

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT School of Energy Systems

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Sustainability Science and Solutions

Carl Freyberg

**VEDENKÄYTÖN KUSTANNUSTEHOKKUUDEN PARANTAMINEN
ELINTARVIKETEOLLISUUDESSA**

Tarkastajat: Professori Risto Soukka

TkL Simo Hammo

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

School of Energy Systems

Ympäristötekniikka, Sustainability Science and Solutions

Carl Freyberg

Vedenkäytön kustannustehokkuuden parantaminen elintarviketeollisuudessa

Diplomityö

2022

53 sivua, 9 kuvaa, 6 taulukkoa ja 7 liitettä

Tarkastajat: Professori Risto Soukka ja TkL Simo Hammo

Avainsanat: Talteenotto, elintarviketeollisuus, jätevesi, vedenkäyttö, vedenkäytön kustannustehokkuus, lean

Elintarvikelaitoksen ympäristökuormitus koostuu pääosin vedenkäytöstä ja jätevesien muodostamisesta. Kestävän yrityskuvan muodostamisessa on tärkeää pyrkiä vähentämään jätevesien aiheuttamia ympäristö vaikutuksia. Suurin osan elintarviketeollisuuden jätevesistä koostuu orgaanisista yhdisteistä. Jätevesien pH:n vaihtelut aiheuttavat myös yhdyskunta jäteveden puhdistamoille omat haasteensa.

Nykyaikaista elintarvikelaitoksen prosesseja voidaan kehittää niin, että jätevesien muodostumista on mahdollista hillitä. Toiminnot voidaan optimoida parhaan hyötysuhteen saamiseksi niin vedenkäytön tehostamisessa kuin jätevesien muodostumisessa. Tärkeää on lähestyä asiaa juurisyyn näkökulmasta: ”Miten jätevedet muodostuvat?”

Tässä tutkimuksessa etsittiin ratkaisua elintarvikelaitoksen jätevesien muodostumiselle ja kustannustehokkaalle vedenkäytölle. Työssä selvitettiin kolmen eri osaston jätevesien muodostumista ja suoritettiin osastokohtaisia jätevesien talteenotto. Tutkimuksen edetessä esille tuli neljä eri vaihtoehtoa ratkaisuksi. Nopein ja kustannustehokkaimmaksi ratkaisuksi muodostui massojen työntäminen vedellä. Kehittynein ratkaisu hyödyntää pigging putkistojen puhdistusta yhdessä CIP-pesujärjestelmän kanssa.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Energy Systems

Department of Environmental Technology, Sustainability Science and Solutions

Carl Freyberg

Improving the cost-effectiveness of water use in the food industry

Master's thesis

2022

53 pages, 9 figures, 6 tables and 7 appendices

Examiners: Professor Risto Soukka ja TkL Simo Hammo

Keywords: Recovery, food industry, wastewater, water use, cost-effectiveness of water use, lean

Water use and wastewater production account for most of the environmental load of a food facility. It is important to reduce the environmental impact of wastewater in order to create a sustainable corporate image. Organic compounds make up the majority of the wastewater from the food industry. A variation in the pH of wastewater also presents its own challenges to municipal wastewater treatment plants.

Food plants can be developed so that wastewater formation can be controlled. Both water efficiency and wastewater generation can be optimized to maximize efficiency. From the perspective of: "How is wastewater formed?" it is important to examine the root cause.

The purpose of this study was to find a solution for the generation and cost-effective use of water from food processing facilities. The formation of wastewater from three departments was examined, and department-specific wastewater recovery was conducted. Following the study, four different solutions were identified as solutions. Pushing the masses with water was the most efficient and cost-effective solution. Pipe-pigging cleaning is used in combination with CIP washing to provide the most advanced solution.

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Roomalaiset

p	paine	[bar, Pa]
V	tilavuus	[l, m ³]

Lyhenteet

BOD ₇	Biological oxygen demand (incubation time of seven days) suom. seitsemän vuorokauden biokemiallinen hapenkulutus
CIP	Cleanin In Place suom. kiertopesu
COD	Chemical oxygen demand suom. kemiallinen hapenkulutus
DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve and Control
ka	keskiarvo
KHK	kasvihuonekaasu
VHL	Vesihuoltolaki

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Symboli- ja lyhenneluettelo

1.	Johdanto.....	7
1.1.	Tavoitteet.....	8
1.2.	Rajaus.....	8
1.3.	Tutkimusmenetelmät.....	9
1.4.	Aiemmat tutkimukset.....	11
2.	Elintarvikelaitoksen tuotantoprosessit ja vaikutus jätevesivirtoihin	12
2.1.	Vesi ja jätevesi	14
2.2.	Tuotantoprosessit	14
2.2.1.	Raaka-aineiden annostelu ja kuumennus.....	16
2.2.2.	Vakuumi.....	16
2.2.3.	Raaka-aineiden siirto	16
2.3.	Elintarviketuotteiden raaka-aineita ja aineominaisuuksia.....	17
2.4.	Jätevesien laadulliset ja määrälliset vaihtelut	19
2.5.	Vedenkäyttöä.....	22
2.6.	Hiljaisen tiedon siirtyminen	22
3.	Elintarvikelaitoksen jätevesien puhdistus ja puhdistustarve	24
3.1.	Elintarvikelaitos yhdyskunta jätevedenpuhdistamon asiakkaana	24
3.2.	Jätevesien esikäsittely	25
3.3.	Viranomaissäädökset.....	26
3.3.1.	Vesihuoltolaki.....	26
3.3.2.	Valtioneuvoston asetus yhdyskuntajätevesistä	27
3.3.3.	Ympäristönsuojelulaki	28
3.3.4.	Ympäristönsuojeluasetus	28
4.	Vedenkäytön kustannustehokkuuden kehittäminen	30
4.1.	Vedenkäytön ja jätevesipäästöjen vähentäminen.....	30
5.	Kehityskohteiden tunnistaminen	34

5.1.	Vedenkäytön nykytilanne.....	35
5.1.1.	Jätevesivirtaamat.....	39
5.1.2.	Jakeiden laatu.....	40
5.1.3.	Jätevesikäsittelyn nykyhetki	41
5.2.	Tuotteen valmistusprosessi	41
5.3.	Työtavat.....	42
5.4.	Ongelmat	42
6.	Tulokset ja kehitysehdotukset	43
6.1.	Vesitesti.....	44
6.2.	Prosessin muokkaus	45
6.2.1.	Versio 1	46
6.2.2.	Versio 2.....	46
6.2.3.	Versio 3	46
6.2.4.	Versio 4.....	47
6.3.	Neutralointi	47
6.4.	Työtavat.....	47
7.	Johtopäätökset	48
	Lähteet	50

Liitteet

Liite 1. Prosessista talteenotettujen jätevesien laatu

Liite 2. Jäteveden kokoomanäytteiden laatu

Liite 3. Jätevesikäsittelyn nykyhetki

Liite 4. Ohjeet talteenottotestiä varten

Liite 5. Prosessin muokkaus

Liite 6. Taloudelliset vaikutukset

Liite 7. Työtavat

1. Johdanto

Yksi maailman tärkeimmistä ja laajimmista teollisuudenaloista on elintarviketeollisuus. Modernissa elintarviketeollisuuden laitoksessa pystytään kontrolloimaan jätevesien muodostumista ja hallitsemaan vedenkäyttöä, sekä kustannustehokkaasti, että ympäristöä silmällä pitäen. Prosessissa muodostuvien jätevesien hallintaa ja vedenkäyttöä voidaan optimoida niin, että prosessi on elintarviketurvallisuuden kannalta turvallista, sekä taloudellisesti ja ympäristön kannalta kestävä. Ruuan ja juomien kysynnän kasvu on lisännyt elintarviketeollisuuden veden käyttöä ja jätevesien määrää. Osana kestävää liiketoimintaa on kestävä veden käyttö ja jätevesipäästöjen muodostumisen estäminen.

Suomen 1800 elintarviketeollisuuden yrityksissä työskentelee vakituisesti 38 000 henkilöä ja tuotannon arvo oli vuonna 2019 11,6 miljardia euroa. Viennin osuus elintarvike- ja maataloustuotteiden osalta oli 2,8 miljardia euroa. Suomen elintarviketeollisuus muodostuu liha-, kala- ja maitotuotteiden sekä vihannes-, hedelmä, ja marjajatkjalosteista sekä erilaisten juomien ja viljatuotteiden valmistamisesta. Vastuullisuus ja ympäristötietoisuus ovat ohjaavia tekijöitä toiminnassa. (Sözer et al. 2021, 7.)

Resurssitehokkaan ja jätteenöntämisen järjestelmän tärkeitä toimenpiteitä on tunnistaa kaikki sivuvirrat. Tärkeää on ottaa huomioon ravintoaineiden kierrätys, sekä energiatehokkuus ja veden käyttö. Sivuvirtojen määrän ja laadun kartoitukseen tarvitaan toimenpiteitä koko arvoaketjun osalta. Uusien innovaatioiden, sivu- ja jätevirtojen hyödyntäminen ovat avaintekijöitä kestävämpään liiketoimintaan. (Sözer et al. 2021, 17.) Taloudellinen on kannattamattonta, kun raaka-aineita/tuotteita käytetään rehuksi tai hävitetään jätteinä (Hartel 2018, 482).

Tarkasti suunnitelluissa prosesseissa ja tehokkaasti toimivassa ympäristössä on usein kehitettävää. Prosessilaitteiden pesujen ja tuotevaihtojen yhteydessä aiheutuu huomattavaa ympäristökuormaa, kun prosessilaitteistoihin ja putkistöihin jää huomattavat määrät hyödyntämättömiä raaka-ainemassoja. Raaka-ainemassojen talteenotto ja hyödyntäminen parantaa

yrittäjien kustannustehokkuutta. Prosessia tutkitaan, niin että löytyisikö mahdollisuuksia kehittää viemäriin päätyvien massojen talteenottoa. Voisiko olla mahdollista, että massat saataisiin vielä pidemmälle ajettua tuotteeksi ja voisiko talteenotettuja ravinnerikkaita jätevesiä käyttää jatkojalostamista varten, kuten esimerkiksi biopolttoaineiksi.

Viemäriin päätyvien raaka-aineista koostuvien massat aiheuttavat ajoittain suurta kuormitusta jätevedenpuhdistamolle. Elintarviketeollisuudesta vapautuvan jäteveden laatu ja määrä vaihtelee suuresti tuotteiden ja tuotantoprosessien mukaan. Nämä jätevesivirrat voivat sisältää runsaasti orgaanisia ainesosia, suspendoituneita kiintoaineita ja öljyisiä aineita. Elintarviketeollisuuden jätevesien käsittelyssä on perinteisesti käytetty biologisia käsittelymenetelmiä päästömääräysten täyttämiseksi. Jätevedenkäsittelyjärjestelmien kokoa, prosessitehokkuutta ja tilan saatavuutta koskevia kysymyksiä on kuitenkin käsiteltävä tiukempien standardien ja kestävyuden yhteydessä. Lisäksi ajatus raaka-aineiden talteenotosta yhdessä jätevedenkäsittelyn kanssa muuttaa myös perinteisiä jätevedenkäsittelyjärjestelmiä. Painopiste siirtyy yhä enemmän ravinteiden, energian ja veden talteenottoon.

1.1. Tavoitteet

Tämän diplomityön tavoitteena on selvittää menetelmät, joilla voidaan parantaa yrityksen vedenkäytön kustannustehokkuutta. Kustannustehokkuutta lähestytään kahdesta suunnasta: jäteveden laatua pyritään parantamaan raaka-aineiden talteenotolla ja vedenkäyttöä hillitsemään. Tavoitteena on löytää ympäristön ja talouden kannalta implementoimiskelpoiset ratkaisut. Diplomityön tutkimuksen tarkoituksena on tuottaa ratkaisuja elintarviketeollisuuden laitoksen vesivastuullisuuden parantamiseen, niin että niitä voitaisiin hyödyntää myös mahdollisesti muissa yksiköissä.

1.2. Rajaus

Tässä tutkimuksessa keskitytään löytämään ratkaisuja vedenkäytön kustannustehokkuuden parantamiseksi Suomessa sijaitsevaan elintarvikelaitokseen, mutta tulevaisuudessa

suunniteltavien laitosten ratkaisuja pohditaan mahdollisesti myös. Tarkastelu taloudellisesta näkökulmasta on rajattu koskemaan vain tuotemenetyksiä ja talous- ja jätevedenvedenkustannuksia. Ainevirtoja ja vedenhallintaa tarkastellaan laitoksen rajojen sisällä.

1.3. Tutkimusmenetelmät

Tutkimusta lähestytään juurisyyanalyysiä toteuttaen. Tukena juurisyyanalyysille toteutetaan haastatteluja ja elintarviketeollisuuden kenttätutkimuksia. Tutkimuksessa suoritetaan haastatteluja niin työntekijöille kuin toimihenkilöille. Tutkimukseen käytettävä lähdemateriaali koostuu pääosin ulkomaisesta kirjallisuudesta, julkaisuista ja tutkimuksista. Tutkimuksen laskennassa hyödynnetään laboratoriotuloksia, automaatiojärjestelmän tallentamia mitaustietoja ja kenttämittauksia. Tutkimus kohteen laajuuden johdosta mahdolliset laboratoriotutkimukset on tarkoitus teettää ulkopuolisissa laboratorioissa.

Tutkimuksessa käytettiin Lean Six Sigma DMAIC ongelmanratkaisumenetelmää. Lyhenne DMAIC tarkoittaa suomeksi määrittely, mittaus, analysointi parannus ja ohjaus (eng. Define, Measure, Analyze, Improve and Control). Taulukossa 1 on esitetty tämän ongelmanratkaisumenetelmän vaiheet. (Watson 2021.)

Taulukko 1: Lean Six Sigman ongelmanratkaisumenetelmän vaiheet.

DMAIC		
VAIHEET	PROSESSIN PARANNUS	PROSESSIN SUUNNITTELU
1. Määrittely	<ul style="list-style-type: none"> • Ongelman tunnistaminen • Vaatimukset • Tavoite 	<ul style="list-style-type: none"> • Ongelman laajuus • Näkemys tavoitteesta • Ongelman laajuus ja tilaajan vaatimukset
2. Mittaus	<ul style="list-style-type: none"> • Ongelman/prosessin hyväksyminen • Ongelma/tavoitteen viimeisteleminen • Avainkohtien mittaukset 	<ul style="list-style-type: none"> • Vaatimusten suorituskyvyn mittaus • Prosessin hyötysuhteen datan kerääminen
3. Analysointi	<ul style="list-style-type: none"> • Hypoteesin syy-seuraussuhteen luominen • Ydinsyiden tunnistaminen • Hypoteesin hyväksyminen 	<ul style="list-style-type: none"> • ”Parhaan käytännön” tunnistaminen • Prosessisuunnitelman arviointi <ul style="list-style-type: none"> • Arvonlisäys • Pullonkaulat • Vaihtoehtoiset tavat • Vaatimusten viimeistely
4. Parannus	<ul style="list-style-type: none"> • Idean luominen ydinsyiden poistamiseksi • Ratkaisun testaaminen • Ratkaisun standardisoiminen • Tulosten mittaus 	<ul style="list-style-type: none"> • Uuden prosessin suunnittelu
5. Ohjaus	<ul style="list-style-type: none"> • Standardimittaukset suorituskyvyn ylläpitämiseen 	<ul style="list-style-type: none"> • Suorituskyvyn mittausten luominen

1.4. Aiemmat tutkimukset

Elintarviketeollisuudelle on tehty aikaisemmin tutkimuksia samasta aihepiiristä. Vuonna 2019 Jennina Ojasen diplomityö otsikolla ”Elintarviketeollisuusjätevesien laadun parantaminen ja puhdistusmahdollisuudet” käsitteli aihealuetta jätevesien puhdistuksen näkökulmasta. Ojasen diplomityössä jätevesien hallintaan pyrittiin löytämään ratkaisua osittain membraanitekniikalla orgaanisen jätevesi kuormituksen hallitsemiseksi.

Tuomas Suomisen opinnäytetyö otsikolla ”Jätevesien käsittely elintarvikelaitoksessa” keskittyi erilaisten kiintoaineen ja rasvan poistoon soveltuviin käsittely menetelmiin. Suomisen opinnäytetyössä etsittiin ratkaisua ongelmaan suodattimien, hiekanerotuskaivojen ja flokaatiolaitteiden avulla jätevesiongelman ratkaisemiseksi.

Useassa ulkomaisessa tutkimuksessa on aihepiiriä lähestytty samasta näkökulmasta. Aihetta on lähestytty olemassa olevan ongelman näkökulmasta. Tutkimuksissa on analysoitu jätevesien laatua laboratorioissa ja pyritty löytämään ratkaisua niiden parantamiseksi erilaisin teknisin menetelmin. Membraanitekniikan ja erilaisten suotimien ja välisäiliöiden hyödyntäminen jäteveden käsittelyssä on tullut tutkimuksissa esille.

2. Elintarvikelaitoksen tuotantoprosessit ja vaikutus jätevesivirtoihin

Elintarvikkeiden prosessointi on joukko menetelmiä ja tekniikoita, jotka muuttavat raaka-aineet elintarvikkeiksi. Elintarvikkeet soveltuvat ihmisten tai eläinten käytettäväksi joko kuluttaja- ja teollisuustasolla. Elintarviketeollisuudessa käytetään tyypillisesti tuoreita kasvipohjaisia tai eläinperäisiä raaka-aineita. Nykyaikainen elintarvikkeiden jalostustekniikka on kehittynyt suurelta osin 1800- ja 1900-luvuilla. (Sharma 2018.)

Elintarvikejalostuksen kaksi perustavoitetta on raaka-aineiden muuntaminen tuotteeksi ja jalostettavaan muotoon ja säilymisen takaaminen. Prosessi määritellään joukoksi toimintoja tarkoin suunnitellussa järjestyksessä toivotun lopputuloksen saamiseksi. Valmistusprosessi alkaa raaka-aineista ja päättyy tuotteiksi ja jätevirroiksi, joista osaa voidaan hyödyntää sivutuotteina. Taulukossa 2 on esitelty esimerkkejä elintarvikelaitosten yksiköiden prosesseista ja niiden sovelluksia. (Berk 2018, xxiii–xxiv.)

Taulukko 2. Elintarvikelaitosten yksikkötoiminnot pääryhmittäin. (Berk 2018, xxiv–xxv.)

Prosessi	Toiminto	Sovellus
Puhdistus	Pesu CIP-puhdistusprosessi	Hedelmät, kasvit Kaikki elintarvikelaitokset
Erottelu	Suodatus Seulonta Linkoaminen Puristus	Sokerien jalostus Viljat Maidon erottaminen Öljykasvit ja hedelmät
Diffuusion perustuva molekyylien erotus	Adsorptio Tislaus Uuttaminen	Ruokaöljyjen valkaisu Alkoholin tuotanto Kasviperaiset öljyt
Mekaanisesti muuttaminen	Koon pienentäminen Sekoittaminen Homogenisointi Muotoilu Pinnoittaminen, kapselointi	Suklaan jalostus Juomat, taikinat Maito, kerma Keksit, pasta Makeiset
Kemiallisesti muuttaminen	Keittäminen/kypsentäminen Leivonta Paistaminen Käyminen Kypsyttäminen, kovettaminen Ekstruusio	Liha, makeiset Keksit, leipä Ranskalaiset perunat Viinit, oluet, jogurtti Juusto, viini Aamiaismurot, pasta
Säilöntä (näitä toimenpiteitä voidaan hyödyntää myös kypsentämiseen, tilavuuden ja massan/painon vähentämiseen, maun parantamiseen)	Lämpökäsittely (valkaisu, pastörointi, sterilointi) Liukenevien aineiden lisäys Kuivatus	Pastöroitu maito, säilykevihannekset Kalan suolaus, hillot, säilykkeet, makeiset Kuivatut hedelmät, kuivatut vihannekset, maitojauhe, pikakahvi, perunamuusi

2.1. Vesi ja jätevesi

Elintarvikkeiden valmistuksessa käytettävästä vedestä käytetään nimitystä "prosessivesi". Prosessivesi tarkoittaa kotitalousvettä, joka on päätyntä elintarviketuotantoprosessiin ja jää elintarvikkeisiin tai poistetaan ennen sen valmistumista. Elintarviketeollisuuden prosesseissa käytetään myös kiertovettä, joka vaihtuu jatkuvasti tai sykleittäin ja sitä käytetään esimerkiksi panimoiden ja meijerien jäävesijärjestelmissä. (Vehviläinen 2021.)

Jätevettä syntyy elintarviketuotantoprosessin eri vaiheissa, mukaan lukien raaka-aineiden käsittelyssä, prosessien alussa ja lopussa sekä pesuissa. Elintarviketeollisuudessa jäteveden parametrit vaihtelevat suuresti esim. jätevesissä voi olla paljon COD-kuormitusta. Elintarviketeollisuuden jätevedet voivat sisältää korkeita kiintoaine- ja BOD-pitoisuuksia, isoja pH-vaihteluita sekä suuria fosfori- ja typpipitoisuuksia. (Vehviläinen 2021.) Elintarvikelaitosten jätevedet rinnastetaan usein asutuksien jätevesiin (MMM 2014, 11).

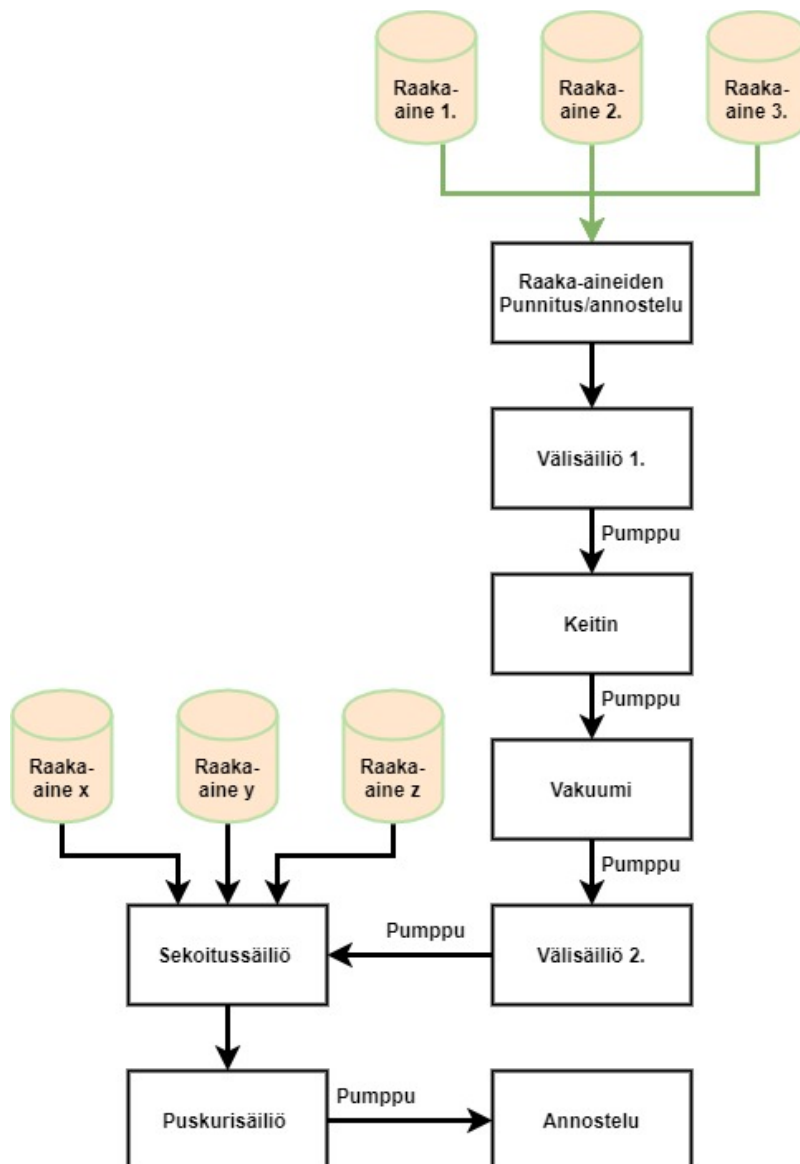
Suurin taloudellinen menetys on, kun uudelleentyöstöä käytetään rehuksi, rasvan talteenottoon tai jätteiden hävittämiseen. Asianmukaisia säännöksiä tulisi tarkistaa, jotta nähdään, mitkä vaihtoehdot ovat toteuttamiskelpoisia. (Harter et al. 2018, 482.)

2.2. Tuotantoprosessit

Tässä kappaleessa esitellään hydrokolloidisten elintarvikkeiden valmistamista. Hydrokolloidisille elintarvikkeille on ominaista saada tuotteelle hyytelömäinen ja elastinen rakenne. Hyytelöitymis- ja sakeuttamisaineiden liuetessa veteen muodostuu viskoosinen geeli. Hydrokolloidisia raaka-aineita ovat esimerkiksi pektiini, gelatiini ja tärkkelys. (Xiong et al. 2021, 1–2.) Kuvassa 2 on kuvattu erään elintarviketuotantolinjan prosessikaavio. Seuraavissa alaluissa esitetään tuotantolinjan eri prosessit:

Elastisien ja hyytelömäisten elintarvikkeiden prosessi alkaa makeutusaineiden sekoittamisella veteen. Seuraavassa on vuorossa keittovaihe sopivaan lämpötilaan halutun

kosteuspitoisuuden saamiseksi. Tämän prosessiosan tavoitteena on varmistaa, että kiteiset raaka-aineet ovat täysin liuenneet, liuottaa tarvittaessa hydrokolloidi, haihduttaa vesi, poistaa ylimääräinen ilma raaka-ainemassasta ja varmistaa sopiva viskositeetti tuotteen valmistamista varten. Elastisten ja hyytelömäisten elintarvikkeiden raaka-aineseoksen keittämiseen voidaan käyttää useita menetelmiä, mm. panoskeitto, tyhjiökypsennys ja läpivirtauskeitto. (Hartel et al. 2018, 336.)



Kuva 1. Esimerkki elintarvikelaitoksen tuotantolinjan prosessikaavio.

2.2.1. Raaka-aineiden annostelu ja kuumennus

Prosessin ensimmäisessä vaiheessa tapahtuu raaka-aineiden punnitsimisella ja sekoittamisella veteen. Tämän jälkeen raaka-aineista koostuva massa keitetään sopivaan lämpötilaan halutun kosteuspitoisuuden saamiseksi. Tämän prosessiosan tavoitteena on varmistaa, että kaikki raaka-aineet ovat täysin liuenneet, haihduttaa ylimääräinen kosteus, poistaa ilma ja varmistaa sopiva viskositeetti tuotteen annostelua varten. Raaka-aineiden sekoittumisen jälkeen massa siirtyy prosessissa eteenpäin jatkuvatoimiseen keittimeen. Keittimen tarkoituksena on saada hyytelöitymis- ja sakeuttamisaineet yhdessä muiden raaka-aineiden kanssa gelatinisoitumaan eli liisteröitymään. (Rubin 2021, 20–21.)

2.2.2. Vakuumi

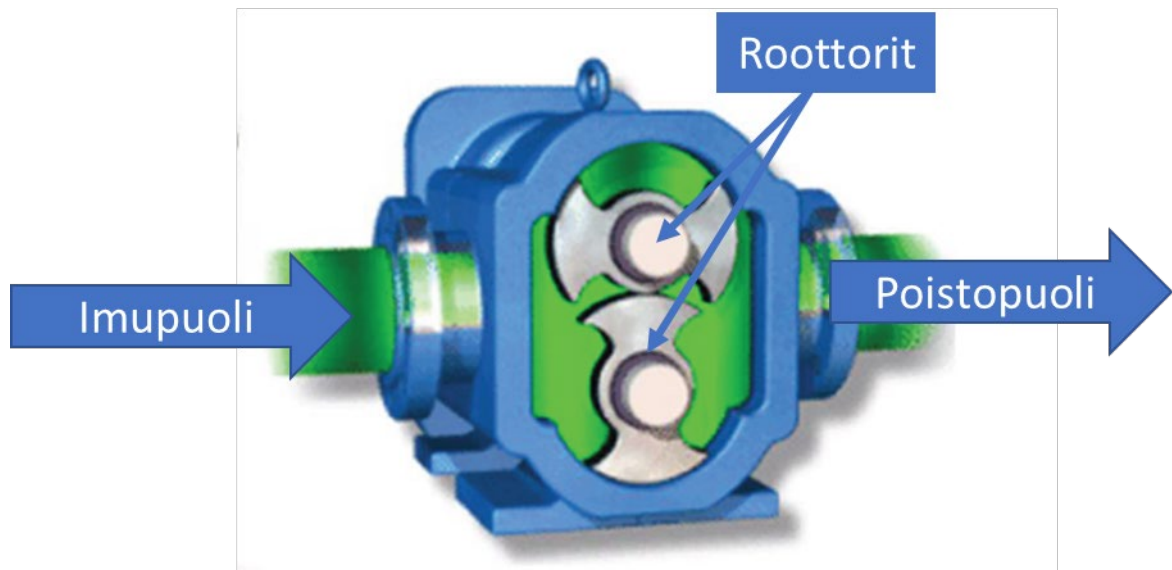
Vakuumia käytetään massan konsentraation kasvattamiseen eli kosteuden poistamiseen. Tämä on tärkeää lämpöherkille elintarvikkeille, jotka voivat vahingoittua liian korkeasta lämpötilasta. Vakuumin tuottama tyhjiö mahdollistaa kosteuden poistamisen alhaisemmalla lämpötilalla kuin kuumentaminen. (Vaclavik & Christian 2014, 334.)

2.2.3. Raaka-aineiden siirto

Suuri osa elinteollisuudesta prosesseista koostuu nestemäisten massojen siirtämisestä. Esimerkiksi maito- ja mehumaiset tuotteet ovat nestemäisiä elintarvikkeita, jotka on pumpattava prosessilaitteiden läpi tai säiliöstä toiseen. Tärkeää on myös, että vesi, höyry ja muut prosessipalvelut jaetaan koko laitokselle tarkoin suunniteltujen putkistojen kautta. Tärkeitä prosessinosia ovat myös suodatus, puristus ja sekoitus. (Berk 2018, 31.)

Elintarviketeollisuudessa massojen siirto tapahtuu usein lohkoroottoripumpuilla, joka soveltuu hyvin myös korkea viskoosisille nesteille (Food Engineering 2015). Pumpun toimintaperiaate perustuu pyörivien roottoreiden aikaan saamaan vakuumiin vetäen nestettä pumpun imupuolelta sisään. Pyörivien roottorien vaikutuksella neste siirtyy pumpun pesän reunoja

myöten poistopuolelle. Lohkoroottoripumput sopivat olosuhteisiin, joissa edellytetään riittävää painetta pienellä virtausnopeudella. (Larjola et al. 2017, 64.) Lohkoroottoripumpun etuja on hygieenisuus, hellävaraiseen tuotteen siirto ja helppo huollettavuus. (Process&Control 2018).



Kuva 2. Lohkoroottoripumpun toimintaperiaate. (Larjola et al. 2017, 59 muokattu)

2.3. Elintarviketuotteiden raaka-aineita ja aineominaisuuksia

Sokeri on tärkein makeutusaine elintarvikkeissa ja juomissa ympäri maailman. Makean maun lisäksi sokerilla on monia muitakin funktioita elintarviketeknologiassa, mikä vaikeuttaa sen korvaamista, jos lisäaineiden käyttöä halutaan välttää. Tärkein ominaisuus sokerille on toimia säilöntäaineena, muuttaa rakennetta, käymisen perustana, aromi- ja väriaineena sekä täyteaineena. Sokerin tehtävä on myös osana hyytelöitymisreaktiota. (eufic 2013.)

Elintarvikkeiden rakenteellista laatua voidaan kuvata/mitata erilaisilla tavoilla. Tapoja voi olla tietynlainen rakenne, kuten kovuus, rapeus tai koostumus. Rakenne liittyy elintarvikkeen reologisiin ominaisuuksiin, jotka määrittävät, kuinka se reagoi sitä käsiteltäessä tai nautittaessa. Elintarvikkeilla on rakenteen puolesta kolme erilaista reologista pääryhmää kuten

elastiset, viskoosiset ja muovautuvat tai niiden yhdistelmä. (Vaclavik & Christian 2014, 11–12.)

Elastisuutta voidaan kuvata esim. leivän taikinan venymisellä, mutta siihen vaikuttaa myös viskoosiset ja muovautuvat komponentit. Viskoosisuus on nesteen ominaisuus, johon vaikuttaa nesteen virtausvastus, kun siihen kohdistuu leikkausvoima. Nesteet voidaan jakaa newtonilaisiin ja ei newtonilaisiin. Esimerkki newtonilaisesta elintarvikkeesta on sokerisiirappi. Newtonilainen neste säilyttää viskositeettinsa riippumatta, kuinka nopeasti sitä sekoitetaan tai pumpataan. Muovautuvuutta voidaan kuvata esimerkiksi lämpimällä pehmeällä suklaalla, joka jäähtyessä taas jähmettyy. (Vaclavik & Christian 2014, 11–12.)

Jotkin elintarvikkeiden valmistaminen perustuu hyytelöitämiseen. Hyytelöitymisaineet toimivat sidosaineina korkean kosteuden omaaville sokerisiirappiperusteisille elintarvikkeille. Tällaisia hyytelöityjiä käytetään elintarvikkeissa stabilointi-, sakeuttamis- ja hyytelöimisaineena, sekä parantamaan koostumusta, rakennetta ja suutuntumaominaisuuksia. Elintarviketuotteissa käytetään sidosaineena useasti viljojen tärkkelyksiä, ja yleisesti käytettyjä sidosaineita ovat myös proteiinista koostuva gelatiini, sekä kasvipohjainen pektiini. Fysikaalis-kemialliset ominaisuudet muodostuvat, kun tärkkelys reagoi veden ja tuotteen raaka-ainesten kanssa. Näistä koostuva massa muuttuu geelimäiseen muotoon. Tällaisilla geelimäisestä raaka-aineista valmistetun elintarviketuotteiden vesipitoisuus voi olla jopa 16–20 %. Ominaisista hyytelömäisille elintarvikkeille on korkea sokeripitoisuus. (Harter et al. 2018, 329. Salovaara 2009, 8.) Tällaisille elintarvikkeille on myös ominaista korkea viskositeetti valmistusvaiheessa. Korkeaa viskositeettia tarvitaan raaka-ainemassan muovautumista varten, jotta lopputuotteen muodosta saadaan halutunlainen. (Harter et al. 2018, 357).

Viskoosisia nesteitä käytetään laajalti elintarvikkeiden jalostuksessa. Osa elintarvikkeista prosessoidaan valmistusvaiheessa ei-newtonilaisena nesteenä, mutta valmistuote on kiinteä. Valmistusvaiheessa tuotteelle on ominaista korkea viskositeetti. Tuotantolinjoilla, joissa tällaisia nesteitä prosessoidaan, vaatii paljon vettä pesujen yhteydessä. (Ali 2015, 38).

2.4. Jätevesien laadulliset ja määrälliset vaihtelut

Elintarviketeollisuus koostuu eri toimialoista, kuten esimerkiksi meijeri-, lihanjalostus-, maakeis-, tislaamo-, sokeri-, panimo- ja ruokaöljytoimijoista. Elintarviketeollisuus kuluttaa enemmän vettä tuotettu tonnia kohden verrattuna muihin teollisuudenaloihin. Näiden teollisuudenalojen jätevedet tulevat erilaisista toiminnoista, kuten tuotannosta, pesuista, desinfioinnista, jäähdytyksestä, kuljetuksista jne. (Rönkkö 2016, 11–12.) Elintarviketeollisuuden jätevesi on tyypillisesti myrkytöntä ympäristölle ja vesieliöille, mutta on koostumukseltaan hyvinkin orgaanista, ja COD- ja BOD-arvot ovat 10–100 kertaa kotitalousjäteveteen verrattuna. Elintarviketeollisuuden jätevesien määrä, pitoisuus ja koostumus riippuvat ensisijaisesti valmistettavasta tuotteesta. (Singh et al. 2021, 181.)

Elintarviketeollisuuden jätevesien ominaisuudet vaihtelevat merkittävästi ja määrittävät käsitteilyn vaatimuksen. (Nayyar et al. 2021, 181.) Osalle elintarvikelaitoksista on tyypillistä myös vaihtelevat pH arvot hyvinkin happamista emäksisiin (Ministry of the Environment Government of Japan 2003). PH-arvon vaihtelu voi olla 3,5 ja 11 välillä, mikä johtuu happamien raaka-aineiden ja emäksisten puhdistusaineiden käytöstä. (Noukeu et al. 2016, 1&5.) Elintarviketeollisuuden jätevedet voivat sisältää myös paljon kiintoainetta, fosforia, typpiä ja rasvoja (Finnish Water Utilities Association 2018, 71).

Mikrobien hajottaessa jäteveden orgaanista ainesta laboratorio-oloissa kuvataan biologinen hapenkulutus indikaattorilla eli BOD:na (biological oxygen demand). BOD₇ indikaattorissa on kyse 7-päiväisen hapenkulutuksen suuruudesta. BOD-arvo on riippuvainen lähinnä veden orgaanisen aineen määrästä, mutta kuitenkin myös ravinteiden (typpi, fosfori) määrästä. Viemäriverkoston korkea BOD-pitoisuus voi aiheuttaa räjähdysmäistä metaanin muodostumista, hajupäästöjä ja epäsuorasti korroosiota sekä anaerobisen tilan muodostumista. (Lindberg et al. 2018, 42.)

Orgaanisen kuormituksen määrää teollisuuden jätevesissä tulee rajoittaa, mutta myös laitoksen kapasiteettiarvoihin ja laitoksen muiden kuormajien toimintaan tulee kiinnittää

huomiota. Rajoitukset toteutetaan merkitsemällä sopimukseen BOD-kuormituksen raja-arvot. Toisaalta typenpoistoprosessissa helposti hajoavia orgaanisia aineita tarvitaan, jotta typenpoistoprosessissa voidaan hyödyntää erityisesti elintarviketeollisuuden hiilipitoista jätevettä. Teollisuuden jäteveden hyödyntäminen typenpoistoprosessissa saattaa kuitenkin edellyttää erityisiä teknisiä järjestelyjä puhdistamolta. (Lindberg et al. 2018, 42.)

COD eli kemiallinen hapenkulutus mittaa orgaanisen aineen aiheuttamaa hapenkulutusta kemiallisissa reaktioissa. Teollisuuden jätevesissä voi esiintyä haitallisia aineita, jotka heikentävät mikrobitoimintaa. Tällöin BOD-arvoon verrattuna COD-arvo antaa tarkemman kuvan orgaanisten aineiden määrästä. (Kiepper 2016, 5–6.)

Hajottamalla jätevesien orgaanista ainetta jätevesinäytteissä vahvalla hapettimella dikromaattilla hapen sijasta voidaan mitata näytteen kemiallista hapenkulutusta. BOD on paras mittari jäteveden todellisesta hapenkulutuksesta. Jäteveden biohajoavuus voidaan määrittää BOD:n ja COD:n suhteella. BOD/COD-suhteen ollessa yli 0,5, osoittaa se nopeasti biohajoavasta jätevedestä, kun taas pienempi suhde osoittaa huonosti biohajoavaa jätevedestä. (Rönkkö, 2016, 6–7.) Taulukossa 3 on esitetty eri elintarviketeollisuuden toimijoiden jätevesistä mitattavia parametrejä.

Taulukko 3. Elintarviketeollisuuden jätevesien ominaisuuksia.

Teollisuuden- ala	Jätevesien ominaisuudet					
	pH	COD (mg/ L)	BOD (mg/L)	Typpi (mg/L)	Kiintoaine (mg/L)	Lähde
Meijeri	4,1– 8,3	1000– 40000	-	3,3–55	5–3900	Konttori I. 2016, 9&27, Aderibigbe et al. 2017
Virvoitus- juomat	-	1200– 8000	600– 4500	150– 300	0–50	Hung 2006, 261
Alkoholi	3,2– 4,6	1560– 6050	200– 3500	-	24–53	Rönkkö 2016, 38, 66.1–66.2
Sokerit	6,61	1529– 8170	910– 2600	-	-	Singh et al. 2021, 191
Makeiset	4,7– 7,4	3150– 6250	1340– 8000	66,00	1040– 8100	Singh et al. 2021, 191
Olutpanimo	5,2– 6,2	55–191	248–408	0,20	1100– 1870	Nokeu et al. 2016, 5

Elintarviketeollisuuden jätevesivirtaamat vaihtelee paljon aloittain. Päivittäinen jätevesi virtaama voi vaihdella 100 m³–500 m³ välillä. Jätevesien määrään vaikuttaa laitoksittain tuotantolinjojen pesujen ja tuotevaihtojen tarve. Pesujen tarvetta voidaan myös kuvata tuotevaihtojen erämäisyydellä. Tuotantolinjoilla voi olla tarvetta pesuille useita kertoja vuorokaudessa tuotevaihtojen takia. Erilaiset raaka-aineet vaikuttavat pesuihin käytettävän veden

määrään ja täten ollen myös jäteveden muodostumiseen. Jätevesien ominaisuuksiin vaikuttaa myös oleellisesti prosessista huuhtoutunut raaka-aineiden määrä (Vehviläinen 2021.)

2.5. Vedenkäyttöä

Ruokateollisuus kuluttaa 70 % vuosittain käyttöön tuotetusta makeasta vedestä (Casey 2021). Edellisissä kappaleissa mainitut esimerkit elintarviketeollisuuden aloista kuluttavat 30 % vedestä suhteutettuna kaikkeen valmistavaan teollisuuteen (Nayyar et al. 2021, 181). Suomessa elintarviketeollisuuden laitokset käyttävät 16 miljoonan m³:n verran vettä vuosittain. (Lindberg et al. 2018, 8).

Vesi on koettu vuosikymmeniä vapaana hyödykkeenä prosessiteollisuudessa, mutta asenteet ovat alkaneet muuttua maailmalla lisääntyneen kuivuuden ja vesien saastumiskriisien vuoksi. Hyvälaatuisen veden saannin mahdollisuus nostaa kysymyksiä yhteiskunnallisesti ja poliittisesti. Viimeaikaisissa raporteissa katsotaan, että veden saatavuus, tulvat tai kuivuus ovat suurin uhka tulevaisuudessa elintarviketeollisuuden yrityksille lähes kaikkialla maailmassa. (Schug 2016.)

2.6. Hiljaisen tiedon siirtyminen

Teollisuudessa opin siirtyminen uudelle työntekijälle noudattaa usein kokeneemman työntekijän tiedon ja taidon jakamista. Tällaisesta oppimistavasta käytetään nimitystä mestarikisälli-periaate. Tällainen tiedonsiirto on todettu yleensä hyväksi. Uusi työntekijä oppii tekemällä ja tällainen tietotaidon jakaminen tukee hiljaisen tiedon ja taidon siirtymisperiaattia. (Stefasson et al. 10–12&17, 2013.)

Osaamista on monessa eri tasossa yksilöstä organisaatio tasoon. Osaaminen ei välttämättä ole yleisessä tiedossa vaan se on sanatonta, tiedostamatonta ja voi olla opittu pitkällä aikavälillä. Osaamisen jakamiseen liittyy myös monia haasteita esim. eettisiä. Mitä tietoa jaan? Kenelle? Hyödynkö siitä itse? Onko se uhka vai mahdollisuus? Tuotannon näkökulmasta on

tärkeää antaa prosessille tarpeeksi aikaa niin että työn kiireellisyys ei häiritse tiedon jakamista. Dokumentoinnin tärkeyttä tässä prosessissa ei tulisi vähätellä. (Helin 48&49, 2007.)

Oikean ja ”oikean väärän” eli vanhan tiedon jakaminen on mahdollista mestari-kisälli oppimisessa. Väärän tiedon jatkamiskiirteen katkaiseminen voi olla hankalaa. Helposti jää voimaan ajattelutapa: ”että onhan näin tehty ennenkin”, vaikka vanha oikea tapa olisi nykyisin väärin. Oikealla tavalla toimiminen vaatii työyhteisössä paljon itsenäistä ajattelua ja usein myös rohkeutta. (Salmela, 2016.)

Tiedon siirtymistä ja työntekijän käyttäytymistä lähestytään myös Toyotan kehittämässä lean-konseptissa. Muda (hukka), Mura (työn vaihtelevuus) ja Muri (työn ylikuormitus) ovat lean-filosofian hukkakäsitteitä. Hukkakäsitteissä on kiinnitetty huomiota myös työntekijän inhimillisiin virheisiin ja toimintatapoihin. Tyypillisiä tapoja näille edellä mainituille ongelmille ovat listattu seuraavasti:

- Unohdukset
- Väärinkäsitykset
- Oikean työtavan tunnistamisessa
- Riittämätön koulutus
- Tahallisuus
- Epähuomio
- Päätöksenteon viivästymisestä johtuvat virheet
- Standardien puutteesta johtuvat virheet
- Yllätysten luomat virheet. (Watson 2021.)

3. Elintarvikelaitoksen jätevesien puhdistus ja puhdistustarve

Yleistä on, että elintarvikealan yritykset ja laitokset ostavat vesihuoltopalvelunsa paikallisilta vesihuoltolaitoksilta. Vielä on harvassa elintarvikelaitokset, jotka käsittelevät kokonaisuudessaan tuottamansa jätevedet. Elintarvikelaitoksille on lähes välttämätöntä hyödyntää vesihuoltolaitosten palveluja niin talousveden saamisessa kuin jäteveden käsittelyssä. (MMM 2014, 7.)

Elintarviketeollisuuden jätevesi koostuu mm. hiilihydraateista, proteiineista, rasvoista, hapoista, emäksistä, pesuaineista, suoloista ja säilöntäaineista. Korkea BOD-arvo, kiintoaine-, fosfori- ja typpipitoisuudet sekä pH-arvon vaihtelut ovat tyypillisiä elintarviketeollisuuden jätevesille. Vaikka elintarvikelaitosten jätevedet eivät ole suorastaan vaarallisia ympäristölle on niiden puhdistustarve tärkeää. (Qasim & Mane 2013, 1–2).

Teollisuuden ja näin ollen myös elintarviketeollisuuden jätevesien käsittelyssä on otettava huomioon Suomen laissa määrättyjä velvollisuuksia. Suomen laissa on asetettu ympäristöön ja vesihuoltoon liittyviä määräyksiä ja säädöksiä.

3.1. Elintarvikelaitos yhdyskunta jätevedenpuhdistamon asiakkaana

Elintarvikelaitos ja yhdyskuntajäteveden puhdistamo hoitava vesihuoltolaitos sopivat tois-
taiseksi voimassa olevan vesihuoltosopimuksen. Sopimuksen tarkoituksena luoda molempien kannalta hyväksyttävä yhteistyösuhde. Sopimuksessa odotetaan molemmilta lojaliteettia ja otetaan huomioon edut ja oikeudet. Toimintaan tullessa väistämättömiä muutoksia tulee sopimusta muuttaa ja sitoutua tasavertaisiin neuvotteluihin. (MMM 2014, 21.) Toiminnanharjoittaja voidaan velvoittaa tasapainottamaan suuria päästöjä taseausaltailta tai voidaan sopia kustannusten jaosta yrityksen kanssa, mikäli vesilaitos on halukas tasoittamaan poistohuippuja (PSY 2006 ,7).

Kappaleessa 2.4 käytiin läpi elintarvikelaitosten jätevesien laadullisia ja määrällisiä vaihteluita. Suuretkin BOD-kuormat ovat hajotettavissa biologisin menetelmin, mutta jätevedenpuhdistamoiden pitää olla suunniteltu tämän mukaisesti. Suuret BOD-arvojen vaihtelut taas voivat aiheuttaa rihmamaisten bakteerien liikakasvua ja siten aiheuttaa ongelmia esim. lietteen laskeutuvuudessa. (Lindberg et al. 2018, 42,71.) Orgaaniset aineet aiheuttavat myös korkeaa COD-kuormaa jätevedessä (Ghimpu et al. 2016, 813). Jäteveden lämpötilan nousu vaikuttaa COD-arvon nousuun, ja vaikuttaa lietteen laskeutumiskykyyn, kun taas matala lämpötila hidastaa reaktioita (Trinata et al. 2017).

Biologiseen prosessiin perustuvan jäteveden puhdistamon toimintaan vaikuttaa oleellisesti myös jäteveden happamuus eli pH. Aktiivilieteprosessille ihanteellisin pH-alue on 6,5–8,5 ja se ei kestä äkillisiä pH:n muutoksia. (Zhou et al. 2018, 1308.)

Typpi ja fosfori ovat ravinteita, jotka eivät aiheuta ongelmia jäteveden puhdistuksessa, vaan lähinnä sen jälkeen. Aktiivilietteen muodostuksessa tarvitaan ravinteita, mutta tarvittava määrä saadaan usein yhdyskunnan muodostaman jäteveden mukana ja ylimääräinen ravinnea on pystyttävä poistamaan. Fosfori ja typpi aiheuttavat rehevöitymistä, joten ylimääräiset ravintoaineet on saatava pois jäteveden puhdistamon prosessissa. (Lindberg et al. 2018, 43.)

3.2. Jätevesien esikäsittely

Elintarvikelaitoksen ja vesihuoltolaitoksen sopimuksessa on määritelty tietyt rajat, joiden puitteissa jätevesi voidaan ottaa vastaan. Taulukossa 4 on esimerkkejä esikäsittelyvaihtoehdoista eri elintarviketeollisuuden aloilta.

Taulukko 4. Elintarviketeollisuuden jätevesien käsittelymenetelmiä

Esikäsitelyvaihtoehto	Elintarviketeollisuuden ala
Neutralointi (pH)	Panimot, virvoitusjuomateollisuus, valmisruokateollisuus, meijerit
Rasvan erotus	Meijerit, teurastamot, lihanjalostus, leipomot, valmisruoka
Kiintoaineen erotus (BOD, COD) - Selkeytys ja suodatus	Panimot, virvoitusjuomateollisuus, leipomot, valmisruokateollisuus, meijerit, teurastamot, lihanjalostus,
Kemiallinen saostus (pH) –Rauta- ja alumiinipohjaiset yhdisteet	Teurastamot
Orgaanisen kuorman vähennys (BOD, COD) - Biologiset menetelmät (aktiivilietemenetelmä) - Jäteveden esi-ilmastus	Panimot, virvoitusjuomateollisuus, leipomot, valmisruokateollisuus, meijerit, teurastamot, lihanjalostus

3.3. Viranomaissäädökset

Vesihuoltoa ja ympäristöä kohtaan määrätään Suomen lainsäädännössä erilaisia pykäliä, säädöksiä ja määräyksiä. Nämä lainsäädännön eri kohdat koskevat olennaisesti elintarviketeollisuuden aiheuttamia jätevesiä.

3.3.1. Vesihuoltolaki

Tällä lailla pyritään varmistamaan, että kohtuullisin kustannuksin on saatavilla terveydellisesti riittävän laadukasta kotitalousvettä. Laki koskee myös viemäröintiä ympäristön ja ihmisten terveyden suojelemiseksi. (L 9.2.2001/119.)

Vesihuoltolaki 119/2001 on ollut voimassa vuodesta 2001 ja sitä on muutettu vesihuoltolakiin 681/2014 tehdyillä muutoksilla. Vesihuoltolaki koskee sellaisia teollisuuslaitoksia, joiden vesihuolto ja viemäröinti ovat rinnakkain asuinvesihuollon kanssa. Vesihuoltolaki ei

koske teollisuuslaitoksia, joiden jätevedet määrältään ja laadultaan poikkeavat tavallisesta kotitalouksien jätevedestä. Vesihuoltolain 199/2001 10 §:n mukaan vesilaitos voi kieltäytyä liittämästä kiinteistöä vesilaitoksen vesi- tai viemäriverkkoon, jos viemäriin johdettavan jäteveden laatu ja määrä haittaisivat vesilaitoksen toimintaa tai vaikuttaisi sen kykyyn hoitaa tyydyttävästi muiden kiinteistöjen vesipalveluja. (L 9.2.2001/119.)

Vesilaitoksen maksujen yleiset perusteet on määritelty vesipalvelulain 119/2001 18 §:ssä. Maksujen on katettava vesilaitoksen investoinnit ja kustannukset, niiden on oltava kohtuullisia ja oikeudenmukaisia ja niissä on otettava huomioon vesilaitoksen investoinnit ja kustannukset. jäteveden poikkeuksellinen määrä tai laatu. Maksut estävät haitallisten aineiden kulkeutumisen viemäriin ja vähentävät jäteveden määrää. (L 9.2.2001/119.)

3.3.2. Valtioneuvoston asetus yhdyskuntajätevesistä

Yhdyskuntajätevesiasetuksen (A 12.10.2006/888) mukaan vesihuoltoon liittyvät termit määritellään seuraavasti:

1. ”talousjätevedellä asuntojen ja laitosten jätevesiä, jotka ovat peräisin pääasiassa ihmisten aineenvaihdunnasta ja kotitalouksien toimista;
2. teollisuusjätevedellä teollisuustuotantoon ja muuhun elinkeinon harjoittamiseen käytetyn kiinteistön jätevettä, joka ei ole talousjätevettä tai hulevettä;
3. yhdyskuntajätevedellä talousjätevettä taikka talous- ja teollisuusjäteveden tai huleveden seosta;
4. asukasvastineluvulla (avl) yksi sellaista vuorokausikuormitusta, jonka seitsemän vuorokauden biokemiallinen hapenkulutus (BHK₇) on 70 g happea (O₂); asukasvastineluku lasketaan puhdistamolle vuoden aikana tulevan suurimman viikkokuormituksen vuorokautisesta keskiarvosta poikkeuksellisia tilanteita lukuun ottamatta.”

Teollisuuden jätevesien aiheuttama kuormitus voidaan usein arvioida vertaamalla sitä ihmisen aiheuttamaan kuormitukseen. Laskelma ratkaisee, kuinka monta henkilöä vastaa

teollisuustuotannon aiheuttamaa vesistökuormitusta. Saatua lukua kutsutaan populaatio-ekvivalentiksi (PE). Yhdyskuntajätevesien käsittelystä annetussa valtioneuvoston asetuksessa 888/2006 määritellään PE:n laskentatapa.

3.3.3. Ympäristönsuojelulaki

Ympäristönsuojelulain (L 27.6.2014/527) tarkoituksena on ehkäistä ympäristön pilaantumista ja vähentää päästöjä. Lain 6. §:ssä esitetään, että toiminnanharjoittajalla on selvilläolovelvollisuus toimintansa ympäristövaikutuksista, -riskeistä sekä mahdollisuuksista vähentää haitallisia vaikutuksia. Tämän lisäksi laissa määrätään 7 §:ssä ympäristön pilaantumisen ehkäisemis- ja rajoittamisvelvollisuudesta. 8 §:ssä säädetään parhaan käyttökelpoisen tekniikan käyttämisestä luvanvaraisessa tai rekisteröitävässä toiminnassa. Lisäksi pykälässä kahdeksan säädetään päästöjen ja niiden vaikutusten tarkkailusta.

3.3.4. Ympäristönsuojeluasetus

Ympäristönsuojeluasetus (A 4.9.2011/713) säätelee muun muassa lupaviranomaisten toimivaltaa, lupamenettelyjä ja lupapäätöksiä, ilmoitusmenettelyjä, valvontaa ja seuranta. Sekä ympäristönsuojelulaki, että ympäristönsuojeluasetus asettavat vaatimuksia viemäriin johdettavalle jätevedelle. Ympäristölupapäätöksessä huomioidaan myös viemäriverkkoon johdetut jätevedet.

Ympäristönsuojeluasetuksen 41 § sisältää yleiset vaatimukset, jotka on täytettävä, jotta jätevesi voidaan ohjata viemäriin, ja oikeus kieltäytyä vastaanottamasta sellaista jätevettä, joka ei täytä vaatimuksia.

Viemäriin johdettavia päästöjä koskevan 41 §:n yleiset vaatimukset vesilaitoksen viemäriin johdettava teollisuusjätevesi ja muut saastuttavia aineita sisältävät jätevedet on esikäsiteltävä asianmukaisesti. Asetuksen 41 §:ssä asetetaan seuraavaa:

- 1) ”vesihuoltolaitoksen päästöistä ympäristöön kohdistuvien haittojen estämiseksi ja muiden purkuvesistöä koskevien säännösten vaatimusten täyttämiseksi;
- 2) lietteen turvallisen, ympäristön kannalta hyväksyttävän hyödyntämisen ja loppukäsittelyn varmistamiseksi;
- 3) viemäriverkon ja puhdistamojen työntekijöiden terveyden suojelemiseksi;
- 4) jäteveden ja lietteen käsittelyprosessien toiminnan vaikeutumisen estämiseksi;
- 5) viemäriverkon, puhdistamoiden ja niihin liittyvien laitteiden vaurioitumisen estämiseksi.”

4. Vedenkäytön kustannustehokkuuden kehittäminen

Monissa elintarvikelaitoksissa ei kovinkaan tarkasti seurata vedenkäyttöä. Vedenkäytönseuranta saattaa rajoittua vain koko laitoksen käyttöön. (Schug 2016.) Ensi arvoisen tärkeää olisi keskittyä seuraamaan elintarvikelaitoksessa vedenkulutusta vähintään osastoittain, saattikka työvuorojen välillä (Theobald 2017).

Tuotannonohjaus vaikuttaa merkittävästi vedenkäytön kustannustehokkuuteen elintarviketeollisuudessa. Hyvin suunniteltu tuotannonohjaus välttää prosessilinjalla liian taajaan tapahtuvia tuotevaihtoja ja vähentää prosessilinjoiden vaatimaa pesujen tarpeellisuutta oleellisesti. Tuotannonohjaksella on siis suoravaikutus vedenkulutukseen ja jätevesien määrään. Veden kulutukseen vaikuttaa myös paljonko valmiiseen tuotteeseen jää/sitoutuu vettä. Elintarvikelaitoksissa, joissa ei ole käytössä esimerkiksi CIP-pesukeskusta joutuvat kuluttamaan huomattavasti enemmän puhdasta vettä prosessilaitteiden ja -putkistojen puhdistamiseen. (Vehviläinen 2021.) Toisaalta teknologiat prosessien lopetukseen vaikuttavat oleellisesti jätevesien määrään/laatuun sekä veden kulutukseen. Tuotteiden talteenottoon perustuvaa pigging (suom. possutus) vähentää puhtaan veden käyttöä ja jätevesikuormitusta pesujen yhteydessä (Elgar 2021.)

4.1. Vedenkäytön ja jätevesipäästöjen vähentäminen

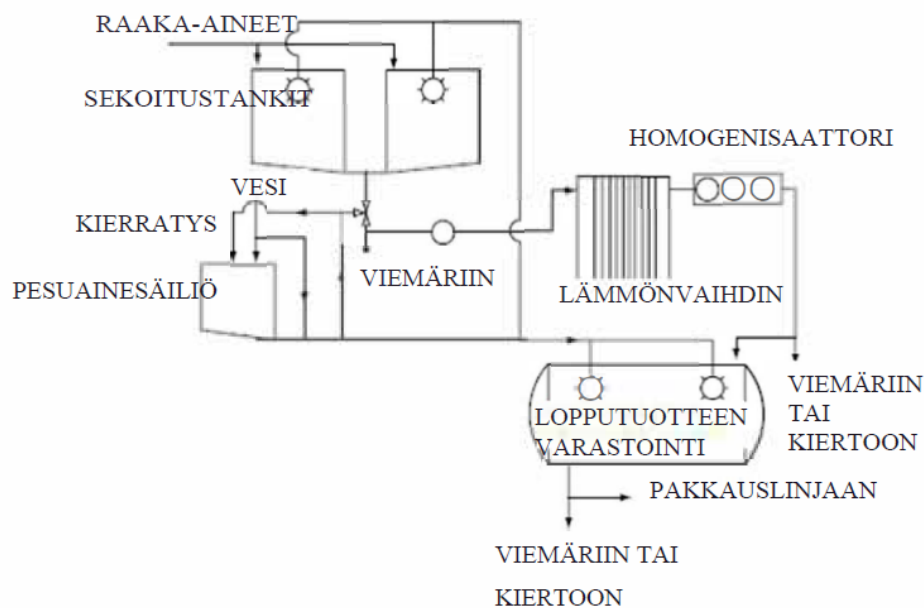
Niin kuin edellisessä kappaleessa mainittiin, erilaisilla ratkaisuilla voidaan vaikuttaa vedenkäytön vähentämiseen. Tällaisten teknologioiden käyttöönotto sitoo pääomaa, varsinkin tapauksissa, joissa joudutaan prosessilinjaston putkistoa muuttamaan oleellisesti.

CIP cleaning in place eli kiertopesun perusajatuksena on liittää raaka-ainejäämien poistamiseen ja puhdistusaineiden kemiallisen aktiivisuuden mekaanisten vaikutusten edut. CIP-laitteisto annostelee pesuaineen veteen ja johtaa sen puhdistettavaan prosessiin. Vaikutusajan,

lämpötilan, pesuaineen tehokkuuden ja virtauksen muodostama mekaaninen vaikutus muodostavat tekijät, jotka vaikuttavat puhdistuksen lopputulokseen. Tehokkaan lopputuloksen aikaan saamiseksi pesuaineen, vaikutusajan ja veden kierrätys on tärkeää. CIP-puhdistusprosessin etuna on, että säästyy vettä ja energiaa. (Marriot et al. 2018, 304–305.)

Elintarviketeollisuudessa vaaditaan korkeaa hygieenisyyttä ja tuoteturvallisuutta. Prosessilaitteistojen ja -linjastojen puhdistukseen on otettu monissa laitoksissa käyttöön. CIP-puhdistusmenetelmä. CIP-aseman säiliöstä pumpataan pesuainetta ja vettä kiertopestäviin prosessin eri osiin. CIP-prosessin pesuvesiä voidaan kierrättää useamman kerran ennen niiden ohjaamista viemäriin. (Marriot et al. 2018, 297, 305.)

Kuvassa 3 on yksinkertaistettu vuokaavio prosessista ja kuinka CIP-järjestelmä toimii siinä. Kuvassa 3 on havainnollistettu sekoitus- ja pesuainesäiliö, putkistot, lämmönvaihdin ja varastosäiliö. CIP mahdollistaa varastosäiliöiden, säiliöiden ja muiden säilytysastioiden puhdistamisen pesupalloilla. Putkilinjat voidaan puhdistaa tehopuhdistusliuoksella. (Marriot et al. 2018, 211.)



Kuva 3. Yksinkertaistettu CIP-pesun toimintakaavio (Marriot et al. 2018, 211 muokattu).

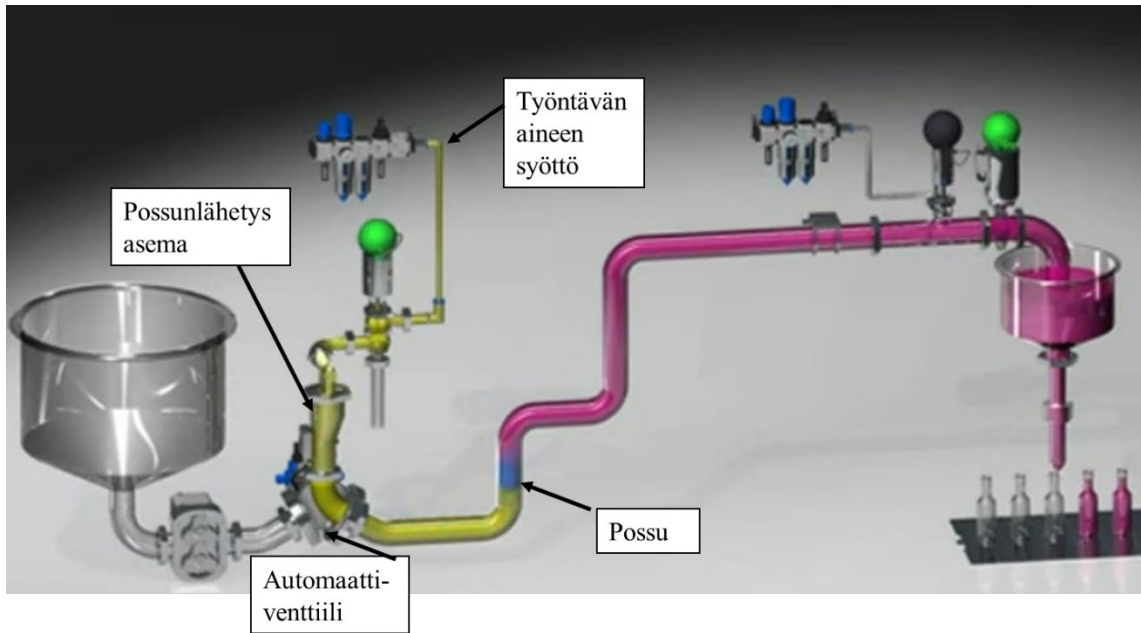
Elintarviketeollisuudessa jo laajalti käytössä oleva Pigging-prosessi eli possuttaminen kerää nestemäisten raaka-ainemassojen jäännökset talteen putkista ja näin vältetään raaka-aine hukalta. Talteen otetut massat ovat käyttökelpoisia, joten ne voidaan jalostaa tuotteiksi yhdessä muun erän kanssa sen sijaan, että ne huuhtoutuisivat pesun yhteydessä viemäriin. Kuvassa 4 on esitetty possutusprosessin komponentti on kiinteä ”ammus” (”possu”), jonka halkaisija on hieman suurempi kuin raaka-ainemassaa kuljettava putki. Prosessi tuo possun putkilinjaan ja työntää sen putken läpi ilman, veden tai jopa seuraavana olevan tuotteen paineella saavuttaen jopa 99 % raaka-aineiden talteenoton. (Elgar 2021.)

Kuva 4. Piggin-prosesissa käytettävä ”possu”. (Elgar 2021.)



Possutuksen etuina voidaan pitää huomattavaa vedenkäytön vähentämistä pesujen ja tuotevaihtojen yhteydessä, CIP:n käytön vähentämistä ja puhdistuksen kustannuksia esim. jätevesimaksujen kannalta. Liiketoiminnan kannalta on tärkeää, että raaka-ainemassat tulevat tuotettua tuotteeksi eivätkä tuo taloudellisia tappioita ja tuotevaihtojen sekä pesuihin kuluva aika lyhenee. (Elgar 2021.)

Kuvassa 5 on esitetty possutuksen toimintaperiaate. Normaalisti tuotelähde pumpataan lähteestä määränpäähän, jossa voi olla joko annostelukone tai muu varastosäiliö pumpattavalle aineelle. Kuvassa 5 pumpattavaa tuotetta edustaa punainen väri ja possua työntävää ainetta keltaisella värillä. (Elgar 2021.)



Kuva 5. Pigging eli possutuksen toimintakaavio (Elgar 2021. muokattu).

5. Kehityskohteiden tunnistaminen

Tämän diplomityön toteuttamiseksi suoritettiin kenttätutkimuksia elintarvikelaitoksen eri osastoilla. Tutkimuksessa perehdyttiin eriosastojen prosesseihin ja niiden eri vaiheisiin. Kehityskohteiden tunnistamiseksi tutkimuksen kenttätutkimuksiin jouduttiin käyttämään paljon resursseja, jotta saataisiin toiminnoista ja kriittisistä pisteistä kokonaiskuva. Tutkimuksen edetessä kävi selväksi, että kaikkien osastojen teoreettinen ja empiirinen tarkastelu olisi aikataulun puitteissa mahdotonta.

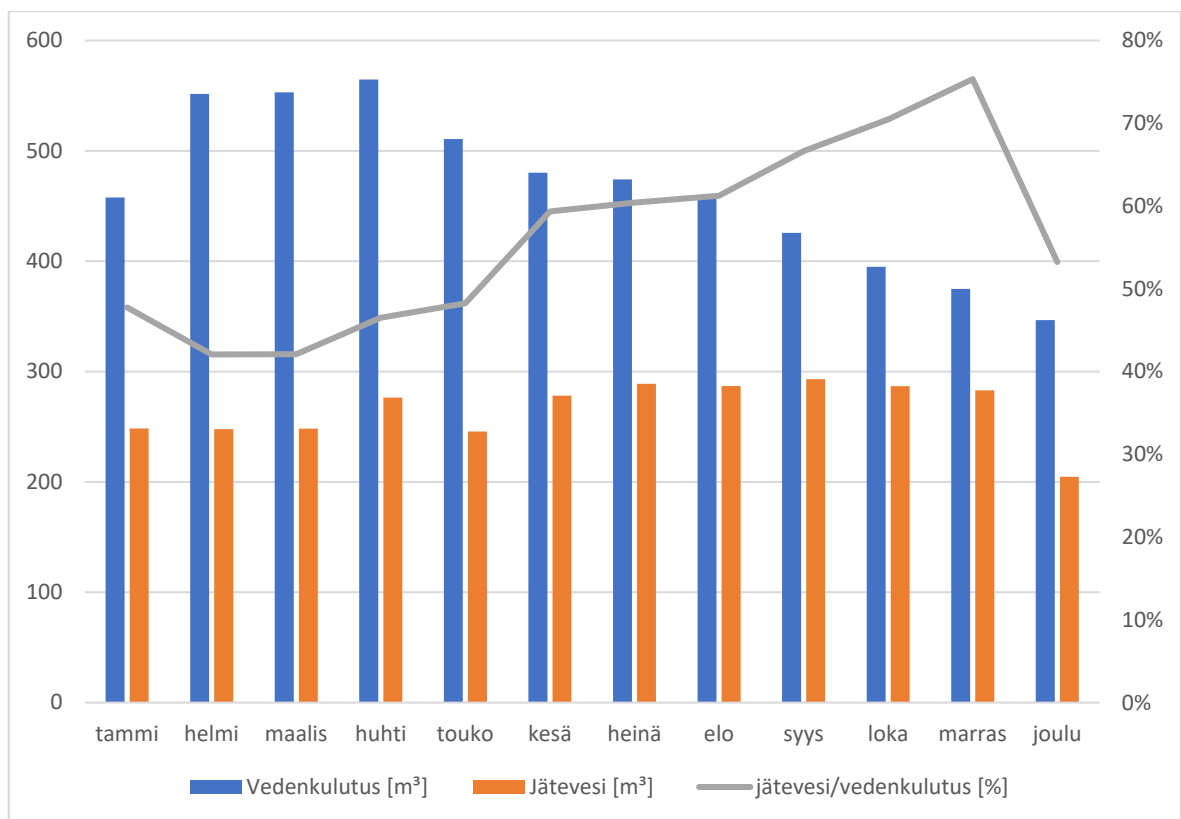
Tämän diplomityön tutkimuksen kohteena olleen elintarvikelaitoksen tuotanto-osastoista valittiin empiiriseen osaan kolme tuotantolinjaa. Näiden osastojen jätevesien talteenotto ja tutkiminen oli aikataulun puitteissa kohtuullisesti toteutettavissa. Empiirisen osan tarkoituksena oli toteuttaa kokeellinen menetelmä, jossa tuotevaihdon tai välipesun yhteydessä putkistoon jäävää korkea viskositeettistä raaka-ainemassaa työnnetään vedellä eteenpäin, jotta se päätyisi tuotteeksi eikä pesujen yhteydessä huuhtoutuisi viemäriin. Tavoitteena oli toteuttaa potentiaalisia ratkaisuja vedenkäytön ja jätevesien kustannuksien pienentämistä.

Kokeelliseen osuuteen kuului myös prosessivesien ja jäteveden koontinäytteiden analysointia. Prosessivesi analysointien tarkoituksena oli selvittää jätevesipäästöjen lähteet ja niiden vaikutus jätevesien koontinäytteiden parametreihin. Prosessivesinäytteet otettiin edellä mainittujen eksperimenttien yhteydessä, jolloin pystyttiin arvioimaan yhden prosessilinjan pesun ympäristövaikutusta. Ympäristöluvan mukaisesti tämän tutkimuksen aikana sattui ajankohta, jolloin koko laitoksen jätevesistä otettiin kokoomänäytteet. Prosessivesinäytteiden osalta laboratorio tutkimukset suoritettiin kahdessa ulkoisessa laboratoriossa.

Vielä yhtenä osana tätä tutkimusta tarkasteltiin laitoksen jätevesien neutralointijärjestelmää ja sen toimivuutta. Pyrittiin löytämään ratkaisu, jolloin neutralointi toimisi tasaisemmin, tehokkaammin ja taloudellisemmin.

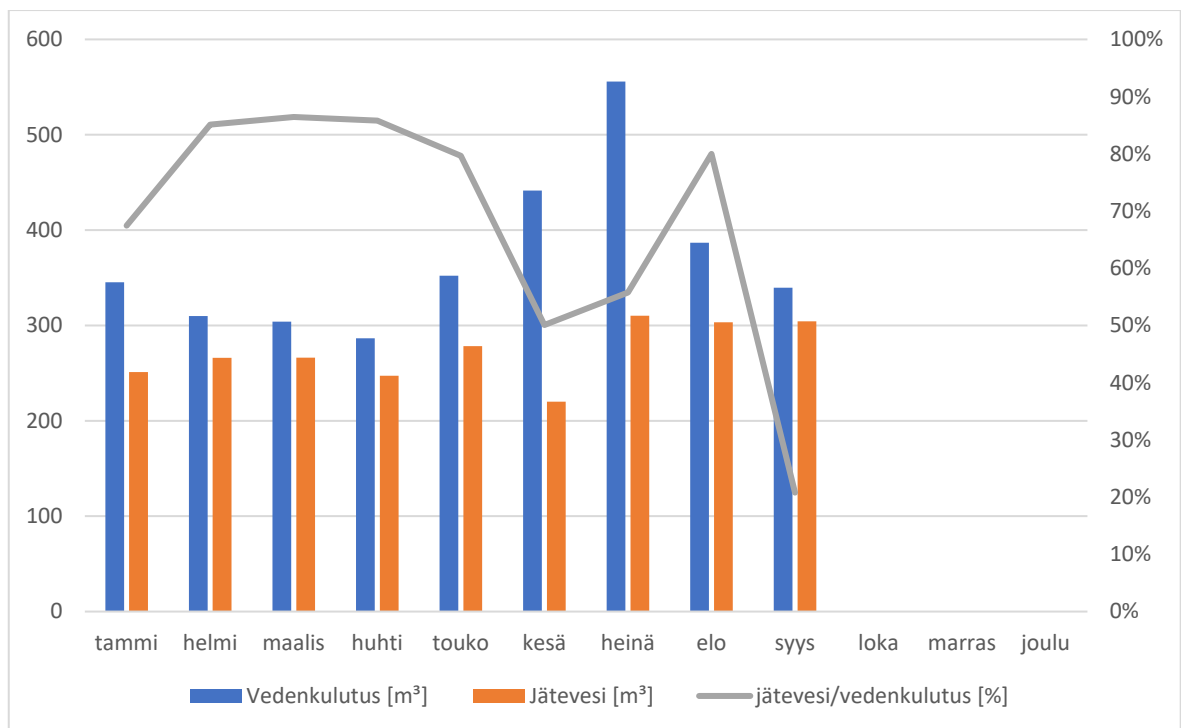
5.1. Vedenkäytön nykytilanne

Tämän tutkimuksen kohteena olleessa elintarvikeyrityksellä oli käytössä tehdasautomaatiojärjestelmä, joka tallensi tietoa veden käytöstä. Automaatiojärjestelmästä oli saatavissa dataa tunnin tarkkuudella ja ensimmäiseksi tarkastellaan kuukausittaista vedenkäyttöä. Kuvassa 6. on esitetty vuoden 2020 tuloksia veden käytön suhteen jokaisen kuukauden jokaisen päivän keskiarvona. Vuoden 2020 keskimääräinen veden kulutus oli 466 m³ ja jätevesien muodostuminen 266 m³ vuorokaudessa. Harmaalla viivalla on kuvattu jäteveden ja vedenkulutuksen suhdetta. Mitä pienempi suhdeluku on, prosessiin on sitoutunut tai siitä on haihtunut vettä ja näin ollen jätevettä on muodostunut vähemmän. Vaikuttavin tekijä suhdeluokun on tuotantolinjojen pesun tarve riippumatta vedenkulutuksen tai jätevesien määrän suuruudesta.



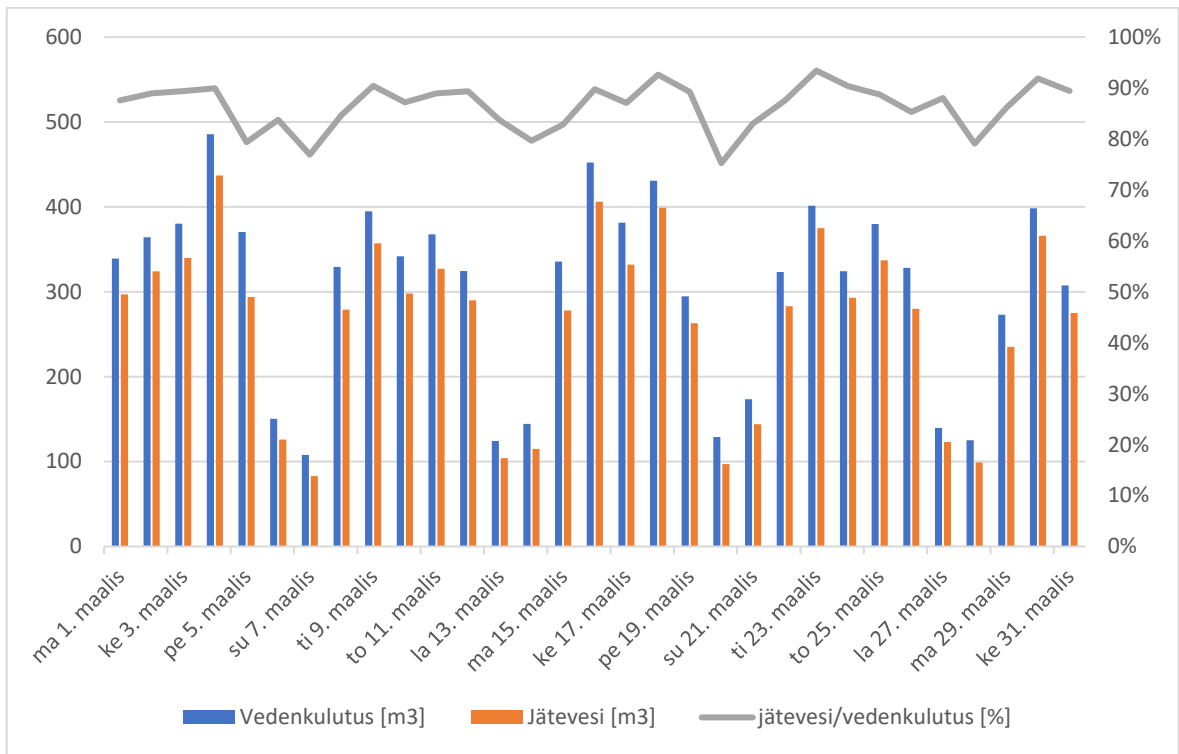
Kuva 6. Vuoden 2020 keskimääräinen päivittäinen vedenkulutus ja jätevesien määrä kuukausittain.

Kuvassa 7 on esitetty vuoden 2021 vedenkäyttöä samalla tekniikalla kuin kuvassa 6. Vuoden 2021 syyskuun loppuun mennessä keskimääräinen veden kulutus on ollut 373 m³ ja jätevesien muodostuminen 269 m³ päivässä. Vedenkulutuksen jyrkkään kasvuun johtui kesäkuukausien lämpimistä päivistä. Kuumina päivinä jouduttiin vettä käyttämään jäähdytykseen normaalia enemmän.



Kuva 7. Vuoden 2021 keskimääräinen päivittäinen vedenkulutus ja jätevesien määrä kuukausittain.

Kuukauden sisällä tapahtuvassa vedenkulutuksessa ja jätevesien muodostumisessa on jonkin verran vaihtelua. Kuvassa 8 on havainnollistettu vuoden 2021 maaliskuun tuloksia vedenkulutuksen ja jätevesien muodostumisen suhteen. Kuvasta on havaittavissa viikonloppujen vähäisemmän tuotannon vaikutus vedenkäyttöön.



Kuva 8. Vuoden 2021 maaliskuun keskimääräinen vedenkulutus ja jätevesien määrä vuorokausittain.

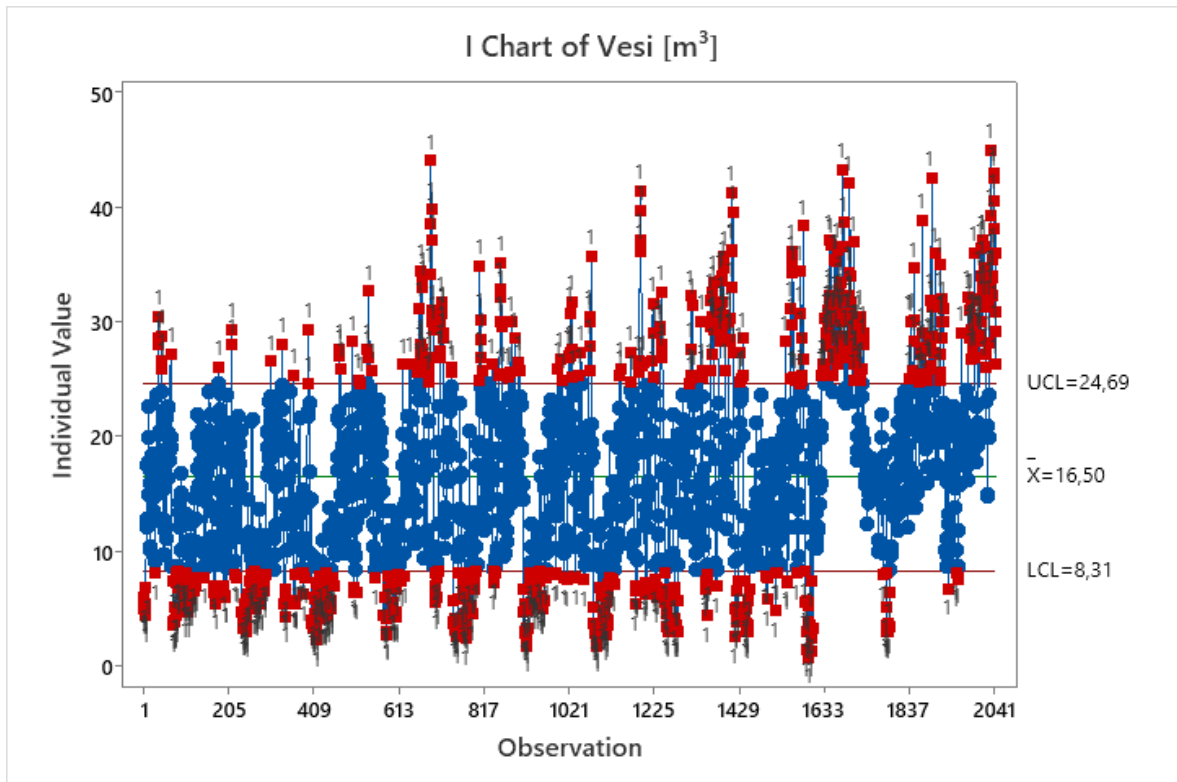
Taulukossa 5 on kuvattu herkkyysanalyysin perusteella viikon ajalta vedenkulutus tunneittain jokaiselta vuorokaudelta kuutiometreissä. Taulukosta voidaan havaita, että vedenkulutus on viikonloppuisin huomattavasti olemattomampaa. Viikonloppuisin osa elintarvikelaitoksen tuotantolinjoista ei ajossa. Vedenkulutuksessa on suurta hajontaa ja vedenkulutuksen kasvamisesta on nähtävissä tuotteiden valmistamisen syklisyys tuotevaihtojen aiheuttamien pesujen suhteen.

Taulukko 5. Herkkyysanalyysi vedenkulutuksesta tunneittain kuutiometreissä [m³].

aika/päivä	ke	to	pe	la	su	ma	ti	ke
0:00	5	19	13	4	8	7	18	10
1:00	6	16	12	7	6	7	10	10
2:00	5	13	10	5	5	11	8	7
3:00	6	15	10	4	7	15	8	7
4:00	5	15	20	4	6	7	11	6
5:00	5	9	16	4	8	7	15	9
6:00	5	8	12	5	11	11	10	10
7:00	7	16	11	8	11	13	9	10
8:00	13	24	22	4	13	11	14	13
9:00	18	16	20	7	5	15	18	19
10:00	12	17	19	9	6	22	17	20
11:00	12	17	22	8	6	20	18	18
12:00	18	29	23	7	6	17	19	25
13:00	20	28	20	7	11	19	21	26
14:00	23	31	16	9	10	16	19	20
15:00	15	18	18	12	11	22	24	22
16:00	10	19	19	13	6	19	22	24
17:00	11	21	19	14	7	18	20	14
18:00	17	15	27	15	12	15	16	22
19:00	16	26	20	17	8	15	13	21
20:00	15	27	19	13	6	21	18	16
21:00	18	29	9	10	9	15	14	15
22:00	18	24	7	8	10	17	14	16
23:00	18	15	4	7	8	18	11	11

Seuraavassa kuvassa 9 tarkasteltiin I Chart-ohjauskäyrämenetelmällä tuntivedenkulutusta taulukossa 5 esitellyltä ajanjaksolta. I Chart kuvaa prosessin stabiiliutta. Kuvassa x-arvot kuvaavat vedenkulutuksen keskiarvoa tunneittain, UCL-arvo kuvaa ylempää luonnollista ohjausrajaa ja LCL-arvo alempaa luonnollista ohjausrajaa. UCL- ja LCL-rajat ovat laskennallisesti muodostettu ja näiden rajojen sisällä tapahtuvat arvojen/lukemien muutokset ovat prosessille luonnollisia tietyn ajanjakson sisällä. UCL-rajaa on myös mahdollista määrittää halutulle tasolle ja tässä tutkimusaineistossa UCL-arvo asetetaan mittausdatan perusteella 24,7 m³ tunnissa. Tämän yläpuolelle sijoittuvat arvot ovat prosessille epätavallisia tilanteita eli luonnollisesta hajonnasta poikkeavia arvoja ja kuvastavat tilanteita, joita olisi syytä tarkistaa, mistä esimerkiksi tässä tapauksessa eli vedenkulutuksen kasvussa on kyse. Tässä tutkimuksessa LCL-rajaa ei ole oleellinen, koska vedenkulutuksen alarajalle ei ole tarvetta

asettaa rajaa, kun veden käyttöä pyritään tehostamaan. Kuvasta voidaan havaita myös, että keskimääräinen veden kulutus tunnissa on $16,5 \text{ m}^3$.



5.1.1. Jätevesivirtaamat

Taulukossa 6 on kuvattu herkkyysanalyysin perusteella viikon ajalta jätevesien muodostumista tunneittain jokaiselta vuorokaudelta kuutiometreissä. Taulukosta voidaan havaita, samaa kuin taulukosta 5, että jätevesien muodostuminen on viikonloppuisin pienemmän tuotannon takia huomattavasti vähäisempää. Jätevesien muodostumisessa oli myös hajontaa ja vedenkulutus korreloi hyvin tilannetta.

Taulukko 6. Herkkyysanalyysi jätevesivirtaamista tunneittain kuutiometreissä [m³].

aika/päivä	ke	to	pe	la	su	ma	ti	ke
0:00	4	12	10	3	5	5	18	8
1:00	5	15	9	6	4	5	7	6
2:00	4	11	7	4	3	8	6	5
3:00	5	13	7	3	4	13	7	5
4:00	4	15	17	3	4	6	7	9
5:00	4	7	17	8	6	5	14	8
6:00	3	6	9	3	14	12	9	9
7:00	6	13	7	8	8	11	7	9
8:00	11	23	12	3	13	8	12	10
9:00	19	12	19	4	5	12	15	17
10:00	11	17	15	5	4	20	14	18
11:00	11	13	18	5	5	17	15	16
12:00	14	22	17	3	4	17	16	20
13:00	20	26	16	5	10	16	18	25
14:00	26	30	12	5	8	14	21	18
15:00	16	13	16	6	9	19	22	20
16:00	9	19	21	13	5	22	21	23
17:00	9	19	15	12	8	15	19	12
18:00	15	13	23	11	11	13	14	20
19:00	15	24	19	16	8	12	12	20
20:00	18	25	21	10	4	15	17	14
21:00	15	27	5	9	5	12	11	15
22:00	18	23	7	4	4	13	12	14
23:00	14	15	3	3	5	15	10	10

5.1.2. Jakeiden laatu

Teoria osuudessa käytiin läpi elintarviketeollisuuden jätevesien jakeiden laatua. Suurehkot BOD- ja COD-arvot kuvastavat orgaanisista jätevesien jakeista. Vaihtelut pH-arvoissa kuvastaa raaka-aineiden happamuudesta ja puhdistusaineiden käyttämisistä. Tämän tutkimuksen osana järjestettiin osastoilla prosessivesien talteenottoa lajinvaihtojen yhteydessä. Pesuvesi ajettiin ensimmäisestä säiliöstä viimeiseen prosessin osaan mistä se voitiin ottaa talteen. Liitteessä 1 on esitetty prosessijätevesien analysoinnin tuloksia ja liitteessä 2 kokoomanäyte jätevesien tuloksia.

5.1.3. Jätevesikäsitteilyn nykyhetki

Mahdollisia happamia jätevesiä varten elintarvikelaitoksella oli käytössä jätevesien neutralointijärjestelmä. Neutralointijärjestelmään oli kytketty pH-mittausanturi ja neutralointi toteutettiin syöttämällä jäteveteen neutralointiainetta. Neutralointijärjestelmä oli kytketty tehdasautomaatiojärjestelmään, joten pH:ta ja neutraloinnin toimintaa voitiin seurata reaaliajassa. Liitteessä 3 on esitetty tehdasautomaatiosta saatua tietoa jätevesien neutraloinnista.

5.2. Tuotteen valmistusprosessi

Tämän elintarviketeollisuuslaitoksen tuotantolinjan prosessin kulku muodostui kuvassa 1 esitetyn prosessikaavion mukaisesti. Seuraavaksi käydään läpi prosessin vaiheita:

1. Tuotantoprosessi lähtee etenemään raaka-aineiden punnitsemisella vaa'alla varustettuun punnitussäiliöön.
2. Annostelun ja punnituksen jälkeen tuotteet lasketaan alapuolella olevaan välisäiliöön 1 sekoittumaan massaksi.
3. Välisäiliöstä massa pumpataan jatkuvatoimisen keittimen läpi, jolloin saadaan massan lämpötila nousemaan, raaka-aineet sekoittumaan ja hyytymisprosessi käynnistettyä.
4. Keittimen jälkeen massa pumpataan vakuumisäiliön läpi, jossa massasta poistetaan kosteutta ja saadaan raaka-ainemassa tasalaatuisemmaksi.
5. Vakuumista seuraavaksi on vuorossa välisäiliö 2 ja sieltä massaa pumpataan aistinvaraisiin ominaisuuksiin liittyvät raaka-aineet massan joukkoon sekoitussäiliöön.
6. Sekoitussäiliöstä massa lasketaan puskurisäiliöön, josta sitä pumpataan tuotteen annostelulaitteiston säiliöihin annosteltavaksi.

5.3. Työtavat

Eri työvuoroilla ja työntekijöillä voi olla tosistaan poikkeavat tavat toimia prosessissa. Pesujen tarkastelun yhteydessä kiinnittyi huomio tilanteeseen, kun pesut suoritettiin eri tavalla. Erot eivät välttämättä olleet suuria, mutta voivat vaikuttaa vedenkulutukseen ja jätevesien muodostumiseen.

5.4. Ongelmat

Ongelmana oli jätevesien muodostuminen ja korkea viskoosisten raaka-ainemassojen huuhtoutuminen viemäriin. Putkistoihin jäävä raaka-ainemassaa ei oteta talteen. Suurehko vedenkulutus oli myös tarkistettava asia, johon pyrittiin löytämään ratkaisua. Haasteelliseksi kehityskohteiden tunnistamisen teki mittausten puute eri osastojen välillä. Toisaalta toimintatavoilla ja työn standardisoinnilla on merkityksensä. Inhimilliset erehdykset ja työntekijöiden tavat toimia prosessissa vaikuttavat ainakin vedenkäyttöön oleellisesti.

6. Tulokset ja kehitysehdotukset

Tässä kappaleessa käydään läpi empiirisen osan aikana tehtyjä havaintoja. Kiinnitetään myös huomiota jätevesianalyyseihin niin prosessista otettuihin kuin koko tehtaan kokoomanäyteisiin. Tässä kappaleessa esitetään tunnistetuille kehityskohteille vaihtoehtoisia toimenpiteitä ja teknisiä ratkaisuja prosessiin. Prosessipesuja seurattaessa tuli erittäin kustannustehokas ajatus korkea viskoosisten raaka-ainemassojen talteenotosta ja näin voitaisiin myös parantaa jäteveden laatua. Teknistaloudellisia laskelmia on esitetty liitteessä 6.

Tutkimuksen yhteydessä elintarvikelaitoksessa järjestettiin osastokohtaisia prosessijätevesien talteenottoa ja analysointia, sekä yksi kokoomajätevesien analysointi. Aiemmin tässä elintarvikelaitoksessa ei ollut suoritettu talteenottoa prosessijätevesistä, vaan näytteitä on otettu kokoomajätevedestä. Kokoomajätevesi sisältää prosessijäteveden lisäksi myös ns. harmaat (keittiöstä ja pesutiloista sekä siivoamisesta) ja mustat (käymälät) jätevedet. Kokoomajäteveden näyte otetaan laitoksen kokoomakaivosta ja kuvastaa koko tehtaan kunnalliselle jätevedenpuhdistamolle käsiteltäväksi menevän jäteveden laatua.

Prosessivesien näytteenottojen suunnittelun ja toteuttamisen suoritti tässä elintarvikelaitoksessa tämän tutkimuksen kirjoittaja yrityksen henkilökunnan avustaessa. Tuotantolinjan tuotevaihdon yhteydessä suoritettavaan talteenotto vaati tarkkaa suunnittelua, jottei tuotevaihto pitkittyisi liian aiheuttaen taloudellisia menetyksiä. Osaston työnjohtaja informoi sopivia ajankohtia, jolloin näytteenottoimenpiteet olisi voitu toteuttaa, mutta usein lajinvaihdot tai välipesut osuivat iltaan tai viikonloppuun. Tavoitteena oli saada tehtyä toimenpiteet sellaisen tuotteen valmistamisesta, joka edustaisi raaka-ainekoostumukseltaan myös muita saman tyyppisiä tuotteita. Näytteiden analysoimisen kannalta oli tärkeää saada näytteenotto järjestettyä virka-aikaan, jotta näytteet saatiin tuoreeltaan tutkittavaksi. Näytteenottoa varten suunniteltiin ohjeet niin tuotantoon kuin kunnossapitoon. Toimintaohjeet ovat esitetty liitteessä 4.

Kokoomanäytteen osalta elintarvikelaitoksen henkilökunta suoritti näytteenoton. Viikon viitenä arkipäivänä kerättiin vuorokausikohtaiset kokoomajätevesinäytteet jäteveden laatua kuvaamaan. Kokoomanäyte otettiin niin, että viemärissä virtaavasta jätevedestä pumpattiin säännöllisin väliajoin jatkuvatoimisella näytteenottimella keräysastiaan näytteitä. Elintarvikelaitoksissa on useita erilaisia tuotantorytmejä, joihin vaikuttaa esimerkiksi työvuororytmi ja valmistettavat tuotteet. Näin ollen joidenkin tuotteiden valmistus on vuorokauden ajasta riippuvainen, joka vaikuttaa jäteveden laatuun. Kokoomajätevesinäyte ei anna välttämättä aina oikeaa kuvaa jätevesien laadusta.

6.1. Vesitesti

Tutkimuksen edetessä ja tuotevaihtojen yhteydessä suoritettavia pesuja tarkkailtaessa tuli eteen kokeilemisen arvoinen ratkaisu. Normaalin tuotevaihdon yhteydessä suoritettavassa prosessilaitteistojen pesussa putkistot puhdistetaan 5–7 bar:n paineisella kuumalla vedellä. Erään pesun yhteydessä tehtiin kokeilu raaka-aineiden pumppaukseen käytettävää lohkoroottoripumppua käytettäväksi putkistojen huuhteluun. Vaa’alla varustettuun ensimmäiseen säiliöön otettiin kokeilumielessä 200 kg vettä ja tätä samaa vettä pumpattiin prosessissa säiliöstä toiseen. Aistin varaisesti tarkasteltuna putkistoon jäänyttä massaa voitiin ikään kuin työntää vedellä eteenpäin. Massan siirtyminen putkistosta seuraavaan säiliöön oli nähtävissä suurehkoina määrinä ennen virtauksen muuttumista vesimäiseen olomuotoon. Kokeen onnistumiseen vaikutti lohkoroottorin pumpun kohtuullisen hidas virtausnopeus, mutta kuitenkin riittävä paine. Myös korkeaviskoosinen raaka-ainemassa edesauttoi, että sekoittumista veden kanssa ei tapahtunut kuin vasta putken loppupäässä.

Edellä mainitun testin perusteella tehtiin päätös pesuvesien talteenotosta ja niiden analysoimisesta tarkemmin ympäristövaikutusten kannalta. Testissä tuotantolinjalla 1 otettiin 200 kg vettä vaa’alla varustettuun ensimmäiseen säiliöön ja tällä samalla vedellä huuhdeltiin koko linjasto. Edellisestä säiliöstä seuraavaan siirrettäessä putkesta tuli ennen pesuvettä huomattava määrä massaa ja tämä toistui seuraaviin prosessin osiin siirryttäessä. Merkittävin kohta prosessissa oli viimeinen putkiosuus ennen tuotteeksi valmistumista.

Veden pumppaamisen ajoittamisella oikein voitaisiin suuri osa putkistoon jäävästä massasta hyödyntää tuotteen valmistuksessa tai kierrättää muuhun tarkoitukseen. Muu käyttötarkoitus voisi olla esimerkiksi biopolttoaineiden raaka-aineena. Oli talteen otettavan massan myöhempi käyttötarkoitus mikä tahansa niin tässä olisi potentiaalia kustannustehokkuuden parantamiselle.

Ratkaisu olisi ajoittaa veden pumppaus niin, että massa olisi ajettavissa vielä tuotteeksi. Toisena vaihtoehtona voitaisiin pitää tilannetta, jossa massa ajettaisiin viimeisestä säiliöstä tai kartiosta talteenottoastiaan, jolloin ei haittaisi, vaikka vesi ja raaka-ainemassat sekoittuisivat.

Taloudellisesta näkökulmasta ajateltuna tämä ei vaatisi kovinkaan suuria ponnisteluja riippuen toteutustavasta. Massan ajettaessa tuotteeksi olisi vaikutus taloudellisesti positiivinen. Toisaalta myös massan talteenotto erilliseen astiaan välttäisi sen ajautumisen suurimmilta osin viemäriin pesuvesien mukana. Molemmissa vaihtoehdoissa säästettäisiin jätevesikustannuksissa.

6.2. Prosessin muokkaus

Liitteessä 5 on kuvattu päivitetty versio prosessikaaviosta, joka mahdollistaa raaka-aineiden mahdollisimman pitkälle hyödyntämisen tuotteessa. Tärkeää on ottaa huomioon prosessisäiliöiden välille jäävät putkiosuudet. Tämän kappaleen alaosioissa on esitetty eri kehitysversioita prosessiin. 6.2.2–6.2.4 kappaleissa esitettyjen ratkaisujen toteuttaminen vaatii muutoksia tai jopa uusien linjojen rakentamisen prosessiin, sitoen kohtuullisesti taloudellista pääomaa. Kappaleessa 6.2.1 ei ole vielä otettu huomioon liitteen 5 ”päivitystä”.

6.2.1. Versio 1

Pesun alkaessa perinteiseen työskentelytapaan poiketen käytetään ensimmäiseen huuhteluun massojen siirtoon tarkoitettua lohkoroottoripumppua painevesihuuhtelun sijaan. Eniten valmistettavien tuotteiden kohdalla tehdään ajoitusmitoitus. Mitataan paljonko vesityönnössä ajallisesti kestää ennen kuin seuraavaan säiliöön alkaa tulla vettä. Näin ollen voidaan pumpata putkistosta tulevat raaka-ainemassat eteenpäin prosessissa. Tämän suhteen on myös syytä tehdä epävarmuuslaskenta, jotta veden pääseminen säiliöön pystytään välttämään. Olemassa olevaan tehdasjärjestelmään syötetään parametrit, jonka mukaan automaatio pysyy pysäyttämään pumppauksen säiliöön. Automaatio ohjaa raaka-ainemassan jäännöksen ja veden talteenottoon/viemäriin. Tämä toistetaan jokaisen säiliön väliselle putkiosuudelle. Lopuksi prosessiin tehdään tarvittavat painehuuhtelut kuumalla vedellä elintarvikehygieni-syyden takaamiseksi.

6.2.2. Versio 2

Tämä prosessin muokkaus perustuu edellisessä kappaleessa esitettyyn ratkaisuun eli ”vesityöntöön”. Poikkeuksena on, että putkilinjastoihin lisätään optinen mittausanturi liitteen 5 mukaisesti. Anturi mittaa ja tunnistaa tuotteen ja veden rajan valon intensiteetin muutoksella. Mittauspisteiden anturit kytketään tehdasjärjestelmään. Anturin havaitessa veden ja massan sekoittumista putkistossa ohjataan pumppaus talteenottoon/viemäriin. Anturia voidaan hyödyntää myös vedenkulutuksen hillitsemiseen pesujen yhteydessä. Anturin avulla voidaan mitata pesuveden ”puhtautta” eli onko pesuveden seassa ylimääräisiä komponentteja. Pesut voidaan lopettaa, kun elintarvikehygienisesti riittävä lopputulos on saavutettu.

6.2.3. Versio 3

Prosessiin otetaan mukaan kappaleessa 4.1 esitelty possutus. Putkiosuuksien väleille asennetaan putkipossutus-järjestelmät. Putkipossu-järjestelmä kytketään osaksi tehdasjärjestelmää, jolloin tuotevaihtojen tullessa ajankohtaiseksi automaatio hoitaa putkien puhdistuksen possutuksella. Putkipossun etuna on todella korkea raaka-ainemassojen hyödyntäminen

tuotteeksi ja vedenkulutuksen supistaminen. Kappaleessa 6.2.2. esitetty optisen mittausta on syytä hyödyntää myös possutuksen yhteydessä, koska tuotteiden laadun kannalta putkistojen huuhteleminen possutuksen jälkeen on suotavaa. Välttämätöntä tarvetta pesuprosessista tulevien jätevesien talteenotolle ei ole, koska viemäriin johtuvien jätevesien ympäristökuormitus laskee huomattavasti.

6.2.4. Versio 4

Kappaleen 6.2.3. esitetyn muutoksen lisäksi prosessiin lisätään kappaleessa 4.1 esitetty CIP-puhdistusjärjestelmä. CIP:n hyötynä on, että säiliöt saadaan pestyä puhtaiksi pienemmällä vesimäärällä, kun järjestelmässä hyödynnetään samaa pesuvettä puhtauden takaamiseksi. Pesuvedet kerätään talteen ja mahdollisesti hyödynnetään esimerkiksi biopolttoaineiden valmistamiseen, kuten aiemmin mainittiin.

6.3. Neutralointi

Neutraloinnin kustannustehokkaaseen toimintaan etsittiin ratkaisua. Tavoitteena oli saada neutralointi toimimaan yhdessä tehdasjärjestelmän kanssa entistä vakaammin ja tehokkaammin. Ratkaisut ovat esitetty liitteen 3 yhteydessä.

6.4. Työtavat

Kappaleessa 2.6 esitettiin eri näkökulmia työntekijän tapaan toimia ja oppia asioita prosessiteollisuudessa. Elintarvikelaitoksessa on käytössä ohjeet jokaisen tuotantolinjan pesuja varten. Ohjeiden tarkastelu vedenkäytön kannalta olisi suotavaa ja voisiko pesujen suorittamiseen nykyiseltään tehdä muutoksia. Työntekijöiden sitouttaminen kustannustehokkaaseen veden käyttöön ja jätevesien hallintaan on myös ratkaiseva asia. Liitteessä 7 on esitetty havaintoja veden käytön suhteen. Kappaleissa 6.2.2.–6.2.4. esitetyt tekniset ratkaisut tukisivat työtapojen muutosta.

7. Johtopäätökset

Tutkimuksen tavoitteena oli löytää lean-työkaluja hyödyntäen kustannustehokkaat keinot elintarvikelaitoksen jätevesien hallintaan sekä lisätä tietoisuutta jätevesipäästöjen vaikutuksista. Kirjallisuuden ja käytännössä toteutetuin tutkimuksien pohjalta selvitettiin, mitä menetelmiä olisi kustannustehokkaasti mahdollista hyödyntää elintarvikelaitoksen jätevesikuormien minimoimiseksi ja vedenkäytön tehostamiseksi. Elintarvikelaitoksen jätevesien kuormitus koostuu pääosin orgaanisista komponenteista. Orgaanisten yhdisteiden vaikutus jäteveden koostumuksessa on selvä, aiheuttaen suuria BOD- ja COD-arvojen nousua. Elintarvikelaitoksen jätevesien puhdistamiseen voidaan käyttää todella teknisiä ja kustannuksiltaan erittäin arvokkaita ratkaisuja, mutta haluttiin löytää syyseurauksen aiheuttaja.

Jäteveden poistoa tulee rajoittaa, jos viemäriverkko tai jätevedenpuhdistamo toimii kapasiteetin ylärajoilla. Korkeat purkaushuiput saattavat haitata jätevesipuhdistamon toimintaa. Toiminnanharjoittaja voidaan velvoittaa tasapainottamaan suuria päästöjä tasausaltailla tai voidaan sopia kustannusten jaosta yrityksen kanssa, mikäli vesilaitos on halukas tasoittamaan poistohuippuja.

Elintarvikelaitoksissa jätevesien laadun parantamiseksi huomio kiinnittyy usein jätevesien puhdistamiseen kuin juurisyyn löytämiseen. Tutkimuksessa saatiin loogisia mittaustuloksia prosessista muodostuvien jätevesien laadusta. Tutkimuksen kohteena olleen elintarvikelaitoksen haasteena oli ajoittaiset pH-arvojen vaihtelut ja orgaanisten raaka-ainemassojen päätyminen viemäriin. Elintarvikelaitoksen prosessien osalta keskityttiin kolmen tuotantolinjan veden käyttöön ja jätevesien muodostumiseen. Erilaisten prosessitekniisten ratkaisujen avulla on mahdollista saada aikaan raaka-ainemassojen paremman jalostusasteen.

Tässä tutkimuksessa suoritettu prosessijätevesien analysointi toteutettiin järjestämällä olosuhteet niiden talteenottoon. Tällaista toimenpidettä ei ollut aiemmin tehty. Analyysi antoi tukea jäteveden mittaamisessa muodostuviin parametreihin.

Tutkimuksessa osoittautui merkittäväksi tekijäksi tuotevaihtojen yhteydessä suoritettavat pesut, joissa prosessiputkistot ja -laitteistot painehuuhdeltiin 5–7 bar:n kuumalla vedellä. Putkistoon jäänyt hyödynnettävissä oleva raaka-ainemassa huuhtoutui viemäriin. Tälle ongelmalle pyrittiin löytämään ratkaisu. Ongelman tarkastelun yhteydessä muodostui neljä eri vaihtoehtoa ratkaisuksi. Lyhyelläkin aikavälillä toteuttava ja taloudellisia resursseja sitomattomaksi ratkaisuksi osoittautui versio, jossa pesun ensimmäiset putkien puhdistukset suoritetaan lohkoroottoripumppuja hyödyntäen. Lohkoroottoripumppujen kehittämä virtausnopeus ei ole kovinkaan suuri, mutta paine on riittävä työntämään raaka-ainemassa eteenpäin seuraavaan säiliöön. Ajoittamalla veden pumppaus ja automaatioventtiilien toiminta voidaan raaka-ainemassa jalostaa tuotteeksi entistä pidemmälle. Raaka-aineiden hyödyntämisen kehittyneimmässä versiossa tultiin lopputulokseen, jossa putkistojen tyhjentämiseen käytetään pigging:iä eli possutusta ja pesujen prosessoimiseen CIP-keskusta.

Tulevaisuuden elintarvikelaitos toimii kuin kehittyneet biotuotetehtaat. Kestävän yrityskulttuurin raameihin asetetaan kunnianhimoiset tavoitteet prosessien suorittamiseen. Raaka-aineiden käyttö ja hyödyntäminen mahdollisimman pitkälle tuotteeksi on tärkeää. Talousveden käyttäminen tarkasti optimoiden ja kestävätoiminta tukevat yrityskuvan arvoja. Näiden kestävien ratkaisujen toteuttaminen tukee yrityksen ympäristövastuuta ja taloudellisesta näkökulmaa.

Jatkotutkimuksia pohtien, olisi relevanttia perehtyä talteenotettujen pesuvesien ja tuotemassojen seoksen käsittelyyn. Minkälaisia toimenpiteitä pesujen yhteydessä orgaaninen talteenotettu seos vaatisi, että sitä voitaisiin mahdollisesti hyödyntää esimerkiksi biopolttoaineiden raaka-aineena? Voisiko niille olla jotain muuta käyttötarkoitusta?

Lähteet

A 12.10.2006/888. Valtioneuvoston asetus yhdyskuntajätevesistä. Ajantasainen lainsäädäntö.

Berk Z. 2013. Food Process Engineering and Technology. New York. Elsevier.

Elgar Peter. Haastattelu. HPS. Nottingham. Englanti.

Ghimpusan M., Nechifor F.m Nechifor A., Dima S. & Passeri P. 2015. Case studies on the physical-chemical parameters' variation during three different purification approaches destined to treat wastewaters. Journal of Environmental Management. Vol. 203, s.

Harter R. et al. 2018. C. Science and Technology. Wisconsin, USA. Springer International Publishing.

Helin Katri. 2007. Kun tiedostaminen ja oivallus kohtaavat – työkirja pk-yrityksen hiljaisen tiedon jakamiseksi. Hynä Hanke. Pirkanmaan ammattikorkeakoulu. Tampere

L 9.2.2001/119. Vesihuoltolaki. Ajantasainen lainsäädäntö.

L 27.6.2014/527. Ympäristönsuojelulaki. Ajantasainen lainsäädäntö.

Kiepper B. 2016. Understanding Laboratory Wastewater Tests: I. ORGANICS (BOD, COD, TOC, O&G). Poultry Science. The University of Georgia.

Lindberg, H., Lehtinen, E., Albeni, K., Leivonmäki, M., & Laanti, J. 2018. Finnish Industrial Wastewater Guide – conveying non-domestic wastewater to sewers (Teollisuusjätevesiopas – asumajätevesistä poikkeavien jätevesien johtaminen viemäriin). Helsinki. Finnish Water Utilities Association. s. 171

Marriot N., Schilling M. & Gravani R. 2018. Principles of Food Sanitation. Food Science Text Series. Springer International Publishing. USA. s. 458

Ministry of the Environment Government of Japan. 2003. Part 3 Examples of Food Processing Wastewater Treatment.

MMM. MAA- JA METSÄTALOUSMINISTERIÖ. 2014. Elintarviketeollisuus vesihuoltolaitoksen asiakkaana. Helsinki.

Nayyar, D., Nawaz, T., Noore, S. & Singh A. 2021. Pollution Control Technologies. Current Status and Future Prospects. Chapter 9: Food Processing Wastewater Treatment: Current Practices and Future Challenges. Singapore. Springer Nature Singapore Pte Ltd.

Noukeu N., Gouado I., Priso R., Ndongo D., Taffouo V., Dibong S. & G.E. 2016. Ekodeck, Characterization of effluent from food processing industries and stillage treatment trial with *Eichhornia crassipes* (Mart.) and *Panicum maximum* (Jacq.). Water Resources and Industry. Volume 16. s. 1–18

PSY. Pohjois-Suomen ympäristölupavirasto. 2006. LUPAPÄÄTÖS. Nro 66/06/1. Dnro PSY-2005-Y-7. Luettu 16.11.2021. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/download/name/%7BA30FA890-DB2F-47D6-9145-EE0D124E82CE%7D/84919>

Rönkkö Ville. 2016. ALKOHOLIJUOMATEHTAAN JÄTEVESIKUORMAN PIENENTÄMINEN. Diplomityö. Kemian tekniikan korkeakoulu. Aalto-yliopisto.

Salmela, P. Hiljainen tieto päätöksenteossa. 2016 Sytyke. Tivia ry. [verkkoaineisto]. Luettu 29.20.2021. Saatavissa: sytyke.org/ilmiot/hiljainen-tieto-paatoksenteossa/.

Salovaara H. 2009. Viljateknologian kurssimoniste. Elintarviketeknologian laitos. Helsingin Yliopisto.

Schug D. Green Series. 2016. Reducing water usage in food and beverage processing. Food Engineering. Luettu 15.10.2021. Saatavissa <https://www.foodengineeringmag.com/articles/95493-reducing-water-usage-in-food-and-beverage-processing>

Sharma Nandini. 2018. Commonly Used Food Processing Methods. Discover Food Technology. Luettu 10.8.2021. Saatavissa <https://discoverfoodtech.com/commonly-used-food-processing-methods/>

Singh S., Rahinam K., Gupta T. & Agarwal A. 2021. Pollution Control Technologies. Current Status and Future Prospects. Energy, Environment, and Sustainability. Springer Nature-Singapore Pte Ltd. s. 289

Steffansson Marina et al. 2013. MESTARI-KISÄLLI - MALLI Suunnitelma ja taloudelliset seuraukset. Diakonia-ammattikorkeakoulu Oy. Helsinki

Sözer N., Nordlund E., Poutanen K. ja Åkerman M. 2021. Suomen ruokatutkimuksen ja -innovoinnin strategia. 2021–2035. Teknologian Tutkimuskeskus VTT Oy. s. 25

Theobald D. 2017. Challenges & trends in food industry water management. Water Technology. Endeavor Business Media. Luettu 28.10.2021. Saatavissa <https://www.watertechnonline.com/wastewater/article/15550480/challenges-trends-in-food-industry-water-management>

Trinata K., Nurkhotijah & Solikhatunisa N. 2017. Effect of Temperature to Chemical Oxygen Demand (COD) Value in Treatment of Dye Waste Liquid Screen Printing Industry Using Distillation Method. Conference: UKM-UR-UII-PSU JOINT SEMINAR 2017.

Qasim W. & Mane A. 2013. Characterization and treatment of selected food industrial effluents by coagulation and adsorption techniques. Water Resources and Industry. s. 1–12

Vaclavik Vickie & Christian Elizabeth. 2014. Essential of Food Science. 4th Edition. New York, USA. Springer Science+Business Media.

Vehviläinen Mikko. Drink production specialist. 2021. Haastattelu. Hartwall Oy Ab. Lahti.

Watson G. 2021 Lean Six Sigma Green Belt course material. Estiem.

X Z. 2021. Haastattelu.

Xiong W., Li Y., Ren C., Li J., Li B. & Geng F. 2021. Thermodynamic parameters of gelatin-pectin complex coacervation. *Food Hydrocolloids*. Elsevier.

Zhou Y., Zhang J., Zhan Z., Wang O. & Xia S. 2018. pH dependent of the waste activated sludge reduction by short-time aerobic digestion (STAD) process. *Science of the Total Environment*. Vol. 659, s. 1307–1313