastelussa järjestelmästä syntyvät kustannukset.</p> <p>Suomen teollisuuden aloista elintarviketeollisuus on yksi suurimmista veden käyttäjistä. Lihateollisuudessa vettä käytetään tuotannossa ja tuotantolaitosten puhdistuksessa. Elintarviketeollisuuden yritykset ovat sitoutuneet pienentämään energian- ja vedenkulutusta. Pohjoismaainen ruokatalo HKScan Finland Oy on määrittänyt omat ympäristötavoitteet. Yksi näistä ympäristötavoitteista on vedenkulutuksen vähentäminen 25 % vuoden 2018 tasosta.</p> <p>Tämä työn kirjallisuusosiossa käsitellään teurastamon jätevesiä ja jätevesien käsittelyä. Jätevesien käsittelyllä ja siihen liittyvillä tekniikoilla avataan veden uudelleen käytön mahdollisuuksia. Veden uudelleen käytön yhteydessä on myös tunnettava toimintaympäristöä koskeva lainsäädäntö ja vaatimukset.</p> <p>Työn käytännön osuudessa on selvitetty käsitellyn jäteveden uudelleenkäyttöä tuotantolaitoksen eläinsuojassa. Selvityksen aikana on tutkittu vedenkulutusta ja käyttötarkoitusta eläinsuojassa. Uudelleen käytettävän veden käyttöä rajoittavat veden laatutekijät ja käyttökohde. Ennen käsitellyn jäteveden uudelleenkäyttöä on arvioitava käyttöön liittyvät riskit. Työn lopputuloksena on arvioitu puhdistetun jäteveden soveltuvuutta uudelleen käytettäväksi kierrätysvesijärjestelmässä. Käsitellyn jäteveden laatutekijöitä on tutkittu akkreditoitujen toimijain avulla.</p> <p>Tulosten pohjalta on laadittu kierrätysvesijärjestelmän esisuunnitelma Outokummun tuotantolaitokselle. Suunnitelman lisäksi työssä on arvioitu kierrätysvesijärjestelmästä syntyviä kustannuksia ja hyötyjä. Kustannuslaskenta sisältää nykyisten kustannukset ja vaihtoehtotarkastelun avulla arvioidut investointi- ja käyttökustannukset. Eläinsuojan vedenkulutuksen seurannassa havaittiin sen osuuden olevan noin 9 % tuotantolaitoksen kokonaisvedenkulutuksesta. Käsitellyn jäteveden uudelleen käytöllä on potentiaalia vedenkulutuksen vähentämisessä tuotantolaitoksessa.</p>	
Avainsanat Teurastamo, veden kierrätys, teollisuusjätevesi, kierrätysvesijärjestelmä, esisuunnittelu, vaihtoehtotarkastelu	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology			
Author(s) Eeti Kalliomäki			
Title of Thesis Treatment and Recycling of Industrial Wastewater in a Slaughterhouse			
Date	20 February 2020	Pages/Appendices	39/7
Supervisor(s) Mr. Juha-Matti Aalto, Lecturer and Mr. Aku Tuppurainen, Lecturer			
Client Organisation /Partners HKScan Finland Oy – Outokumpu’s Production Unit/ Mr. Kimmo Räsänen, Technology Expert			
<p><b>Abstract</b></p> <p>The purpose of this thesis was to examine the treatment and recycling of industrial wastewater in a slaughterhouse. The thesis was commissioned by HKScan Finland Oy Outokumpu’s production unit. The goal of the work was to investigate suitable wastewater treatment methods and the possibilities for recycling the slaughterhouse wastewater. The final product of this work included plans for the wastewater recycling system and a presentation of the costs of the system with an option review.</p> <p>Food production industry is one of the major water consumers in Finland. Meat industry uses the water in production and cleaning. Food companies are committed to reducing energy and water consumption in the following decades. Among others, HKScan Finland Oy, a Nordic food company, has set goals for the environment. One of these goals is to reduce their total water consumption by 25% from the consumption rate of the year 2018.</p> <p>The literature section of this thesis discussed the characteristics of wastewater in slaughterhouses as well as suitable solutions for wastewater treatment. Also, the legislation and other regulations such as BREFS were included in the study. The final part of the literature section reviewed the possibilities of reusing the wastewater produced by the slaughterhouse.</p> <p>The research also covered the possibilities of reusing the treated wastewater in the slaughterhouse’s animal shelter. In addition, the water consumption rates and the use for water were monitored twice a day in one week. The reuse of wastewater is often restricted due to the risks involved. In this case a risk assessment was required for the safe usage of reused wastewater. The results included the assessment of the suitability of the treated wastewater in a non-potable water recycling system. The quality of the treated wastewater was analysed in an accredited laboratory.</p> <p>Based on the results, preliminary technical plans were made for the non-potable water recycling system in Outokumpu’s production unit. Along with the plans, a total cost assessment and an option review were made for comparative costs. The cost assessment includes the present-day costs as well as investment and operating costs. Based on the water consumption monitoring results the usage of water in the animal shelter was approximately 9% of the total water consumption in the production unit. These findings show that the non-potable recycling system has immense potential in the reduction of the water consumption in the production plant.</p>			
<p><b>Keywords</b> Slaughterhouse, water reuse, industrial wastewater, water recycling system, pre-planning, option review</p>			

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	6
2	LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT.....	7
3	TEURASTAMON JÄTEVESIEN KÄSITTELY .....	8
3.1	Teurastamojen jäteveden koostumus ja jätevesikuormitus .....	9
3.2	Vaikutus ympäristöön ja vaatimukset.....	10
3.3	Lainsäädäntö .....	11
3.3.1	Ympäristösuojelulaki 2014/527 .....	11
3.3.2	Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta 2005/390.....	11
3.3.3	Eläinsuojeluasetus 1996/396.....	11
3.3.4	TSE-asetus 2001/999/EY .....	11
3.4	Teurastamon BAT-vaatimukset jätevesien käsittelylle .....	11
3.5	Teurastamon jätevesien puhdistusmenetelmät.....	13
3.5.1	Sähkökoagulaatio (EC) .....	13
3.5.2	Korkeapaineflotaatio (DAF) .....	15
3.5.3	Kalvosuodatustekniikka.....	16
3.5.4	Tehostettu hapetus -tekniikka (AOP).....	18
3.6	Jätevesien desinfiointi.....	21
3.6.1	UV-desinfiointi .....	21
3.6.2	Klooraus .....	22
3.6.3	Hiekkasuodatus .....	22
4	VEDENKIERRÄTYSJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU OUTOKUMMUN TUOTANTOLAITOKSELLE..	24
4.1	Kierrätettävän jäteveden muodostamat riskit.....	24
4.2	Tuotantolaitoksen eläinsuojan vedenkulutuksen seuranta.....	25
4.2.1	Veden käyttökohteet eläinsuojassa .....	26
4.3	Jätevesianalyysit .....	26
4.3.1	Käsitellyn jäteveden soveltuvuus kierrätykseen.....	27
4.4	Veden käytöstä aiheutuvat kustannukset .....	28
4.4.1	Talousveden käyttömaksuista muodostuvat kustannukset.....	28
4.4.2	Teurastamon jätevedenkäsittelylaitoksen kustannukset .....	29
4.4.3	Vedenlämmityksen kustannukset .....	30
4.5	Kiertovesijärjestelmän suunnittelu .....	31

4.5.1	Vesijohdon sisäläpimitan määrittäminen .....	31
4.5.2	Kiertovesijärjestelmän energiantarve ja kustannusvertailu .....	32
4.5.3	Pumpun mitoitus.....	33
4.6	Suunnitelmien ja valittujen ratkaisujen kuvaus.....	34
4.7	Kiertovesijärjestelmän vaihtoehtotarkastelu .....	36
5	YHTEENVETO.....	37
6	SUOSITELLUT JATKOTOIMENPITEET .....	38
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT.....	39
	LIITE 1: JÄTEVESIANALYYSI 13.11.2019 (VAIN TILAAJAN KÄYTTÖÖN).....	43
	LIITE 2: OUTOKUMMUN TEURASTAMON NYKYISEN JÄTEVEDENKÄSITTELYN KÄYTTÖKUSTANNUKSET (VAIN TILAAJAN KÄYTTÖÖN) .....	45
	LIITE 3: OUTOKUMMUN TEURASTAMON VUODEN 2018 VEDENKULUTUKSEN JA VEDENLÄMMITYKSEN KUSTANNUKSET (VAIN TILAAJAN KÄYTTÖÖN) .....	46
	LIITE 4: KIERRÄTYSVESIJÄRJESTELMÄN SIIRTOJOHDON LINJAUS .....	47
	LIITE 5: KIERRÄTYSVESIJÄRJESTELMÄN PI-KAAVIO .....	48
	LIITE 6: OUTOKUMMUN TEURASTAMON VEDENKIERRÄTYSJÄRJESTELMÄN MITOITUSLASKENTA49	
	LIITE 7: XYLEM 10SV03F011T -PUMPPU ESITE .....	50

## 1 JOHDANTO

Elintarviketeollisuus on yksi isoimmista teollisuudenaloista vedenkulutuksen suhteen. Lihateollisuudessa vedenkulutus näkyy tuotannossa ja tuotantotilojen puhtaanapidon vaadittavien toimenpiteiden kautta. Vesi on myös yksi isoimmista ympäristökuormittajista tuotantoon tarvittavan raakaveden ja tuotannosta syntyvien jätevesien takia. Veden kierrättäminen on jo ollut pitkään asia, jota ihmiset ovat pohtineet ja toteuttaneet. Myös luonnolla on oma luontainen järjestelmä veden kierrättämiselle, joka on veden kiertokulku eli hydrologinen kierto. Maailmalla veden kierrättäminen johtuu yleensä puhtaan veden vähydestä, joka ei ole niinkään ongelma Suomessa. Asiaa katsotaan enemmänkin ympäristöllisestä, sosiaalisesta ja ekonominen näkökulmasta.

Tämän työn tilaajana toimii HKScan Finland Oy:n Outokummun tuotantolaitos. Opinnäytetyö on osa Outokummun tuotantolaitoksen investointisuunnitelmaa. Tilaajan kohdalla HKScan Finland Oy on sitoutunut isoihin konsernitason ympäristötavoitteisiin vuoteen 2030 mennessä ja seuraa niiden toteutumista vuosittain. Yksi näistä ympäristötavoitteista on vedenkulutuksen vähentäminen 25 % vuoden 2018 tasosta (HKScan Finland Oy 2019, 63), joka koskettaa tämän työn aihetta. Opinnäytetyössä selvitettyjä menetelmäratkaisuja ja laadittuja esisuunnitelmia voidaan hyödyntää myös muissa samankaltaisissa teollisuuslaitoksissa tai -prosesseissa.

Tässä työssä on tilaajan toiveesta selvitetty teurastamon toiminnasta syntyvien teollisuusjätevesien puhdistusmenetelmiä, kierrättämisen keinoja ja käyttökohteita. Selvitystyön aikana on tutkittu veden eri käyttökohteita tuotantolaitoksessa ja niiden asettamia vaatimuksia kierrätettävän veden laatuun. Käyttökohteina tarkoitetaan sovelluksia tai tiloja, missä kierrätettävää vettä voidaan mahdollisesti hyödyntää vaarantamatta laitoksella vaadittavaa hygieniatasoa. Vaadittavan tason saamiseksi on löydettävä tarkoitukseen soveltuvat puhdistusmekanismit ja -menetelmät. Lisäksi on huomioitava ohjeistukset, säädökset ja vaatimukset, jotka tutkittava käyttökohde asettaa.

Tämän opinnäytetyön lopulliseksi tutkimuskohteeksi on valittu teurastamon yhteydessä toimiva eläinsuoja. Työhön sisältyy myös kierrätysvesijärjestelmän esisuunnittelu valittuun käyttökohteeseen. Tällä hetkellä teurastamon toiminnasta syntyvät jätevedet käsitellään tuotantolaitoksen omassa flotaatiolaitoksessa, mistä käsitelty jätevesi johdetaan Outokummun vesi- ja viemärilaitoksen jätevesiverkostoon. Flotaatiolaitos hyödyntää tällä hetkellä puhdistusprosessin teknistä vettä omassa prosessissaan ja lietteen kuivauksessa. Työn lopputavoitteisiin kuuluvat selvitys puhdistetun jäteveden soveltuvuutta uudelleen käytettäväksi kierrätysvesijärjestelmässä ja kierrätysvesijärjestelmän esisuunnittelu Outokummun tuotantolaitokselle. Esisuunnitelmien lisäksi arvioidaan kierrätysvesijärjestelmän teknistaloudellisia hyötyjä. Hyödyt kuvataan kustannuslaskennan avulla, joka sisältää nykyisten toimintojen kustannukset ja vaihtoehtotarkastelun avulla arvioidut vedenkierrätyksestä syntyvät investointi- ja käyttökustannukset.

## 2 LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

BOD = Biologien hapenkulutus

COD = Kemiallinen hapenkulutus

TOC = Orgaanisen hiilen kokonaismäärä

Kok.N = Kokonaistyyppi

Kok.P = Kokonaisfosfori

pH = Vesiliuoksen happamuus pH-asteikolla ilmoitettuna

EC = Sähkösaostus

NF = Nanosuodatus

UF = Ultrasuodatus

RO = Käänteisosmoosi

UV = Ultraviolettisäteily

DAF = Korkeapaine-flotaatio

WRS = Jäteveden kierrätysjärjestelmä

TSE = Tarttuva spongiforminen enkefalopatia

BAT = Paras käytettävissä oleva tekniikka

BREF = parasta käytettävissä olevaa tekniikka koskeva vertailuasiakirja

AOP = Tehostettu hapetus -tekniikka

Flokki = Partikkelien muodostama kasauma nestefaasissa

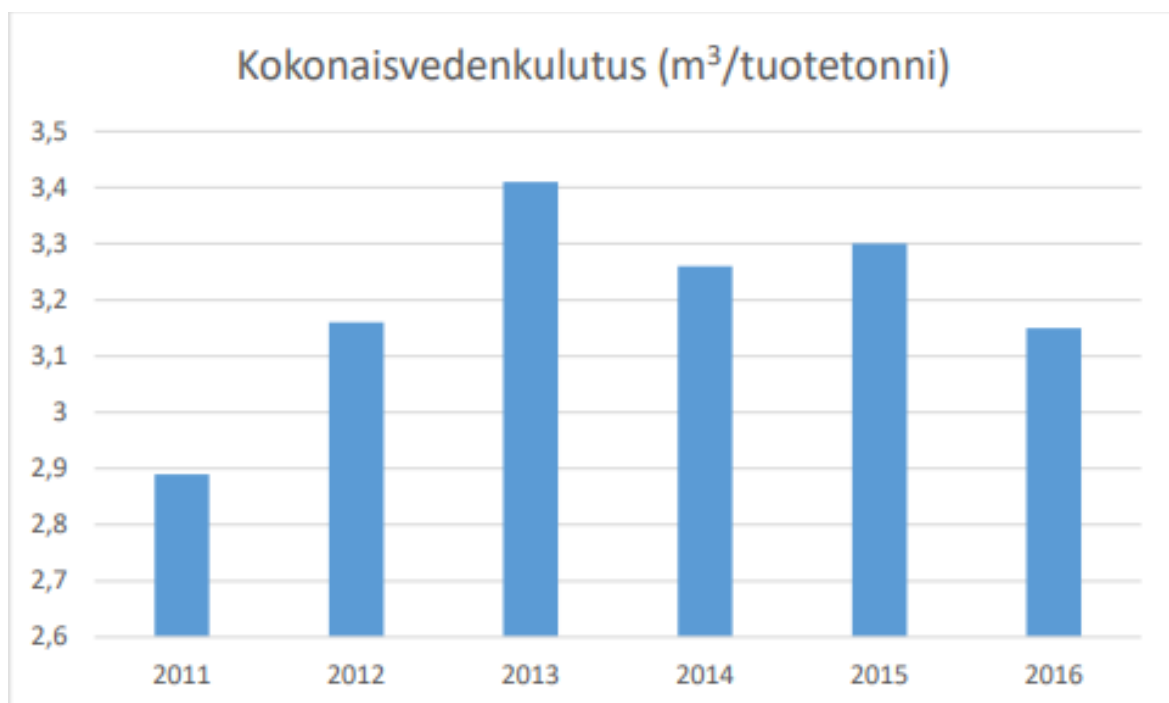
Koagulaatio = Saostuminen

Kiintoaine = Nestefaasista irtautuvat kiinteät partikkelit

Sähkönjohtavuus = Arvo, mikä kuvaa veteen liuenneiden suolojen määrää.

### 3 TEURASTAMON JÄTEVESIEN KÄSITTELY

Elintarviketeollisuus on yksi isoimmista teollisuudenaloista vedenkulutuksen suhteen (Bustillo-Le-compte ja Mehrvar 2017.) Lihateollisuudessa vedenkulutus näkyy tuotannossa ja tuotantotilojen puhtaanapidon vaadittavien toimenpiteiden kautta. Vesi on myös yksi isoimmista ympäristökuormittajista tuotantoon tarvittavan raakaveden ja tuotannosta syntyvien jätevesien takia (Hellman ja Simola 2019, 21-23). Ympäristö- ja jätevesienkäsittelyvaatimusten kasvaessa ovat myös teurastamot joutuneet tehostamaan teollisuusjätevesiensä käsittelyä. Käsittely tapahtuu yleensä tuotantolaitoksen toimialueen paikallisen jätevedenpuhdistamon kanssa yhteistyössä, mutta nykyään myös tuotantolaitoksilta vaaditaan omaa jätevesien esikäsittelyä. Hyvällä teurastamon teollisuusjätevesien esikäsittelyllä voidaan vähentää huomattavasti toimialueen jätevedenpuhdistamon kuormitusta (Hiisvirta 1976, VII-XI.)



Kuvio 1 Elintarviketeollisuuden kokonaisvedenkulutus (m<sup>3</sup>/tuotetonne) vuosina 2011-2016 (Hellman ja Simola 2016, 22.)



### 3.1 Teurastamojen jäteveden koostumus ja jätevesikuormitus

Teurastamon jätevedet ovat koostumukseltaan vaihtelevia ja sisältävät paljon orgaanista ainesta. Tuotannosta yleisimmin syntyviä jätevesijakeita ovat tuotannon pesuvedet, huuhteluedet, veri, rasvat, kuidut, eläinperäiset jätteet ja lietteet. Teurastamon jätevedessä kuormittaviin tekijöihin lukeutuvat biologinen ja kemiallinen hapenkulutus, kokonaisfosfori, kokonaistyyppi, kiintoaineet ja rasva (taulukko 1). Lisäksi tuotantolaitoksen jätevesissä voi olla paljon pesuissa käytettävien puhdistuske- mikaalien sisältämiä tehoaineita sekä entsyymejä (Bustillo-Lecompte ja Mehrvar 2017.)

Taulukko 1 Teurastamon jätevesien yleinen koostumus (Bustillo-Lecompte ja Mehrvar 2017.)

Kuormitustekijä	Vaihteluväli	Keskiarvo
BOD (mg/l)	150 – 8500	3000
COD (mg/l)	500 – 16000	5000
TOC (mg/l)	50 – 1750	850
Kok.N. (mg/l)	50 – 850	450
Kok.P. (mg/l)	25 – 200	50
Kiintoaine (mg/l)	0,1 – 10 000	3000
pH	4,9 – 8,1	6,5

Jätevesien kuormittavat tekijät ilmoitetaan yleensä teurastuksessa syntyvää teuraspainoa kohti, jolloin saadaan kuvattua jätevesien ominaiskuormitus. Suhteutettuna toiminnan jätevesimäärään, ominaiskuormituksella pystytään kuvamaan puhdistuksen tehokkuutta ja vastaavasti seuraamaan muuttuvia tekijöitä teurastamon jätevesissä (Hiisvirta 1976, 10.)

Teurastamon prosessien orgaaninen aines on koostumukseltaan paljolti liukoista sekä kiinteää. Jätevedeen johtuu paljon orgaanista ainesta teurastuksen aikana tehtävien huuhtelujen ja pesujen aikana. Suuri orgaanisen aineen määrä jätevedessä antaa mahdollisuuden käyttää biologisia käsittelykeinoja, koska jätevesi ei sisällä juurikaan biologisia prosesseja haittaavia ainesosia (Bustillo-Lecompte ja Mehrvar 2017.) Biologisen toimintaa haittaavien ainesosien määrä pysytään arvioimaan kemiallisen hapenkulutuksen avulla. Osuudeltaan biologinen ja kemiallinen hapenkulutus ovat keskenään verrattuna lähellä toisiaan. Biologinen hapenkulutus on runsaan orgaanisen aineksen vuoksi merkittävä. Kemiallinen hapenkulutus on tärkeä seurantakeino kuvaamaan teurastamon toiminnan kautta syntyvien jätevesien koostumusta (Hiisvirta 1976, 11.)

Kokonaisfosforin osalta teurastamon jätevesi koostuu erityisesti orgaanisista fosforyyhdisteistä sekä veren sisältämästä fosfaattiyhdisteistä (Bustillo-Lecompte ja Mehrvar 2017.) Lisäksi osa pesukemikaaleista voivat sisältää erilaisia fosfaattiyhdisteitä. Ravinteiden kokonaiskuormitusta ajatellen fosforin osuus on kuitenkin huomattavasti alhaisempi kokonaistyypeen verrattuna (Hiisvirta 1976, 12.)

Kokonaistyyppi muodostaa merkittävän osan teurastamon jätevesien kuormituksesta (Hiisvirta 1976, 12.) Teurastamon jätevesien kokonaistyyppi muodostuu jäteveden sisältämien valkuaisaineiden ja

orgaanisen aineen hajoamistuotteiden sekä talteen ottamattomien verien kautta (Bustillo-Lecompte ja Mehrvar 2017.)

Kiintoaineen määrä teurastamon jätevedessä on toiminnan luonteen vuoksi käsittelemättömänä erittäin suuri. Kiintoaineen määrä vaihtelee myös suuresti teurastamon toimintojen ja prosessin kulun vuoksi päivän aikana. Suurin osa kiintoaineesta syntyy kaikesta huuhtelujen ja pesujen aikana keräämättömästä aineesta. Kiintoaines on toiminnan luonteen vuoksi suurimmaksi osaksi orgaanista. Tehokkaalla esikäsittelyllä voidaan erottaa suurin osa jäteveden sisältämästä kiintoaineesta, mikä helpottaa jäteveden käsittelyä myöhemmissä käsittelyvaiheissa (Bustillo-Lecompte ja Mehrvar 2017.)

Patogeenien riski on teurastamojätevesissä suuri, teurastamo toiminnan pesujen ja huuhtelujen vuoksi. Jätevesijakeisiin lukeutuvien liotelannan ja eläinsuojien pesuvesien takia määrällisesti suurin osa teurastamojätevesien patogeeneista ovat ulosteperäisiä bakteereita (Hiisvirta 1976, 13.) Teurastamossa teurastettujen eläinlajien kautta pystytään kartoittamaan myös muut taudinaiheuttajat. Esimerkiksi nautaeläimien, vuohien tai lampaiden kohdalla teurastamojätevesiin on mahdollista johtua huuhtelujen ja pesuvesien kohdalla aivomassaa tai selkäydintä, jolloin jätevedessä on spongiformisten enkefalopatioiden (TSE-riskiaines) riski. Mahdollisen riskiaineksen johtaminen jätevesiin on ehkäistävä ja riskiaines on kerättävä sekä hävitettävä asianmukaisin keinoin. Teurastamon toiminnasta jäteveden sisältämät patogeenit muodostuvat kampylobakteereista, salmonellasta ja EHEC-bakteereista. Kampylobakteeri on yleisin siipikarjassa, salmonellaa esiintyy siipikarjassa, sioissa ja nautaeläimissä sekä EHEC-bakteeria esiintyy lähinnä nautaeläimissä (Duodecim 2019.)

### 3.2 Vaikutus ympäristöön ja vaatimukset

Ympäristö- ja jätevesienkäsittelyvaatimusten kasvaessa ovat myös teurastamot joutuneet tehostamaan teollisuusjätevesienkäsittelyä ja siihen liittyvää tekniikkaa. Jätevesien käsittely tapahtuu yleensä tuotantolaitoksen toimialueen paikallisen jätevedenpuhdistamon kanssa yhteistyössä, mutta nykyään myös tuotantolaitokselta vaaditaan yleensä omaa jätevesien esikäsittelyä. Hyvällä teurastamojätevesien esikäsittelyllä pystytään vähentämään huomattavasti toimialueen jätevedenpuhdistamon kuormitusta (Hiisvirta 1976, VII-XI.)

Esikäsittelemättömänä teurastamojätevedet ovat erittäin kuormittavia ympäristölle ja vesistöille. Tämän takia niitä ei voida johtaa käsittelemättömänä vesistöihin. Teollisen teurastamon toimintaa ympäristön osalta ohjaa voimassa oleva ympäristölupa, jossa on myös määritetty vaatimukset jätevedenkäsittelyn osalta. Jätevesienkäsittelyn vaatimuksia on myös yleensä käsitelty toimialueen vesi- ja viemärilaitoksen kanssa tehdyn teollisuusjätevesisopimuksen kautta.

### 3.3 Lainsäädäntö

Seuraavat kappaleet käsittelevät teurastamon toimintaan ja etenkin jätevedenkäsittelyyn liittyvää voimassa olevaa lainsäädäntöä ympäristön, terveyden ja eläinsuojelun näkökulmasta. Esille nostettua lainsäädäntöä on myös hyvä katsoa veden kierrättämisen ja uudelleen käytön kannalta.

#### 3.3.1 Ympäristösuojelulaki 2014/527

Teurastamot luetaan direktiivilaitoksiin ja luvanvaraisiin toimintoihin, kun teurastamotoiminnan tuotantokapasiteetti ylittää 50 tonnia ruhoja vuorokaudessa (527/2014, Liite 1.) Lakia sovelletaan teolliseen ja muuhun toimintaan, josta aiheutuu tai saattaa aiheuttaa ympäristön pilaantumista pykälän 2 mukaisesti (527/2014.)

#### 3.3.2 Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta 2005/390

Teurastamon toiminnassa on noudatettava teollisessa käytössä olevien vaarallisten kemikaalien varastointiin ja käyttöön liittyviä säädöksiä. Säädösten avulla tarkoituksena on ehkäistä ja torjua vaarallisten kemikaalien käytöstä, varastoinnista ja säilytyksestä aiheutuvia henkilö-, ympäristö- ja omaisuusvahinkoja (390/2005, 1 §.) Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta lisää myös yleistä turvallisuutta sekä työturvallisuutta.

#### 3.3.3 Eläinsuojeluasetus 1996/396

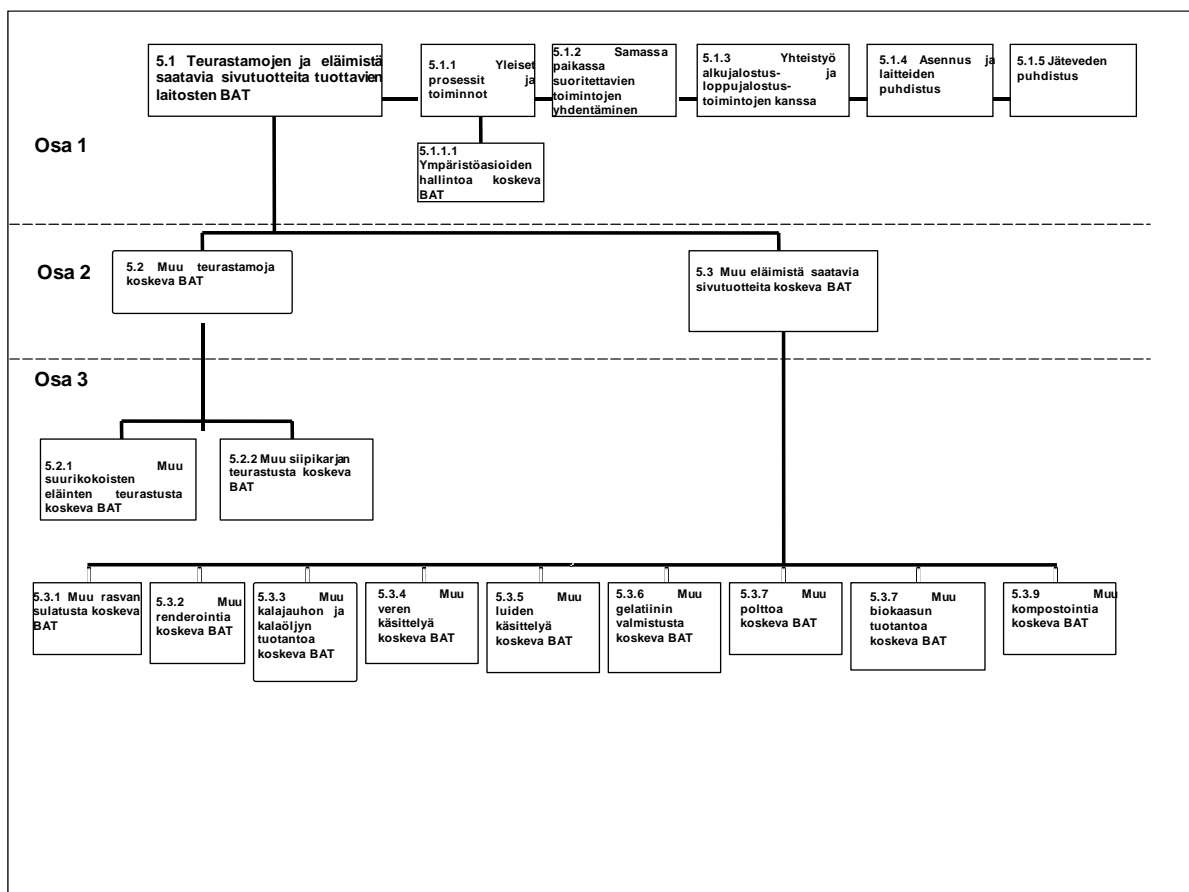
Teurastamon eläinsuojassa tai muussa eläinten pitopaikassa on noudatettava eläinsuojeluasetuksen mukaisia vaatimuksia. Eläinten pitopaikka tulee olla hygieeninen ja yleisesti puhdas. Eläimelle ei saa koitua vahinkoa ja eläimen pitopaikka ei saa vaarantaa sen terveyttä (396/1996, 1 §, 4 §.)

#### 3.3.4 TSE-asetus 2001/999/EY

Tämän asetuksen tarkoituksena on estää eläimistä tarttuvien spongiformisten enefalopatioiden (TSE) leviämistä (EY/999/2001.) Asetuksessa kuvataan säännöt TSE-riskiaineksen ehkäisyyn, valvontaan ja hävittämiseen.

### 3.4 Teurastamon BAT-vaatimukset jätevesien käsittelylle

Teurastamotoiminnalle on määritetty teurastamoja ja eläimistä saatavia sivutuotteita koskeva BAT-vertailuasiakirja, eli parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa koskeva vertailuasiakirja. Vertailuasiakirjassa on selostettu toimintaan liittyvät tärkeimmät tulokset, päätelmät sekä niihin liittyvät päästötasot. Vertailuasiakirjaa sovelletaan teurastamoihin, jotka tuottavat vähintään 50 tonnia ruhoja päivässä (European Commission 2005.) Teurastamoja koskeva vaatimusten mukainen BAT-päätelmien esitystapa on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. BAT-vertailuasiakirjan mukainen teurastamoja koskeva BAT-päätelmien esitystapa (EUROPEAN COMMISSION 2005.)

Teurastamoja ja eläimistä saatavia sivutuotteita koskeva BAT-vertailuasiakirja käsittää myös selosteessa jätevedenkäsittelyyn liittyvää ohjeistusta, kuten esimerkiksi teurastamon jätevesien suositeltuja päästötasoja (Taulukko 2.)

Taulukko 2. BAT-vertailuasiakirjan mukaiset teurastamon jätevesien päästötasot (EUROPEAN COMMISSION 2005.)

Parametri	COD	BOD5	Kiintoaines	Kok.N.	Kok.P.	Öljyt ja rasvat
Saavutettavissa olevat päästötasot (mg/l)	25 - 125	10 - 40	5 - 60	15 - 40	2 - 5	2,6 - 15

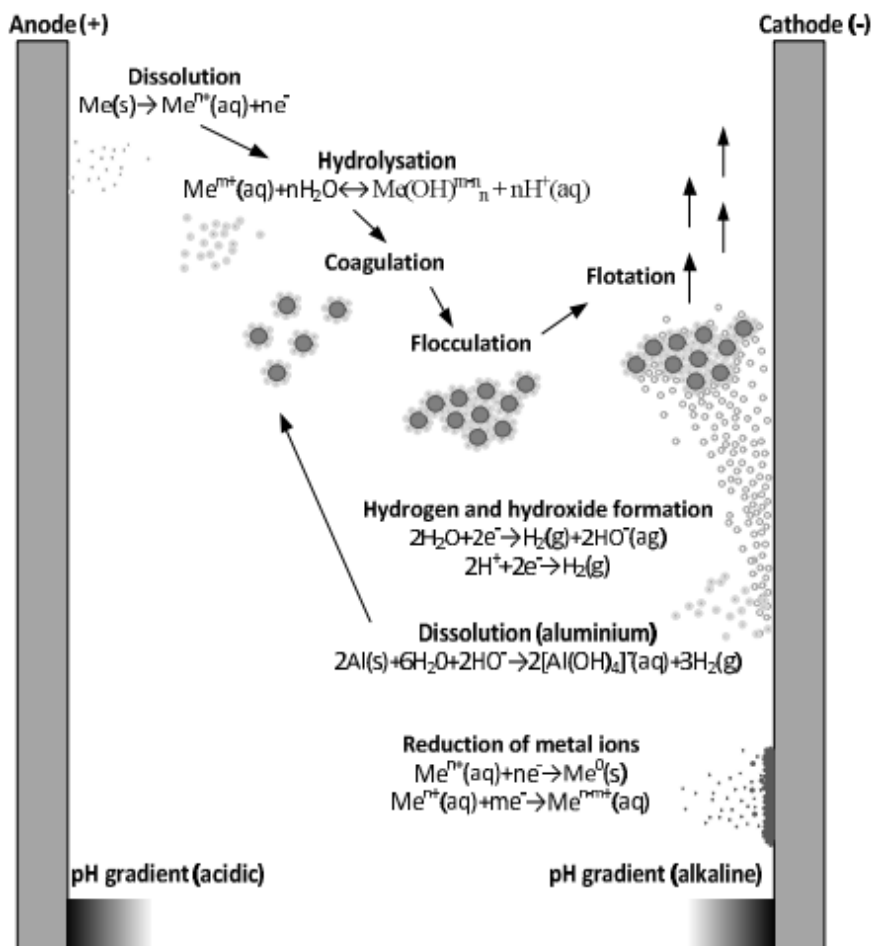
### 3.5 Teurastamon jätevesien puhdistusmenetelmät

Seuraavat kappaleet käsittelevät eri jätevesien puhdistusmenetelmiä. Työhön valitut puhdistusmenetelmät on valittu sen pohjalta, että niitä voidaan soveltaa teurastamon jätevesienkäsittelyssä.

#### 3.5.1 Sähkökoagulaatio (EC)

Sähkökoagulaatio eli sähkösaostus on melko uusi ja vähän käytetty puhdistusmenetelmä elintarvikealalla. Sähkökoagulaation avulla voidaan päästä erittäin tehokkaiisiin puhdistustuloksiin kustannustehokkaasti. Tekniikka on erityisesti tehokas poistamaan orgaanista ainesta, rasvoja ja raskaita metalleja (Bustillo-Lecompte ja Mehrvar 2017.) Lisäksi tekniikan avulla voidaan poistaa tehokkaasti patogeenejä (Tetreault 2003, 6.)

Sähkösaostus perustuu sähkökoagulaatioreaktorissa syntyvän sähkökentän luomaan saostusreaktioon reaktoriin johdetussa jätevedessä. Käsittelyssä jätevedessä olevat pienet partikkelit saostuvat tasaisesti ja muodostavat lopulta vahvarakenteisia flokkeja. Sähkökemiallinen reaktio saavutetaan sähkökoagulaatiossa joko rauta- tai alumiinielektrodien avulla. Elektrodeilla saostumisen lisäksi tapahtuu jatkuvaa flotaatioprosessi elektrodien kautta syntyvien vetykuplien takia. Flotaatioprosessi poistaa tehokkaasti käsittelyn aikana kiintoaineita puhdistettavasta jätevedestä. Sähkökoagulaatiossa tapahtuva flotaatio voi olla myös tehokkaampi vaihtoehto perinteiselle korkeapaineflotaatiolle. Sähkökoagulaatiomenetelmässä syntyvät kaasukuplat ovat halkaisijaltaan pienempiä (17 – 50 µm), kuin korkeapaineflotaatiossa (48 – 60 µm). Kaasukuplien kokoon vaikuttavat kuitenkin elektrodin materiaali, sähkökentän tiheys ja prosessissa vallitseva pH-arvo (Vepsäläinen 2012, 31.) Sähkökoagulaatio ei tarvitse lisäksi prosessikemikaaleja, joka lisää myös menetelmän kustannustehokkuutta (Kivisaari 2009, 12.)



Kuva 2 Sähkösaostuksen aikana tapahtuvat reaktiot (Vepsäläinen 2012, 27.)

Sähkösaostuksen aikana tapahtuvat reaktiot voidaan jaotella pääreaktioihin ja sivureaktioihin. Menetelmän pääreaktioissa sähkökoagulaatioreaktoriin sijoitetut elektrodit lisäävät jäteveteen reaktioon vaadittavaa liukenevaa koagulanttia, jotka ovat  $\text{Fe}^{2+}$ - ja  $\text{Al}^{3+}$ -ioneita. Lisättävä koagulantti riippuu käytettävästä elektrodista, joka voi olla tehty raudasta tai alumiinista. Anionisten rauta tai alumiini elektrodien lisäksi voidaan käyttää vastakkaisia inerttielektrodeja, jotka ovat yleensä katodisia. Pääreaktioiden lisäksi sähkökoagulaatioreaktorissa tapahtuu sarjassa useita sivureaktioita prosessin aikana. Sivureaktioihin lukeutuvat vedyn muodostuminen, pH-arvon nousu ja metalli-ionien väheneminen katodien osalta (Kuva 2). Organisen aineksen osalta tutkimukset osoittavat, että teurastamon jätevesien osalta on päästy 70 % erotustehokkuuteen kemiallisen hapenkulutuksen, värin ja rasvan osalta. Käytettyjen elektrodien materiaali ja reaktion aikana vallitseva pH-arvo on vaikuttanut erotustehokkuuteen (Vepsäläinen 2012, s. 44.)

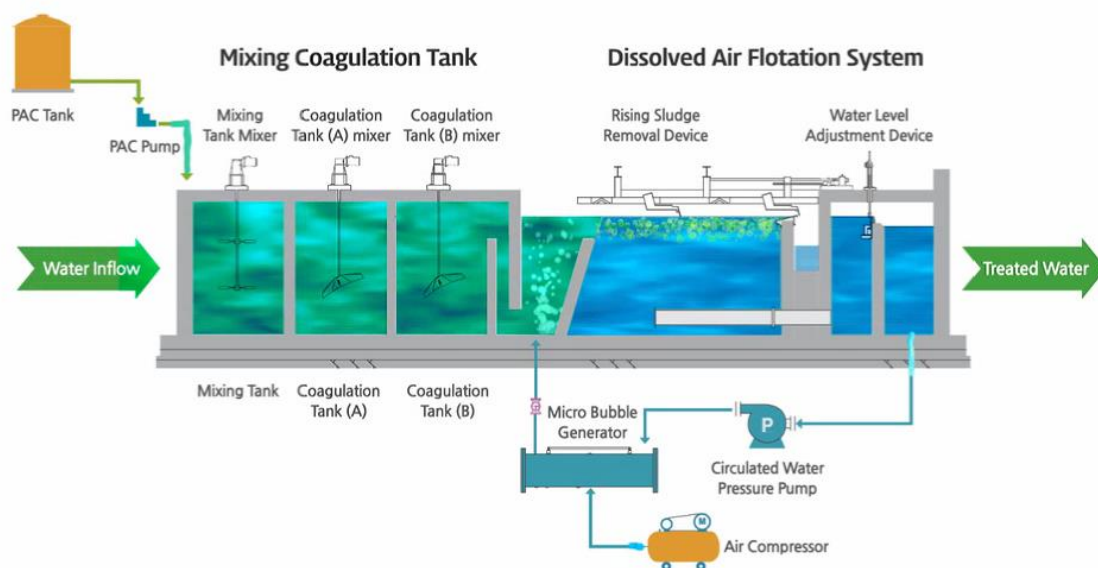
Sähkökoagulaation vaikuttavia tekijöitä ovat elektrodin materiaali, pH-arvo, sähkökentän tiheys, vaikutusaika, elektrodipotentiaali ja epäpuhtauksien konsentraatio jätevedessä. Tekijöiden muuttuessa, muuttuvat myös sähkösaostuksessa tapahtuvat sähkökemialliset reaktiot, sekä niiden luomien reaktioiden tehokkuus prosessin aikana (Vepsäläinen 2012, 33-37.)

Sähkösaostusta on vielä tutkittu erittäin vähän ja sähkösaostuksen käyttö teollisissa laitoksissa on vielä vähäistä. Menetelmään liittyvät tutkimukset ovat kuitenkin lisääntyneet viimeisen vuosikymmenen aikana ja tulevat tutkimukset voivat antaa tärkeää tietoa menetelmän käyttöpotentiaalista. Tällä hetkellä arvioidut heikkoudet ovat elektrodien huolto- ja vaihtovälit käytön aikana tapahtuvan elektrodien hapettumisen ja niihin kerääntyvien epäpuhtauksien vuoksi (Kivisaari 2009, 74-75.) Lisäksi reaktioiden aikana muodostuu vetyä, joka on erittäin räjähdysherkkä kaasu. Muita huomioonotettavia asioita ovat menetelmän käyttöönoton jälkeinen energiankulutuksen lisääntyminen, mikä voi olla ristiriidassa energiakulutuksen vähentämiseen liittyvien tavoitteiden kanssa. Lisäksi sähkönhinnan vaihtelut voivat vaikuttaa käyttökustannuksiin merkittävästi (Vepsäläinen 2012, 38.)

Sähkösaostuksen arvioidut käyttökustannukset muodostuvat laitteiston mitoituksesta ja puhdistettavan jäteveden laadusta. Meat and Livestock Australian laatiman selvityksen mukaan sähkökoagulaatioyksikön investointikustannukset 100 m<sup>3</sup>/d käsittelevälle yksikölle on 150 000 AUD, joka on euroihin muutettuna noin 90 000 € (Tetreault 2003, 28.) Investointi kustannuksiin on kuitenkin myös lisättävä laitteistolle vaadittavat rakennuskustannukset, laitetoimitukset ja muut käyttöönottoon liittyvät kulut, joita on vaikea arvioida ilman laitetoimittajaa sekä ilman muita investointiin vaadittavia lisätietoja

### 3.5.2 Korkeapaine-flotaatio (DAF)

Korkeapaine-flotaatio perustuu nesteen ja kiinteän aineen erottamiseen prosessiin syötetyn ilman avulla. Kiintoainetta nostetaan prosessissa mikrokuuplien avulla pinnalle, jolloin pinnalle muodostuu lietepeite. Lietettä voidaan poistaa pinnalta mekaanisesti kaapimalla. Lietteen muodostumisen avuksi korkeapaine-flotaatiota edeltää yleensä saostus ja flokkkaus. Saostukseen ja flokkaukseen tarvitaan prosessikemikaaleja, joita ovat koagulantit ja flokkulantit. Prosessiin syötettävät prosessikemikaalit parantavat kiintoainepartikkelien muodostumista flokeiksi, jolloin prosessiin syötettävä ilma voi tarttua niihin helpommin. Flokkien avulla voidaan parantaa prosessin tehokkuutta huomattavasti. Korkeapaine-flotaatio on erinomainen jäteveden käsittelymenetelmä kemiallisen ja biologisen hapenkulutuksen poistamiseen. Flotaatio ei kuitenkaan sovellu yksinään kiintoaineen ja ravinteiden poistoon, mutta yhdistettynä menetelmänä voidaan saavuttaa hyviä puhdistustuloksia (Bustillo-Lecompte ja Mehrvar 2017.) Flotaatioon voidaan yhdistää kiintoaineen esierotus ja kemiallinen saostus sekä flokkkaus paremman puhdistustuloksen saavuttamiseksi. Korkeapaine-flotaation prosessikuvaus on esitetty kuvassa 3.

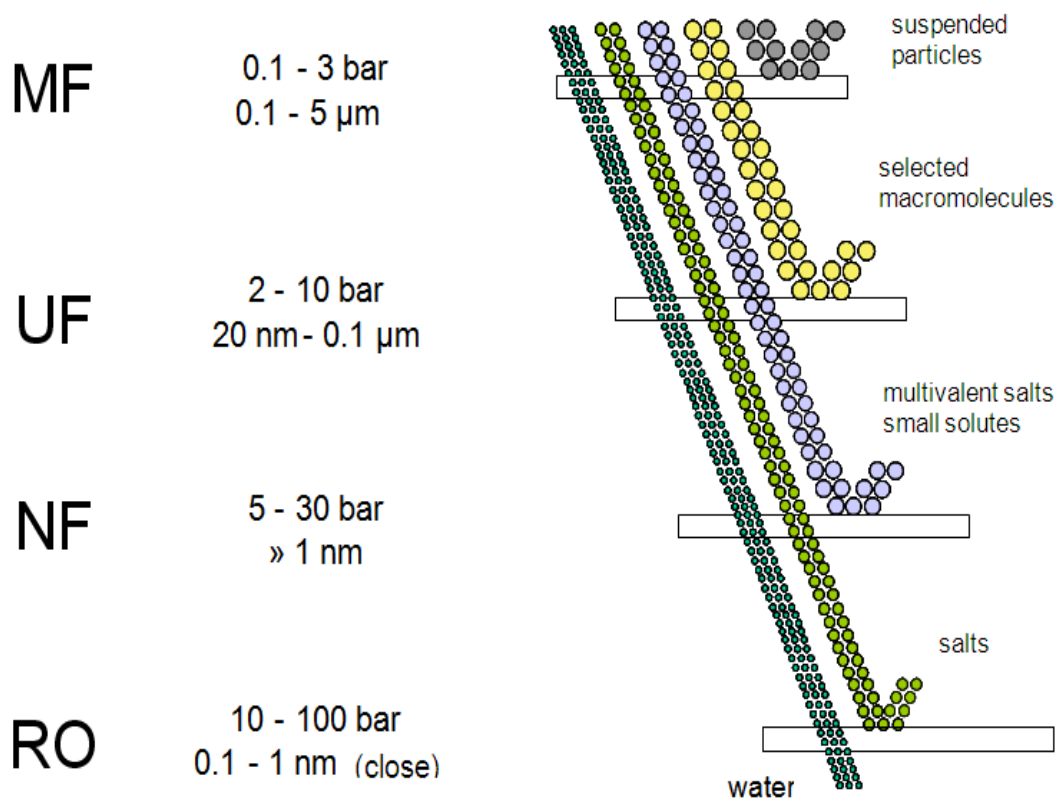


Kuva 3. Korkeapaineefloataation prosessikuvaus (Dongshin en-Tech Co.,L Ltd 2012.)

### 3.5.3 Kalvosuodatustekniikka

Kalvosuodatustekniikoista yleisimmin käytössä ovat ultrasuodatus (UF), nanosuodatus (NF) ja käänteisosmoosi (RO). Jäteveden hygienisointiin soveltuvia tekniikoita ovat nanosuodatus ja käänteisosmoosi. Tekniikkana kalvosuodatus sopii parhaiten yhdistettyihin menetelmiin, parhaan puhdistustuloksen saavuttamiseksi. Kalvosuodatusta voidaan hyödyntää biologisen käsittelyn vaiheena erottamaan kiintoainesta. Kalvosuodatus perustuu nesteen johtamiseen paine-eron avulla suodatinkalvon läpi, jolloin saadaan poistettua tehokkaasti vedessä olevia haitta-aineita ja epäpuhtauksia. Suodatinkalvon etuna on, että se voi erottaa vedestä myös suoloja. (Bustillo-Lecompte ja Mehrvar 2017.) Tekniikkaa on vielä Suomessa käytetty vähän teollisuusjätevesien käsittelyssä ja sitä on sovellettu lähinnä kaivosteollisuudessa (Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy 2019.) Kalvosuodatuksen eri tekniikat ja niiden erot on esitetty kuvassa 4.



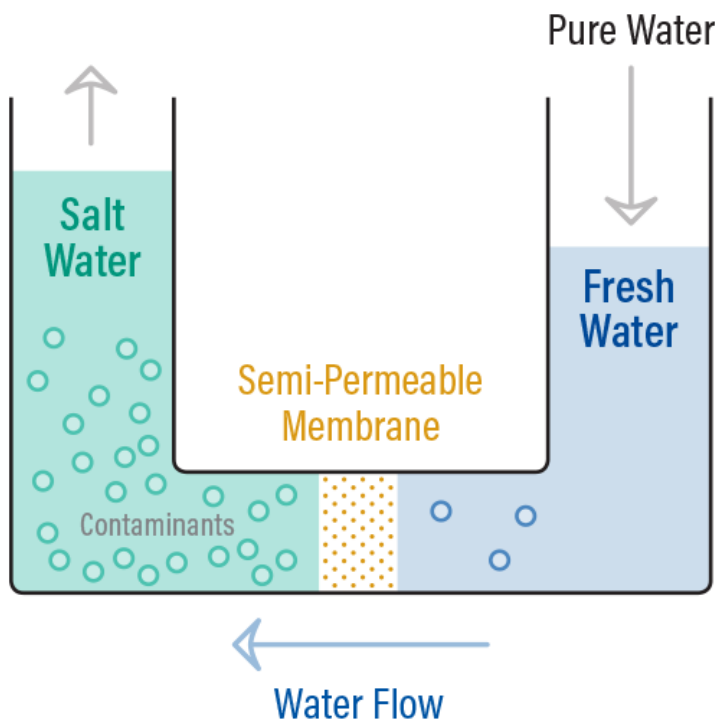


Kuva 4 Kalvosuodatustekniikat ja niiden erot (VITO 2015.)

Ultra ja nanosuodatus ovat periaatteiltaan hyvin samantyyppisiä. Tekniikat eroavat kalvosuodattimien huokoskoon perusteella. Käytettävän kalvosuodattimen huokoskoon mukaan määrittävät kalvon läpäisevät hiukkaset ja haitta-aineet sekä mikro-organismit. Ultrasuodatinkalvon avulla voidaan esimerkiksi estää proteiinien, rasvahappojen, patogeenien ja kiintoaineiden läpäisy (Retsja 2012, 5-6.)

Käänteisosmoosisa käsiteltävä vesi pakotetaan suodatinkalvon läpi, jolloin saadaan erotettua veden epäpuhtauksia (kuva 5). Käänteisosmoosi on erityisesti tehokas fosfaattien, kalsiumin, raskasmetallien ja muiden sen tyyppisten aineiden poistamiseen (Fluence 2019.)

## Osmosis



Kuva 5 Käänteisosmoosin prosessi (Puretec 2019.)

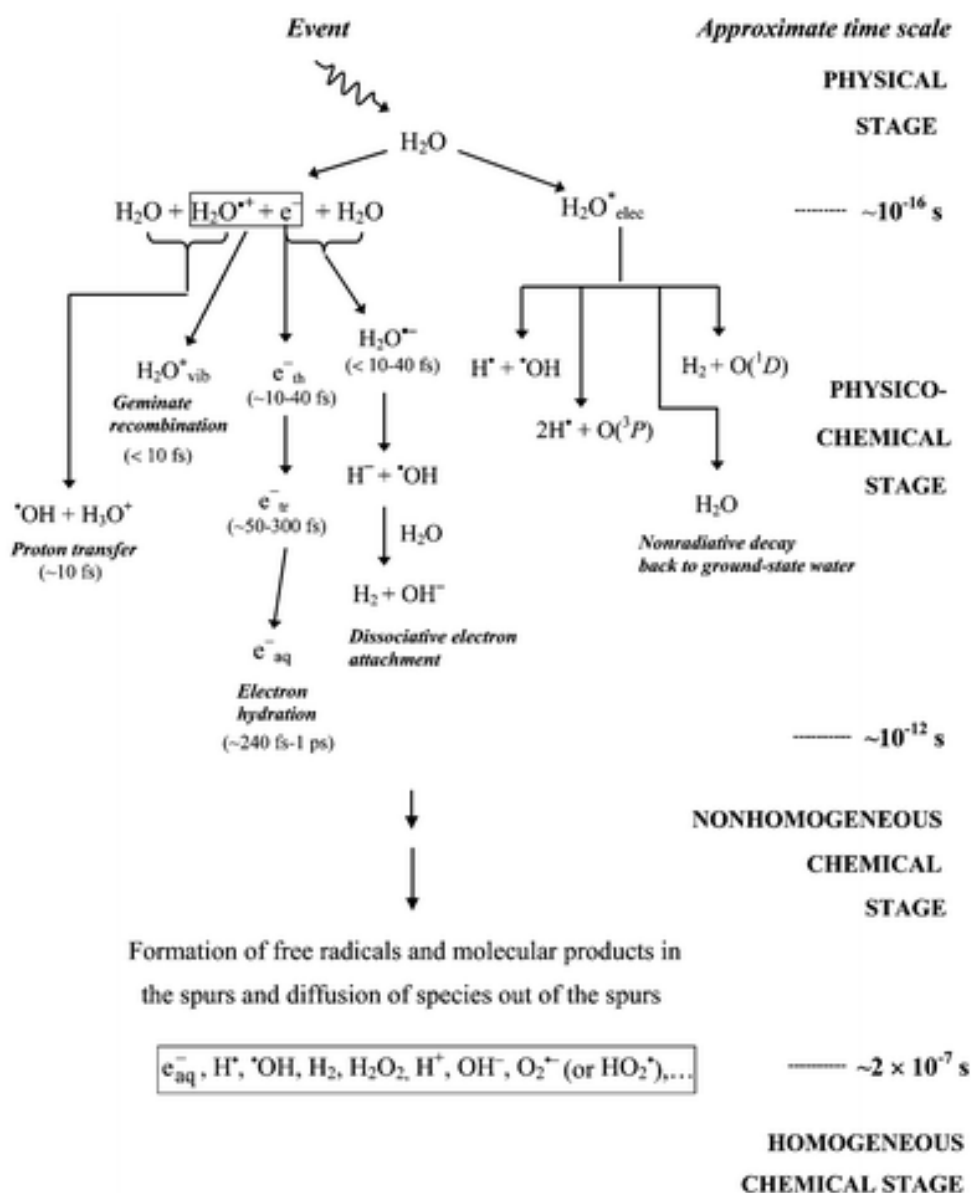
Vesilaitosyhdistyksen teettämän teknistaloudellisen selvityksen mukaan kalvosuodatusmenetelmillä voidaan saavuttaa 30 – 90 % puhdistusteho yleisimpien haitta-aineiden osalta. Suomessa tekniikka on vielä vähän käytettyä, mutta maailmalla tekniikka on todettu hyväksi talousveden puhdistuksessa. Käänteisosmoosin osalta selvityksessä esitetään myös menetelmän kustannukset, jotka ovat investoinnin osalta 0,28 €/m<sup>3</sup> ja käyttökustannuksiltaan 0,44 €/m<sup>3</sup>. Selvityksen kustannusarvio on laskettu edellyttäen, että menetelmään johdettava vesi vastaa vähintään tertiärikäsiteltyä vettä (Vesilaitosyhdistys Ry 2016, 58.)

### 3.5.4 Tehostettu hapetus -tekniikka (AOP)

Tehostetut hapetus tekniikat eli AOP-tekniikat ovat vähän tutkittu vaihtoehto jäteveden puhdistusmenetelmäksi (Vesilaitosyhdistys Ry 2016, 25.) AOP-tekniikat perustuvat vapaiden radikaalien tuottamiseen ja niiden hapettavaan vaikutukseen. Tekniikkaa voidaan hyödyntää primääri ja sekundaarisena menetelmänä. Täydentävänä puhdistusmenetelmänä AOP-tekniikka tarjoaa mahdollisuuden jäteveden hyvään erotustehokkuuteen, jolloin puhdistettua jätevettä voidaan hyödyntää erityisesti uudelleen käytettäväksi. AOP-tekniikoihin lukeutuvat gamma säteilytys, otsonointi, valokatalyyttinen hapetus ja Fenton-reaktiot. Edellä mainitut AOP-tekniikat ovat tehokkaita prosesseja hapetukseen ja orgaanisen aineen hajottamiseen. Jäteveden eri komponenttien puhdistamisen lisäksi AOP-tekniikan teho korostuu patogeenien tuhoamisessa. Tehostettu hapetus on tehokas desinfiointimenetelmä, ja se ei vaadi erikseen lisättäviä kemikaaleja. Lisäksi prosessin aikana haitalliset aineet hajoavat vähemmän haitallisiin aineisiin. Yhdistettynä menetelmänä AOP-tekniikan avulla voidaan päästä 90 %

erotustehokkuuteen orgaanisen hiilen ja kemiallisen hapenkulutuksen osalta (Bustillo-Lecompte ja Mehrvar 2017.) Prosessina AOP-tekniikan etuna on myös, että prosessissa ei synny sivutuotteena aktiivilietettä (Lenntech 2019.)

Gamma säteilytys perustuu elektromagneettiseen ionisoivaan säteilyyn. Säteilytys on tehokas keino hajottamaan orgaanista ainesta ja tappamaan erityisesti patogeenejä. Säteilyn teho perustuu gamma tai röntgensäteilyn absorboitumiseen jätevedessä olevan orgaanisen aineen kanssa. Veden säteilytyksessä tapahtuvaa reaktioita kutsutaan veden radiolyysiksi (Makarov ja Ponomarev 2017.), joka on esitetty kuvassa 6.



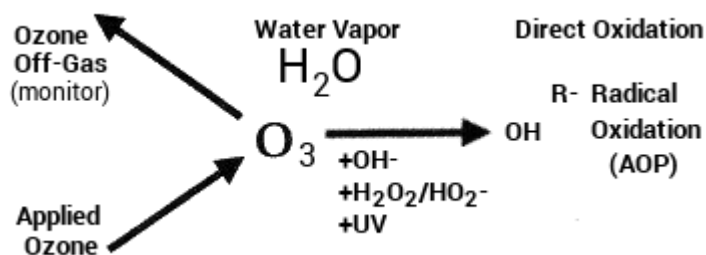
Kuva 6 Veden radiolyysi (Liberal dictionary 2019.)

Veden radiolyysi alkaa prosessiin johdettavan veden säteilytyksellä. Säteilytetty vesi alkaa muodostamaan erilaisia reaktiotuotteita, joista yleisimpiä ovat hydroksyyli radikaalit ( $OH^{\bullet}$ ), vetymolekyylit ( $H_2$ ), hydratoituneet elektronit, eli vetyatomit ( $H^{\bullet}$ ), hydratoituneet protonit, eli hydroksidini ( $H_3O^+$ ) ja vetyperoksidi ( $H_2O_2$ ). Vapaat radikaalit muodostavat vahvoja hapetus- ja pelkistymisreaktioita säteilytyksen aikana. Orgaanisen aineksen osalta radiolyysi vähentää prosessissa esiintyvän otsonin

avulla kemiallisen ja biologisen hapenkulutuksen mukaista ainesta noin 30 %. Patogeeninen osalta säteilytys tehoaa mikro-organismeihin tappavasti tai säteily tekee organismista passiivisen. Veden aktivoiminen säteilyllä vaikuttaa ratkaisevasti elävien organismien DNA:han. Aktivoitumisen aikana veden molekyylit vaikuttavat kromosomeihin (International Atomic Energy Agency 2008, 90-92.)

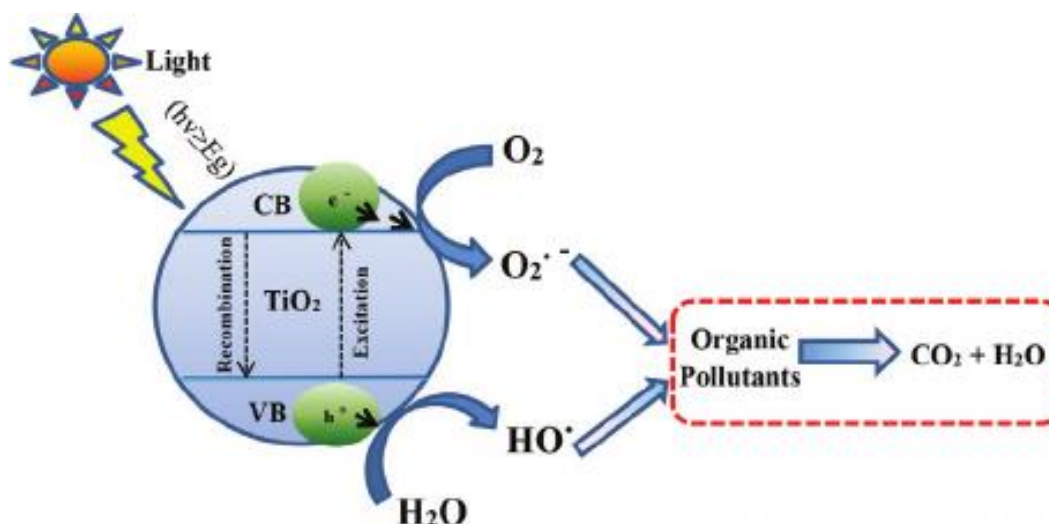
Säteilytyksen käyttö jätevedenpuhdistuksessa on vielä teollisessa käytössä vähäistä ja siihen liittyviä käyttökustannuksia on esitetty sen takia erittäin vähän. Säteilytys on tehokas keino inhiboimaan patogeenejä ja yhdistettynä menetelmänä se olisi hyvä menetelmä lisäämään puhdistetun veden käyttömahdollisuuksia sekä laatua (Vesilaitosyhdistys Ry 2016, 25.)

Otsonointi on yleisesti käytetty käsittelytekniikka vedenkäsittelyssä, joka parantaa vedenlaatua. Otsonointia voidaan myös hyödyntää vedenpuhdistuksessa esikäsittelyssä orgaanisen aineksen biohajottamiseen. Otsonointi prosessina perustuu käsiteltävään veteen johdetun otsonin hajottamiseen (kuva 7.) Otsoni hajoaa hydroksyyli radikaaleiksi (OH). Vapaat radikaalit aloittavat voimakkaan hapetusreaktion. Hapetusreaktiossa liukenematon orgaaninen- ja epäorgaaninen aines hapettuu voimakkaasti puhdistettavassa vedessä (Lenntech 2019.)



Kuva 7 Otsonoinnissa tapahtuva hapetus prosessi (BoiE 2019.)

Valokatalyyttisessa hapetuksessa sarja kemiallisesti katalyyttisiä reaktioita reagoivat valoon (kuva 8.) Reaktio tarvitsee käynnistyäkseen katalyytin, jolloin valo reaktanttina aktivoi katalyytin. Aktivoitunut katalyytti hapettaa orgaanisia yhdisteitä. Hapetusreaktio hajottaa myös patogeenejä ja pieneliöitä. Valon absorboituessa katalyyttiin, elektronit siirtyvät katalyytin pintaan ja aloittavat sarjan hapetus- sekä pelkistysreaktioita. Elektronien siirtyessä happimolekyylit muodostavat reaktiossa superoksioneja (O<sub>2</sub><sup>-</sup>), jotka reagoivat protonien kanssa ja muodostavat vapaita hydroksyyli radikaaleja (OH). Vapaat radikaalit ja superoksidi-ionit alkavat lopulta hajottamaan käsiteltävän veden sisältämiä orgaanisia aineksia. Orgaaniset ainekset hajoavat reaktiossa hiilidioksidiksi ja vedeksi (Pirilä 2015, 51-53.)



Kuva 8 Valokatalyyttinen prosessi (ABD HAMID, MARLINA, GOH, WU, TAN ja JUAN 2015.)

Vesilaitosyhdistyksen teettämässä selvityksessä todettujen AOP-tekniikoiden investointikustannuksiksi on arvioitu 0,28 €/m<sup>3</sup> ja käyttökustannuksiksi 0,17 €/m<sup>3</sup>. Otsonoinnin osalta vastaavat kustannukset olisivat 0,10 €/m<sup>3</sup> ja 0,08 €/m<sup>3</sup>. Selvityksen kustannusarvio on laskettu edellyttäen, että menetelmään johdettava vesi vastaa vähintään tertiärikäsiteltyä jätevettä (Vesilaitosyhdistys Ry 2016, 58.)

### 3.6 Jätevesien desinfiointi

#### 3.6.1 UV-desinfiointi

UV-desinfiointi perustuu elektromagneettisen ultraviolettisäteilyn vaikutukseen, joka tuhoaa erilaisen mikrobien ja patogeenisten organismien deoksiribonukleinihapon eli DNA:n ja ribonukleinihapon eli RNA:n rakennetta. Säteilyn vaikutus lakkauttaa solujen jakautumisen. Optimaalinen UV-säteilyn aallonpituus, jolla saavutetaan riittävä vaikutus, on 250 – 270 nm. UV-desinfiointin säteilyn vaikutusaika on yleensä 20 – 30 sekuntia. (EPA 1999, 1.)

UV-desinfiointilaitteisto koostuu elohopealampuista, kvartsikotelosta ja reaktorista. Desinfiointissa käytettävät lamput on luokiteltu matalapaine- tai keskipainelamppuihin, jotka voidaan jakaa vielä matala tai korkea tehoisiin lamppuihin. Matalapainelamppujen tuottaman säteilyn aallonpituus on 253.7. Keskipainelamput ovat säteilytehokkuudeltaan 10 – 15 kertaisesti tehokkaampia, mutta ne kuluttavat myös huomattavasti enemmän energiaa. Tehokkaampia keskipainelamppuja käytetäänkin yleensä suurissa laitospaikoissa, kun taas matalapainelamput ovat käytössä pienemmissä laitoksissa. UV-desinfiointin tehoon vaikuttavia tekijöitä ovat vaikutusaika, säteilyn intensiteetti ja erityisesti desinfioitavan jäteveden laatu. Epäpuhtaudet ja erilaiset humusmaiset aineet voivat vähentää merkittävästi desinfiointin vaikutusta vedessä. (EPA 1999, 2-3.)

UV-desinfiointi on menetelmänä luotettava ja se tuhoaa tehokkaasti patogeeneja vedestä. Desinfiointiin ei tarvitse syöttää prosessikemikaaleja ja laitteiston ylläpito on yksinkertaista. Desinfiointimenetelmän kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä ovat desinfioitavan veden laatu, laitteiston mitoitus ja

laitteiston, erityisesti UV-valaisimien ja sen koteloinnin, ylläpitokustannukset. Kvartsikoteloinnin vaihtoväli on noin 5 vuotta ja UV-valaisimien vaihtoväli on noin 12 000 käyttötuntia (EPA 1999, 1,4.)

### 3.6.2 Klooraus

Klooraus on desinfiointimenetelmänä yleinen ja se perustuu mikrobien solurakenteen hajottamiseen kloorin hapettavalla vaikutuksella. Kloori reagoi vedessä aloittaen hydrolyysin ja ionisoitumisen, jolloin reaktiossa syntyy hypokloorihapoketta (HOCL) ja hypokloriitti ioneja (OCL). Reaktiossa muodostunut vapaa kloori reagoi ammoniakkin kanssa. Desinfioinnissa veteen syötettävä kloori voi olla kloorikaasua, hypokloriittia ja erilaisia kiinteitä tai nestemäisiä klooriyhdisteitä (EPA 1999, 1-2.)

Klooraus on tehokas menetelmä, mutta sen käyttö desinfioinnissa tuo myös riskejä. Kloorauksen etuja ovat käyttövarmuus ja taloudellisuus, mutta haittavaikutuksia voi ilmetä veteen jäljelle jäävästä kloorista sekä kloorin käsittely edellyttää hyväksi todettuja turvallisuuskäytäntöjä kemikaalien käsittelyn osalta. Desinfioinnin jälkeisen veden kloorijäämät voivat muodostaa pieninäkin pitoisuuksina riskin ympäristölle, terveydelle ja turvallisuudelle. Esimerkiksi reagoidessa orgaanisen aineksen kanssa kloori voi muodostaa terveydelle vaaralliseksi todettuja karsinogeenisiä trihalometaaneja (THM). Klooraus lisää myös liuenneiden aineiden kokonaismäärää (TDS) sekä kloorin määrää vedessä (EPA 1999, 2.)

Kloorauksen kustannukset vaihtelevat käytettävän kloorityypin ja mitoittavien tekijöiden mukaan. Hypokloriitin on todettu olevan kalliimpi vaihtoehto kloorikaasuun verrattuna. Kloorin syöttölaitteisto itsessään on yksinkertainen ja kustannustehokas toteuttaa, joten suurimmat kustannukset syntyvät käytön yhteydessä. Käyttökustannuksiin vaikuttavia tekijöitä ovat energia, puhtaanapito, käyttöhuollot ja henkilöstökulut. Lisäksi kloorijäämien poistaminen vedestä voi nostaa kustannuksia 30 – 50 % (EPA 1999, 3.) Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen teettämän selvityksen perusteella jätevesilaitosten osalta kloorauksen kokonaisinvestointi kulut ovat 1 400 000 € ja kokonaiskäyttökustannukset 0,050 €/m<sup>3</sup>. Selvityksen laskelmat on skaalattu suuruusluokaltaan 10 000 m<sup>3</sup>/vrk jätevetä käsittelevälle laitokselle (THL 2018, 63, 70.)

### 3.6.3 Hiekkasuodatus

Hiekkasuodatus perustuu puhdistusmekanismiin, missä vesi virtaa suodattavan materiaalin läpi ja poistaa vedestä epäpuhtauksia. Suodattamalla voidaan poistaa suspendoituneita aineita, mikrobeja tai esimerkiksi aikaisemmin puhdistuksessa syntyneitä flokkeja. Suodatus on tekniikkana fyysikaaliskemiallinen ja hiekkasuodatuksen kohdalla myös biologinen käsittelymenetelmä. Suodatuksen aikana tapahtuu sarjassa useita puhdistusmekanismeja, joita ovat sedimentaatio, adsorptio, absorptio, biologinen toiminta ja suodatus. Yhdessä edellä mainittujen mekanismien avulla voidaan saavuttaa tehokkaasti hyviä puhdistustuloksia (EPA 1995, 9,11.)

Hiekkasuodatus menetelmiä ovat hidas-, pika- ja painesuodatus. Näistä yleisemmin jätevedenpuhdistuksessa käytetty menetelmä on pikasuodatus, joka perustuu veden suotautumiseen suodattavan

aineen läpi painovoiman luoman paineen avulla. Pikasuodatuksella päästään 5 – 7,5 m/h suodatusnopeuksiin. Myös korkeampia nopeuksia voidaan saavuttaa erikoistapauksissa. Suodatusnopeuteen vaikuttavia tekijöitä ovat veden laatutekijät sekä käytettävä suodatinmateriaali. Painesuodatus on periaatteltaan samanlainen, kuin painovoimainen pikasuodatus. Menetelmässä erona on kuitenkin suljettu prosessi, joka on paineistettu ja suodatus tapahtuu paineen alaisena. Painesuodatuksella päästään maksimissaan 5 – 7,5 m/h suodatusnopeuksiin (EPA 1995, 13,19,23)

Hiekkasuodatus on menetelmänä luotettava ja sen avulla voidaan päästä hyviin puhdistustuloksiin erilaisten epäpuhtauksien ja mikrobien kohdalla. Suodatuksen tulokseen vaikuttavia tekijöitä ovat suodattimelle syötettävä veden laatutekijät ja valittu suodatinmateriaali. Hiekkasuodatuksen tehokkuutta mitataan yleensä sameuden reduktiona ja menetelmällä on parhaimmillaan saavutettu 99,5 % erotustehokkuuksia. Ilman oikeanlaista esikäsittelyä hiekkasuodatuksella on saavutettu noin 50 % erotustehokkuuksia. Menetelmän tehokkuuteen vaikuttaa suodatin materiaalin tukkeutuminen, mikä vaikuttaa merkittävästi suodatuksen laatuun. Tukkeutumisen vuoksi, suodatinlaitteistoa ja suodatinmateriaalia on puhdistettava ajoittain. Puhdistus tapahtuu yleensä huuhtelulla, jolloin veden virtaus käännettään ja suodatinmateriaalista saadaan huuhdeltua kiinni jäänyt kiintoaines. Hiekkasuodatin voi olla myös itsehuuhtoutuva (EPA 1995, 23-27.)

Terveiden ja hyvinvointilaitoksen kokoaman selvityksen perusteella jäteveden hiekkasuodatus on laitekustannuksiltaan noin 590 000 €. Laskelmat on skaalattu suuruusluokaltaan 10 000 m<sup>3</sup>/vrk jätevettä käsittelevälle laitokselle (THL 2018, 63.)

## 4 VEDENKIERRÄTYSJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU OUTOKUMMUN TUOTANTOLAITOKSELLE

HKScan Finland Oy on sitoutunut isoihin konsernitason ympäristötavoitteisiin vuoteen 2030 mennessä ja seuraa niiden toteutumista vuosittain. Yksi näistä ympäristötavoitteista on vedenkulutuksen vähentäminen 25 % vuoden 2018 tasosta (HKScan Finland Oy 2019, 63.)

Ympäristötavoitteiden vuoksi vedenkulutuksen vähentämisen keinoja on mietitty myös tuotantolaitos kohtaisesti. Ongelmana on kuitenkin tuotantolaitosten tuotantokapasiteetin nouseminen, kulutuksien laskemiselle kohdennetut projektit näkyvät positiivisesti ominaiskulutuksien laskuna, mutta tavoitteisiin sidotut kokonaiskulutukset voivat edelleen näkyä negatiivisesti kasvavana. Tämän vuoksi tulevat hankkeet ja investoinnit tulee tarkastella myös asetettujen tavoitteiden näkökulmasta. Lisäksi asetettavat ympäristötavoitteet avaavat ovia uusille innovaatioille, ideoille ja jatkokehitykselle.

Tämän työn tavoitteena on selvittää vedenkierrätysjärjestelmän käyttömahdollisuuksia Outokummun tuotantolaitokselle. Työssä selvitetään myös vedenkierrättämiseen liittyvät riskit, kustannukset ja investoinnit. Työn kohteeksi valittiin tuotantolaitoksen yhteydessä toimiva nautaeläinten eläinsuoja.

### 4.1 Kierrätettävän jäteveden muodostamat riskit

Vedenkierrättämiseen liittyvät riskit muodostuvat kierrätettävän veden laatutekijöiden ja käyttökohteen perusteella. Yhdysvaltain ympäristösuojeluviraston (US EPA) ja Maailman terveysjärjestön (WHO) kokoaminen veden uudelleenkäyttöön liittyvien oppaiden perusteella vedenkierrätyksen suunnittelun lähtökohtana on arvioida käyttöön liittyvät terveysriskit ja selvittää ohjeistuksen avulla tarvittavat laatutekijät käytettävän veden osalta (EPA 2012) (WHO 2006.) Oppaiden ohjeistus perustuu lähinnä veden uudelleenkäyttöön kastelujärjestelmissä.

Tässä työssä tarkoituksena on arvioida tuotantolaitoksella käsitellyn jäteveden käyttöä kierrätysvesijärjestelmässä. Käsitellyn jäteveden käyttöön liittyvät suurimmat riskit kohdistuvat terveyteen ja ympäristöön. Riskitekijöinä ovat käsitellyn jäteveden sisältämät taudinaiheuttajat ja ravinteet. Patogeenien riski on teurastamojätevesissä suuri, teurastamon eri toimintojen pesujen ja huuhtelujen vuoksi. Teurastamon toiminnan patogeenit muodostuvat kampylobakteereista, salmonellasta ja EHEC-bakteereista. Puhdistettu tai käsitelty jätevesi ei ole hygieenistä ilman asianmukaista desinfiointi- tai hygienisointi menetelmää.

Uudelleen käytettävän käsitellyn jäteveden pääsy luontoon muodostaa riskin ympäristölle. Käsitellynä laitoksen jätevesi sisältää vielä luontoa kuormittavia ravinteita ja orgaanisia sekä epäorgaanisia aineita.

Lopullinen riskinarviointi tulee perustumaan kierrätettävän jäteveden laatutekijöihin ja sen käyttöön teurastamolla. Tämän työn kohdalla kierrätettävän veden käytön riskit ovat ihmiselle vähäiset, joten se ei välttämättä rajoita käsitellyn jäteveden käyttöä kierrätysvetenä. Käytön perustuessa huuhte-



luun on myös riski eläinsuojan nautaeläimille vähäinen. Käsitelty jätevesi sisältää vielä ilman suodattamista jonkin verran orgaanista ainesta, joka voi synnyttää epämiellyttäviä hajua ja kasvustoa käyttökohteessa.

Pesukäytössä on kuitenkin otettava jo huomioon kierrätettävän veden kontaktin mahdollisuus, joka kasvattaa terveysriskiä ihmisille ja eläimille. Lisäksi ilman jatkokäsittelymenetelmiä nykyisellä puhdistusprosessilla käsitelty jätevesi sisältää vielä epäorgaanista ja orgaanista aineista sekä muita ylittäviä laatutekijöitä, jotka voivat estää täysin rakenteisiin ja pintoihin kohdistuvien pesujen hyödyllisyyden tai hygieenisyyden.

#### 4.2 Tuotantolaitoksen eläinsuojan vedenkulutuksen seuranta

Selvityksen ja laskelmien avuksi selvitettiin aluksi kohteen nykyinen vedenkulutus. Vedenkulutuksen seuranta suoritettiin yhden viikon aikana. Vedenkulutusta seurattiin kannettavan vedenkulutusmittarin avulla, joka oli kytketty pesujen aikana käytettävään vesilinjaan pesijän toimesta. Vedenkulutusmittarin kytkentä opastettiin eläinsuojan pesijälle.

Seurannan aikana vedenkulutusmittarin lukemat kirjattiin ylös viikon jokaisena päivänä, jolloin pystytään jo luomaan selkeä kuva käyttökohteen vedenkulutuksesta. Seurannan tulokset on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 2 Outokummun tuotantolaitoksen eläinsuojan vedenkulutuksen seurannan tulokset ajalla 21.10. - 25.10.2019.

Päivä		Vedenkulutus (m <sup>3</sup> )	Työaika (h)	Q (m <sup>3</sup> /h)
21.10.2019	maanantai	18.7	7	2.67
22.10.2019	tiistai	18.3	7	2.61
23.10.2019	keskiviikko	21.3	7	3.04
24.10.2019	torstai	19.2	7	2.74
25.10.2019	perjantai	18.6	7	2.66
	Keskiarvo	19.22		2.75

Eläinsuojan kokonaisvedenkulutus vaihteli välillä 18.3 – 21.3 m<sup>3</sup> ja keskiarvo oli 19.22 m<sup>3</sup>. Työajaksi laskettiin noin 7 tuntia, jolloin pesujen ja huuhteluiden tuntivirtaaman vaihteluväliksi saatiin 2.61 – 3.04 m<sup>3</sup>/h. Virtaaman keskiarvoksi saatiin seurannan perusteella noin 2.75 m<sup>3</sup>/h. Seurantajakson ja sen tulosten avulla pystytään arvioimaan eläinsuojan vedenkulutuksen osuus tuotantolaitoksen kokonaiskulutuksesta. Seurannasta saatujen tulosten mukaan eläinsuojan vedenkulutus vastaa keskimäärin noin 9 % tuotantolaitoksen kokonaisvedenkulutuksesta.

#### 4.2.1 Veden käyttökohteet eläinsuojassa

Outokummun tuotantolaitoksen eläinsuojan talousveden pääasiallinen käyttötarkoitus on eläinsuojan rakenteiden pesut. Eläinsuojan rakenteita pestään tai huuhdellaan päivittäin toiminnan aikana. Näihin rakenteisiin lukeutuvat eläinsuojan seinä- ja lattiapinnat, ryhmäkarsinat, aita- ja porttielementit sekä lantakanavat. Pesuissa ja huuhteluissa käytettävä talousvesi on pääsääntöisesti kuumaa käyttövettä, jonka lämmitys tapahtuu kaukolämmöllä tuotantolaitoksen omalla vedenlämmitysjärjestelmällä.

Muita talousveden käyttökohteita ovat käsihanat, hygienia-asema ja eläinten juottamiseen käytettävät vesiautomaatit. Näitä edellä mainittuja käyttökohteita ei ole otettu huomioon opinnäytetyössä tehdyssä tuotantolaitoksen eläinsuojan vedenkulutuksen seurannassa.

#### 4.3 Jätevesianalyysit

Outokummun tuotantolaitoksella syntyvät jätevedet esikäsitellään laitoksen omalla jätevedenkäsittelylaitoksella. Käsittelytekniikkoina käytetään kiintoaineen esierotusta, jäteveden saostamista ja korkeapaine-flotaatiota. Lisäksi jätevedeen syötetään bakteerimassaa, joka vähentää jäteveden biologista hapenkulutusta ja hajottaa rasvoja. Tällä hetkellä käsiteltyä jätevettä hyödynnetään niin sanottuna teknisenä vetenä jätevedenkäsittelylaitoksen omassa toiminnossa. Näitä toimintoja ovat esimerkiksi lietteenkuivauksessa käytettävän laitteiston pesuvesitoiminnot ja flotaatiokäsittelyssä käytettävän dispersioveden valmistaminen.

Käsitelystä jätevedestä otettiin kertanäytteet keskiviikkona 13.11.2019, näytteet otettiin tuotantolaitoksen normaalin toiminnan aikana kello 9.00. Kertanäytteet lähetettiin analysoitavaksi Savo-Karjalan ympäristötutkimus Oy:n laboratorioon ja jätevesianalyysin tulokset ovat nähtävissä liitteessä 1. Laboratoriossa tehtyyn analyysipakettiin kuuluivat seuraavat määritykset:

- Sähkönjohtavuus (mS/m)
- Biologinen hapenkulutus (mg/l)
- Kemiallinen hapenkulutus (mg/l)
- Kiintoaine (mg/l)
- Kokonaisfosfori (mg/l)
- Kokonaistyppeä (mg/l)
- Kloridi (mg/l)
- Rasva (mg/l)

#### 4.3.1 Käsitellyn jäteveden soveltuvuus kierrätykseen

Käsitellyn jäteveden soveltuvuus kierrätysvesijärjestelmässä käytettäväksi on riippuvainen kierrätettävän veden laatutekijöistä ja sen käyttökohteesta. Käytön suunnittelussa ja laatukriteerien arvioinnissa on myös hyvä ottaa huomioon jo olemassa olevia oppaita ja tutkimuksia, joita on jo tarjolla esimerkiksi veden uudelleen käytöstä kastelujärjestelmien osalta. Oppaita tarjoavat muun muassa Yhdysvaltain ympäristösuojeluviraston (US EPA) ja Maailman terveysjärjestön (WHO). Myös Euroopan unionilta on tarjolla raportteja kierrätettävän veden suositeltavista laatutekijöistä (Alcade-Sanz 2017.)

Lähtökohtana on, että puhdistettu tai käsitelty jätevesi ei ole hygieenistä ilman asianmukaista desinfiointi- tai hygienisointimenetelmää. Suunnittelukohteena oleva Outokummun tuotantolaitos tarjoaa kuitenkin vaihtoehtoja kierrätettävän veden käytössä, joiden avulla voidaan käyttöä rajata huomattavasti. Kierrätettävän veden käytön rajauksella voidaan estää ihmisiin ja eläimiin kohdistuvat terveysriskit.

Nykyiseltä teurastamon jätevedenkäsittelylaitokselta saatava käsitelty jätevesi soveltuisi eläinsuojan lantakanavien huuhteluun. Järjestelmä pystyttäisiin toteuttamaan niin, että ihmiseen kohdistuvan kontaktin mahdollisuus on estetty. Käsiteltyä jätevettä voidaan vielä suodattaa kiintoaineen poistamiseksi ja järjestelmän tukkeutumisen estämiseksi.

Tehostetuilla jätevesien käsittelytekniikoilla, joka tarkoittaisi vähintään käsitellyn jäteveden suodattamista ja hygienisointia, voitaisiin harkita myös muita käyttökohteita eläinsuojassa. Parannetulla käsittelyllä ihmisiin tai eläimiin kohdistuvaa terveysriskiä voidaan vähentää huomattavasti. Tällöin uudelleen käytettävä jätevesi soveltuisi myös esimerkiksi eläinsuojan rakenteiden pesuihin.

Käsitellyn jäteveden soveltuvuus on arvioitava käyttökohteen mukaan. Kohdennetuilla käsittelytekniikoilla voidaan vähentää käyttökohteille arvioituja riskejä kierrätettävän jäteveden käytössä. Lisäinvestoinnit jätevesien käsittelyyn ja puhdistustuloksen parantamiselle tarkoittavat kuitenkin myös alkuihdistointien tekemistä, mikä nostaa kierrätysvesijärjestelmään kustannuksia huomattavasti.



#### 4.4.2 Teurastamon jätevedenkäsittelylaitoksen kustannukset

Jätevesien käsittelyn kustannuslaskennan tarkasteluun sisältyvät laitteistojen käyttökustannukset, prosessikemikaaleista syntyvät kustannukset ja prosessinhoidosta syntyvät työkustannukset (Liite 2). Kustannuslaskenta aloitetaan koneisto eritellyllä, jossa kuvataan kaikki käytössä olevat laitteistot. Laitteistosta kerätään seuraavat tiedot; teho (kW) ja käyntiaika (h). Lisäksi tarvitaan tietää sähkön hinta (€/kWh). Koneiston erittelyn jälkeen voidaan aloittaa kustannuslaskenta, joka aloitetaan koneiston energian kulutuksen laskennalla. Energian kulutuksen laskenta on havainnollistettu kaavassa 4.

$$E = P * t \quad (4)$$

missä        E = Sähköenergia (kWh)  
               P = Teho (kW)  
               t = aika (h)

Energian kulutuksien laskennan jälkeen pystytään laskemaan jätevesien käsittelylaitteistosta muodostuvat energiakustannukset. Energiakustannukset saadaan kertomalla laitteen käyttämä sähköenergia (kWh) sähkön hinnalla (€/kWh). Kokoamalla koneiston erittelystä saadut laitekohtaiset energiakustannukset yhteen, saadaan muodostettua kokonaiskuva jätevedenkäsittelylaitoksen kokonaisenergiakustannuksista.

Energiakustannuksien jälkeen voidaan laskea jätevedenkäsittelystä muodostuvat prosessikemikaalien kustannukset. Kustannuslaskennan avuksi tarvitaan tilastoitua tietoa kemikaalin kulutuksesta ja yksikköhinnasta. Lisäksi tarvitaan tieto käsittelyn jäteveden määrästä. Kokoamalla edellä mainitut tiedot pystytään laskemaan prosessikemikaalin yksikköhinta käsiteltyä jätevesi kuutiometriä kohti. Yleensä jätevesien käsittelyssä käytettävistä kemikaaleista pidetään kuitenkin tarkkoja tilastoja, joiden avulla saadaan muodostettua nopeasti kuva vuotuisista kokonaiskustannuksista.

Viimeisenä tarkasteluun otetaan mukaan prosessinhoidosta syntyvät työkustannukset. Laskentaan varten tarvitaan tieto työtuntien määrästä, työntekijöistä ja työntekijöiden tuntihinnasta. Työkustannuksiin sisältyvät myös työntekijän sosiaalikulut ja työtehtävän ominaiskertoimien vaikutukset sekä muut huomioon otettavat resurssit. Lopulliset työkustannukset saadaan laskettua kertomalla työtuntien määrä (h) työntekijän tuntihinnalla (€/h).

#### 4.4.3 Vedenlämmityksen kustannukset

Vedenlämmityksen kustannukset voidaan arvioida veden lämmittämiseen tarvittavan energian määrän avulla. Laskentaan vaaditaan seuraavat lähtötiedot:

- Veden ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg)
- Lämmitettävän veden lämpötila (°C)
- Lämmitetyn veden lämpötila (°C)
- Vedenkulutus (dm<sup>3</sup>)
- Energian hinta (€/kWh)

Lähtötietojen perusteella voidaan laskea veden lämmittämiseen tarvittava energian määrä kaavan 5 mukaisesti.

$$Q = cm\Delta t \tag{5}$$

missä

- Q = lämpöenergia (kJ/kg)
- c = veden ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg)
- m = massa (kg)
- $\Delta t$  = lämpötilan muutos (K)

Laskennassa massaksi voidaan olettaa 1 kg, jolloin tarvitaan laskea enää lämpötilan muutos (K). Lämpötilan muutos saadaan vähentämällä lämmitettävän veden lämpötila lämmitetyn veden lämpötilasta. Lämpöenergian laskennan jälkeen laskentatuloksesta saatu lämpöenergian määrä kerrotaan lämmitetyn vedenkulutuksen määrällä (dm<sup>3</sup>), jolloin saadaan kokonaislämpöenergian määrä kulutetun lämmitetyn veden mukaisesti. Kokonaislämpöenergia muutetaan vielä yksikkömuunnoksella kilojouleista (kJ) muotoon kilowattitunti (kWh) jakamalla laskennan tulos arvolla 3600. Tuloksena saadaan vedenkulutuksen mukainen energiankulutus (kWh), joka kerrotaan vielä lämmitysmuodon mukaisen energian hinnalla (€/kWh). Lopputuloksena muodostuu vedenlämmityksestä muodostuvat kokonaiskustannukset. Vedenlämmityksessä syntyvät kustannukset on esitetty liitteessä 3.

## 4.5 Kiertovesijärjestelmän suunnittelu

Suunnittelun lähtötietoina on käytetty:

- kierrätysvesijärjestelmän mitoitustuotto ( $\text{m}^3/\text{h}$ )
- eläinsuojan keskimääräinen veden käyttömäärä ( $\text{m}^3$ )
- suunnitellun vesijohdon pituus (m)
- staattinen korkeusero (m)
- valitun putkimateriaalin koko- ja hintatiedot
- korkoprosentti (%)
- kuoletusaika (a)
- sähkön hinta ( $\text{€}/\text{kWh}$ )
- pumpun hyötysuhde (%)
- putoamiskiiktyvyys ( $\text{m}/\text{s}^2$ )
- veden tiheys ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

### 4.5.1 Vesijohdon sisäläpimitan määrittäminen

Suunnittelun apuna on hyödynnetty Heikkisen menetelmää matalapaineisen painejohdon optimikoon määrittämiselle ja pumppauksen suunnittelulle (Heikkinen 2008.) Laskennassa määritettävä vesijohdon optimikokoa käytetään myöhemmin avuksi lopullisen putkikoon valitsemiseksi, kun tarkasteluun otetaan mukaan myös energian tarve ja kustannukset. Suunnittelussa on myös arvioitu valitun putkikoon realistisuutta todellisessa käyttötilanteessa suunnittelukohteessa. Suunnittelu ja vesijohdon optimikoon määrittäminen aloitetaan putkikoon alustavalla valinnalla, joka voidaan laskea kaavalla 6.

$$ds = \sqrt{4 * Q / (\pi * v)} \quad (6)$$

missä

- ds = Alustava putken sisäläpimita (m)
- Q = Järjestelmän mitoitustuotto ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
- v = veden nopeus putkessa (m/s)

Alustavasti tarkkaa veden nopeutta putkessa ei voida laskea, koska putken sisäläpimita ei ole vielä tiedossa. Käyttötilanteessa on suositeltavaa, että vesijohdossa kulkevan veden nopeus on välillä 1 - 1,5 m/s (Heikkinen 2008, 2.) Tämän perusteella voidaan alustavan putkikoon määrittämiselle veden nopeudelle ottaa arvo suositellun käyttötilanteen puolesta välistä, joka on 1,25 m/s.

## 4.5.2 Kiertovesijärjestelmän energiantarve ja kustannusvertailu

Tarkastelun toisessa vaiheessa aloitetaan erilaisten kustannuksien vertailu, sopivan putkikoon ja -materiaalin löytämiseksi. Tämän suunnittelutehtävän apuna on käytetty Cronvallin putkikatalogia. Alustavan putkikoon määrittämisen jälkeen kustannustarkasteluun valitaan kuusi eri putkikokoa. Sopivien vertailukohteiden valitsemisen jälkeen voidaan aloittaa kustannuksien vertailu. Kustannusvertailu aloitetaan pääomakustannuksien laskemisella, jonka laskenta on esitetty kaavassa 7 (Heikkinen 2008, 2-3.)

$$Kp = \frac{\left(1 + \frac{p}{100}\right)^{n \cdot \frac{p}{100}}}{\left(1 + \frac{p}{100}\right)^{n-1}} * L * kp \quad (7)$$

missä

- Kp = Pääomakustannus (€)
- p = Korkoprosentti (%)
- n = Kuoletusaika (a)
- L = Vesijohdon pituus (m)
- kp = Putken metrihinta (€/m)

Seuraavaksi kustannusvertailua jatketaan tarvittavan energian ja muiden käyttökustannuksien laskennalla. Energiakustannuksia on arvioitu kahdella eri menetelmällä ja lopulliset käyttökustannukset lasketaan Heikkisen menetelmän mukaisesti (Heikkinen 2008.) Energiakustannuksien laskeminen aloitetaan laskemalla kaavan 8. esittämällä tavalla järjestelmän vaatima kokonaisnostokorkeus (H) (Heikkinen 2008, 2-3.)

$$H = h + \Delta h \quad (8)$$

missä

- H = Kokonaisnostokorkeus (m)
- h = Staattinen nostokorkeus (m)
- $\Delta h$  = Painehäviö (m)

Lisäksi lasketaan kaivopumpun vaatima energian tarve vuoden aikajaksolla. Lopullinen järjestelmän vaatima energian tarve voidaan laskea johdetulla potentiaalienergian kaavalla 9.

$$E = \frac{(m * g * H) / \eta}{1000 * 60 * 60} \quad (9)$$

missä

- E = Energian tarve (kWh/a)
- m = Pumpattavan veden massamäärä vuodessa (kg)
- g = Putoamiskiihtyvyys (m/s<sup>2</sup>)
- H = Kokonaisnostokorkeus (m)
- $\eta$  = Pumpun hyötysuhde (%)



Energian tarpeen tarkastelun viimeisessä vaiheessa lasketaan lopulliset energiakustannukset. Järjestelmän vuotuiset energiakustannukset voidaan laskea kaavan 10 mukaisella tavalla (Heikkinen 2008, 3.)

$$Ke = \frac{Q_{kesk} * H}{\eta} * e \quad (10)$$

missä

- Ke = Energiakustannukset (€/a)
- Q<sub>kesk</sub> = Keskimääräinen vedenkulutus (m<sup>3</sup>/d)
- H = Kokonaisnostokorkeus (m)
- η = Pumpun hyötysuhde (%)
- e = Energian hinta (€/kWh)

tai kaavalla 9. lasketun energian tarpeen perusteella kaavan 11. mukaisesti (Heikkinen 2008, 3.)

$$Ke = E * e \quad (11)$$

missä

- Ke = Energiakustannukset (€/a)
- E = Energian tarve (kWh/a)
- e = Energian hinta (€/kWh)

#### 4.5.3 Pumpun mitoitus

Pumpun mitoitusta varten on arvioitava käyttökohteen mitoitustuotto. Arvioinnin apuna voidaan käyttää tässä tapauksessa kohteen vedenkulutuksen seurannan tietoja. Lisäksi mitoitusta varten on laskettava kokonaisnostokorkeus suunnitellun varastovesisäiliön korkeimman vedenpinnan ja järjestelmän häviöiden perusteella. Kokonaisnostokorkeus voidaan laskea kaavalla 7 (Heikkinen 2008, 2-3.)

$$H_{kok} = (H_w - H_{gw}) + h_f + h_p \quad (12)$$

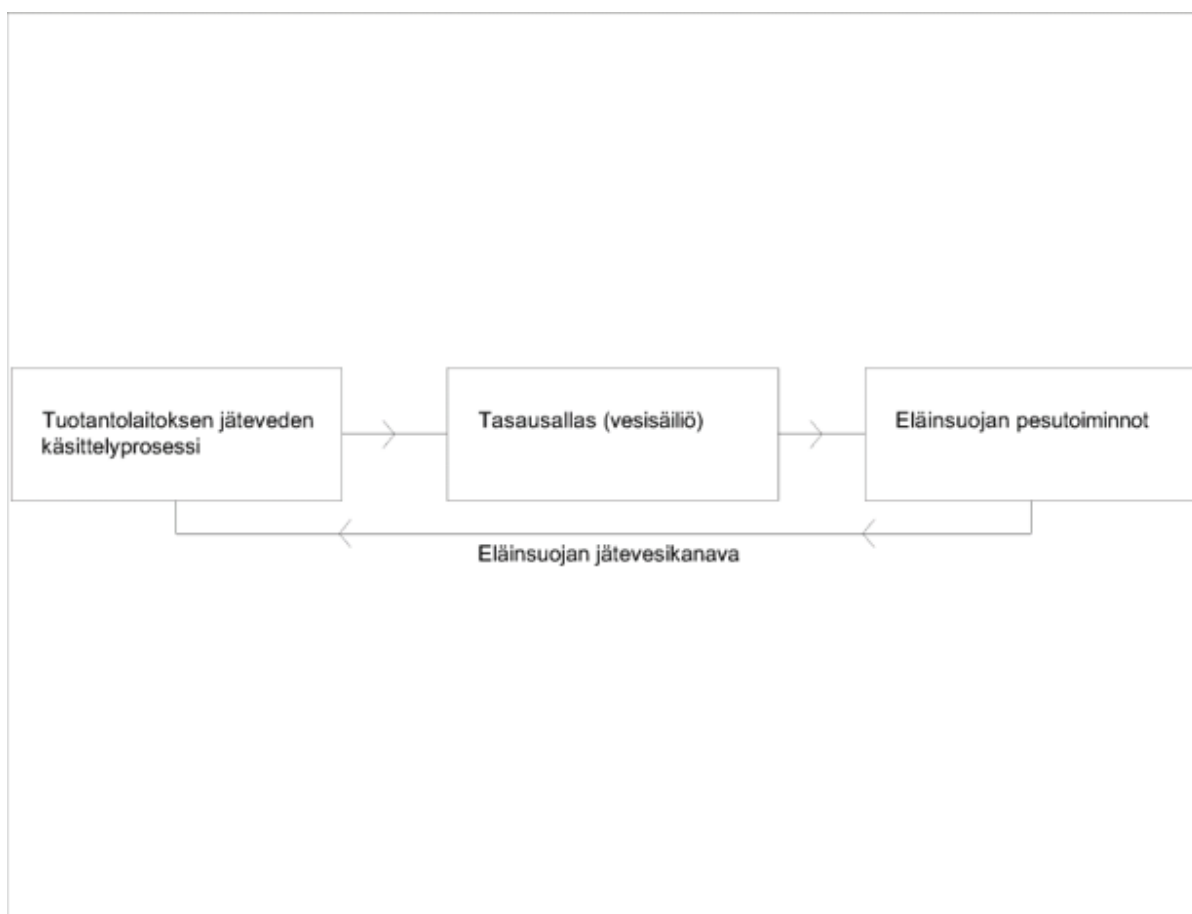
missä

- H<sub>kok</sub> = Kokonaisnostokorkeus (m)
- H<sub>w</sub> = Varastovesisäiliön korkein vedenpinta (m)
- H<sub>tw</sub> = Teknisen veden vedenpinta pumppauksen aikana (m)
- h<sub>f</sub> = Kitkahäviö pumppauksen aikana (m)
- h<sub>p</sub> = Paikallishäviöt (m)

Lasketun kokonaisnostokorkeuden ja arvioidun mitoitustuoton avulla pystytään määrittämään pumpulle toimintapiste, jota voidaan verrata sopivaksi koetun pumppumallin ominaiskäyrään. Lisäksi monella pumppuvalmistajalla on tarjolla pumpun mitoitustyökaluja. Lopulliseen valintaan on kuitenkin suositeltavaa käyttää pumpputoimittajien asiantuntijuutta.

#### 4.6 Suunnitelmien ja valittujen ratkaisujen kuvaus

Kierrätysvesijärjestelmän periaate on esitetty kuvassa 3. Kierrätysvesijärjestelmän siirtovesijohdon linjaus on esitetty liitteessä 4. Linjauksen pituus on noin 50 metriä ja se perustuu tuotantolaitoksen pohjapiirustuksen sekä olemassa olevien rakenteiden mukaan harkittuun asennustapaan. Siirtovesijohto liitetään alkupäästä jätevedenkäsittelytilan flotaatiosäiliöön, josta saadaan syötettyä linjalle tekninen vesi pumppuavusteisesti. Linjan loppupää sijoittuu eläinsuojan itäpäähän, jonka katolle sijoitetaan myös järjestelmän tasaustilavuuden varastovesisäiliö. Tasaustilavuudeksi riittää 10 m<sup>3</sup>, joka vastaa puolta eläinsuojan keskimääräisestä kokonaisvedenkulutuksesta työpäivän aikana. Kattorakenteiden kantavuus on varmistettava, ennen lopullisen varastovesisäiliön valintaa. Kiertovesijärjestelmän prosessikaavio on esitetty liitteessä 5.



Kuva 9 Periaatekuva kierto-vesijärjestelmästä.

Suunniteltu siirtovesijohto asennetaan huoneiden leikkaustason yläpuolelle ja rakenteiden yläpohjan alapuolelle. Linjauksen tarkoituksena on hyödyntää olemassa olevia läpivientejä. Tarvittaessa läpivienti tehdään kevyeen väliseinään. Ulkotiloihin kulkeutuvat putkiosuudet on eristettävä.

Suunnitelmaan valittu putki on saatu vaihtoehto ja kustannus vertailun avulla. Vertailuun valitut putket perustuvat alustavaan putkikoon sisäläpimitan laskentaan, joka oli laskennan perusteella 38 mm. Putkimateriaaliksi on valittu ruostumaton teräsputki 1.4301 / AISI 304, joka kestää parhaiten teollisuuden olosuhteita ja teurastamon jätevedessä olevaa kloridia. Lopulliseen kustannusvertailuun on käytetty avuksi Cronvallin putkikatalogia (Cronvall 2019.) Kokoluokka DN32 osoittautui järjestelmälle

vertailussa parhaimmaksi vaihtoehdoksi, joka vastasi myös lähelle laskettua sisäläpimittaa (38.4 mm).

Kiertovesijärjestelmän energiakustannuksien vertailu on esitetty liitteessä 6. Vertailussa on otettu huomioon pumpun energian tarve. Energian hinnaksi on arvioitu Outokummun tuotantolaitoksen keskimääräinen energian hinta vertailuvuonna 2018. Lopulliseen kustannusvertailuun on laskettu järjestelmän arvioidut pääomakustannukset, joihin lukeutuvat rakentamisen aikaiset hankinnat ja muut työt. Lisäksi lopulliseen vertailuun on lisätty energiakustannukset, jolloin saadaan muodostettua kuva hankkeen kokonaiskustannuksista. Vertailussa yksi vaihtoehto osoittautui parhaaksi lopullisiin suunnitelmiin. Valittu putkikoko sopii parhaiten käytetylle mitoitustuotolle 5 m<sup>3</sup>/h.

Järjestelmän pumpun valintaan on käytetty mitoitustuottoa 5 m<sup>3</sup>/h ja 15 metrin kokonaisnostokorkeutta. Kokonaisnostokorkeudessa on otettu huomioon nostokorkeus sekä kitka- ja paikallishäviöt, joita ovat esimerkiksi linjauksen jyrkkien taitoksien ja venttiilien aiheuttamat häviöt pumppauksen aikana. Sopivan pumpun valinnassa on vertailtu eri pumpputyypin ominaiskäyriä. Vertailun perusteella alustavaksi pumppumalliksi on valittu Xylemin 10SV03F011T -pumppu (Xylem 2018.) Pumpun esite ja tarkemmat tekniset tiedot on esitetty liitteessä 7.

Varastovesisäiliön tasaavaksi tilavuudeksi on arvioitu 10 m<sup>3</sup>, joka vastaa noin puolta päivittäisestä eläinsuojan kokonaisvedenkulutuksesta. Järjestelmä varustetaan vedenpinnan tason mittauksella, joka on automatisoitu toimimaan järjestelmän pumpun kanssa. Varastovesisäiliön lopullinen kustannus on riippuvainen mitoituksista, lisävarusteista ja rakennusvaiheen asennustöistä. Säiliö sijoitetaan eläinsuojan itäpäähän ylätasen rakenteiden päälle. Lopullisen säiliön valinnassa on otettava huomioon kattorakenteiden kantavuudet. Säiliön materiaalina käytetään joko lasikuituvahvistettua polyesteria (GRP) tai ruostumatonta terästä (AISI304). Molemmat materiaalit kestävät erinomaisesti korroosiota ja on helppo eristää. Säiliön sijoituessa ulkotiloihin tulee säiliön olla rakennusstandardien mukaisesti eristetty ja suojattu sääolosuhteilta. Ympäristöriskien vähentämiseksi säiliö varustetaan vaipalla ja ylitäytön estojärjestelmällä. Säiliö tulee olla puhdistettavissa ja tarkastettavissa helposti. Säiliön puhdistus tulee olemaan säännöllistä kierrätettävän jäteveden korkean BOD-arvon perusteella.

## 4.7 Kiertovesijärjestelmän vaihtoehtotarkastelu

Taulukossa 3. on esitetty vaihtoehtotarkastelun tulokset kierrätysvesijärjestelmän ja siihen liittyvien puhdistusprosessien osalta. Vaihtoehtoihin valitut prosessit soveltuvat puhdistetun jäteveden laadun parantamiseen, joka lisää uudelleen käytettävän veden käyttökohteita. Vaihtoehtotarkastelun tulokset on sovitettu vastaamaan käyttökohteeksi valitun eläinsuojan käyttövesimääriä.

Taulukko 3 Kohteen ja prosessien vaihtoehtotarkastelu

Kohde	VE0+	VE01	VE02
Prosessit	DAF + WRS	EC+ WRS	DAF+ UV + WRS
<b>Käyttökustannukset</b>	3 359 €	8 267 €	3 389 €
<b>Vedenkierrätysjärjestelmä</b>			
Pääoma	84 €/a	84 €/a	84 €/a
Energia	29 €/a	29 €/a	29 €/a
Kokonaiskustannukset	113 €/a	113 €/a	113 €/a
<b>Prosessi</b>			
Energia	567 €/a	7058 €/a	3542 €/a
<b>Investointikustannukset</b>			
Laitteistokustannukset	9 274 €	27 274 €	47 274 €
<b>Vertailukustannukset</b>	12 633 €	35 541 €	50 663 €

Lähteet: (Tikkanen 2016), (EPA 1999), (Vesilaitosyhdistys Ry 2016), (Xylem 2018), (Tetreault 2003), (Ozyonar ja Karagozlu 2013), (Nieminen 2013) ja (Cronvall 2019.)

Vaihtoehto VE0+ perustuu vedenkierrätysjärjestelmän rakentamiseen, joka käyttää nykyisen korkeapaine-flotaatiokäsittelyn puhdistettua jätevettä. Tämän vaihtoehdon kierrätettävä vesi vastaa laadultaan nykyistä puhdistettua jätevettä ja sen käyttö tulee olla rajattua. Tässä vaihtoehdossa lantakanavien huuhtelu on uudelleen käytettävän veden paras käyttökohde.

Vaihtoehto VE01 sisältää ehdotuksen rinnakkaisesta järjestelmästä, missä kierrätettävä jätevesi puhdistetaan sähkösaostamalla. Sähkösaostuksella pystytään poistamaan jätevedestä orgaanista ainesta ja patogeeneja, mutta alkuinvestoinnit ja energian kulutus lisäävät kustannuksia huomattavasti. Lisäksi huomioon on otettava saostuksessa käytettävien elektrodien kuluminen ja muut käyttökustannukset. Tarvittavilla lisätutkimuksilla ja laadun varmistuksella voidaan harkita uudelleen käytettävän veden kierrätysmahdollisuuksia sekä käyttökohteita.

Vaihtoehto VE02 jatkaa korkeapaine-flotaation käyttöä eläinsuojan jätevesien käsittelyssä. Käsittelyssä puhdistetun jäteveden laatua parannettaisiin UV-desinfiointilaitteiston avulla. Uudelleen käytettävän veden desinfiointi mahdollistaa sen laajamittaista käyttöä käyttökohteissa ilman käytön rajoituksia. Vertailukustannukset nousevat huomattavasti tämän vaihtoehdon kohdalla.

## 5 YHTEENVETO

Elintarviketeollisuus on yksi isoimmista teollisuudenaloista vedenkulutuksen suhteen. Lihateollisuudessa vedenkulutus näkyy tuotannossa ja tuotantotilojen puhtaanapidon vaadittavien toimenpiteiden kautta. HKScan Finland Oy on sitoutunut isoihin konsernitason ympäristötavoitteisiin vuoteen 2030 mennessä ja seuraa niiden toteutumista vuosittain. Yksi näistä ympäristötavoitteista on vedenkulutuksen vähentäminen 25 % vuoden 2018 tasosta (HKScan Finland Oy 2019, 63.) Sama trendi ympäristötavoitteissa näkyy myös monella muulla teollisuuden alalla, joka antaa tilaa uusille innovaatioille ja ajattelumalleille veden kulutuksen suhteen myös Suomessa.

Käsitellyn jäteveden soveltuvuus kierrätysvesijärjestelmässä on riippuvainen kierrätettävän veden laatutekijöistä ja sen käyttökohteesta. Järjestelmän suunnitteluvaiheessa on otettava huomioon käytöstä aiheutuvat riskit, joita esimerkiksi veden sisältämät taudinaiheuttajat voivat aiheuttaa. Tämän työn tapauksessa patogeenien riski on suuri, teurastamolaitoksen toiminnan pesujen ja huuhtelujen vuoksi. Jätevesijakeisiin lukeutuvien lietalannan ja eläinsuojien pesuvesien takia määrällisesti suurin osa teurastamojätevesien patogeeneistä ovat ulosteperäisiä bakteereita.

Järjestelmän suunnittelussa ja laatuksien arvioinnissa on myös hyvä ottaa huomioon jo olemassa olevia oppaita ja tutkimuksia, joita on jo tarjolla esimerkiksi veden uudelleen käytöstä kaste-lujärjestelmien osalta. Oppaita tarjoavat muun muassa Yhdysvaltain ympäristösuojeluviraston (US EPA) ja Maailman terveysjärjestön (WHO). Myös Euroopan Unioni on laatimassa säädäntöä veden uudelleen käytön suhteen. Suunnittelun aikana on myös hyvä ottaa huomioon lainsäädäntöä veden kierrättämisen ja sen käyttökohteen kannalta.

Tässä työssä oli tarkoituksena arvioida nykyisen käsittelyn mukaista jäteveden käyttöä kierrätysvesijärjestelmässä. Kierrätysvesijärjestelmän käyttökohteeksi valikoitui Outokummun tuotantolaitoksen eläinsuoja. Selvityksen aikana eläinsuojan vedenkulutukseksi todettiin keskimäärin noin 20 m<sup>3</sup>/d, joka vastaa noin 9 % tuotantolaitoksen päivittäisestä kokonaiskulutuksesta. Vedenkulutuksen perusteella kierrätysvesijärjestelmällä on potentiaalia vähentää tuotantolaitoksen kokonaisvedenkulutusta.

Teurastamon nykyisillä jätevesien käsittelymenetelmillä käsitelty jätevesi soveltuu eläinsuojan lantakanavien huuhteluihin. Kiertovesijärjestelmä pystyttäisiin toteuttamaan niin, että ihmisiin tai eläimiin kohdistuvan kontaktin mahdollisuus on estetty. Käsiteltyä jätevetä voidaan vielä suodattaa kiintoaineen ja orgaanisten aineiden osalta, jolloin järjestelmän huoltaminen ja puhdistaminen ei olisi säännöllistä. Vaihtoehtotarkastelussa esitetyillä parannetuilla käsittelytekniikoilla voidaan vähentää käyttökohteille arvioitua riskejä käsitellyn jäteveden käytössä. Tehostetulla käsittelyllä ja korkeammalla laatusolla, käsitellyn jäteveden käyttöä voidaan harkita myös eläinsuojan pesuvedeksi. Lisäinvestoinnit nostavat kuitenkin kierrätysvesijärjestelmän käyttö- ja investointikustannuksia huomattavasti. Kierrätysvesijärjestelmän vaihtoehtotarkastelu on esitetty taulukossa 3.

## 6 SUOSITELLUT JATKOTOIMENPITEET

Tässä työssä tehtyjen esiselvitysten ja suunnittelun perusteella voidaan esittää seuraavia jatkotoimenpiteitä Kiertovesijärjestelmän toteuttamiselle ja Outokummun teurastamon veden käytön tehostamiseksi:

### 1. Taudinaiheuttajien selvitys käsittelystä jätevedestä.

Käsittelystä jätevedestä tulee selvittää merkittävimmät taudinaiheuttajat. Analyysin perusteella voidaan verrata nykyisen käsittelyn laatua jo olemassa oleviin suositusarvoihin uudelleen käytetävän veden suhteen. Tulosten perusteella voidaan arvioida hankkeen toteuttamista tarkemmin.

### 2. Lantakanavien huuhtelun pilotointi käsitellyllä jätevedellä.

Nykyisellä menetelmällä käsittelyn jäteveden käyttöä voidaan pilotoida eläinsuojassa yksittäisillä lantakanavilla. Pilotoinnin avulla voidaan määrittää sopivat käyttöpaineet huuhtelulle ja havainnoida käsittelyn jäteveden soveltavuutta käytännössä kierrätysvesijärjestelmässä.

### 3. Uusien pesutoimintojen integrointi kierrätysvesijärjestelmän kanssa.

Kierrätysvesijärjestelmä on vain yksi tapa vähentää kokonaisvedenkulutusta. Uusilla hankkeilla ja pesutekniikoilla voidaan hakea huomattavia säästöjä kulutuksessa. Esimerkiksi vedenkulutusta voidaan laskea veden virtaamaa pienentävillä pesusuuttimilla, käyttötapojen opastuksella ja automatisoiduilla käyttövesijärjestelmillä. Lisäksi vesi-intensiiviset laitteistot voisivat toimia suljetussa vesikierrrossa. Uudet toiminnot voidaan integroida kierrätysvesijärjestelmän kanssa, jolloin ympäristötavoitteet tullaan saavuttamaan.

## LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

- ABD HAMID Sharifah B., MARLINA Emy, GOH Sze, WU Ta, TAN Tongling ja JUAN Joon C. 2005. Evaluation on the Photocatalytic Degradation Activity of Reactive Blue 4 using Pure Anatase Nano-TiO<sub>2</sub>. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2019-09-04.] Saatavissa: [https://www.researchgate.net/publication/282948982\\_Evaluation\\_on\\_the\\_Photocatalytic\\_Degradation\\_Activity\\_of\\_Reactive\\_Blue\\_4\\_using\\_Pure\\_Anatase\\_Nano-TiO2](https://www.researchgate.net/publication/282948982_Evaluation_on_the_Photocatalytic_Degradation_Activity_of_Reactive_Blue_4_using_Pure_Anatase_Nano-TiO2)
- ALCALDE-SANZ, L. ja GAWLIK, B. M. 2017. Joint Research Centre. Minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation recharge – Towards a water reuse regulatory instrument at EU level. Luxembourg: Publications Office of the European Union 2017. Raportti. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2019-12-27.] Saatavissa: [https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC109291/jrc109291\\_online\\_08022018.pdf](https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC109291/jrc109291_online_08022018.pdf)
- AUSTRALIAN MEAT PROCESSOR CORPORATION Ltd 2003. PRENV.011 – Electrocoagulation Process for Wastewater Treatment. Loppuraportti. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2019-12-01.] Saatavissa: [https://www.ampc.com.au/uploads/cgblog/id172/ENV\\_2003\\_Electrocoagulation\\_process\\_for\\_wastewater\\_treatment.pdf](https://www.ampc.com.au/uploads/cgblog/id172/ENV_2003_Electrocoagulation_process_for_wastewater_treatment.pdf)
- AUSTRALIAN MEAT PROCESSOR CORPORATION Ltd 2018. Literature Review – Evaluation of Electrocoagulation as a wastewater treatment technology for meat processors. Väliraportti. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2020-01-10.] Saatavissa: [https://www.ampc.com.au/uploads/cgblog/id416/2018\\_1140\\_Milestone\\_3\\_Electroco\\_\(1\).pdf](https://www.ampc.com.au/uploads/cgblog/id416/2018_1140_Milestone_3_Electroco_(1).pdf)
- BUSTILLO-LECOMPTE Ciro ja MEHRVAR Mehrab 2017. Slaughterhouse Wastewater: Treatment, Management and Resource Recovery. Physico-Chemical Wastewater Treatment and Resource Recovery, Robina Farooq and Zaki Ahmad, IntechOpen, DOI: 10.5772/65499. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2019-12-01.] Saatavissa: <https://www.intechopen.com/books/physico-chemicalwastewater-treatment-and-resource-recovery/slaughterhouse-wastewater-treatment-management-and-resource-recovery>
- BOI ENVIRONMENTAL TRAINING. Hydroxyl Generators. Product Overview. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2019-09-04.] Saatavissa: <https://www.boie.us/hydra-ultra.php>
- CRONVALL. Putket RST ja HST. Prosessiputket. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2019-12-27.] Saatavissa: <https://www.cronvall.fi/Putket-RST-ja-HST/Prosessiputket>
- DUODECIM Terveyskirjasto 2019. Kamylobakteerin, salmonellan, shigellan ja EHEC-bakteerin aiheuttamat suolistotulehdukset. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2019-10-02.] Saatavissa: [https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p\\_artikkeli=dlk01187](https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk01187)
- DONGSHIN EN-TECH CO, LTD 2012. Business Area. Environmental Business. DAF System. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2019-09-10.] Saatavissa: [http://www.sdaf.net/eng/business/business1\\_2.php](http://www.sdaf.net/eng/business/business1_2.php)
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, IRELAND 1995. EPA Water Treatment Manuals, Filtration. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2020-01-10.] Saatavissa: [https://www.epa.ie/pubs/advice/drinkingwater/EPA\\_water\\_treatment\\_manual\\_%20filtration1.pdf](https://www.epa.ie/pubs/advice/drinkingwater/EPA_water_treatment_manual_%20filtration1.pdf)
- ELÄINSUOJELUASETUS. L 1996/396. Finlex. Lainsäädäntö. [Viitattu 2019-09-04.] Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1996/19960396>
- EUROOPANPARLAMENTIT JA NEUVOSTON ASETUS (EY) N:O 999/2001, ANNETTU 22 PÄIVÄNÄ TOUKOKUUTA 2001, TIETTYJEN TARTTUVIEN SPONGIFORMISTEN ENEFALOPATIOIDEN EHKÄISYÄ, VALVONTAA JA HÄVITTÄMISTÄ KOSKEVISTA SÄÄNNÖISTÄ. L 2001/999/EY. Eur-Lex. Lainsäädäntö. [Viitattu 2019-09-04.] Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=celex%3A32001R0999>

- GARCIA Concha 2013. Wedeco, a Xylem brand. The Industrial wastewater treatment by O3/AOP to comply with European Directives and Environmental requirements. Esitelmä. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2019-10-13.] Saatavissa: [https://chemwater.eu/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=105](https://chemwater.eu/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=105)
- HEIKKINEN Voitto 2008. SAVONIA-AMK Oy. Painejohdon optimikoon määrittäminen. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu
- HIISVIRTA Leena 1976. OY VESI-HYDRO AB. Yhdyskuntien vesi- ja ympäristöprojekti. Teurastamojen ja lihanjalostuslaitosten jätevesikuormitus ja jätevesien käsittelymahdollisuudet. Tutkimus. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2019-09-01.] Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/229037/YVY\\_Tutkimus\\_6.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/229037/YVY_Tutkimus_6.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- HKSCAN Finland Oy 2019. Vuosikertomus 2018. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2019-09-04] Saatavissa: <https://mb.cision.com/Public/17254/2762370/b3d88178912ba53b.pdf>
- HONGJUN Lin, WEIJUE Gao, FANGANG Meng, BAO-QIANG Liao, KAM-TIN Leung, LEIHONG Zhao, JIANRONG Chen ja HUACHANG Hong 2012. Membrane Bioreactors for Industrial Wastewater Treatment: A Critical Review, Critical Reviews in Environmental Science and Technology. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2019-09-04.] Saatavissa: [https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/565885/mod\\_folder/content/0/Membrane%20Bioreactors%20for%20Industrial%20Wastewater%20Treatment%20A%20Critical%20Review.pdf?forcedownload=1](https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/565885/mod_folder/content/0/Membrane%20Bioreactors%20for%20Industrial%20Wastewater%20Treatment%20A%20Critical%20Review.pdf?forcedownload=1)
- INTERNATIOANL ATOMIC ENERGY AGENCY 2008. Radiation Treatment of Polluted Water and Wastewater. Austria: IAEA 2008. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2019-09-04.] Saatavissa: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te\\_1598\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1598_web.pdf)
- KIVISAARI Heli 2009. Sähkökoagulaatio hartsihappoja ja kuparia sisältävien jätevesien puhdistusmenetelmänä. Ympäristötiede ja -teknologia. Pro gradu. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2019-12-01.] Saatavissa: <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/19956>
- LAKI VAARALLISTEN KEMIKAALIEN JA RÄJÄHTEIDEN KÄSITTELYN TURVALLISUUDESTA. L 2005/390. Finlex. Lainsäädäntö. [Viitattu 2019-09-04.] Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2005/20050390>
- LENNTECH 1998 – 2019. Home. Library. Ozone. Ozone reaction mechanisms. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2019-09-04.] Saatavissa: <https://www.lenntech.com/library/ozone/reaction/ozone-reaction-mechanisms.htm>
- LOUKIADIS Estelle, KÉROURÉDAN Monique, BEUTIN Lothar, OSWALD Eric and BRUGÈRE Hubert 2006. Applied and Environmental Microbiology p. 3245 – 3251. American Society for Microbiology. Characterization of Shiga Toxin Gene (stx) -Positive and Intimin Gene (eae) -Positive Escherichia coli Isolates from Wastewater of Slaughterhouses in France. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2019-10-13.] Saatavissa: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1472399/>
- MAKAROV Igor E. ja PONOMAREV Alexander V. 2017. Radiation-Induced Degradation of Organic Compounds and Radiation Technologies for Purification of Aqueous Systems. Ionizing Radiation Effects and Applications, Boualem Djeddar, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.72074. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2019-09-10.] Saatavissa: <https://www.intechopen.com/books/ionizing-radiation-effects-and-applications/radiation-induced-degradation-of-organic-compounds-and-radiation-technologies-for-purification-of-aq>
- MARADONA Enerique M. ja VALDEZ Cesaro J. 2012. Handbook of Wastewater Treatment: Biological Methods, Technology, and Environmental Impact. Hauppauge, New York: Nova Science Publishers, Inc. 2012. Sähkökirjajulkaisu. [Viitattu 2019-09-08.] Saatavissa: <http://search.ebsco->



host.com.ezproxy.savonia.fi/login.aspx?direct=true&AuthType=ip,shib&db=nlebk&AN=548943&lang=fi&site=ehost-live&authtype=ip,shib&custid=s4778224

MÄNTTÄRI Mika ja AROLA Kimmo 2013. Membraanisuoatituksen hyödyntäminen kunnallisessa jätevedenpuhdistuksessa. Case: Parikkalan Särkisalmen jätevedenpuhdistamo. Kirjallisuusselvitys. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2019-10-13.] Saatavissa: <http://www.parikkala.fi/loader.aspx?id=c564a7fe-a069-48c1-8b49-51dfa7a61832>

NIEMINEN Anette 2013. Kustannustehokas ja tasalaatuinen elintarviketeollisuuden jätevesi. Kemiantekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2019-12-01.] Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201305138044>

OZYONAR Fuat ja KARAGOZOGLU Bunyamin 2013. Desalination and Water Treatment. Investigation of technical and economic analysis of electrocoagulation process for the treatment of great and small cattle slaughterhouse wastewater. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2019-12-27.] Saatavissa: [https://www.deswater.com/DWT\\_abstracts/vol\\_52\\_1-3/52\\_1-3\\_2014\\_74.pdf](https://www.deswater.com/DWT_abstracts/vol_52_1-3/52_1-3_2014_74.pdf)

PIRILÄ Minna 2015. Adsorption and photocatalysis in water treatment: active abundant and inexpensive materials and methods. Oulun yliopisto. Teknillinen tiedekunta, Ympäristötekniikka. Väitöskirja. [Viitattu 2019-12-04.] Saatavissa: <http://jultika.oulu.fi/Record/isbn978-952-62-0762-9>

PURETEC 2012 – 2019. What is Reverse Osmosis. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2019-09-04]. Saatavissa: <https://puretecwater.com/reverse-osmosis/what-is-reverse-osmosis>

RANADE Vivek ja BHANDARI Vinay 2014. Industrial Wastewater Treatment, Recycling and Reuse. Butterworth-Heinemann. Kirjajulkaisu. [Viitattu 2019-09-08.] Saatavissa: <https://www.elsevier.com/books/industrial-wastewater-treatment-recycling-and-reuse/9780080999685>

TERVEYDEN JA HYVINVOINNINLAITOS 2018. THL Juomavesien epäpuhtauksien poistotekniikat talous- ja jätevesilaitoksilla. Joensuu: Punamusta Oy 2018. Työpaperi. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2020-01-12.] Saatavissa: [https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/137483/URN\\_ISBN\\_978-952-343-260-4.pdf?sequence=1](https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/137483/URN_ISBN_978-952-343-260-4.pdf?sequence=1)

TETREAULT Alena 2003. EC Pacific Pty Ltd. Electrocoagulation Process for Wastewater Treatment. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2019-12-01.] Saatavissa: [https://www.ampc.com.au/uploads/cgblog/id172/ENV\\_2003\\_Electrocoagulation\\_process\\_for\\_wastewater\\_treatment.pdf](https://www.ampc.com.au/uploads/cgblog/id172/ENV_2003_Electrocoagulation_process_for_wastewater_treatment.pdf)

TIKKANEN Olli 2016. Esiselvitys veden UV-desinfiointista Itkonniemen vedentuotantolaitoksella. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2019-12-27.] Saatavissa: <https://docplayer.fi/21699136-Opinnaytetyo-ammattikorkeakoulututkinto-tekniikan-ja-liikenteen-ala-esiselvitys-veden-uv-desinfiointista-itkonniemen-vedentuotantolaitoksella.html>

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY 1999. EPA Wastewater Technology Fact Sheet. Chlorine Disinfection. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2020-01-11.] Saatavissa: <https://www3.epa.gov/npdes/pubs/chlo.pdf>

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY 1999. EPA Wastewater Technology Fact Sheet. Ultraviolet Disinfection. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2020-01-11.] Saatavissa: <https://www3.epa.gov/npdes/pubs/uv.pdf>

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY 2012. EPA Guidelines for Water Reuse. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2020-01-12.] Saatavissa: <https://www.epa.gov/waterreuse/guidelines-water-reuse>

VEPSÄLÄINEN Mikko 2012. VTT Technical Research Centre of Finland. Electrocoagulation in the Treatment of Industrial Waters and Wastewaters. Kuopio: Kopiojyvä Oy 2012. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2019-12-01.] Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/science/2012/S19.pdf>

VESILAITOSYHDISTYS RY 2016. Teknis-taloudellinen tarkastelu jätevesien käsittelyn tehostamisesta Suomessa. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 42. Helsinki: Suomen Vesilaitosyhdistys ry 2016.

[Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2019-12-01.] Saatavissa: [https://www.vvy.fi/site/assets/files/1666/jatevedenkasittelyn\\_teknis-taloudellinen\\_selvitys\\_21042016.pdf](https://www.vvy.fi/site/assets/files/1666/jatevedenkasittelyn_teknis-taloudellinen_selvitys_21042016.pdf)

VITO 2015. Home. Tools. WASS. Ultrafiltration. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2019-09-04.] Saatavissa: <https://emis.vito.be/en/techniekfiche/ultrafiltration>

WORLD HEALTH ORGANIZATION 2006. WHO Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volume 2 Wastewater Use in Agriculture. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2019-12-26.] Saatavissa: [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/gsuweg2/en/](https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/gsuweg2/en/)

XYLEM 2018. Xylem hinnasto 2018. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2019-12-27.] Saatavissa: [http://sahkokonekorjauspursiainen.fi/wp-content/uploads/2016/05/Xylem\\_bruttohinnasto\\_2018-v2.pdf](http://sahkokonekorjauspursiainen.fi/wp-content/uploads/2016/05/Xylem_bruttohinnasto_2018-v2.pdf)

XYLEM 2020. Home. Pumps & Circulators. Multistage Pumps. e-SV Stainless Steel Vertical Multistage Pumps. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2020-01-30.] Saatavissa: <http://lowara.com/pumps-circulators/multistage-pumps/e-sv-stainless-steel-vertical-multi-stage-pumps/#product-tab-literature>

YMPÄRISTÖNSUOJELULAKI. L 2014/527. Finlex. Lainsäädäntö. [Viitattu 2019-09-04.] Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140527>

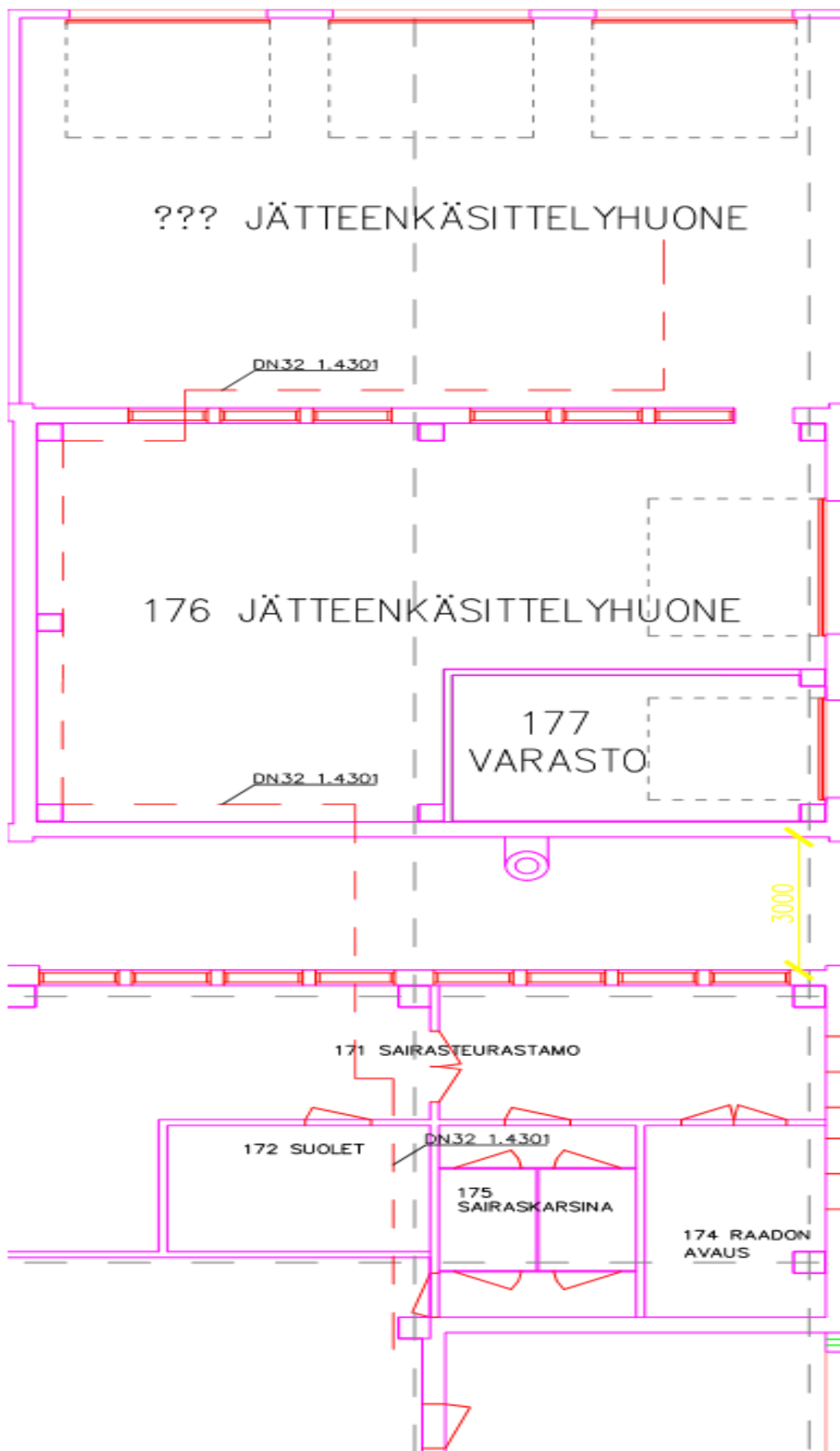
## LIITE 1: JÄTEVESIANALYYSI 13.11.2019 (VAIN TILAAJAN KÄYTTÖÖN)

LIITE 1: JÄTEVESIANALYYSI 13.11.2019 (vain tilaajan käyttöön)

LIITE 2: OUTOKUMMUN TEURASTAMON NYKYISEN JÄTEVEDENKÄSITTELYN KÄYTTÖKUSTANNUKSET  
(VAIN TILAAJAN KÄYTTÖÖN)

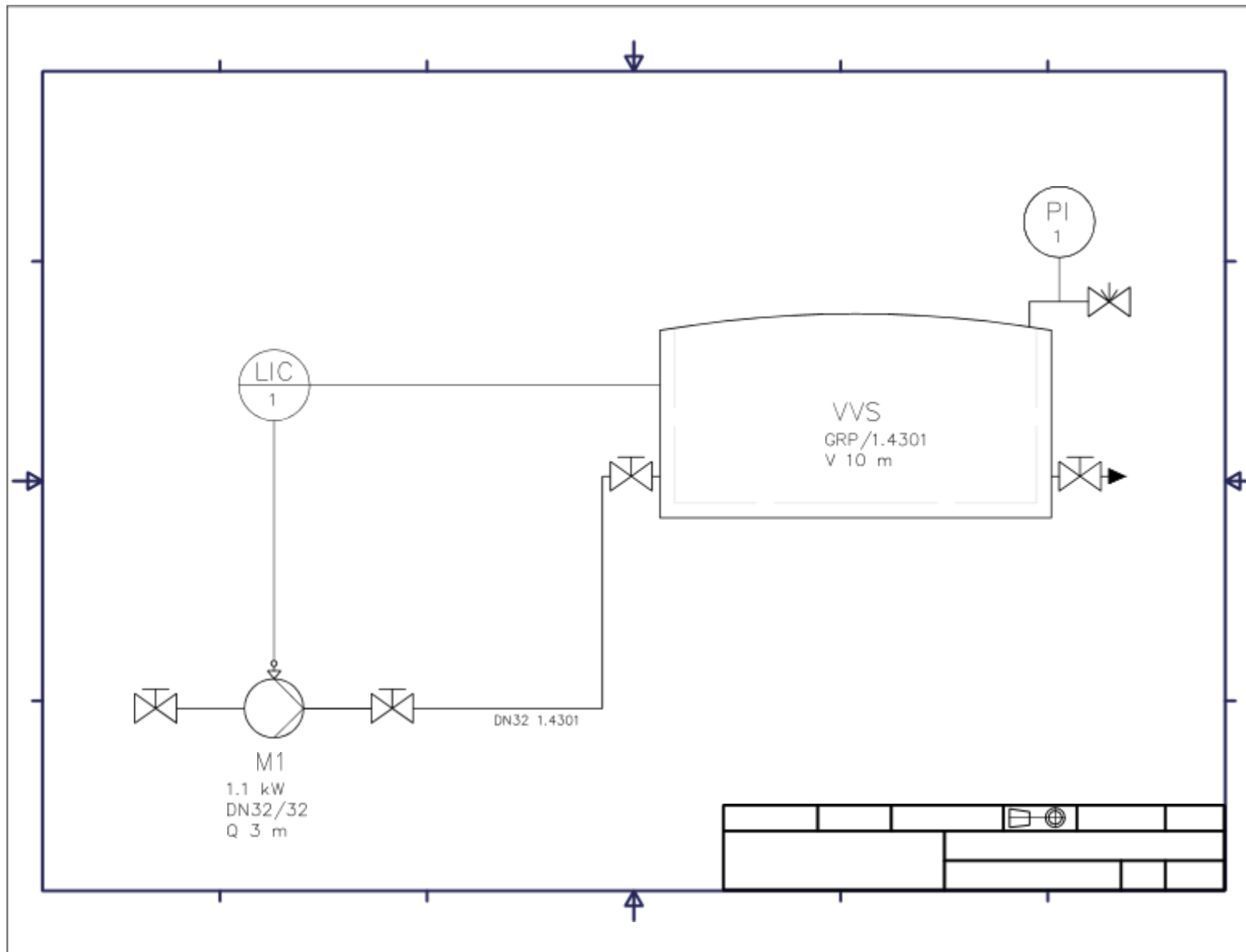
LIITE 3: OUTOKUMMUN TEURASTAMON VUODEN 2018 VEDENKULUTUKSEN JA VEDENLÄMMITYKSEN KUSTANNUKSET (VAIN TILAAJAN KÄYTTÖÖN)

## LIITE 4: KIERRÄTYSVESIJÄRJESTELMÄN SIIRTOJOHDON LINJAUS



## LIITE 5: KIERRÄTYSVESIJÄRJESTELMÄN PI-KAAVIO

6







## LIITE 7: XYLEM 10SV03F011T -PUMPPU ESITE



# e-SV™ Series

## LIITE 7: XYLEM 10SV03F011T -PUMPPU ESITE

### Benefits.

The e-SV™ range of pumps features 11 models, and can be specially configured for a wider range of applications. The line is interchangeable with Lowara's SSV series of vertical multi-stage pumps for added flexibility in meeting pumping requirements. Additionally, five e-SV™ manufacturing facilities around the world provide shorter lead times and faster service.

### Applications.

Water supply and pressure boosting  
 Water treatment  
 Light industry  
 Irrigation and farming  
 Heating, ventilation and air-conditioning

### Specifications.

	3
Delivery	up to 160 m /h
Head	up to 330 m
Power supply	three-phase and single-phase
	50 and 60 Hz
Power	standard motors from 0.37 kW to 55 kW
Maximum operating pressure	PN25-40 for sizes 1-22SV; PN16, PN25, PN40 for sizes 33-125
Temperature of pumped liquid	-30°C to +120°C standard version
Protection	IP55
Insulation class	F
Variable speed (on pumps and Booster Packages)	with Hydrovar® and other VFDs; Smart version with IE5 permanent magnet motor and embedded drive

### Special versions.

Low NPSH

High Pressure up to 45 bars

High Temperature up to 150 and 180°C

Passivated and Electropolished

Horizontal installation



LIITE 7: XYLEM 10SV03F011T -PUMPPU ESITE

## Xylem |'zīl əm|

- 1) The tissue in plants that brings water upward from the roots;
- 2) a leading global water technology company.

We're a global team unified in a common purpose: creating advanced technology solutions to the world's water challenges. Developing new technologies that will improve the way water is used, conserved, and re-used in the future is central to our work. Our products and services move, treat, analyze, monitor and return water to the environment, in public utility, industrial, residential and commercial building services settings. Xylem also provides a leading portfolio of smart metering, network technologies and advanced analytics solutions for water, electric and gas utilities. In more than 150 countries, we have strong, long-standing relationships with customers who know us for our powerful combination of leading product brands and applications expertise with a strong focus on developing comprehensive, sustainable solutions.

**For more information on how Xylem can help you, go to [www.xylem.com](http://www.xylem.com)**



For information and technical support  
Xylem Service Italia Srl

Via Dottor Vittorio Lombardi 14  
36075 - Montecchio Maggiore (VI) - Italy  
Tel. (+39) 0444 707111  
Fax (+39) 0444 491043  
[www.lowara.com](http://www.lowara.com)  
[www.xylem.com](http://www.xylem.com)

Xylem reserves the right to make modification without prior notice.  
Lowara, Flygt and Xylem are trademarks of Xylem Inc. or one of its subsidiaries. © 2018 Xylem, Inc.