



Turun yliopisto
University of Turku

Kaurapohjaisten maidonkorvikkeiden CIP- pesuprosessin optimointi ennen lämpökäsittelyä

Diplomityö
Turun yliopisto
Bioteknologian laitos
Elintarvikekehityksen maisteriohjelma
Syyskuu 2024

ROOSA PELKONEN

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -järjestelmällä.

TIIVISTELMÄ

Kasvipohjaisten elintarvikkeiden kysynnän kasvu on monipuolistanut kauran hyödyntämistä elintarviketeollisuudessa. Uusien elintarvikeprosessien ja tehtaiden nopea pyrkimys käynnistää tuotanto ei ole mahdollistanut prosessien huolellista optimointia. Diplomityön tavoitteena oli optimoida uuden kaurapohjaisia maidonkorvikkeita valmistavan tuotantolaitoksen kiertopesujen (CIP) veden käyttöä. Työ toteutettiin Raisio Oyj:n Algot tehtaalle. CIP-pesujen optimointiin vaikuttivat puhdistettava tuote, käytetty kemikaali ja vesi sekä lämpötila, paine ja virtaus. Työ toteutettiin osana normaalia tuotantoa ottamalla huuhteluvesinäytteitä pesukohteiden koepesuista. Pesukohteita oli yhteensä 15. Koepesun onnistuminen todennettiin fysikaalista, kemiallista ja mikrobiologista puhtautta mittaavien analyysien avulla. Optimoinnin tuloksissa merkittävimpiä olivat tuotejämiä ilmaisevat kemialliset analyysit, kuten pitoisuuden titraus ja johtokyvyn mittaust.

Työn tuloksien mukaan pesukohteiden huuhteluihin kuluvan veden määrä ylitti selkeästi riittävään puhtauteen vaaditun veden määrän. Tulokset vastasivat ennako-oletuksien veden runsaasta käytöstä. Parametrimuutoksien avulla veden kulutus laski yhteensä 23,7 %, mistä merkittävimmän parametrin olivat loppuhuuhtelu (8,0 %) ja alkuhuuhtelu (6,6 %) parametrimuutokset. Virtausnopeuden nostaminen riittävälle tasolle nosti veden kulutusta, mutta sen vaikutus suhteessa muihin parametrimuutoksiin ei ollut merkittävä. Myös pesujen huuhteluiden teoreettinen enimmäiskokonaiskesto lyheni parametrimuutoksien vaikutuksesta kohtalaisen merkittävästi (25,2 %). Satunnaisesti pesujärjestelmä ei kuitenkaan toteuttanut pesuja asetettujen parametrimuutoksien mukaan, mikä heikensi parametrimuutoksien vaikutusten luotettavuutta. Pesujen puhdistuksen laatu ei heikentynyt huuhteluiden toteutuessa alkuperäisen ohjelman mukaisesti.

Parametrimuutoksien myötä vettä pystyttäisiin säästämään 2023 vuoden tuotantovolyymien mukaan 2,5 miljoonaa litraa, mikä lisäisi teoreettisesti vuoteen jopa 200 tuntia tuotantoaika. Muuttuvan tuotannon ja tuotantojärjestelmän luotettavuuden takia tulokset ovat suuntaa antavia. Diplomityö mahdollisti kaikesta huolimatta veden kulutuksen vähentymisen ja siitä seuraavat taloudelliset säästöt, jotka tukivat myös yrityksen ympäristötavoitteita kohti kestävämpää tulevaisuutta.

Asiasanat: CIP, puhdistus, optimointi, kaura.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö toteutettiin Raisio Groupin Algot-tehtaalla Raisiossa, lukuvuoden 2023–2024 aikana.

Haluan erityisesti kiittää Raision prosessi-insinööri Krister Kumpulaista, Turun Yliopiston dosenttia Oskar Laaksosta ja muuta ohjaustiimiä saamastani tuesta diplomityöni aikana. Kiitos myös Raisiolle työn mahdollistamisesta sekä koko Algotin tehtaan työporukalle avusta ja joustavuudesta.

Sen lisäksi haluan kiittää perhettä ja läheisiä kannustuksesta sekä kanssa opiskelijoita vertaistuesta tämän prosessin aikana. Ilman teitä tämä prosessi olisi ollut huomattavasti vaikeampi.

Turussa 11.09.2024

Roosa Pelkonen

Sisällys

Lyhenteet

1.	Johdanto.....	3
	KIRJALLISUUS-OSA 1	5
2.	Kaura	5
2.1.	Jyvän rakenne ja koostumus	5
2.2.	Kauran komponenttien toiminnalliset ominaisuudet.....	6
2.2.1.	Tärkkelys	6
2.2.2.	Beetaglukaani.....	7
2.2.3.	Proteiini.....	8
2.2.4.	Lipidi.....	10
2.2.5.	Muut yhdisteet	10
3.	Kaurapohjaiset maidonkorvikkeet.....	11
3.1.	Koostumus ja niiden vaikutus lopputuotteeseen	11
3.2.	Kauran karkeusaste.....	11
3.3.	Ensyymit.....	12
3.4.	Valmistusprosessi ja siihen vaikuttavat parametrit	12
4.	Puhdistaminen	14
4.1.	Tuotantohygienia.....	14
4.2.	Tuotannon puhdistusmenetelmät.....	15
4.3.	Kaurapohjaisten maidonkorvikkeiden pesuprosessi.....	16
4.4.	CIP-prosessi.....	17
4.5.	CIP-pesun toteutuminen	19
4.6.	Pesuliuosten ja huuhteluvesien kierrättäminen	20
4.7.	Huuhtelun vaiheet.....	21
4.8.	Pesuliuokset.....	22
4.9.	Puhdistuksien taajuudet	23
5.	Optimointi.....	25
5.1.	CIP-pesun optimointi.....	25
5.2.	CIP-pesun huuhteluiden optimointi.....	30
5.3.	Optimoinnin vaikutukset veden kulutukseen	31
5.4.	CIP-pesun optimoinnin onnistumisen mittarit.....	31
5.4.1.	Fysikaalinen puhtaus.....	32
5.4.2.	Kemiallinen puhtaus	32
5.4.3.	Mikrobiologinen puhtaus.....	33

KOKEELLINEN-OSA 2.....	37
6. Materiaalit ja menetelmät.....	37
6.1. Pesukohteet, pesuohjelmat ja muutettavat parametrit	39
6.2. Näytteet ja näytteenotto	40
6.3. Analyysit.....	41
6.3.1. Silmämääräinen arviointi	42
6.3.2. PH	42
6.3.3. Sähkönjohtokyky	43
6.3.4. Hapon ja emäksen konsentraation määrittäminen titraamalla	43
6.3.5. Mikrobiologiset analyysit	44
6.4. Tilastolliset ohjelmat ja analyysit.....	44
6.4.1. PlantMaster- ja Trend -ohjelmat	44
6.4.2. Excel	44
7. Tulokset	45
7.1. Koepesujen optimointi.....	45
7.1.1. Parametrimuutoksien vaikutukset fysikaalisiin tuloksiin	47
7.1.2. Parametrimuutoksien vaikutukset kemiallisten analyysien tuloksiin ..	48
7.1.3. Virtausnopeuden muutoksien vaikutukset pesuun.....	51
7.1.4. Mikrobiologisten analyysien tulokset.....	52
7.2. Pesukohteiden parametrit ja pesuohjelmat optimoinnin jälkeen	53
7.3. Parametrien ja pesuohjelmien muutoksien vaikutukset	54
7.3.1. Vaikutus vuositasolla.....	56
7.3.2. Huuhteluveden kierron toteutuminen ja sen vaikutukset vuositasolla.	59
8. Tulosten tarkastelu.....	61
8.1. Näytteenotto ja mikrobiologinen puhtaus	61
8.2. Koepesut	62
8.3. Kehitysehdotukset	63
9. Johtopäätökset	65
10. Lähteet:	66

Lyhenteet

AH	Alkuhuutelu
ATP	Adenosiinitriofosfaatti
BOD	Biokemiallisen hapenkulutuksen määrittämisen menetelmä
CC	Pesukohde, pesupiiri
CIP	Clean In Place, suljetuissa prosesseissa käytetty kiertopesu- menetelmä
COD	Kemiallinen hapenkulutus
COP	Clean Out of Place; puhdistusmenetelmä, joka soveltuu osittain tai kokonaan purettaviin prosessien puhdistukseen
EDTA	Etyleenidiamiidutetraetikkahappo
FBC	Rasvan sitomiskyvyn kapasiteetti
HCl	Vetyfloridi
L	Linja. Esimerkiksi L1=linja 1.
LH	Loppuhuutelu
NaOH	Natriumhydroksidi
RAW-CIP	Pesukeskus ennen lämpökäsittelyä
Re	Reynoldsin luku
VH	Välihuutelu
WHC	Veden sitomiskyky

1. Johdanto

Kaura elintarvikkeena on noussut pinnalla kasvipohjaisten tuotteiden suosion kasvaessa, minkä pohjalta on kehitetty erilaisia kaurapohjaisia maidonkorvikkeita perinteisten kauratuotteiden rinnalle (Giugliano ja muut 2023). Myös tietoisuus vastuullisuudesta on ohjannut kulutustottumusten muutoksessa, jossa eläinperäisten tuotteiden kuluttamista on pyritty vähentämään (Jalomaa 2020; Giugliano ja muut 2023). Elintarvikkeiden tuotanto ja kotitalouksien ruokahävikki muodostavat ison osan maailman kasvihuonepäästöistä (Meldal 2021). Elintarvikkeiden tuotannon osuus kasvihuonepäästöistä on jopa 37 %, josta yli puolet koostuvat maataloudesta ja eläinten kasvatuksesta (Meldal 2021). Euroopassa yritykset, Raisio mukaan lukien, pyrkivät toimimaan vastuullisemmin yhteisten päästötavoitteiden eteen (Eurooppa-neuvosto 2024; Raisio 2024a). Elintarvikkealla toiminta pitää sisällään elintarvikkeen kulkeutumisen maatilalta, elintarviketeollisuuden ja vähittäiskaupan kautta kuluttajille, josta uusiokäyttöön lajittelun ja kierrätyksen myötä (Elintarviketeollisuusliitto 2024). Oman toiminnan lisäksi yritykset pyrkivät varmistamaan, että myös elintarvikkeen pakkauskoko on käyttöön sopiva sekä pakkauksen kierrättäminen olisi mahdollisimman helppoa kuluttajalle (Elintarviketeollisuusliitto 2024; Raisio 2024b).

Yrityksen taloudelliset ja vastuulliset näkökulmat kulkevat käsikädessä, mikä näkyy myös tässä diplomityössä. Työn tutkimus toteutetaan Raision Algot-tehtaalla, jossa valmistetaan kaurapohjaisia elintarvikkeita, kuten kaurajuoma ja -vanukkaita. Algot tehdas on rakennettu vasta 2020-luvun alkupuolella ja tuotanto päästy aloittamaan vuonna 2021. Uusissa tehtaissa on yleensä vielä paljon kehityskohteita prosessien nopean käynnistämisen myötä, minkä myötä kaikkia toimintamalleja ja prosesseja ei ole keritty optimoimaan huolellisesti loppuun (Niamsuwan ja muut 2011). Myös kauran käytön monipuolistaminen elintarviketeollisuudessa on tuonut omat haasteensa prosessien puhtauden ylläpitämiseen. Diplomityön tarkoituksena on optimoida prosessin CIP-pesuja ennen lämpökäsittelyä. Työn rajautuu esivalmistuksen RAW-CIP pesukeskukseen ja sen pesukohteisiin. Työssä keskitytään vedenkulutuksen optimointiin, erityisesti huuhteluvesiin. Ennen työn aloittamista vedenkulutuksen arvioidaan olevan todella runsasta valmistettua lopputuotelittraa kohden. Vedenkulutus on suhteellisen suurta valmistettua tuotetta kohden, minkä takia vedenkulutuksen todellinen määrä halutaan selvittää.

Tutkimuksen prosesseissa pääkomponenttina käytetystä kaurasta löytyy hyvin rajallisesti tietoa, mikä toi työhön omat haasteensa. Taustaselvityksen mukaan kauran ominaisuudet tekevät kontaktipintojen puhdistamisesta haastavan (Avila-Sierra ja muut 2021), minkä takia optimoinnin onnistuminen varmistetaan puhtausanalyysien avulla. Validien puhtausanalyysien löytäminen tuo vielä lisähaasteensa jo haastavalle työlle. Jos sopivia keinoja ei löydetä, putkistoihin saattaa päästä kertymään elintarviketurvallisuutta uhkaavaa likaa. Tutkimuksen tavoitteena on optimoida kaurapohjaisten maidonkorvikkeiden tuotannon CIP pesuja vähentäen huuhteisiin kuluvan veden määrää huonontamatta pesujen lopputulosta. Työn tavoitteena on tehdä taloudellisia säästöjä vähentäen turhan puhtaan veden kulutusta ja optimoida kierrätettävän veden määrää. Diplomityön tavoitteita tukevat myös Raision vastuullisuustavoitteet ympäristöystävällisemmistä pakkauksista, tuotantoketjun kehittäminen vastuullisemmaksi sekä ympäristö ja ilmastotoimet, joilla pyritään saamaan tuotanto hiilineutraaliksi sekä ruoka- ja tuotantohävikin minimointi ja hyödyntäminen (Raisio 2024a).

KIRJALLISUUS-OSA 1

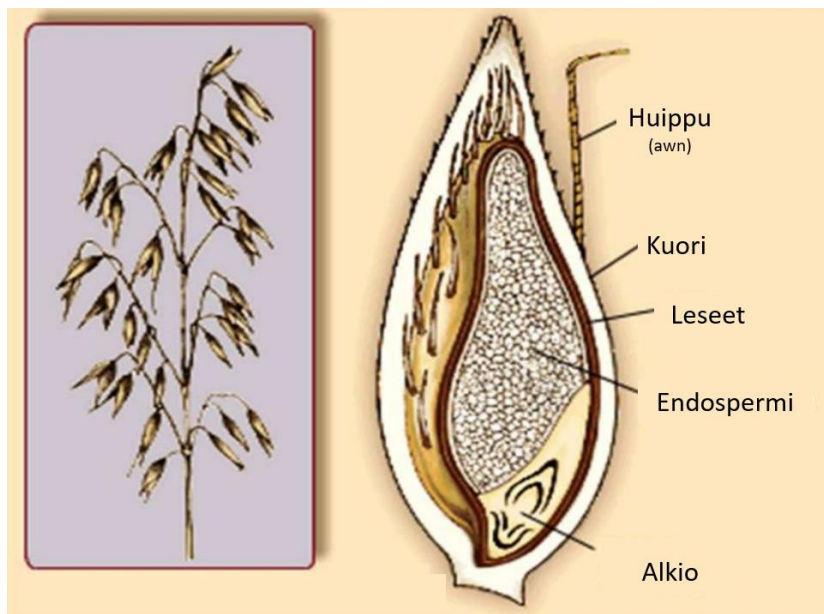
2. Kaura

Kaura (*Avena sativa*) on erityisesti Suomessa viljelty viljakasvi. Monien tutkimuksien mukaan kaurassa on paljon terveyttä edistäviä vaikutuksia, kuten kolesterolia ja glykeemistä vastetta alentava vaikutus sekä suoliston mikrobistoa ja verenpainetta tasoittava vaikutus. Terveystyödyistä huolimatta suurin osa viljelystä kaurasta päätyy eläinten rehuiksi tai kuivikkeiksi, ja vain muutama prosentti viljelystä kaurasta päätyy ruokalautaselle. Kauran huonon hyödyntämin seurauksena Maa- ja Metsätalousministeriö aloitti vuonna 1998 ohjelman, jonka avulla kehitettäisiin uusia kotimaisia elintarvikkeita kaurasta. Kauran kehittämistä edistävät kauran miellyttävä flavori bioaktiivisten yhdisteiden ansiosta. Kaurasta kehitetyt elintarvikkeet voidaan jakaa kahteen ryhmään: ei-fermentoiduttuihin ja fermentoiduttuihin elintarvikkeisiin. Ei-fermentoituja elintarvikkeita ovat kaurahiutaleet ja – jauhot sekä kaurajuomat, välipalajuomat ja vanukkaat. Fermentoituja elintarvikkeita ovat puolestaan kauragurtit, jotka voidaan rinnastaa maitopohjaisiin jogurtteihin. (Oksman-Caldentey ja muut 1999; Sangwan ja muut 2014)

2.1. Jyvän rakenne ja koostumus

Kauran jyvä rakenne koostuu kuorikerroksista, jauhoytimeistä eli endospermistä, alkiosta ja huipusta (kuva 1). Kauran uloin kuorikerros, akana, suojaa jyvää ulkoisilta vaurioilta. Akanan sisäpuolella olevaan leseeseen sisältyy sekä hedelmäseinä että siemenkuori. Hedelmäseinässä olevat solukerrokset sisältävä hyvin paljon ravintokuitua ja kivennäisaineita. Jyvän hyvän pigmenttisyiden mahdollistavat ohut siemenkuori, joka sisältää myös tanniineja ja polyfenoleja. Jyvän kuivapainosta noin 80 % muodostuu endospermistä, joka on erityisen tärkeä siinä olevien tärkkelyksien, proteiinien ja mineraalien takia. Endospermin uloin kerros, aleuronikerros, sisältää runsaasti proteiineja, hiilihydraatteja, rasvaa, vitamiineja ja kivennäisaineita. Endospermiin kuivapainoon verrattuna alkion osuus on hyvin pieni, vain noin 2–3 %, mutta kasvin kehittymisen kannalta alkio sisältää hyvin tärkeitä komponentteja, kuten aleissilmun, -juuren ja alkiokilven, jotka varastoivat ja kuljettavat ravintoaineista alkion ja endospermin välillä. Alkion kilpeen varastoituu erityisesti B1 vitamiinia, fosforia ja E-vitamiinia. Alkion hyvistä ravintoarvoista huolimatta, se poistetaan yleensä jauhon

valmistuksen yhteydessä korkean rasvapitoisuuden heikentäessä säilyvyysaika. (Johansson 2006; Leipätiedotus 2024)



Kuva 1. Kauran jyvän osat: huippu, kuori, leseet, endospermi ja alkio. (Paudel 2018)

Kauran jyvä koostuu neljästä pääkomponentista; tärkkelyksestä 60 %, proteiinista 14 %, lipideistä 7 % ja beeta-glukaanista 4 % sekä mineraaleista, vitamiineista ja alkaloidista. Kaurassa olevien komponenttien pitoisuudet vaihtelevat käytetyn kauralajikkeen ja kasvuolosuhteiden mukaan (Sangwan ja muut 2014). Muihin viljoihin verrattuna kauralla on korkeampi lipidipitoisuus sisältäen myös paljon tyydyttämättömiä rasvahappoja. Lipidipitoisuus vaihtelee 3,1–10,9 % käytetyn kauralajikkeen mukaan (Sangwan ja muut 2014). Kauran jyvän kuiva-aineesta 3,6–5,1 % koostuu beeta-glukaanista (Sangwan ja muut 2014). Kauran jyvä on hyvin proteiinipitoinen, mikä vaihtelee 15–20 % välillä. Suurin osa jyvän proteiineista on globuliineja (Deswal ja muut 2014).

2.2. Kauran komponenttien toiminnalliset ominaisuudet

Kauran käyttäytymiseen prosessissa vaikuttavat yhdisteiden, kuten hiilihydraattien, proteiinien ja rasvojen, toiminnalliset ominaisuudet. Toiminnallisiin ominaisuuksiin vaikuttavat puolestaan käytetty kauralajike sekä prosessointimenetelmä. (Kumar ja muut 2021)

2.2.1. Tärkkelys

Kauran jyvän hiilihydraateista noin 60 % on tärkkelystä. Kauran tärkkelys koostuu liukenemattomista tärkkelyksenjyvistä, jotka ovat kooltaan pieniä ja malliltaan

epäsäännöllisiä (Jokinen 2020). Koostumuksen lisäksi muihin viljoihin verrattuna kauran tärkkelys eroaa myös morfologialtaan (Olatunde ja muut 2023). Muiden viljojen tärkkelykseen verrattuna kauran tärkkelys on kooltaan pienempi ja pyöreämpi, mikä on osittain seurasta kauran lajikkeesta ja kasvupaikasta (Olatunde ja muut 2023). Kauran tärkkelyksestä noin 20–30 % on amyloosia ja 70–80 % amylopektiiniä (Ääri 2023). Korkea amylopektiinipitoisuus mahdollistaa elintarvikkeeseen tarvittavat hyytelöinti- ja sakeuttamisominaisuudet (Olatunde ja muut 2023). Lämpökäsittelyn aikana tärkkelysyvät sitovat itseensä nestettä, mikä aiheuttaa jyvien turpoamisen ja viskositeetin muodostumisen. Kauran tärkkelys vaatii 53–59 °C lämpötilan liisteröityäkseen. Liisteröitymisen aikana kiderakenteen hajoaminen hajottaa turvonneet tärkkelysyvät, minkä seurauksena tärkkelysjyvistä valuu ulos amyloosia ja amylopektiiniä. Jäähdytyksen aikana tärkkelysyvät kiteytyvät uudelleen vahvistaen geelimäistä rakennetta. Kauran tärkkelys sisältää vehnätärkkelystä enemmän lipidejä, minkä takia geelinmuodostukseen vaadittu korkeampi lämpötila hidastaa uudelleen kiteytymistä. (Ääri 2023)

2.2.2. Beetaglukaani

Kauran hiilihydraateista noin 10–12 % on kuituyhdisteitä, jotka toimivat kaurassa hydrokolloideina (Ääri 2023). Yksi kauran kuiduista on beetaglukaani, joka sijaitsee kauran jyvän siemenkuoren sisäpinnalla olevien endospermin ja aleuronikerroksen seinämän aleuronisoluiissa. Beetaglukaania esiintyy kauran lisäksi myös ohrassa. Kemiallista rakennetta tarkasteltaessa beetaglukaanit sisältävät β - (1–3) sidoksissa esiintyviä sellotriosyyllisiä ja sellotetrasyyllisiä yksiköitä (Wood 2010), jotka lisäävät elintarvikkeen luomaan immuniteettivastusta ja alentavat kolesterolia (Whitehead ja muut 2014). Kauran beetaglukaanin toiminnallisuuden ja bioaktiivisuuden on todettu olevan yhteydessä kauran viskositeettiin ja molekyylipainoihin (Sun ja muut 2020). Beetaglukaani aiheuttaa kauran geeliytymisen, jossa tärkkelyksen molekyylit hajoavat ja vapautuneille paikoille sitoutuu vesimolekyylejä. Geeliytyminen on nopeampaa ja voimakkaampaa, mitä suurempi kauran isolaatio ja pienempi molekyylipaino on. Geeliytymistä voidaan säädellä molekyylipainon ja pitoisuuden avulla. (Wood 2010)

Beetaglukaani on erittäin viskoosiliukoinen kuitu. Vesiliuoksiin beetaglukaani pystyy muodostamaan viskositeettia jopa hyvin alhaisissa lämpötiloissa (Ääri 2023). Beetaglukaani muodostaa selluloosan kanssa kalvon, joka suojaaa jyvää haitallisilta

ulkoisilta tekijöiltä, kuten kosteudelta ja haitta-aineilta. Elintarvikkeissa kauran kalvo toimii luonnollisena sakeuttaja ja stabilointiaineena. Myös kauran kalvossa oleva beetaglukaani lisää elintarvikkeen viskositeetistä ja tekstuurista sekä parantaa elintarvikkeiden laatua. (Oksman-Caldentey ja muut 1999) Nämä mahdollistaa beetaglukaanin geelitymis- ja vaahtoamisominaisuudet, mitkä muodostavat struktusoituja ja elastisia kaseiini-proteeni glukaanimatriiseja. Rakenteen lisäksi beetaglukaani parantaa lopputuotteen ravinnollisia ominaisuuksia sekä yhdessä muiden kuitujen kanssa antaa rasvaisemman suutuntuman. Rasvaisuus tuo aistinvaraiseen täyteläisen tunteen. (Brennan ja Cleary 2005; Väre 2020).

2.2.3. Proteiini

Kauran proteiinien toiminnallisten ominaisuuksien myötä liukoisuus, vaahtoaminen ja emulgoituminen ovat voimakkaampia muihin viljalajeihin verrattuna. Kauran proteiini voidaan jakaa neljään alaryhmään globuliinit 50–80 %, prolamiinit ja aveniinit 4–15 %, albumiinit 1–12 % ja gluteliinit 10 %. Prolamiinit kuuluvat alkoholiliukoisiin varastoproteiineihin, joista noin 80 % ovat suolaliukoisia globuliineja. Näistä suurin osa on 12S globuliineja, mutta joukosta löytyy myös 7S ja 3S globuliineja. Kaurassa esiintyvät globuliinit ovat palkokasvien globuliinien tapaan jaettu kuuteen alarykseen, jotka kaikki koostuvat happamasta ja emäksisestä polypeptidistä. Disulfididisoksen avulla polypeptidit ovat liittyneet kiinni toisiinsa. (Kumar ja muut 2021; Yue ja muut 2021)

Kaurassa on suhteellisen korkea proteiinipitoisuus ja sen myötä proteiinin laatu aminohappokoostumuksen suhteen on hyvä. Kaurasta ravitsevan tekevät erityisesti lysiini ja treoniini, joita kaurassa esiintyy muihin viljoihin nähden huomattavasti suurempia määriä. Kaurajauhossa proteiinipitoisuus on hyvin alhainen, mikä vaikuttaa proteiinien toiminnallisten ominaisuuksien voimakkuuteen. Kauran proteiini ei sisällä muiden viljojen tapaan gluteenia, minkä takia kaura lähtökohtaisesti sopii gluteenitonta ruokavaliota noudattaville kuin myös keliakikoille. (Kumar ja muut 2021) Toiminnallisiin ominaisuuksiin vaikuttavat myös käytetty kauralajike sekä käsittelyparametrit ja uuttomenetelmät. Esimerkiksi emäksisellä uutto-isoelektrisellä saostusmenetelmällä (AE-IEP) kauran proteiinin isolaatiolla on uuton saanto ja funktionaalisuus suurempi kuin suolauutolla. Myös kauran rakenteeseen, aromaattisiin

ominaisuuksiin ja aminohappoprofiileihin vaikuttavat käytetty kauralajike ja prosessointimenetelmä. (Yue ja muut 2021)

Kaurajauhojen fraktiointiprosessissa syntyvän kauraleseen, kauratärkkelyksen ja beetaglukaanin sivutuotteena erottuu kauraproteiini. Kauraproteiini voidaan poistaa myös tahattomasti kuidun fyysisen erotteluvaiheen aikana valmistaessa kaurajauhoja, kaurahiutaleita tai kaurajuomaa. Sivutuotteena syntyvää kauraproteiinia pyritään hyötykäyttämään elintarvikkeiden raaka-aineena samalla vähentäen hävikkiä. Kauraproteiinin koostumuksen sekä isolaattien toiminnallisuus ja saanto vaihtelevat aina uuttomenetelmän mukaan. Jos kauran isolaatti on eristetty luonnollisesti, kauraproteiinilla on hyvät liukoisuus ja emulgointi ominaisuudet, niin alhaisessa kuin myös korkeassa pH:ssa. Toiminnalliset ominaisuudet ovat kuitenkin huonot neutraalin ja lievän happamuuden olosuhteissa pH 4–7. Neutraaleissa ja lievissä happamuuksissa olevia proteiinien toiminnallisuuden parantaminen on kuitenkin mahdollista. (Kumar ja muut 2021)

Kaurajauhosta valmistetuilla tuotteilla on yleensä alhainen proteiinipitoisuus, mikä johtuu kaurajauhon yleisesti alhaisesta proteiinipitoisuudesta. Pitoisuus jää yleensä erityisen alhaiseksi, jos käytössä ei ole muita proteiinin lähteitä. Jotta kaurapohjaisista tuotteista saataisiin proteiinipitoisuudeltaan tai rakenteeltaan samantasoisia liha- ja maitotuotteiden kanssa, tulee tuotteeseen lisätä proteiinia. Myös sivutuotteena syntyvää kauraproteiinin isolaatteja ja konsentraatteja voidaan tarjota elintarvikkeisiin lisäproteiinin lähteinä. Näiden tuotteiden kaupallistaminen tuo lisäarvoetua muihin kasviproteiinin lähteisiin nähden. (Forsythe 1995; Kumar ja muut 2021)

Kauran proteiinit voivat toimia myös toiminnallisina sakeuttajina, emulgointiaineina, rakennemuutoksina ja stabilointiaineina, kuten hyytelöitymisessä. Emulgointiaineiden ominaisuuksia ovat vedenpidätyskyky, rasvan sitomiskyvyn kapasiteetti ja vaahtoamisominaisuudet. Natiivin kauraproteiinin toiminnallisuus on kuitenkin rajoittunutta nestemäisissä tai puolikiinteissä tuotteissa kauraproteiinin denaturoidun tilan vuoksi. (Kumar ja muut 2021) Kauraproteiinin käyttöä voidaan parantaa bioprosessoinnin avulla, kuten entsyymaattisella muokkauksella tai fermentoinnilla. Bioprosessoinnin on havaittu lisäävän kauran proteiinin antimikrobisia ja antioksidanttisia ominaisuuksia. (Olatunde ja muut 2023)

2.2.4. Lipidi

Kaura on hyvin rasvainen, noin 5–6 %, muihin viljalajikeisiin, noin 2 %, verrattuna. Viljojen rasvat ovat monitydyttymättömiä rasvahappoja, kuten linolihappoja. Kovia rasvoja viljoissa esiintyy erittäin vähän, eikä kolesterolia esiinny yhtään. Kauran rasvasta lähes kaikki sijaitsevat kauran kuoressa. Kuoritussa ja paljaassa kaurassa rasvapitoisuus alenee huomattavasti, mikä vaikuttaa kauran aromaattisiin ja toiminnallisiin ominaisuuksiin. (Yue ja muut 2021; Leipätiedotus 2024)

Kaurassa rasva sitoutuu proteiinien molekyyliin, mitä kuvataan rasvan sitomiskyvyllä. Suurempi sitomiskyky parantaa maun ja koostumuksen säilymistä elintarvikkeen jalostuksen aikana. Kauran isolaattien rasvan sitoutumiskyky on huomattavasti muiden viljojen isolaatteja suurempi, mikä johtuu sen pienemmästä irtotiheydestä (kg/m³). Albumiineilla on alhaisempi irtotiheys mahdollistaa myös rasvan sitoutumisen komponentteihin. Kauraproteiineihin voidaan tehdä myös kemiallisia modifikaatioita, jotka parantavat rasvan sitomiskykyä merkittävästi. Kemiallisia modifikaatioita voivat olla esimerkiksi sykkinylaatio ja asylaatio. Sykkinylaatioissa sukkinyyliiryhmä liittyy lysiinitähteeseen lisäten rasvaa houkuttelevia ryhmiä proteiinin rakenteeseen, kun taas asylaatioissa asetyyliiryhmän liittyessä lysiinitähteisiin, muokkaa se lysiinitähteen kemiallisia ominaisuuksia edistämällä rasvan sitoutumista. Lisääntynyt rasvasitomiskyky on erityisesti havaittavissa öljyillä, joilla on alhaisempi modifikaatioaste. Öljyn imeytymismekanismi voi parantaa rasvan sitoutumista proteiineihin. Puolestaan korkea modifikaatioaste voi lisätä hydrofiilisiä ryhmiä, jotka voivat vähentää rasvasitomiskykyä houkuttelemalla vettä rasvan sijaan. (Kumar ja muut 2021; Olatunde ja muut 2023)

2.2.5. Muut yhdisteet

Kaurassa on hyvä antibioottipitoisuus, noin 5,7 %, fenoliyhdisteiden ansiosta. Kauran fenoliyhdisteet sisältävät niin fenolihappoja kuin polyfenoleita, joissa molemmissa esiintyy hydroksyyliiryhmä. Kiinnittynyt hydroksyyliiryhmä tekee kaurasta antioksidanttisen ja sen myötä parantaa kauran ravitsemuspotentiaalia. Fenoliyhdisteet estävät lipidien hapettumisen ja sivureaktioiden tapahtumisen. Fenolien lisäksi kaura sisältää myös B1, B2, B3 ja E-vitamiineja, mitkä parantavat kauran ravitsemuksellisuutta. Kuitu sijaitsee kauran jyvän leseen hedelmäkerroksessa (kuva 1), joten jyvän kuoriminen parantaa kuitupitoisuutta. (Ibrahim ja muut 2020; Leipätiedotus 2024)

3. Kaurapohjaiset maidonkorvikkeet

Kasvipohjaisia maidonkorvikkeita on kehitetty korvaamaan lehmänmaidon tuotteita, erityisesti allergioiden ja eettisten syiden takia (Giugliano ja muut 2023). Ensimmäinen kasvipohjainen maidonkorvike on Aasiasta lähtöisin oleva soijajuoma (Mäkinen ja muut 2016), jonka rinnalle on kehitelty monia kasvipohjaisia maidonkorvikkeita, kuten manteli- ja kaurajuomia (Jalomaa 2020). Kaurapohjaiset maidonkorvikkeet ovat teknologisesti muiden kasvipohjaisten maidonkorvikkeiden tapaan veteen liunneen ja hajonneen kasvimateriaalin suspensioita (Mäkinen ja muut 2016). Lopputuotteen ravitsemuksellisiin ominaisuuksiin vaikuttavat kasvilähde, jalostusprosessi ja väkevyys (Mäkinen ja muut 2016). Lisäksi uusien elintarvikkeiden kehittämisessä aistittavien, kuten maun ja rakenteen, ja reologisten ominaisuuksien, kuten viskositeetin, merkityksen ymmärtäminen tuotteen tekstuurin, prosessointikäsitteilyn ja säilyvyyden kannalta ovat merkittäviä (Owusu-Apentin ja Vieira 2023).

3.1. Koostumus ja niiden vaikutus lopputuotteeseen

Kaurapohjaisten maidonkorvikkeet koostuvat baasista ja lopputuotteen mukaan lisättävistä muista raaka-aineista (Holappa 2022; Jalo 2014). Kaurajuomassa baasin lisätään yleensä öljyä, suolaa, vitamiineja ja lisäaineita (Holappa 2022). Baasi on kauran tai muun kasvipohjaisen raaka-aineen, veden ja entsyymien muodostama seos, jota käytetään kasvipohjaisten maidonkorvikkeiden pohjana (Jalo 2014). Käyttötarkoituksen mukaan käytetyn kauran karkeusastetta ja entsyymi vaihtuvat vaikuttaen muun muassa lopputuotteen sokereihin (Holappa 2022). Kaurapohjaisissa maidonkorvikkeissa kauran karkeus voi vaihdella kaurajauhon ja -hiutaleen välillä, kun taas entsyymeissä käytetyimpiä ovat α - ja β -amylaasi entsyymit (Holappa 2022). Holapaisen opinnäytetyössä kaurajuomassa kauran lähteenä käytettiin kaurajauhoa sekä entsyymeinä käytettiin α -amylaasia ja amyloglukosidaasia, jotka hydrolysoivat tärkkelyksen pienemmiksi polysakkarideiksi kaurajauhossa. α -amylaasin rooli on hajottaa tärkkelys maltoosiksi ja dekstriiniksi, ja amyloglukodaasin puolestaan pilkkoo polysakkaridit edelleen glukoosiksi (Zhang ja muut 2020).

3.2. Kauran karkeusaste

Kauran karkeus vaikuttaa erityisesti kauran tärkkelyksen liisteröitymiseen ja sitä kautta myös lopputuotteen rakenteeseen (Jokinen 2020). Kaurapohjaisten maidonkorvikkeiden valmistuksessa käytetään raaka-aineena kuoritusta kaurajyvistä höyrytyksen,

mahdollisen leikkaamisen ja litistämisen myötä valmistettuja kaurajauhoja, -hiutaleita tai -rouheita (Elovena 2024) Kaurajauhoa käytetään kaurajuomiin ja kahviin soveltuvien baasien valmistukseen, kun taas lusikoitavien ja juotavien välipalojen baasit pohjautuvat karkea rakenteisempiin kaurahiutaleeseen (Deswal ja muut 2014; CIP-prosessikaavio, Ravintoraisio, henkilökohtainen tiedonanto 11.9.2023) Kaurajauho on rakenteeltaan hienojakoisempaa kuin hiutaleet, rouheet, ja jyvät (Ibrahim ja muut 2020) Pienempi partikkelikoko ja suurempi tärkkelyspitoisuus mahdollistavat erityisesti jauhoissa suuren sidontakyvyn, mikä luo suuren konsistenssin liisteröitäessä ja kovemmat geelit säilytyksen aikana (Jokinen 2020). Vesipitoisempi kauraseos Jokisen (2020) tutkimuksen mukaan ei muodostanut kiderakennetta, eikä siten muodostanut kovettumia kontaktipinnoille.

3.3. Entsyymit

Entsyymien rooli kaurapohjaisten maidonkorvikkeiden valmistusprosessissa on hajottaa tärkkelystä (Holappa 2022). Kaurapohjaisten maidonkorvikkeiden valmistuksessa voidaan käyttää esimerkiksi α - ja β -amylaaseja (Holappa 2022), jotka katalysoivat tärkkelyksen hydrolyysin sokereiksi, mutta eroavat toisistaan toimintamekanismeiltaan ja substraateiltaan. Eroavaisuudet näkyvät lopputuotteessa. (Yue ja muut 2019).

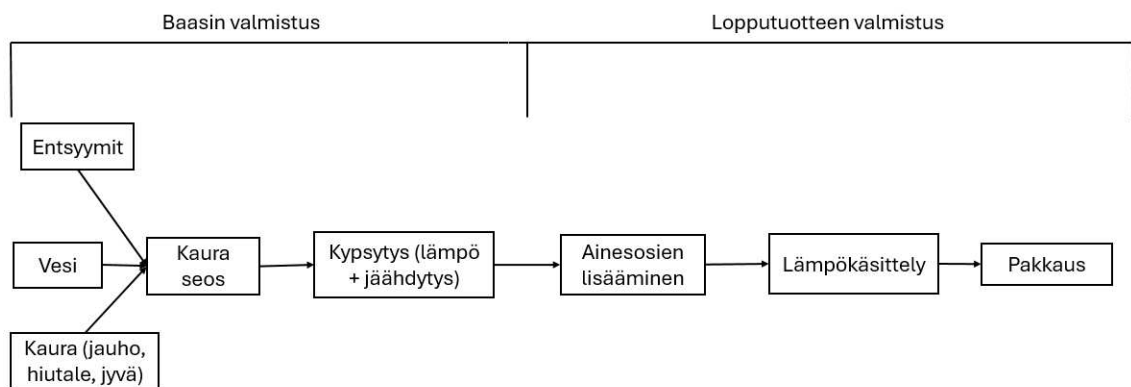
α -amylaasi katalysoi satunnaisesti α -1,4-glukosididoksia tärkkelysketjusta ja vastaavista α -glukaaneista, mikä aiheuttaa viskositeetin nopeaa vähentymistä. β -amylaasi katalysoi puolestaan systemaattisesti tärkkelysketjua ei-pelkistävästä päästä kohdistuen α -1,4-glykosisidoksiin. Molemmat entsyymit toimivat substraatteina amyloosilla ja amylopektiinillä tuottaen maltoosia sekä α -amylaasi toimii myös glykogeenilla muodostaen maltoosin lisäksi myös glukoosia ja maltotriooseja. (Janeček ja muut 2014)

Entsyymien toiminta parantaa kaurapohjaisten maidonkorvikkeiden koostumusta ja makeutta. Viskositeetin väheneminen ja liukoisten kuitujen erottuminen edistävät suutuntuman sileyttä ja paransivat stabiilisuutta. (Valoppi ja muut 2021)

3.4. Valmistusprosessi ja siihen vaikuttavat parametrit

Kaurapohjaiset maidonkorvikkeet valmistetaan muiden kasvipohjaisten maidonkorvikkeiden tapaan uuttamalla kasvimateriaali veteen, erottamalla neste sekä lopuksi formuloimalla lopputuote (Mäkinen ja muut 2016). Valmistusprosessi voidaan jakaa kahteen: baasin ja lopputuotteen valmistukseen (Kuva 2) Baasin valmistus alkaa

kauraseoksen valmistuksella, jossa kaura, prosessivesi ja entsyymit sekoitetaan säiliössä keskenään. Prosessissa käytetyn kauran rakenne valitaan valmistettavan lopputuotteen mukaan. Sekoitettu kauraseos kypsytetään lämmön ja jäähdytyksen avulla. Prosessin sivutuotteena syntyy liukenematonta kauraa, josta käytetään nimitystä okara (Holappa 2022). Valmiiseen baasiin lisätään lopputuotteen reseptin mukaan loput ainesosat (Holappa 2022). Lopputuotteen säilyvyyden kannalta prosessin vaiheista homogenisointi ja lämpökäsittelyt ovat välttämättömiä, jotta tuotetta voidaan käyttää sellaisenaan tai mahdollisesti jalostaa eteenpäin (Mäkinen ja muut 2016)



Kuva 2. Kaurapohjaisten maidonkorvikkeiden valmistusprosessi yksinkertaistettuna. Prosessi voidaan vielä jakaa baasin ja lopputuotteen valmistukseen. (Jalo 2014; Holappa 2022; Prosessikaavio, Ravintoraisio, henkilökohtainen tiedonanto 11.9.2023)

.)

Elintarvikkeiden koostumuksen lisäksi reologisia tietoja tarvitaan nestevirtaukseen liittyvien prosessin vaiheissa, kuten uutossa, suodatuksessa ja pesuissa. Tiedot auttavat myös elintarvikeprosessien analyysissä, joissa virtausolosuhteiden merkitys on suuri. Näitä prosesseja ovat esimerkiksi pastöinti, haihdutus ja kuivaus. Kaurajuomaa valmistetaan muiden kasvipohjaisten maidonkorvikkeiden tapaan liottamalla kaura veteen, minkä jälkeen kaura-vesiseos jauhetaan ja siirretään uuttotankkeihin. Kauran tärkkelyksen hajoamiseksi uuttotankkeihin lisätään entsyymeitä, kuten alfa- ja beeta-amylaaseja (Holappa 2022). Hydrolyysin seurauksena syntyy maltodekstriinejä, joiden avulla tuote säilyttää nestemäisen koostumuksen, eikä lämpötilan noustessa tuote geeliydy ja kovetu. Kauran tärkkelyksen geeliytyminen tapahtuu jo 44,7–73,7 °C asteessa. Kauratärkkelyksen nesteyttäminen entsyymaattisesti vähentää viskositeettiä sekä lisää saantoa parantamalla suodatusprosessia. Entsyymikäsittelyssä entsyymit vaikuttavat tärkkelykseen, mikä vähentää tuotteen kiintoainepitoisuutta. (Deswal ja muut 2014)

4. Puhdistaminen

Elintarvikeprosessin onnistumista varten raaka-aineiden ja pintojen tulee olla puhtaita. Elintarvikkeiden ja kontaktipintojen riittävä puhtaus on määritelty elintarvikelaissa (L 297/2021). Lain tarkoituksena on suojella kuluttajan terveyttä ja taloutta. Raaka-aineiden lisäksi epäpuhtauksien määrä tulee mitata myös elintarvikkeita käsitteleviltä pinnoilta, jotta osataan tehdä mahdollisia muutoksia tuotantohygieniaan. (Deswal ja muut 2014)

4.1. Tuotantohygienia

Riittävän puhtauden ylläpitämiseksi tuotantotiloissa tulee noudattaa tuotantohygieniaa koskevia hygieniavaatimuksia. Tuotantotilojen hygieenisellä suunnittelulla pystytään varmistamaan, että vältetään esimerkiksi niin tehtaan ulkopuolisilta kuin myös sisäisiltä vaaroilta. Hygieenistä suunnittelua voidaan toteuttaa elintarviketeollisuudessa esimerkiksi jakamalla tuotantotiloja alueisiin, joita ovat neutraalin, hyvän ja korkean hygienian alue sekä likainen alue. Alueiden jakamisella pystytään minimoimaan ristisaastumiset alueiden välillä, esimerkiksi raaka tulee pitää erillään kypsästä tuotteesta sekä pakattu pakkaamattomasta tuotteesta. (Ruokavirasto 2023) Myös riittävä tuotantotilan määrä ja oikeanlaiset materiaalit tuotantolaitteissa, -välineissä ja -pinnoilla, auttavat pitämään tuotannon puhtana. Elintarviketeollisuudessa on suositeltavaa käyttää metalliosissa ruostumatonta terästä, jotta korroosio ei aiheuta riskiä elintarvikkeiden turvallisuudelle. Elintarvikekontaktipintojen tulee olla hyväkuntoisia ja sileitä, jotta puhdistus olisi mahdollisimman onnistunut. (Hughes 1933; Jackson ja muut 2008)

Elintarviketeollisuudessa puhtaasta käsihygieniasta huolehtiminen on erittäin tärkeää. Oikeaoppisesti kädet pestään veden ja käsisäippuan kanssa. Elintarvikkeisiin ja niitä koskeviin pintoihin saa koskea vain puhtain ja tervein käsin. Käsistä tarttuvien mikrobien ja lian leviämistä voidaan ehkäistä käsihanskoilla. Suojahanskat tulee vaihtaa myös riittävän usein estääkseen ristikontaminaation. Suojahanskojen käyttö on erityisen tärkeää, jos ollaan kosketuksissa pakkaamattoman elintarvikkeen kanssa tai käsissä on haava. Suojakäsineiden käyttö ei sulje pois käsien säännöllistä puhdistamista. Käsihygienian lisäksi tulisi muistaa puhtaiden vaatteiden ja kenkien käyttö. (Ruokavirasto 2023) Puhdastyöskentely tuotannossa tarkoittaa myös näytteenottoa, jossa suojahanskojen käyttö on erityisen tärkeää, kun halutaan analysoida mikrobiologisia näytteitä. Näytteenottajalla tulee olla riittävä ymmärrys näytteen ottamisesta, käsittelystä

ja säilytyksestä. Näytteenotto toteutetaan näytteenottosuunnitelman mukaan. (Ruokavirasto 2018)

4.2. Tuotannon puhdistusmenetelmät

Elintarviketeollisuudessa puhdistusmenetelmät voidaan karkeasti jakaa pestävän prosessin mukaan avoimiin ja suljettuihin puhdistusprosesseihin. Avoinprosessin puhdistaminen tapahtuu yleensä manuaalisesti käsityönä ilman sen suurempaa automatiikkaa. Manuaalisen puhdistuksen lisäksi avoimissa prosesseissa voidaan käyttää myös vaahto- tai geelipesua, joissa vaikutusaika pitenee manuaaliseen puhdistukseen verrattuna (Jackson ja muut 2008). Avoimeen pesuprosessiin verrattuna suljetun prosessin pesu on huomattavasti automatisoidumpi, mikä mahdollistaa puhdistuksen laadun pysymisen vakiona, eikä puhtauden taso vaihtele avoimen prosessin tavoin. Avoimen prosessin pesuista puuttuu myös prosessivesien kierrättäminen, minkä takia pesua ei voida pitää niin tehokkaana ja ekologisena vaihtoehtona kuin suljetussa pesuprosessissa. (Wirtanen 2002) Suljetun prosessin puhdistamiseen soveltuu yleensä CIP-pesu (Clean In Place), mutta jos prosessia on purettava osittain ennen puhdistamista, menetelmänä käytetään silloin COP-pesua (Clean Out of Place) (Jackson ja muut 2008). Puhdistusmenetelmän valinnassa tulee ottaa huomioon proteiinin luonne, elintarvikematriisi ja tuotantolaitteiston tyyppi (Jackson ja muut 2008).

Tuotannon puhdistamisessa käytetyn veden tulee soveltua ihmisten käyttöön ja sen laatu on määritelty Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivissä (EU) 2020/2184. Direktiivin mukaan talousveden tulee olla puhdasta ja terveellistä juomavettä, eikä se saa sisältää mitään, mikä voisi vaarantaa ihmisen terveyttä. Talousvesi soveltuu sellaiseen elintarviketeollisuuden käyttöön, mutta yrityksen tarpeen mukaan veden laadun tasoa voidaan nostaa jatkokäsittelyn avulla. Jatkokäsittely tapahtuu yrityksen toimesta tai sopia siitä erikseen vesihuoltolaitoksen kanssa. Veden käsittelyssä voidaan hyödyntää erilaisia suodatus- ja puhdistusmenetelmiä, kuten ultrasuodatus, koagulaatio, flokkulointi ja UV-C-valo desinfiointi, jotka voivat poistaa vedestä mikrobikontaminaatioita. (World Health Organization 2023). Käsiteltyä puhdasta vettä elintarviketeollisuudessa kutsutaan prosessivedeksi, josta poikkeaa ainoastaan prosessissa uudelleenkäytettävä vesi eli kiertovesi. (Maa- ja Metsätalousministeriö 2014)

4.3. Kaurapohjaisten maidonkorvikkeiden pesuprosessi

Kaurapohjaisten maidonkorvikkeiden valmistusprosessi on suljettu meijeri- ja panimoteollisuuden prosessien tapaan (Niamsuwan ja muut 2011). Suljetun prosessin putkistoiden ja säiliöiden puhdistamiseen käytetään yleensä CIP-pesumenetelmää, joka perustuu pesuaineiden kemialliseen aktiivisuuteen ja virtauksen tai paineen mekaanisiin ominaisuuksiin pesten elintarvikkeiden kanssa kosketuksissa olevat pinnat. Mekaanisen virtauksen tulee saavuttaa vähintään 1,5 m/s (Forsythe 1995), jotta voidaan saavuttaa riittävä mekaaninen vaikutus. Todellisuudessa virtausnopeuden tarve voi olla paljon suurempi, jotta esteiden läpi kulkeva virtaus saavuttaisi myös riittävän paineen omaavan virtauksen. Riittävällä virtausnopeudella pystytään minimoimaan putkiston kuolleisiin kulmiin jäävät tuotejäämät (Wirtanen 2002).

Tuotejäämien sisältävien raaka-aineiden ominaisuudet vaikuttavat tuotejäämän kovuuteen, ja sen myötä myös puhdistukseen. Kaurapohjaiset maidonkorvikkeet ovat koostumukseltaan nestemäisiä pitäen kontaktipinnat kosteina, mikä mahdollistaa mikro-organismien nopeamman lisääntymisen tuotejäännöksiin. Pintojen puhtaana pitäminen vaatii aina tehokkaan puhdistuksen heti tuotannon loppumisen jälkeen. (Niamsuwan ja muut 2011) Kaurapohjaiset maidonkorvikkeiden sisältämä tärkkelys (Jokinen 2020) muodostaa lämpökäsittelyn seurauksena tärkkelyskerroksia, jotka aiheuttavat pintojen likaantumisen (Avila-Sierra ja muut 2021). Tärkkelyksen sisältää liukenematonta amylaasia, jonka haastava puhdistaminen edellyttää emäksisten kemikaalien käyttöä korkeissa lämpötiloissa. (Avila-Sierra ja muut 2021) Kerrostuman muodostama kalvo kerryttää kosketuksissa oleville pinnoille helpommin likaa ja epäpuhtauksia, mitkä sakeuttavat pesuvettä. Liiallinen määrä likaa pesuvedessä heikentää pesuprosessia, ja puhdistus saattaa vaatia myös huuteluiden pidentämisen kemikaalien ja lämpötilan optimoinnin lisäksi. (Oksman-Caldentey ja muut 1999)

Pesun lopputulokseen vaikuttavat kauran ominaisuuksien lisäksi myös puhdistettavan pinnan materiaali ja lämpötila. Jos puhdistettava pinta on kylmä, tuotejäämät kuivuvat helposti. Tällöin pesu on aloitetta heti tuotannon loppumisen jälkeen. Puolestaan kuumien pintojen puhdistaminen on haasteellisempaa esimerkiksi nopean haihtumisen myötä. Kontaktipinnan lämpötilan lisäksi myös pesuaineen lämpötila vaikuttaa pesun lopputulokseen. Happamien pesuaineiden kanssa veden lämpötilan tulisi olla +60–70 °C, kun taas emäksisten pesuaineiden kanssa veden lämpötilan tulisi olla korkeampi kuin 70–

80 °C. Jos puhdistettava tuote on proteiinipohjainen, pesulämpötilan tulee olla alhaisempi, kun taas rasvapohjaisten puhdistuksessa korkeampia lämpötiloja. Kaura on raaka-aineena rasvainen, minkä takia pesujen aikana tulee käyttää korkeampia lämpötiloja. Lämpötilan nostaminen parantaa kemiallisen pesun tehokkuutta, mikä mahdollistaa myös alhaisemman pesuainepitoisuuden käytön saman lopputuloksen saavuttamiseen. Alhaisempien pesuainepitoisuuksien käyttö on myös mahdollista kiertopesussa, koska suljettuun prosessiin ei pääse vierasesineitä ja pinnoilla esiintyy vain tunnettuja epäpuhtauksia. Puhdistuksen lopullinen tulos on kaikkien vaikuttavien tekijöiden summa, jos toista heikennetään, täytyy toista ominaisuutta parantaa, niin päästään parhaimpaan mahdolliseen lopputulokseen. (Wirtanen 2002)

4.4. CIP-prosessi

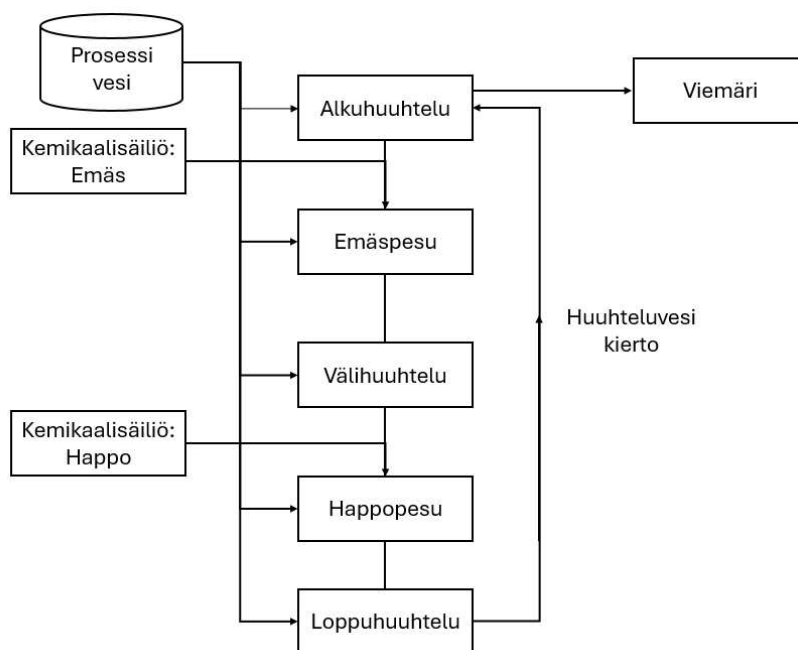
CIP-kiertopesun tavoitteena on puhdistaa tuotelinjat purkamatta kuitenkaan niitä. Yksinkertaisuudessaan pesuprosessi koostuu alkuhuuhteesta, pesusta ja loppuhuuhteesta. CIP-pesuihin ei ole olemassa yhteneväisiä prosessin parametrejä, jota voisi käyttää missä tahansa prosessissa. Jokaisen tehtaan prosessin puhdistus tulee suunnitella aina kyseisen prosessin tarpeiden mukaan, minkä pohjalta pesuprosessiin voidaan lisätä pesuvaiheita, huuhteluita ja desinfiointeja. Desinfioinnin käyttöä kuitenkin tulee harkita, sillä se vie paljon aikaa ja on kallista. Jopa 25 % puhdistuksen kustannuksista koostuu desinfioinnista (Silva ja muut 2023). Prosessissa pesuliuokset ja vesi kiertävät kaikki pesukohteet, joissa tuotettakin on kulkenut. CIP-pesu tapahtuu hyvin automatisoidusti, minkä ohjaaminen tapahtuu joko ohjauspaneelilta tai tietokoneelta. Ohjelmoitujen pesuohjelmien avulla pumput ja venttiilit toimivat halutulla tavalla. Automatisoinnin myötä pesujen toistettavuus pysyy hyvällä tasolla, työvoimakustannukset alhaalla ja prosessi tehokkaampana (Silva ja muut 2023). (Forsythe 1995)

CIP-järjestelmiä on olemassa kahdenlaisia, pesuliuoksia kierrätettäviä ja ei kierrätettäviä järjestelmiä. Pesuliuoksien kierrätyksessä pesuliuokset otetaan talteen ja väkevöitetään ne seuraavaa käyttöä varten. Pesuliuoksen kierrättäminen soveltuu prosesseihin, joissa pesuliuokseen ei kerry liian suuria määriä likaa. (Forsythe 1995)

Tyypillisesti CIP-pesuprosessi voidaan jakaa emäs- ja emähappopesu ohjelmiin, mistä jälkimmäinen on kuvattu kuvassa 3. Molemmat pesuohjelmat alkavat 5 minuutin kylmällä ja kierrätetyllä alkuhuuhtelulla. Alkuhuuhtelun aikana tuotejäätävät ohjataan putkistoista viemäriin. Poistamiseen käytetään apuna painovoiman ja huuhteen lisäksi

painetta, joka voidaan saada aikaan myös putkessa kulkevan kappaleen avulla. Tuotejäämän ohjaamisessa apuna prosessin aikana käytetään venttiileitä, esimerkiksi monimutkaisissa prosesseissa käytetään yleensä sameussensoreita varmistamaan, ettei tuotejämiä ole jäänyt puhdistuksen jälkeen putkistoon. Sensorin tueksi on hyvä asettaa ajastin, jossa oleva tunnistin ilmoittaa mahdollisesta häiriöistä. Näin pystytään ennalta ehkäisemään suuremmat vahingot venttiilien kääntyessä oikeaan asentoon. Alkuhuuhde on yleensä kylmää, mutta lämmitetyllä esihuuhteella voidaan tehostaa tuotejäämän poistumista. (Tamime 2008) Alkuhuuhtelua seuraa emäspesu, joka tapahtuu noin 80 °C 15 minuutin ajan natriumhydroksidiliuoksella. Emäspesu alkaa osittain alkuhuuhtelun kanssa päällekkäin, mutta emäspesun alkuosa valutetaan viemäriin yhdessä alkuhuuhteen kanssa. Loput emäspesuliuksesta kierrätetään ja johdatetaan takaisin pesuliuossäiliöön. Emäspesun jälkeen on joko väli- tai loppuhuuhtelu riippuen pesuohjelmasta. Emäshappopesussa emäs vaiheen jälkeen on välihuuhtelu, joka alkuhuuhtelun tapahtuu kylmällä ja puhtaalla vesijohtovedellä 3 minuutin ajan. Välihuuhtelun alkuosa sisältää emäspesuaineen jäämiä, minkä takia se palautetaan emäspesuliuksen kanssa pesuliuossäiliöön. Loput välihuuhtelusta kulkeutuvat kierrätetyn veden säiliöön, jota käytetään uudelleen alkuhuuhteena. Toinen pesuvaihe on happopesu, jossa pesuaineena käytetään kylmää 60 °C typpihappoliuosta. Pesuvaihe on kestoltaan 10 minuuttia, minkä runsaasti tuotejämiä sisältävä alku ohjataan viemäriin ja loput happopesuliuksesta kierrätetään emäspesun tapaan. (Forsythe 1995)

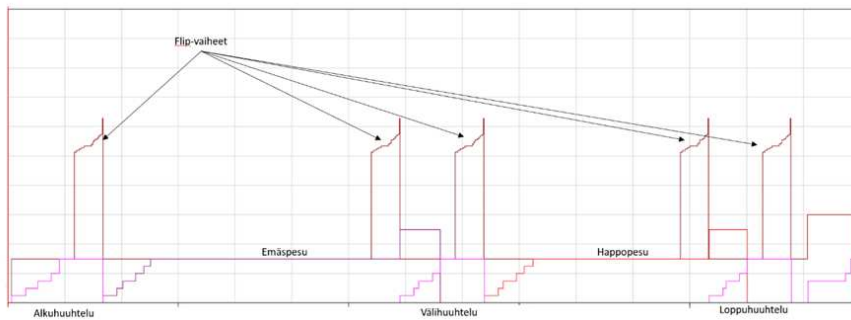
Emäs- ja emäshappopesun viimeinen vaihe on loppuhuuhtelu, joka on muistuttaa hyvin paljon välihuuhtelua toteutuen puhtaalla ja kylmällä vedellä 3 minuutin ajan. Myös loppuhuuhtelun kierrättäminen toistaa välihuuhtelua; alkuosa huuhteesta ohjataan pesuliuossäiliöön ja loput kierrätetyn huuhteluveden säiliöön. Jos huuhtelusäiliön tilavuus nousee yli sallitun rajan, ylimääräinen vesi lasketaan viemäriin. Kierrätetyn huuhteluveden muodostuminen ja käytön tulee pysyä tasapainossa CIP-pesujen optimoinnin näkökulmasta. (Forsythe 1995) Puhdistuksen loppuhuuhtelu voidaan korvata myös kuumavesihuuhtelulla desinfioiden pesulaitteiston. Kuumavesihuuhtelussa korkeampi lämpötila, 80–90 °C, ja vaiheen pidempi kesto aiheuttavat kustannuksia, minkä takia kuumaveden käyttö tulee tehdä harkiten. Kaikilla pesuvaiheilla on edellä olevan tekstin mukaan oma merkityksensä puhdistusprosessin kannalta, mutta yksinkertaisimmillaan puhdistukseen tulee kuulua ainakin alkuhuuhtelu emäspesu ja loppuhuuhtelu. (Seefried Verfahrenstechnik 2024.; VWR 2024b, 2024c).



Kuva 3. CIP-pesun prosessikaavio, emäshappopesu. CIP pesuvaiheisiin kuuluvat alku-, väli- ja loppuhuuhdtelu sekä emäs- ja happopesuvaiheet. Huuhteluissa käytetty vesi kierrätetään uudelleen käyttöön alkuhuuhdeksi (CIP-prosessikaavio, Ravintoraisio, henkilökohtainen tiedonanto 11.9.2023; Tamime 2008)

4.5. CIP-pesun toteutuminen

CIP-pesun toteutuminen voidaan havainnollistaa myös kuvaajan avulla (Kuva 4), jossa kaikki pesuvaiheet etenevät lineaarisesti vasemmalta oikealla alkuhuuhdeesta aina loppuhuuhdeeseen asti. Kuvaajassa pesuvaiheiden toteutumista kuvataan erivärisillä viivoilla; pinkki ilmaisee huuhteluita violetti emäspesua ja punainen happopesua sekä ruskea viiva pesukohteen piirin toimintaa. Kuvasta voidaan havaita, että jokaista huuhtelu- ja pesuvaihe seuraa flip-vaiheet. Flip-vaiheiden aikana venttiilit avautuvat ja sulkeutuvat hyvin nopeasti muodostaen putkeen suuremman paineen (Fan 2018). Syntyvän paineen avulla myös venttiilin tiivisteet saadaan puhdistettua (Fan 2018). Flip-vaiheet ovat pesuohjeimien tapaan hyvin yksilöityjä pesukohteen tarpeen mukaan. Flip-vaiheet kuuluvat osaksi ruskealla viivalla havainnollistettua pesupiirin toimintaa, joka kertoo myös koko pesun etenemistä, vaiheita ja kestoista (Fan 2018).

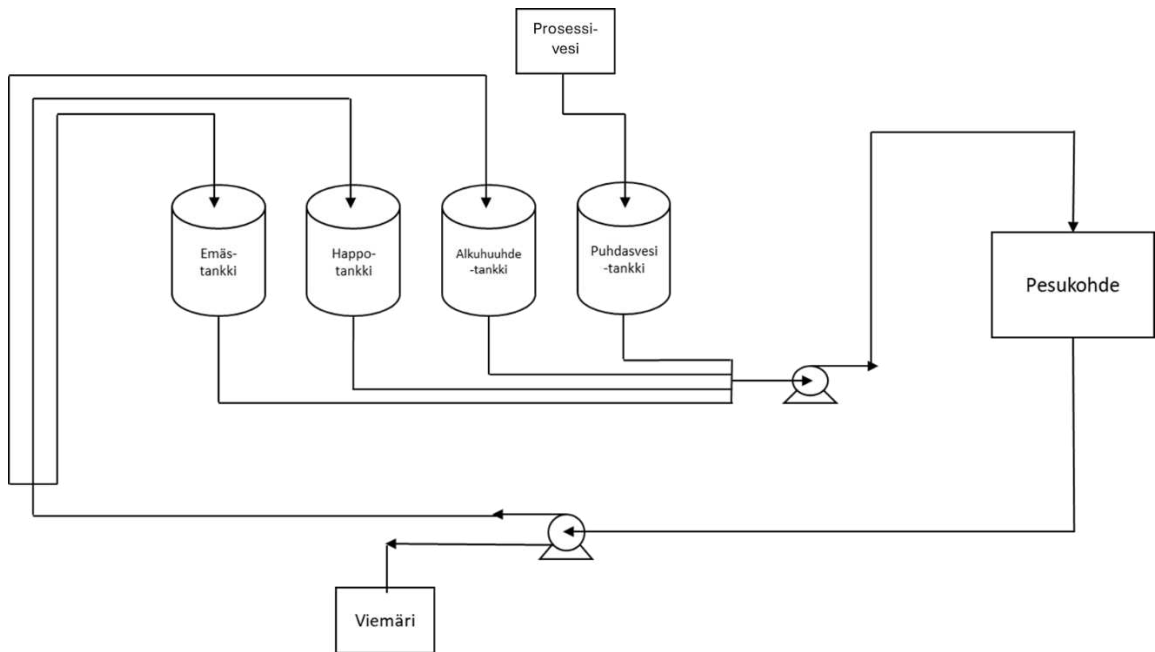


Kuva 4. CIP emäshappopesun toteutuminen vaiheittain. Emäshappopesun koostuu alkuhuuhtelusta, emäspesusta, väliluuhtelusta, happopesusta ja loppuhuhtelusta. Jokaisen pesuvaiheen lopussa esiintyvät flip-vaiheet. (Trend-ohjelma, Ravintoraisio, henkilökohtainen tiedonanto 6.11.2023)

4.6. Pesuliuosten ja huuhteluvesien kierrättäminen

Huuhteluvedet ja pesuliuokset kiertävät prosessin kaikki pesukohteet puhdistaan ne. Puhdistuksen myötä liuokset likaantuvat tuotejäämistä. Erittäin likaiset liuokset ohjataan viemäriin, mutta muut liuokset pyritään kierrättämään. Puhtaammat väli- ja loppuhuhteet kierrätetään sellaisenaan ilman erillistä käsittelyä, mutta pesuliuoksien uudelleen käyttämiseksi liuokset väkevöitetään pesuliuossäiliöissä. Kierrätetyn huuhteluveden ja pesuliuoksien kiertoa prosessissa on havainnollistettu Kuva 5 prosessikaaviossa, johon on liitetty myös puhtaan huuhteluveden kulkeutuminen prosessiin. Liuoksien kierrättämisen aikana virtausnopeus putkissa pysyy aina vakiona. (Forsythe 1995)

Huuhteluiden ja pesuliuosten kierrättämisen myötä säiliöiden puhtautta tulee seurata säännöllisesti, jotta mahdollisiin muutoksiin osataan reagoida nopeasti, ennen kuin prosessin puhtauden taso laskee kriittisesti. Säiliöt puhdistetaan automatisoidusti puhdistuksen laadun varmistamiseksi, sillä manuaalinen puhdistus on haastavaa ja epätaloudellista. Automatisoidussa puhdistuksissa säiliöön asennetaan pesupalloja, joiden avulla saadaan puhdistettua kaikki säiliön sisäpinnat. Kierrättämällä huuhtelu- ja pesuliuoksia pystytään vähentämään puhtaan veden ja kemikaalien kulutusta, ja siten tekemään isoja taloudellisia säästöjä. (Forsythe 1995; Niamsuwan ja muut 2011)



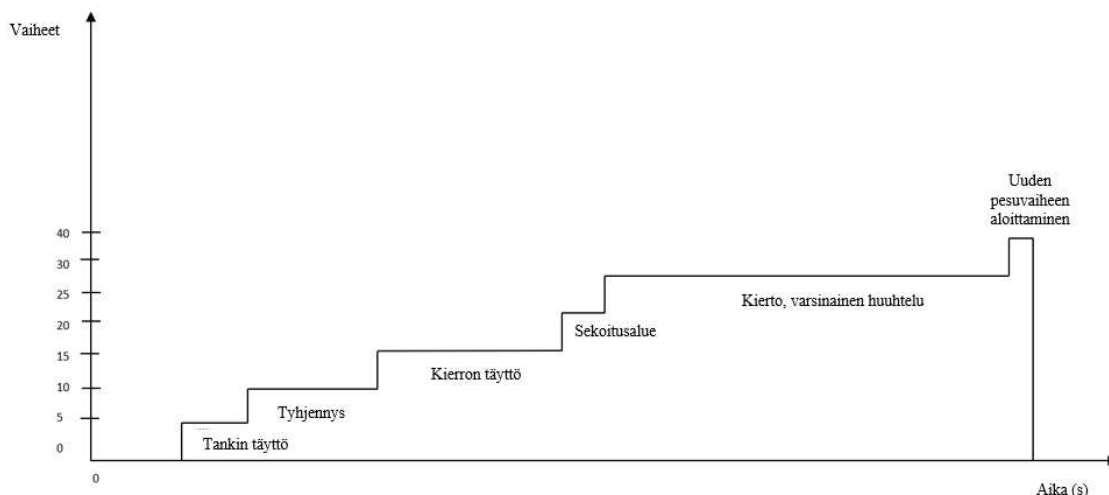
Kuva 5. Emäs- ja happopesuliuksien sekä kierrätetyn alkuhuuhteen ja puhtaan veden kierto CIP-pesuprosessissa. Säiliöstä vaihteen kautta liuokset kulkeutuvat pesukohteeseen ja sieltä viemäriin tai uudelleen kiertoon. (CIP-prosessikaavio, Ravintoraisio, henkilökohtainen tiedonanto 11.9.2023)

4.7. Huuhtelun vaiheet

Huuhtelut koostuvat eri vaiheista, jotka on esitetty yksinkertaistetusti Kuva 6. Huuhtelut alkavat tankin täytöllä ja tankin tyhjennys vaiheella. Tyhjennysvaiheen aikana tankki tyhjenee edellisen vaiheen aikana tulleesta huuhtelusta, mutta myös jos tankkiin on jäänyt edellisestä erästä tuotetta. Edellisen erän tuote ohjataan reclaim-säiliöön mahdolliseen uudelleen käyttöön, kun taas huuhteluvesi viemäriin. Tyhjennyksen kesto vaihtelee aina tilanteen mukaan. Tyhjennyksen todellisen keston tarpeen määrittää pinta-anturi, joka on useimmiten hydrostaattinen tai kapasitiivinen (Endress+Hauser 2024). Sopiva anturi määritetään säiliön koon ja omien mieltymyksiensä mukaan. (Endress+Hauser 2024). Tankin täyttö- ja tyhjennysvaiheet esiintyvät vain tankkipesukohteissa, kun taas linja pesukohteiden huuhtelu alkaa suoraan kierron täytöstä. Kierto täytetään ennen mix zonea eli sekoitusaluetta, jolla varmistetaan varsinaisen huuhtelun onnistuminen. Varsinainen huuhtelu on kaikista vaiheista selkeästi pisin. Huuhtelun lopettaa vaihe 40, joka aloittaa uuden pesuvaiheen. (Trend-ohjelma, Ravintoraisio, henkilökohtainen tiedonanto 6.11.2023)

Kaikki alku-, väli- ja loppuhuuhdeltu koostuvat samoista vaiheista, mutta vaiheiden kestot vaihtelevat pesukohteen ominaisuuksiensa mukaan. Vaiheet ovat pesun alusta loppuun samat, mutta ainoastaan varsinaisen huuhtelun kesto vaihtelee alku-, väli- ja loppuhuuhdeltujen välillä. Esimerkiksi kierron täytön optimoimisessa on otettava huomioon, että täytön keston on oltava yhtä pitkä sekä emäs- että happopesuvaiheissa.

Erityisesti johtokyvyn hitaat muutokset huuhteluiden ja pesuvaiheiden välillä voivat viitata optimoinnin tarpeeseen. Alku- väli- ja loppuhuuhteen kiertovaiheet ovat kestoiltaan pisimpiä, mikä voi viitata suurempaan optimoinnin mahdollistamaan hyötyyn. (Trend-ohjelma, Ravintoraisio, henkilökohtainen tiedonanto 6.11.2023)



Kuva 6. Yksinkertaistettu huuhtelu vaiheittain: tankin täyttö (vaihe 5), tyhjennys (vaihe 10), kierron täyttö (vaihe 15), sekoitusalue (vaihe 20), kierto (vaihe 30) ja uuden pesuvaiheen aloitus (vaihe 40). Y-akselilla on vaiheet suhteutettu x-akselilla olevana aikaan (s). Huuhteluvaiheet pyritty suhteuttamaan keskiverto huuhtelun vaiheiden kesto. (Trend-ohjelma, Ravintoraisio, henkilökohtainen tiedonanto 6.11.2023)

4.8. Pesuliukset

Tuotannon pesuissa käytetään pesuliuksina sekä emäs- että happopesuaineita. CIP-pesujen pesuliuksien valinnassa tulee lisäksi ottaa huomioon, etteivät pesuliukset saa vaahdota. Emäksiset pesuaineet ovat pääsääntöisesti hydroksidipohjaisien, kuten NaOH, jotka soveltuvat proteiinin tai rasvan irrottamiseen. Puolestaan happamat pesuaineet koostuvat typpihapoista, jotka poistavat erityisesti mineraaleista, suoloista ja palaneista komponenteista koostuvaa likaa. Jotta happopesu voidaan toteuttaa, pesua tulee edeltää emäspesu, sillä pelkkä happopesu voi aiheuttaa proteiiniliian voimakkaan kiinnittymisen kontaktipintoihin (Jackson ja muut 2008).

Pesuliuksien tehokkuutta voidaan parantaa pinta-aktiivisten aineiden avulla. Pinta-aktiiviset aineet alentavat veden pintajännitystä parantaen pesuaineen pääsyä likamolekyyleihin sekä samalla ehkäisee paremmin lian muodostumista kontaktipinnoille. Säännöllisen pesuliuossäiliön puhtauden tarkistamisen yhteydessä tarkistetaan myös pesuliuksen laatu. Heikentyneen laadun voi havaita esimerkiksi

pesuliuokseen kertyneen orgaanisen ja epäorgaanisen aineksen määrästä. Tarkistukseen riittää yleensä silmämääräinen arviointi.

Tuotannossa käytettyjen prosessivesien lisäksi myös pesuliuoksien puhtauden taso tulee täyttää talousvettä koskevat elintarvikehygienian vaatimukset. Myöskään kierrätetty vesi ei saa saastuttaa tai heikentää elintarvikkeiden turvallisuutta. Vaikka kierrätetyn veden tuleekin täyttää puhtausvaatimukset, sen sekoittaminen puhtaaseen talousveteen on kiellettyä. Pesuaineet aiheuttavat kemiallisen vaaran elintarvikkeen turvallisuudelle. Pesuainejäämien päätyminen elintarvikkeeseen voidaan estää huolehtimalla riittävästä huuhtelulla pesuliuoksen käytön jälkeen. (Ruokavirasto 2021; Wirtanen 2002)

Tuotantopesuihin vahvat pesuaineet laimennetaan tuotantoon soveltuviksi käyttöpesuliuoksiksi käytettävän pesuaineen ja pestävän matriisin mukaan. Pesuaineen valmistaja suosittelee yleensä käyttöliuoksen vahvuutta (Wirtanen 2002). Pesuliuoksen pH:ta on kuitenkin hyvä seurata, koska se laimenee lian ja huuhtelueden sekoittumisen myötä (Wirtanen 2002). Kiillon tekninen asiantuntija Niinimäki (henkilökohtainen tiedonanto 10.10.2023) kertoo haastattelussaan, ettei kaurapohjaisten maidonkorvikkeiden prosessin puhdistamiseen soveltu elintarviketeollisuudessa yleisesti käytössä olevat pesuaineet. Sen myötä kaurapohjaisten prosessien puhdistamiseen on täytynyt kehittää uusi ja toimiva pesuaine. Kiillon elintarviketeollisuuteen suunnatuista puhdistusaineista Kiilto Pro Avena CIP -emäspesuaine on suunniteltu kauraproteiini- ja kauratuotteita sisältävien pesukohteiden puhdistamiseen (Kiilto 2021). Pesuaine poistaa tehokkaasti niin kaurapohjaisten prosesseissa muodostuvan rasva-, valkuais- kuin myös tärkkelyslían (Kiilto 2021). Emäspesuliuoksen tapaan happamassa pesuaineessa ei ole havaittu tarvetta kehittää kaurapohjaisten prosessien puhdistamiseen omaa puhdistusainetta, toteaa Niinimäki haastattelussaan (henkilökohtainen tiedonanto 10.10.2023). Pesuaineen ominaisuudet tulee ottaa huomioon tuotantopesujen optimoimisessa (Wirtanen 2002). Pesuliuoksen laimentaminen käyttöpesuliuokseen neutraloi pH:ta hieman, mutta liuokset pysyvät siitä huolimatta vahvasti emäksisenä tai vahvasti happamina (Kiilto 2021).

4.9. Puhdistuksien taajuudet

Tuotannon pesukohteiden puhdistamista varten tehdään omavalvontaan puhdistussuunnitelma, jonka avulla saavutetaan riittävä puhtautentaso (Ruokavirasto 2018). Suunnitelmasta tulee käydä ilmi puhdistuskohde, -välineet sekä miten ja kuinka

usein puhtaana pitäminen toteutuu. Myös puhdistuksen vastuuhenkilö ja vastuuhenkilön työstä vastaava valvoja tulee selvittää suunnitelmasta. Elintarviketeollisuudessa puhdistus tapahtuu aina puhdistettavan elintarvikematriisin mukaan. (Ruokavirasto 2023) Elintarvikkeiden prosessin puhdistaminen tehdään yleensä tuotevaihdon yhteydessä, mutta myös pidemmän tuotantotauon, kuten viikonlopun, jälkeen (Lavonen 2015). Puhdistus tulee tehdä, vaikka puhdistuskohdetta ei olisi käytetty ollenkaan (Lavonen 2015). Puhdistus tapahtuu käyttäen emäspesuliuosta, jolloin käytetään nimitystä emäspesu, mutta kerran viikossa emäspesun lisäksi käytetään myös hapanta pesuliuosta, josta käytetään nimitystä emäs-happopesu. Prosessin pesukohteisiin verrattuna pesuliuossäiliöitä puhdistaan harvemmin, vain liuoksen vaihdon yhteydessä, mutta vähintään puolen vuoden välein. Pesuliuoksen puhtauden seuranta on tärkeää pesuliuoksen tehoa heikentävät orgaaninen ja epäorgaaninen aines (Wirtanen 2002). Pesukeskusten pesuliuksien seuranta tapahtuu pääosin silmämääräisesti (Wirtanen 2002) Kierrätettävän huuhteluvesisäiliön puhdistus tapahtuu vähintään neljä kertaa vuodessa, kun taas puhtaan veden säiliölle puhdistuksien tarve vuodessa on vain kaksi (CIP-prosessikaavio, Ravintoraisio, henkilökohtainen tiedonanto 11.9.2023). Tämä on mahdollista prosessoidun veden ansiosta, mikä voidaan saavuttaa käsittelemällä vesi, esimerkiksi ultrasuodatuksen avulla. (World Health Organization 2023)

5. Optimointi

Tuotannon optimoinnin tarkoituksena on vähentää taloudellisia kustannuksia parantamalla tuotantotehokkuuksia ja laatua. Tämä saavutetaan yhdistämällä nykyaikainen teknologia ja lean-tuotannon periaatteet. Älykäs valmistus, joka hyödyntää edistynyttä automaatiota, data-analytiikkaa ja IoT (Internet of Things) -ratkaisuja, voi merkittävästi parantaa elintarviketeollisuuden tuotantoprosessien tehokkuutta (Hutchison 2023). Näiden teknologioiden avulla voidaan saada reaaliaikaista tietoa tuotantolinjojen toiminnasta, mikä mahdollistaa nopean reagoinnin ongelmiin ja resurssien optimoinnin (Hutchison 2023).

Lean-tuotanto keskittyy elintarviketeollisuudessa prosessien optimointiin ja hukan minimointiin. Dudbridgen (2012) artikkelin mukaan lean-periaatteet, kuten arvovirran optimointi ja jatkuva parantaminen, auttavat vähentämään tuotantohäiriöitä ja parantamaan tehokkuutta. Esimerkiksi standardoimalla työskentelytavat ja poistamalla tarpeettomat vaiheet, yritykset voivat merkittävästi vähentää tuotantokustannuksia ja parantaa tuotteen laatua. Lean-tuotanto edistää myös työntekijöiden osallistumista jatkuvaan parantamiseen, mikä luo kulttuurin, jossa parannusehdotukset ovat tervetulleita ja prosessit ovat jatkuvassa kehityksessä. (Dudbridge 2012)

5.1. CIP-pesun optimointi

Aikaisempien tutkimuksien perusteella CIP-pesujen optimoinnin perustana pidetään veden runsasta kulutusta ympäristötavoitteiden rinnalla taulukko 1). Tuotannon puhdistuksen aiheuttamista kustannuksista 44 % koostuu vedestä, 30 % energiasta ja 26 % kemikaaleista (Avila-Sierra ja muut 2021). Tutkimuksien yleisimpänä optimointikeinona on veden kulutukseen, kuten huuhteluvesiin, vaikuttavien parametrien optimoiminen (Melero ja muut 2013; Fan 2018; Fan ja muut 2018). Veden kulutuksen optimoinnissa tulee ottaa huomioon myös muutoksista aiheutuneet mahdolliset lämpö- ja sähköenergia kustannukset. Optimoinnissa parametrejä muutetaan yksi kerrallaan, jotta havaitaan paras mahdollinen vaihtoehto. CIP-pesuissa huuhteluvesien kierrättäminen on oleellisessa osassa optimointia. Väli ja- loppuhuuhde ovat puhtaita tuotejäämistä, minkä takia niiden kierrättäminen ja käyttäminen uudelleen alkuhuuhdeena on kannattavaa. Tuotejäämien sijaan väli- ja loppuhuuhde sisältävät pesuainejäämiä edistäen puhdistusta irrottamalla likaa. Optimoimalla automatisoitua CIP-pesua pystytään alhaisten työvoimakustannuksien lisäksi alentaa prosessin kokonaiskustannuksia. Optimoinnin

jälkeen pesujen riittävyys todennetaan vielä validoinnin ja auditoinnin avulla. (Wirtanen 2002)

Taulukko 1 Aikaisempia tutkimuksia CIP-pesujen optimoinnista elintarviketeollisuudessa.

Tutkimus	Tutkimus kohde	Ongelma	Ratkaisu	Onnistuminen (kyllä/ei)
Niamsuwan ja muut (2011)	Maidon pastöroinnin tuotanto, ruostumaton teräs	Veden ja kemikaalien liian suuri kulutus	Viemäriin menevien kemikaalien ja veden optimoiminen kierrättämällä pesuliukuksia (pitoisuuden nostaminen käytön jälkeen). Paransi puhdistusaineiden ja veden kulutuksen tehokkuutta (säästi emästä 10,39 %, happoa 8,82 % ja vettä 61,41 %)	Kyllä
Fan ja muut (2018)	Maitojäännöskalvon poistaminen ruostumattomalta teräkseltä esihuuhtelun aikana	Veden ja energian suuri kulutus	Parametrien muuttaminen. Esihhuhtelun jälkeen proteiinipitoisuutta verrattiin lähtötasoon. Re luvun nostaminen 20 t:sta 100 t:een paransi tehokkuutta vain 10 %, mutta lämpötilan nostaminen ei parantanut tehokkuutta merkittävästi lämpötilan noustessa yli 45°C asteeseen. Veden tehokkuus laski merkittävästi huuhtelun keston myötä.	Kyllä
Avila-Sierra ja muut (2021)	Tärkkelyksen poistaminen ruostumattoman teräksen pinnasta simuloidusta CIP-pesun aikana	Suuret taloudelliset ja ympäristövaikutukset	Emäksisten pesuaineen tehokkuuden parantaminen käyttäen otsonointia. Otsonointi muuttaa tärkkelyksen ominaisuuksia parantaen liukoisuutta, mikä parantaa myös laitteiden sanitaatiota ja jäteveden käsittelyä	Ei, otsonoinnin rajoitettu käyttö ja ongelmat estävät menetelmän käytön
Silva ja muut (2023)	Ruostumaton teräs, AISI 304 maidonkiertolinja, joka sisältää erilaisia geometrisia osia	Taloudelliset ja ympäristöresurssien säästö	CIP prosessin optimointi pulssivirtauksella, jotta saavutetaan parempi mekaaninen vaikutus mikrobiologisen puhtauden saavuttamiseen (<i>Bacillus cereus</i> kontaminoituneiden putkien puhdistustehokkuutta). Pulssivirtaukseen sisältyvä värähtelevä virtaus muodostaa suuremman leikkausjännityksen putken pinnalle. Menetelmä parantaa mikrobiologista puhtautta, vähentää taloudellisia resursseja sekä lyhentää desinfiointiin kuluva aikaa ja seisokkien kestoja.	Kyllä

Chandrakash (2012)	Maidon valmistus prosessi	Virheellisten puhdistuksien vähentyminen	Ajatus hyvin toimivan prosessilaitoksen odottamattomista epäonnistumista. Vika ei johdu inhimillisestä virheestä, vaan stokastisesta muutoksesta, kuten lämpötilan vaihtelu tai jokin ulkoinen häiriö. Menetelmä auttaa ymmärtämään prosessia.	Kyllä
Buabeng-Baidoo ja muut (2017)	Maidon jalostusprosessi, raakamaidon vastaanotto- ja käsittelyosasto	Makean ja jäteveden runsas kulutus	Veden käytön optimoiminen kierrättämällä ja uusiokäyttämällä normaalisti viemäriin menevä vesi. Jäteveden käsittely käänteisosmoosikalvolla (RMRD) perustuen regenerointiin, jossa ionivaihtohartsit regeneroidaan kemiallisilla aineilla niiden kapasiteetin palauttamiseksi (MINLP-malli). Makean veden kulutus laski 33 % ja jäteveden 85 %.	Kyllä
Melero ja muut (2013)	Lämmönvaihtimet elintarviketeollisuudessa (pastörinti ja lämmön talteenotto)	Veden ja pesuaineiden korkea kulutus	Matemaattinen mallintaminen, jonka perustella määritellään järjestelmän tarpeen mukaan riittävä veden ja pesuaineen määrä. Lämpötilan vaikutus jätetään huomiomatta. Optimaalinen puhtaus saavutettiin 10,5 l/min virtausnopeudella suhteessa huuhtelun keston.	Kyllä
Fan (2018)	Maidon jalostusprosessin pilottilaitte	Veden, kemiallisten aineiden ja energian suuri kulutus	Parametrien vaikutus puhdistustehokkuuteen. Puhdistusainetta pystyttiin käyttämään kolme kertaa ennen kuin puhdistusteho heikkeni. Puhdistustehokkuus parani, mitä korkeampi lämpötila, seinän leikkausjännitys ja pidempi puhdistuksen kosteutsaika. Veden diffuusio aiheuttaa sakan poistumiseen viivettä sekä kuivan proteiinkalvon maksimaalinen poistuminen riippuu seinämän leikkausjännityksestä. Puhdistusliuoksen uudelleen käytöllä kemikaali-, vesi- ja jätevedenkäsittelykustannuksia pystyttiin vähentämään jopa 85 % alkuperäisestä (67 % kokonaiskustannuksista).	Kyllä

CIP-pesujen optimointi on erityisen suositeltua ja kannattavaa, kun kyseessä on uusi elintarviketuottaja tai –prosessi. Myös jos prosessissa ilmenee epäpuhtauksia, on syytä tarkastella pesuja. Pesujen parametrien optimoinnissa tarkastellaan neljää parametriä; käytettyä kemikaalia tai pesuainetta, lämpötilaa, vaikutusaikaa sekä mekaanista voimaa. Kemikaali, lämpötila ja aika heikentävät lian ja pinnan välisiä sidoksia, kun taas virtausnopeuden muodostama voima kuljettaa irronneen lian pois. Kaikkia ominaisuuksia tarvitaan lian puhdistuksessa, mutta ilman riittävää voimaa lika ei kulkeudu pois pesukohteesta. Virtausnopeuden tulisi olla vähintään 1,5 m/s 2 tuuman kokoisessa putkessa. Vesimäärän kuitenkin ylittäessä $1 \text{ m}^3/\text{m}^2$ likaantunutta pintaa kohden, ei ole havaittu tehokkuuden merkittävää paranemista. (Fan ja muut 2018)

Puhdistuksen laatua voidaan optimoida lisäämällä kokonaistilavuusvirtausta, mutta silloin myös energian kulutus kasvaa. Puhdistuksessa kuluvan energian kokonaismäärään vaikuttavat myös raskaamman lian kuljettaminen ja puhdistettavan pinnan topografi. Virtauksen aikana massa ja lämmön siirto ovat konvektiivisia, jolloin ne siirtyvät virran mukana. Tästä syystä puhdistuksen aikana koko prosessissa tulisi olla turbulenttinen virtaus. Turbulenttinen virtaus kasvattaa Re- arvoa 1000:sta 10 000:een. Paikalliset virtausnopeuksien vaihtelu saattaa aiheuttaa alueittain alhaisia turbulensseja. Puhdistuksen näkökulmasta erityisen vaikeasti puhdistettavia alueita ovat t-geometriset kohdat, pienennys ja laajennusliittimet (Silva ja muut 2023), umpikujat ja halkeamat, joissa voiman aiheuttama massan ja lämmönsiirto ovat alhaiset. Vaikeasti puhdistettavat alueet muodostavat vyöhykkeitä, joissa alhaiseksi jäänyt virtausnopeus ei pysty poistamaan ja tuhoamaan solujen (Silva ja muut 2023). Tilannetta ei paranna kemiallisen pitoisuuden lisääminen, mutta tilavuusvirtausnopeuden lisäämä voima voi parantaa puhdistusta marginaalasti vaikeasti puhdistettavilta alueilta. Erityisesti vaikeiden alueiden puhdistusta voidaan parantaa lisäämällä poikkivirtausta, joka saadaan aikaan esimerkiksi pyörteiden ja sauvojen lisäämisellä. Toistuvien pyörteiden muodostamat kuviot, eli Kármánin pyörteet, muodostuvat nesteen kulkiessa kappaleen ohi samalla muodostaen pinnalle pyörreleikkauskerroksia, jotka hajoavat yksittäisiksi pyörteiksi liikkeessaan alavirtaan (Heil ja muut 2017). Pyörteiden aiheuttamat vaihtelut saavat aikaan kolmiulotteisia pyörrevyöhykkeitä, jotka häiritsevät lämmön ja massan siirtymisalueita. Menettely hajottaa rajakerroksen alueiden välillä, mikä saa aikaa virtauksen pysähtymisen putkessa lyhyeksi ajaksi. Virtauksen uudelleen käynnistyessä muodostuu rajakerros uudelleen. Muuttuvasta virtaavuudesta käytetään nimitystä sykkivä virtaus, joka rajakerrosten rikkomisella parantaa lämmön ja massan siirtoa lisäten samalla

puhdistusnopeutta ja parantaen useampien osien puhdistustehokkuuden. Konkreettisesti puhdistusta voidaan parantaa laitesuunnittelulla sekä lisäämällä kriittisille alueille pieniä suihkulaitteita, jotka parantavan voiman kulkemista putkistoissa ja säiliöissä. Erityisesti säiliöissä käytetään pyöriviä suihkupäät (RJH), jotka mahdollistava liuoksen jakautumisen tasaisesti säiliöön ja suuremman voiman muodostumisen. (Jensen 2008) Joskus puhdistus voi kuitenkin epäonnistua odottamattomasti, mikä johtuu yleensä stokastisesta muutoksesta, kuten ulkoisesta häiriöstä (Chandrakash 2012).

5.2. CIP-pesun huuhteluiden optimointi

CIP-pesujen kannattavimmaksi optimoinnin kohteeksi taulukon 1 mukaan todettiin huuhteluiden optimointi korkean veden kulutuksen myötä. Tutkimuksissa keskityttiin erityisesti veden kulutuksen vaikuttavien parametrien optimoimiseen. Fan työryhmineen (2018) toteaa tutkimuksessaan, ettei lämpötilan nostamisella ei havaittu merkittäviä muutoksia tehokkuuden paranemisessa, kun lämpötila saavuttaa 45°C. Sen lisäksi tutkimus osoittaa, että 20 sekuntin huuhtelulla voidaan saavuttaa sama tulos kuin 60 sekuntin kestoisella huuhtelulla (Fan ja muut 2018). Tuloksista huolimatta Fan työryhmineen (2018) toteaa, että pesukohteita tarkasteltava yksilöinä kokonaisuuden ja huuhteluiden keskinäisen vaikutuksen huomioimiseksi.

Huuhtelun optimoimisessa tulee varmistaa, että saavutetaan riittävä virtausnopeus jokaisen pesukohteen kaikissa kohdissa. Virtausnopeuden tulisi olla vähintään 1,5 m/s, jotta saadaan aikaan riittävä mekaaninen vaikutus. Pesukohteen virtausnopeuteen vaikuttavat asetettu tilavuusvirtausnopeus sekä putken halkaisija ja paksuus. Pesukohteen virtausnopeus saadaan laskettu kaavan 1 avulla. Riittävä virtausnopeus tulee saavuttaa pesukohteen kaikissa kohdissa, mistä syystä kaavassa tulee ottaa huomioon pesukohteen putki, jonka halkaisija on suurin. (Jensen 2008)

Kaava 1. Virtausnopeuden (m/s) laskeminen CIP-pesun aikana putkessa. (Physics LibreTexts 2015)

$$\text{Virtausnopeus}(v) = \frac{q_v/3600}{\pi * (d_u - (2 * WT))^2 * l * 10^{-6}}$$

, jossa

d_u = putken ulkohalkaisija (mm),

WT = seinämäpaksuus (mm),

l = putken pituus (mm) ja

q_v = tilavuusvirtausnopeus (l/h).

5.3. Optimoinnin vaikutukset veden kulutukseen

Optimoinnin tarkoituksena on vähentää taloudellisia kustannuksia, joka CIP pesujen kohdalla tarkoittaa lähtökohtaisesti veden kulutuksen vähentämistä säilyttäen kuitenkin riittävän puhtauden. Makean veden kulutuksen vähentäminen on suoraan riippuvainen syntyvän jäteveden määrään (Buabeng-Baidoo ja muut 2017). Parametrimuutoksien avulla pyritään ensisijaisesti vähentämään veden kulutusta, mutta optimaalisimman lopputuloksen saamiseksi kaikki parametrimuutokset eivät suoraan vähennä veden kulutusta. Huuhteluvaiheiden lyhentäminen vähentää veden kulutusta virtauksen omaavista vaiheista. Mikäli kuitenkin virtausnopeutta joudutaan nostamaan, varmistamaan riittävän puhtauden mahdollistan turbulenssin muodostuminen, kasvaa myös veden kulutus (Jensen 2008). Vaikka virtausnopeuden nostaminen kasvattaakin vedenkulutusta, voi puhtaus parantua merkittävästä, mikä voi mahdollistaa pesu- ja huuhteluvaiheiden suuremman lyhentämisen alkuperäiseen virtausnopeuteen nähden (Fan ja muut 2018).

Tilavuusvirtausnopeuden muuttaminen vaikuttaa laskennallisesti vain virtaaviin huuhteluvaiheisiin, mihin kuuluvat kaikki vaiheet pois lukien tyhjennys vaihe (kuva 6). Kun virtausnopeutta pesussa muutetaan, vaikuttaa se veden kulutukseen (Jensen 2008). Virtausnopeuden muutoksen vaikutus veden kulutukseen lasketaan Kaava 2 avulla, jossa virtaava huuhtelun kesto tarkoittaa huuhtelun kokonaiskestoa pois lukien tyhjennys vaihe (vaihe 10), jossa virtaus ei ole.

Kaava 2. Virtausnopeuden muutoksen vaikutus vedenkulutukseen. Veden kulutuksen kannalta oleellista on ottaa huomioon huuhtelun vaiheet, joissa vesi virtaa. Virtaus on havaittavissa kaikissa muissa vaiheissa paitsi tyhjennys vaiheessa (Physics LibreTexts 2015)

$$\Delta V(\text{vesi}) = t_{\text{alussa}} \cdot qV_{\text{alussa}} - (t_{\text{lopussa}} \cdot qV_{\text{lopussa}})$$

, jossa

ΔV = Veden kulutuksen muutos,

t = Virtaavan huuhtelun kesto ja

qV= Tilavuusvirtaus.

5.4. CIP-pesun optimoinnin onnistumisen mittarit

Pesuprosessin optimoinnin onnistuminen määritetään huuhteluvedestä fysikaalisesti, kemiallisesti ja mikrobiologisesti (Wirtanen 2002). Kaikki puhtauden määrittämisen

menetelmistä saatujen tuloksien tulee saavuttaa hyväksytyt raja-arvot huuhteluvesinäytteiden osalta, jotta optimointi voidaan hyväksyä ja ottaa uudet puhdistusparametrit käyttöön. (Avila-Sierra ja muut 2021)

5.4.1. Fysikaalinen puhtaus

Fysikaalinen puhtaus on ensimmäinen puhtausmenetelmä, mikä huuhteluvesinäytteelle tehdään. Fysikaalinen puhtaus todennetaan silmämääräisellä arvioinnilla riittävässä huoneen valossa. Näyte on riittävän puhdas, kun siinä ei esiinny silmällä havaittavaa likaa. Alkuhuuhteessa esiintyvät yksittäiset pienet tuote jäämät eivät kuitenkaan haittaa, jos näyte on muuten kirkas ja emäsvaiheen jälkeinen huuhtelu on silmämääräisesti täysin puhdas. Jos kuitenkin näytteessä esiintyy selkeästi havaittava likaa tai näyte on samea, näytteen puhtaus ei ole saavuttanut riittävää tasoa ja pesureseptiin tulee tehdä muutoksia. (Wirtanen 2002)

5.4.2. Kemiallinen puhtaus

Kemikaali- ja pesuainejäämät ovat suuri riski elintarviketuoteturvallisuudelle (L 297/2021 2021), minkä varmistamiseksi riittävä kemiallinen puhtaus tulee todeta (Wirtanen 2002). Automatisoidussa kiertopesussa pesuaineen määrä on alhainen ja sen määrä pystytään vakioimaan, minkä takia kemiallisen riskin todennäköisyys on hyvin pieni, mutta mahdollinen (Wirtanen 2002). Kemiallinen puhtauden tarkastaminen on suositeltavaa poikkeavissa tapauksissa tai pesuohjelmia muuttaessa. Pesuaineen ja huuhteluveden kemiallinen puhtaus voidaan määrittää johtokykymittauksella, pH:n määrittämisellä sekä emäksen tai hapon konsentraation määrittämisellä titraamalla (A 1352/2015). Pesuaineesta saadaan määritetty pesuainepitoisuus, kun taas loppuhuhtelun vedestä mahdolliset pesuainejäämät.

Suomessa elintarviketeollisuudessa käytetyn prosessiveden tulee saavuttaa talousveden laatuvaatimukset, jotka on määritelty sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa laatuvaatimukset ja valvontatutkimukset 1352/2015 mukaan (A 1352/2015). Asetuksen mukaan talousveden pH tulisi olla 6,5–9,5, kun taas sähkönjohtavuus tulisi talousvedessä olla alle 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (A 1352/2015). Sähkönjohtavuus perustuu ionien liikkeen muodostamaan sähköjohtokykyyn, mikä on riippuvainen ionien luonteesta ja konsentraatiosta sekä analysoitavan näytteen viskositeetistä ja lämpötilasta (Muurinen 2013; SFS-EN 27888 1994). Lämpötilan vaikutuksen takia sähkönjohtavuus mittaukset tehdään huoneenlämpötilassa, vaikka veden mittaustuloksiin vaikutukset eivät ole

merkittäviä. Sähkönjohtavuus pystytään määrittämään sähkönjohtokykyttarilla, joka on voitu asettaa anturina linjalle.

pH puolestaan määritetään vedestä joko testiliuskojen tai pH-mittarin avulla. Mittarilla saadaan tarkempi ja luotettavampi tulos kuin liuskoilla, mutta veden pH:n määrittämiseen tulee käyttää vain siihen sopivaa pH-mittaria. Molemmissa menetelmissä mittaus tehdään laittamalla anturi tai testiliuska näytteeseen. Mittarin elektrodit analysoivat näytteen ja tulos heijastuu mittarin näytölle. pH mittari kalibroidaan puskuriliuksilla, joiden pH-arvot ovat näytteiden pH-arvojen lähellä (Opetushallitus 2024). Viileä lämpöisten puskureiden välinen eroavaisuus on kaksi pH yksikköä (Opetushallitus 2024). Näytteenottoa varten näyte temperoidaan huoneenlämpöiseksi, jotta lämpötila ei vaikuta pH-arvoon. Veden pH-arvoon lämpötilan vaikutukset ovat kuitenkin hyvin vähäiset, esimerkiksi 15 °C lämpötilassa pH on 4,00 ja lämpötilan noustessa 25 °C pH-arvo nousee 4,01 (Opetushallitus 2024). Näytteenoton jälkeen pH-mittarin elektrodi huuhdellaan vedellä (Opetushallitus 2024). Puolestaan pH-liuskaa käyttäessä verrataan kolmen reagenssipaperien värien muutosta testipaketissa olevaan värikarttaan, minkä perusteella määritetään tulos. Testiliuskojen pH -alue voi vaihdella 0–14 välillä, mutta tarkemman tulokseen saamiseen valitaan testiliuska sopivalla pH-alueella. Pesuainejäämien mittauksessa pH pyritään saamaan lähelle neutraalia asetuksen sallimissa rajoissa (A 1352/2015). Tuloksen laadun varmistamiseksi liuskat tulee tarkastaa käyttämällä sertifioituja puskuriliuksia. pH-liuskoilta saatu tulos ei ole niin tarkka kuin pH-mittarin avulla saatu tulos. Veden pH määrittäminen tulee tehdä 25 ±2 °C, johon näytteet saadaan lämpöhauteen avulla (Opetushallitus 2024). (Wirtanen 2002; VWR 2024a)

Konsentraation määrittämisessä titrataan vahvaa emästä tai happoa näytteeseen, johon on lisätty indikaattoriksi fenoliftaleiiniä. Indikaattorin tarkoituksena on havainnollistaa pesuaineessa olevien suolahapon tai natriumhydroksidin neutraloitumista. Titrattun emäksen- tai haponpitoisuuden ja määrän perusteella lasketaan näytteen konsentraatiopitoisuus. Perinteisen emäs-happotitrauksen lisäksi on olemassa myös sähkönjohtokykytitraus. (Wirtanen 2002)

5.4.3. Mikrobiologinen puhtaus

Pesujen optimoinnin lopputuloksien hyväksymistä varten myös mikrobiologinen puhtaus tulee varmistaa, kemiallinen ja fysikaalinen puhtaus eivät takaa mikrobiologista puhtautta (Wirtanen 2002) Mikrobiologisten patogeenien, kuten *Bacillus cereus* -bakteerin,

tuhoutumisen varmistaminen on olennainen osa hygieniatoimintaa (Silva ja muut 2023). Mikro-organismit voivat muodostaa biofilmejä, jotka tarjoavat suojan ja tekevät patogeenien poistamisesta haastavampaa perinteisillä hygieniatoimenpiteillä (Silva ja muut 2023). Biofilmit voivat aiheuttaa vakavia ongelmia elintarviketeollisuudessa, kuten virheellisiä elintarvikkeita, ruokamyrkytyksiä ja laitevaurioita (Silva ja muut 2023). Biofilmien paras hallintakeino on tehokas puhdistaminen, erityisesti tuotejäämien tehokas poistaminen rajoittaa biofilmejä tuottavien mikro-organismien kiinnittymisen kontaktipintoihin (Grinstead 2009) Biofilmejä olemassaolon tutkimista mikrobiologisilla analyyseillä tarvitaan näytteet elintarvikkeen kanssa kosketuksissa olevilta pinnoilta. Mikrobiologisia puhtausnäytteitä on syytä ottaa ennalta ehkäisevästi myös työntekijöiden käsistä. Suljetusta prosessissa on kuitenkin hankalaa saada näytteitä tuotantolinjasta, minkä takia näytteenä käytetään huuhteluvettä.(Parikka ja muut 2014; Wirtanen 2002)

Kokonaisbakteerien määrittäminen soveltuu elintarvikkeiden ja tuotantotilojen yleisen hygieniatason määrittämiseen. Analyysistä saadaan selville bakteerien määrä. Tulos ei kuitenkaan aina kerro bakteerien todellista määrää. Kokonaisbakteerien määrittämiseen löytyy erilaisia viljelymenetelmiä, kuten perinteinen maljaviljely ja kalvosuodatusmenetelmä. Bakteerimääritys on mahdollista toteuttaa myös kehittyneellä ja nopealla ATP-menetelmällä käyttäen luminometriä. Puhdistuksen kannalta voi olla oleellista määrittää myös kemiallisen hapenkulutuksen muutos COD-menetelmällä ja pesuveden kalsiumpitoisuus EDTA-titraus menetelmällä. (Wirtanen 2002) COD toteutetaan dikromaattimenetelmällä, mitä käytetään erityisesti jätevesien orgaanisen saastumisen havaitsemiseen. Menetelmä on nopea ja mittauksien hajonta on kapea, mitkä erottavat menetelmän BOD-menetelmästä. (VWR 2024b; VWR 2024c)

Kaurapohjaisten maidonkorvikkeiden valmistusprosessin näkökulmasta oleellista on määrittää näytteistä talousvettä koskevat elintarviketurvallisuuden riskiä aiheuttavat kokonaisbakteerit, e.colit, koliformsit ja enterokokit (Ruokavirasto 2021; SFS-EN 27888 1994). Myös hiivat ja homeet on hyvä analysoida, sillä kaikissa viljoissa kuten myös kaurassa, esiintyy punahomeiden muodostamia hometoksiineja (Parikka ja muut 2014).

E.coli

E.coli on bakteeri, joka esiintyy eläinten paksu- ja umpisuolessa. *E.coli*-bakteerit kuuluvat gramnegatiivisiin indikaattoreihin, jotka viittaavat huonoon hygieniaan. Vaikka kaurapohjaisten maidonkorvikkeiden valmistusprosessissa ei esiinny eläinperäisiä raaka-aineita, lämpökestoiset *e.colit* voivat päätyä prosessiin ulosteperäisesti saastuneen talousveden myötä. Bakteerit kuitenkin tuhoutuvat 70 °C asteen lämpötilassa (World

Health Organization 2018), minkä takia lämpökäsittelyn avulla voidaan estää bakteerin pääseminen elintarvikkeeseen. *E-colin* analysointi menetelmänä käytetään ISO 9308-1, jossa kalvosuodatuksen jälkeen näyte viljellään agar-elatusalustalle. Organismien lukumäärä lasketaan elatusalustalta 1–2 vuorokauden jälkeen. Tulokset ilmaistaan pesäkkeiden määränä 100 ml kohden (cfu/100 ml). (ISO 2014) Hyväksytylle talousvedelle raja-arvoksi on määritetty $<1 > 200$ cfu/100 ml (A 1352/2015).

Koliforms

Koliforms bakteerit ovat fakultatiivisesti anaerobisia, gramnegatiivisia ja itiömäisiä sauvoja, jotka fermentoivat voimakkaasti laktoosia hapoksi ja kaasuksi. *Koliformsit* kuuluvat enterobakteerien sukuun, jotka liitetään lämminveristen eläinten suolistoon. Kaikesta huolimatta *koliformseja* voi esiintyä myös erilaisissa kasvimateriaaleissa. *Koliformsien* esiintyminen tuotannossa viittaa yleensä riittämättömiin hygieniaolosuhteisiin, siksi niitä käytetään saniteettilaadun indikaattoreina. *Koliforms* bakteereja voidaan havaita vesiympäristössä, maaperässä ja kasvillisuudessa. (ScienceDirect 2014). *Koliformsien* analysoimiseen käytetään ISO 9308-1 menetelmää, jossa tulokset esitetään pesäkkeiden lukumääränä 100 ml kohden (cfu/100 ml). (ISO 2014) Huuhteluvesinäyte on hyväksytty tuloksen saavuttaessa talousvedelle *koliformsien* hyväksytyksi raja-arvoksi asetetun $<1 > 200$ cfu/100 ml (A 1352/2015).

Enterokokki (Faecal)

Enterokokkia esiintyy ihmisten ja eläinten suolistossa, minkä takia bakteeri on hyödyllinen indikaattori kertomaan elintarvikkeiden ja veden huonosta hygieniasta. Enterokokkeja esiintyy myös ympäristössä ja kasveissa, mutta kasvipohjaisista ruoista enterokokki löydöksiä tulkitseminen on vaikeaa määrittelemättömien kantojen takia. Enterokokkibakteerit selviytyvät hyvin epäsuotuisissa olosuhteissa, minkä takia niiden tuhoutuminen ruoantuotannon olosuhteissa ei ole varmaa. (ScienceDirect 2017) Enterokokin määrittämisessä käytetään vesinäytteille suunnattua ISO 7899-2:2000-menetelmää. Tulos lasketaan elatusalustalta pesäkkeiden lukumääränä 100 ml kohden (cfu/100 ml). (Tiwari ja muut 2018) Hyväksytyyn huuhteluvesinäytteeseen tulee saavuttaa talousvedelle asetetun hyväksytyyn enterokokkien raja-arvon $<1 > 200$ cfu/100 ml (A 1352/2015).

Aerobiset mikro-organismit 22 °C ja 36 °C

Aerobisten mikro-organismi bakteerien ryhmä viihtyy ja kasvaa happipitoisessa ympäristössä (ScienceDirect 2007). Aerobiset mikro-organismien määrä määritetään ISO 6222:1999-menetelmän avulla, missä viljely tapahtuu ravinneagar-elatusalustalle.

Pesäkkeiden lukumäärä saadaan laskettua 1–2 vuorokauden inkubaation jälkeen. Aerobiset mikro-organismien tulokset esitetään pesäkkeiden määränä 1 ml kohden (cfu/ml). (ISO 6222 1999) Talousvedelle on määritetty heterotrofisen pesäkeluvun hyväksytyksi raja-arvoksi < 100 cfu/ml. (A 1352/2015)

Homeet ja hiivat

Kaikkialla ympäristössä esiintyy homeiden itiöitä, mutta homekasvuston muodostumiseksi tarvitaan kosteutta ja orgaaninen materiaali. Kasvustot esiintyvät elintarvikkeissa aiheuttaen aistinvaraisia muutoksia. Homekasvustot eivät ole vaarallisia, mutta eivät myöskään sovellu syötäväksi. Jos homekasvusto muuttuu homemyrkyksi eli mykotoksiineiksi, muuttuvat homekasvustot samalla terveydelle hyvin haitallisia. Viljoihin, kuten kauraan, saattaa muodostua homemyrkyjä jo pellolla tai kostuneessa viljavarastossa. Raaka-aineen tai epähygieenisten tuotantoympäristön seurauksena veteen kasvustona tuotteiden pinnoilla esiintyville homeille. (Ruokavirasto 2022; 2024) Homeet ja hiivat määritetään kalvovevytekniikalla, josta tulokset saadaan pesäkkeiden lukumääränä 100 ml kohden (cfu/100 ml). Huuhteluvesinäytteille hyväksytty tulos pohjautuu talousvedelle määritettyyn raja-arvoon, 150 cfu/100 ml. (Parikka ym. 2014; A 1352/2015)

KOKEELLINEN-OSA 2

6. Materiaalit ja menetelmät

Työn toiminnallinen osuus aloitettiin tutustumalla tuotannon 15 pesukohteeseen ja niiden puhdistusprosessiin. Veden kulutuksen optimoimistavoitteen myötä tarkasteltiin erityisesti pesuohjelmien huuhteluvaiheita ja niiden parametrejä. Pesumenetelmiä ja -ohjelmia ennen optimointia verrattiin kirjallisuuteen luoden niiden pohjalta suunnitelma teoreettisista optimoiduimmista pesuohjelmista. Jokainen pesukohde tarkasteltiin yksilöittäin, sillä pesukohteiden pesutarpeet vaihtelivat puhdistettavan tuotejäämän, pesukohteen koon ja sijainnin mukaan. Kirjallisuuden ja pesukohteiden tietojen perusteella pystyttiin tekemään ennako-oletukset pesukohteiden tarpeista puhdistuksen suhteen.

Teoreettisen suunnitelman pohjalta tehtyjen koepesujen avulla pyrittiin löytämään optimaaliset pesuohjelmat veden kulutuksen näkökulmasta heikentämättä kuitenkaan puhdistuksen lopputulosta. Riittävän puhtauden varmistamiseksi vaadittava virtausnopeus varmistettiin pesukohteittain virtaavuuden ja pesukohteen suurimman halkaisijan mukaan hyödyntäen Kaava 1. Työhön valituista pesukohteista suurin osa saavutti riittävän 1,5 m/s virtausnopeuden, mutta neljä pesukohdetta; L1CC10 L1CC11, L2C09, L2CC12, eivät saavuttaneet riittävää virtausnopeutta (taulukko 2). Näiden pesukohteiden virtausnopeuksia nostettiin, jotta virtausnopeudet ylittäisivät riittävään puhtauteen edellyttävän rajan (taulukko 3).

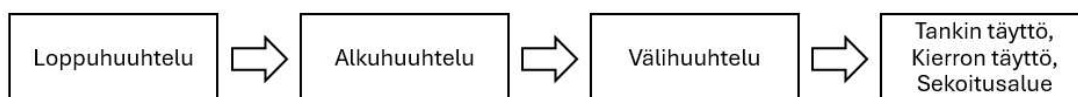
Taulukko 2. Alkuperäiset tilavuusvirtausnopeudet, putkenhalkaisijat, tilavuusvirtaukset sekä näiden avulla lasketut virtausnopeudet pesukohteittain. Punaisella merkitys pesukohteet eivät saavuta riittävän puhtauden mahdollistavaa 1,5 m/s virtausnopeutta.

Pesulinja	Pesukohde	D _{ulk}	Virtaus (l/h)	Virtausnopeus (m/s)
L1	CC02	63,5	22000	2,06
	CC04	63,5	23000	2,15
	CC06	63,5	23000	2,15
	CC08	63,5	23000	2,15
	CC10	51	10000	1,47
	CC11	51	10000	1,47
	CC12	51	12000	1,77
L2	CC03	63	23000	2,19
	CC05	63	23000	2,19
	CC07	63	23000	2,19
	CC09	76	22000	1,42
	CC12	51	10100	1,49
L3	CC06	63	23000	2,19
	CC08	63	22000	2,09
	CC10	63	22000	2,09

Taulukko 3. Pesukohteiden halkaisijat, muutetut tilavuusvirtausnopeudet sekä niistä lasketut virtausnopeudet. Muutoksen jälkeen kaikkien pesukohteiden virtausnopeudet saavuttavat puhtauteen vaaditus 1,5 m/s virtausnopeuden. Muutokset merkitty taulukkoon vihreällä.

Pesulinja	Pesukohde	D _{ulk}	Virtaus (l/h)	Virtausnopeus (m/s)
L1	CC02	63,5	22000	2,06
	CC04	63,5	23000	2,15
	CC06	63,5	23000	2,15
	CC08	63,5	23000	2,15
	CC10	51	11000	1,62
	CC11	51	11000	1,62
	CC12	51	12000	1,77
L2	CC03	63	23000	2,19
	CC05	63	23000	2,19
	CC07	63	23000	2,19
	CC09	76	23500	1,52
	CC12	51	11000	1,62
L3	CC06	63	23000	2,19
	CC08	63	22000	2,09
	CC10	63	22000	2,09

Koepesuissa muutettiin yhtä parametriä kerrallaan, jotta saatiin selville sen vaikutukset pesuun. Optimoiminen aloitettiin kuvan 7 mukaan loppuhuuhteen vaiheista, minkä jälkeen siirryttiin alkuhuuhtelun ja välihuuhtelun vaiheiden optimoimiseen. Viimeisenä optimoitiin huuhteluvaiheita, jotka toistuvat kaikissa huuhteluissa, kuten tankin ja kierron täyttö sekä sekoitusalue. Koepesujen onnistumista mitattiin huuhteluveden puhtautta mittaavilla määrittelyillä, jotka esiteltiin kappaleessa 5.4. Koepesujen huuhteluiden puhtaustuloksien pohjalta tehtiin korjaustoimenpiteet suunnitelmaan nähden.



Kuva 7. Huuhteluiden parametrien optimoinnin etenemisjärjestys; loppuhuuhtelu, alkuhuuhtelu, välihuuhtelu sekä tankin täyttö, kierron täyttö ja sekoitusalue. Järjestys pohjautui parametrien annalta arvioitua säästöpotentiaaliin.

Koepesujen tuloksien pohjalta tehtiin lopullinen muutosehdotus parametrimuutoksista, joka esitettiin yritykselle. Muutoksien pohjalta laskettiin veden kulutuksen säästö. Optimoitu lopputulos saavutettiin tekemällä yhteensä 40 koepesua. Koepesujen määrä vaihteli pesukohteen tarpeen mukaan, mutta myös pesujen käyttäytymisen ymmärtäminen vähensi koepesujen määrää työn edetessä.

6.1. Pesukohteet, pesuohjelmat ja muutettavat parametrit

Työn pesukohteiksi valikoitui pesukeskus 1:n pesulinjat 1–3. Pesukohteet sijaitsevat tuotannossa pääosin esivalmistuksessa, mutta osa kohteista on myös tuotevalmistuksessa. Valittuja pesukohteita oli yhteensä 15, jotka voidaan jakaa pesukohdetyypin mukaan tankkeihin ja linjoihin (Taulukko 4). Vaikka pesukohteet jaettiin karkeasti kahteen, jokaisella pesukohteella oli silti yksilöity pesuohjelma pesutarpeiden ja sijainnin mukaan. Työ rajautui koskemaan valittujen pesukohteiden lyhyemmän emäspesun ja pidemmän emäs-happopesun ohjelmien optimointia. Työn tavoitteen mukaan pyrittiin vähentämään veden kulutusta, mikä kirjallisuuden on suurinta CIP-pesujen huuhteluissa. Tarkemmin optimointi kohdistui virtaaviin huuhteluiden vaiheiden keston, kuten tankin ja kierron täyttö, sekoitusalue ja varsinaisen huuhtelu, sekä huuhteluiden virtausnopeuden tarkasteluun.

Taulukko 4. Pesukohteet lueteltuna pesukohdetyypeittäin. Pesukohteista suurin osa on pesutyypiltään tankkeja, jotka taulukkoon korostettu vihreällä.

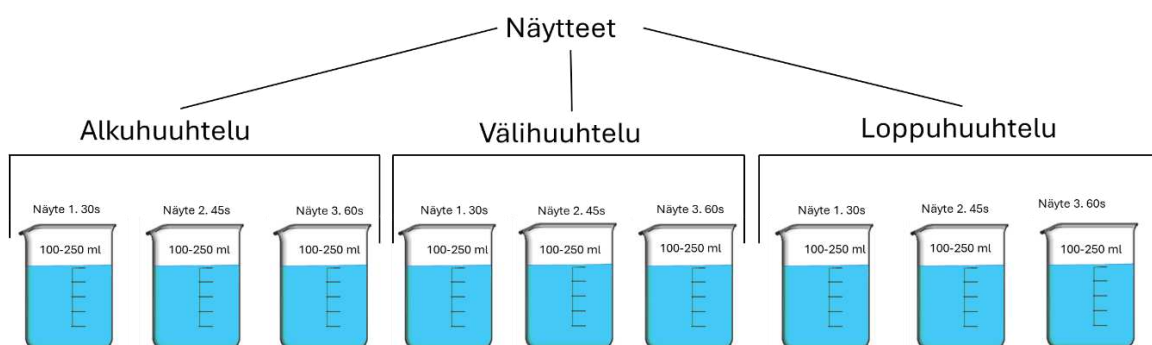
Pesulinja	Pesukohde	Pesukohdetyyppi
L1	CC02	Tankki
	CC04	Tankki
	CC06	Tankki
	CC08	Tankki
	CC10	Linja
	CC11	Linja
	CC12	Linja
L2	CC03	Tankki
	CC05	Tankki
	CC07	Tankki
	CC09	Linja
	CC12	Linja
L3	CC06	Tankki
	CC08	Tankki
	CC10	Tankki

6.2. Näytteet ja näytteenotto

CIP-pesujen puhtautta arvioitiin huuhteluvesinäytteistä, joiden ottaminen suljetusta prosessista toi omat haasteensa. Näytteenotto suoritettiin näytteenottosuunnitelman mukaan, niin että pesun jokaisesta huuhtelusta saataisiin useampi näyte lisäämään tuloksien luotettavuutta. Identtisiä huuhtelunäytteitä ei kuitenkaan ollut mahdollista ottaa huuhteluveden tilanteen muuttumisen ajan suhteen takia. Rinnakkaisten tuloksien saamiseksi koepesu tuli toistaa uudestaan. Huuhteluiden tuloksista pystyttiin kuitenkin päättämään huuhtelun muutoksen käyttäytymistä ilman rinnakkaista tulosta.

Koepesuista näytteitä otettiin alku-, väli- ja loppuhuuhtelusta jokaisesta kolme näytettä eli yhteensä 9 näytettä jokaista koepesua kohden (kuva 8). Näytteet otettiin huuhtelun edetessä sopivista kohdista ottaen huomioon huuhtelun alkuperäisen keston. Kuvan 8 esimerkissä näytteet otettiin 30, 45 ja 60 sekuntin kohdilta. Yhden näytteen määrä oli noin 100–250 ml, joiden lisäksi mikrobiologisia määrityksiä varten näyte kerättiin vielä erilliseen astiaan. Useampi näyte lisäsi tuloksien luotettavuutta ja vähensi rinnakkaisten koepesujen määrää. Rinnakkaisten koepesujen määrä vaihteli pesukohteen ja oman ymmärryksen mukaan. Huuhteluvesinäytteet otettiin emäs- tai happopesun jälkeen hanasta tai viemäriin johtavasta poistoputkesta. Näytteenottoväli oli hyvin pieni näytteenottokannulle, minkä takia näytteen saamiseksi jouduttiin käyttämään apuna

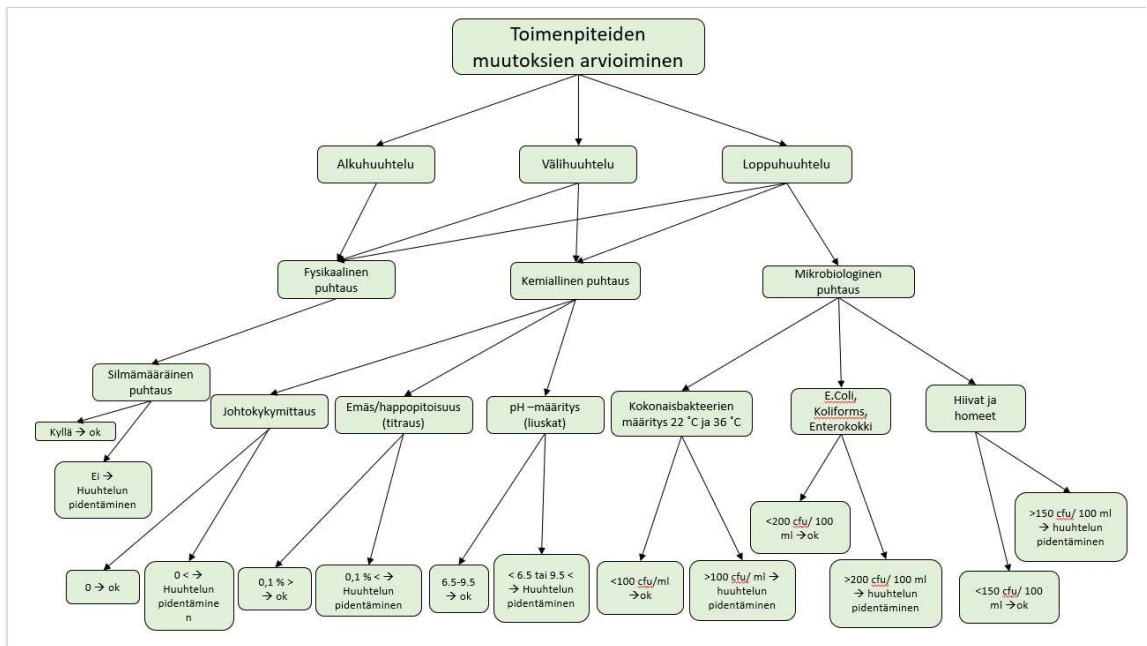
laminoidusta paperista taitettua kouraa. Laminoitu paperi altisti näytteen kontaktille lisäen kontaminoitumisriskiä. Näytteenotossa hygienia oli erittäin tärkeää analyysien onnistumisen vuoksi (Ruokavirasto 2018). Näytteenottovälineiden puhtaus varmistettiin ennen näytteenoton aloittamista sekä näytteenotossa käytettiin suojakäsineitä estämään käsistä mikrobien kontaminoitumisen näytteeseen (Wirtanen 2002).



Kuva 8. Alku-, väli- ja loppuhuuhdeista otettavat 9 näytettä. Näytteet otettiin huuhtelun eri ajankohtina riippuen huuhtelun kestosta. Kuvassa näytteet on otettu 30, 45 ja 60 sekuntin kohdilta.

6.3. Analyysit

Huuhtelunäytteiden puhtautta analysoitiin niin fysikaalisesti, kemiallisesti kuin myös mikrobiologisesti Kuva 9 mukaan. Fysikaaliset ja kemialliset puhtausanalyysit toteutettiin tehtaalla laboratoriossa, mutta mikrobiologiset määrittelytulokset saatiin ulkoisen palvelun tarjoamasta laboratorion kautta. Fysikaalista puhtautta arvioitiin silmämääräisesti, kun taas kemiallisen puhtauden analysoimiseen käytettiin pH:n, sähkönjohtokyvyn ja titrauksen menetelmiä. Mikrobiologisten näytteiden analysoinnissa käytettiin apuna ulkopuolisen palvelun tehtaalle suunnittelemaa talousveden analyysipakettia, mihin kuuluivat homeet, hiivat, enterokokit, e.colit, koliformisit sekä elävät mikro-organismit kahdessa eri lämpötilassa analysoituna.



Kuva 9. Pesuprosessien parametrimuutoksien onnistumisen todentamisenkeinot ja niiden raja-arvot. Fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset menetelmien sopivuus on määritetty jokaiselle huuhtelulle niiden puhdistusvaatimuksien mukaan.

6.3.1. Silmämääräinen arviointi

Silmämääräisen arvioinnissa tarkasteltiin huuhteluvesinäytteitä silmämääräisesti. Näyte oli hyväksytty, jos siinä ei ollut silmällä havaittavia partikkeleita. Jos näytteestä kuitenkin löytyi ylimääräisiä partikkeleita, huuhtelu ei ollut riittävällä tasolla ja parametreihin tuli tehdä muutoksia. Silmämääräinen arviointi oli välillä haastavaa partikkelien pienen koon takia. Arvioimisen tukena käytettiin kuiva-aine määrittystä.

6.3.2. PH

Veden pH:n määrittämiseen soveltui vain tietynlainen pH-mittari, jossa oli oikeanlainen elektrodi. Tehtaalla ei kuitenkaan ollut sopivalla alueella toimivaa elektrodia käytössä, minkä takia työssä pH mittaukset toteutettiin VWR:n MQuant, Supelco pH-testiliuskoilla. Työhön valikoitui ennalta oletetun tarpeen mukaan muutama eri pH-alueen testiliuskat; 7.0–14.0, 6.5–10.0 ja 1.0–6.0.

Ennen analysoinnin aloittamista näyte temperoitiin huoneenlämpöiseksi tuloksien vertailukelpoisuuden takia. Vesinäytteiden lämpötilamuutoksien vaikutukset tuloksiin eivät kuitenkaan olleet merkittäviä (Opetushallitus 2024), ja niiden havaitseminen pH-liuskalta oli lähes mahdotonta. Analysointi suoritettiin upottamalla testiliuska dekanterilasissa olevaan näytteeseen parin sekuntin ajaksi, minkä jälkeen tulosta verrattiin testiliuskapaketissa värikarttaan. Epäselvissä tilanteissa tulos varmistettiin vielä

toisella testiliuskalla käyttäen mahdollisesti eri pH-alueen omaavaa testiliuskaa. Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen 1352/2015 mukaan hyväksytty tulos saavutettiin pH:n saavuttaessa 6,5–9,5.

6.3.3. Sähkönjohtokyky

Sähkönjohtavuus mitattiin tuotantolinjassa olevan sähkönjohtokykyanturin avulla. Anturi mittaa sähkönjohtavuutta koko puhdistusprosessin ajan, mitä tarkasteltiin tuotantoprosessin analysointiohjelmassa. Trend -ohjelmasta puhdistusprosessin sähkönjohtavuus (mS/cm) saatiin sekuntin tarkkuudella. Hyväksytty tulos saavutettiin kappaleen 5.4.2 mukaan, kun sähkönjohtavuus oli alle 2,5 mS/cm.

6.3.4. Hapon ja emäksen konsentraation määrittäminen titraamalla

Emäs-happotitrauksella määritettiin huuhteluvesinäytteen sisältämän hapon tai emäksen konsentraatio. Tarkka pitoisuus tuki muiden kemiallisten analyysien tuloksia. Titrauksessa käsiteltiin syövyttävää vahvaa emästä ja happoa, minkä käsittelyssä oli ehdoton käyttää suojakäsineitä ja -laseja. Myös työssä indikaattorina käytettävä fenoliftaleiini oli erityisen vaarallista terveydelle.

Analyysi aloitettiin pipetoimalla 10 ml huuhteluvesinäytettä lasiseen erlenmeyerpulloon. Näytteen sekaan lisättiin indikaattoriksi 1–2 tippaa fenoliftaleiinia. Fenoliftaleiinin ansiosta liuos värjäytyi pinkiksi emäksissä liuoksessa, mutta happamassa liuoksessa näyte ei vaihtanut väriä ollenkaan. Liuoksiin titrattiin 0,1 mol HCl tai 0,1 mol NaOH riippuen halutaanko määrittää seoksen happo- vai emäskonsentraatio. Kun väri on muuttunut emäksisessä liuoksessa värittömäksi ja happamassa punertavaksi, lopetetaan titraus ja katsotaan emäksen tai hapon kulutus titrausmittarista. Titraustuloksesta laskettiin emäsliuoksen konsentraatiopitoisuus Kaava 3 ja happoliuoksen konsentraatiopitoisuus Kaava 4. Huuhteluedessä saa natriumia olla enintään 200 mg/l (A 1352/2015), joka tarkoittaa NaOH sallituksi pitoisuudeksi 0,035 %. Kloridia saa puolestaan esiintyä huuhteluedessä 250 mg/l (A 1352/2015), joka HCl määrässä tarkoittaa 0,026 %. Pitoisuudet eivät kuitenkaan ole niin absoluuttisia, minkä takia on hyvä tukeutua näytteen pH-arvoon (A 1352/2015).

Kaava 3. Emäsliuoksen konsentraation määrittämisen laskukaava (m-%). Kerroin kuvastaa titrauksessa käytettävän vetykloridin pitoisuutta, Kerroin on saatu yrityksen laboratorioista.

$$\text{Emäsluos (m - \%)} = V[0,1 \text{ N HCl}](\text{ml}) \times 0,16$$

Kaava 4. Happoliuksen konsentraation määrittämisen laskukaava (m-%). Kerroin kuvastaa titrauksessa käytettävän 0,1N Natriumhydroksidin pitoisuutta. Kerroin on saatu yrityksen laboratoriosta.

$$\text{Happoliuos (m - \%)} = V[0,1 \text{ N NaOH}](\text{ml}) \times 0,22$$

6.3.5. Mikrobiologiset analyysit

Mikrobien määrittämistä varten huuhtelunäytteet kerättiin VWR:n Sterile Sodium Thiosulphate 20 mg/l -pulloihin. Näytteet toimitettiin ulkoiselle laboratoriolle, Eurofinsille, analysoitavaksi. Tulokset saatiin noin viikon kuluttua näytteenotosta ja lähetyksestä, mitkä kirjattiin ylös Eurofinsin sähköisestä järjestelmästä. Näytteistä määritettiin talousveden yleiset haitalliset mikro-organismit; elvytettävät mikro-organismit 22 ja 36 °C asteen lämpötilassa, ulosteista peräisin olevat enterokokit sekä homeet, homehiivat ja *Escherichia coli (E.coli)*. Eurofins oli määrittänyt raja-arvot jokaiselle tutkittavalle mikrobille talousveden sallimien rajojen mukaan, mikä helpotti tuloksien tulkittamista.

6.4. Tilastolliset ohjelmat ja analyysit

6.4.1. PlantMaster- ja Trend -ohjelmat

Työssä käytettiin tehtaalla käytössä olevia tuotantolinjojen ja laitteiden tuotannonohjauksen ohjelmia. Ohjelmien avulla pystyttiin käynnistämään koepesut, valvomaan niiden toteutumista, havaitsemaan mahdolliset ongelmat sekä tekemään mahdollisia muutoksia havaintojen pohjalta. Työssä käytettiin PlantMaster-ohjelmaa pesuprosessien käynnistämiseen ja koepesujen suorittamiseen, kun taas Trend-ohjelman käyttö perustui pääosin pesuprosessien toteutumisen seurantaan sekä niistä saatujen arvojen tulkittamiseen.

6.4.2. Excel

Työn koepesujen suunnitelmien ja tuloksien kirjaamiseen käytettiin Microsoft-Officen Excel-- ohjelmaa. Ohjelman avulla pystyttiin laskemaan teoreettiset parametrimuutokset sekä optimoitujen pesujen vaikutus kokonaisvedenkulutukseen ja niiden mahdollistamiin taloudellisiin hyötyihin. Lasketut tulokset esitettiin havainnollistavina taulukoina ja kuvaajina.

7. Tulokset

7.1. Koepesujen optimointi

Koepesujen parametrien muutoksen onnistumista tarkasteltiin Trend-ohjelmasta, mitä verrattiin puhtausanalyysien tuloksiin (liite 1). Jokainen pesukohde tarkasteltiin yksilöidysti ennen muutoksien tekoa, mikä näkyy myös tuloksissa ja optimoinnin etenemisessä. Seuraavaksi käydään prosessia läpi pesukohteen L1CC02 optimointia tarkemmin, jota voidaan verrata muiden pesukohteiden huuhteluiden optimoimiseen.

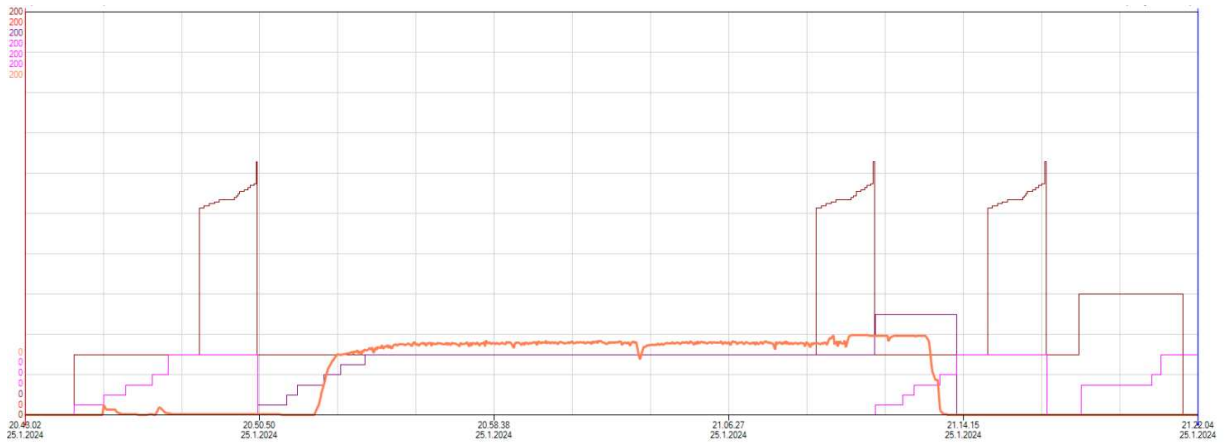
Esimerkki pesukohteen L1CC02 optimoinnista

Pesukohteen L1CC02 emäshappopesun etenemisestä vaiheittain ennen parametrien muuttamista on havainnollistettu kuvassa 10. Kuvasta voidaan havaita oranssilla viivalla merkityn johtokyvyn saavuttavan nollan sekä emäs- että happovaiheen jälkeen reilusti ennen varsinaisen huuhtelun alkamista. Tämä viittaa, että riittävä puhtaus saavutettiin jo hyvin aikaisessa vaiheessa, huuhtelun kierron täyttö ja sekoitusalue vaiheen aikana. Kyseisen pesukohteen virtausnopeus oli myös taulukon 1 mukaan riittävällä tasolla ylittäen 1,5 m/s, minkä takia siihen ei ollut tarvetta tehdä muutoksia (kuva 10).



Kuva 10. Pesukohteen, L1CC02, emäshappopesun eteneminen ennen parametrimuutoksia. Johtokyky saavuttaa hyväksytyyn tason ennen varsinaisen huuhtelun alkamista sekä emäs- että happopesun jälkeen. Värien selitykset; ruskea=pesu, vaaleanpunainen=alku-, väli- ja loppuhuuhtelu sekä oranssi= johtokyky.

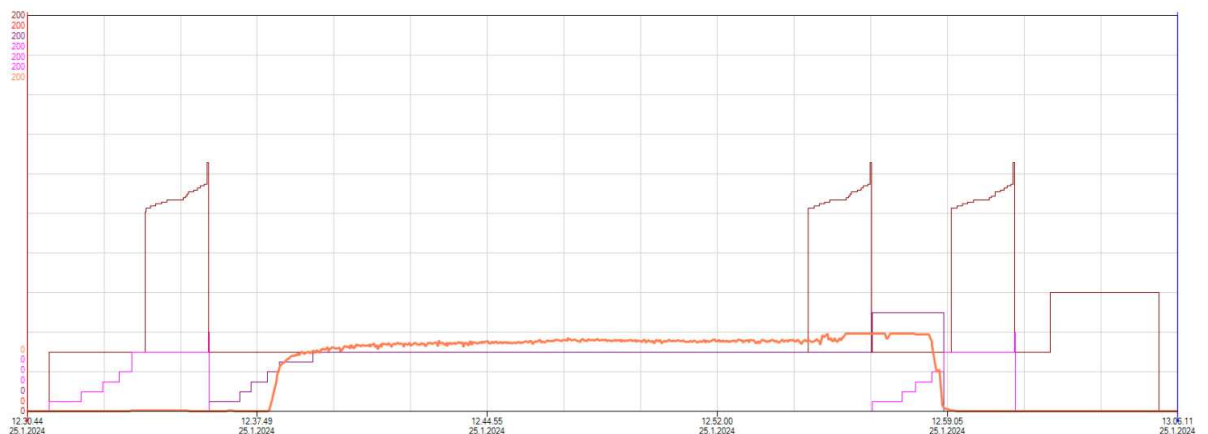
Pesukohteiden pesujen tarkastelun perusteella yhdeksi tärkeimmäksi mittariksi pesujen suunnittelussa nousi esiin johtokyky, jonka käyttäytymisestä pystyttiin arviomaan parametrimuutoksien tarpeen suuruutta. Myös pesukohteen L1CC02 emäspesussa johtokyky laskee nollaan selkeästi ennen varsinaisen huuhtelun alkamista (kuva 11), minkä perustella huuhteluvaiheita ennen varsinaista huuhtelua pystyttiin lyhentämään. Pesukohteiden pesuparametrejä lähdettiin muuttamaan yksi kerrallaan kohti suunniteltua teoreettista pesuohjelmaa.



Kuva 11.L1C02 emäspesun eteneminen ennen parametrimuutoksia. Johtokyky saavuttaa hyväksytyn tuloksen jo sekoitusalueen aikana, reilusti ennen varsinaisen huuhtelun alkamista. Johtokyky saavuttaa hyväksytyn tuloksen reilusti ennen varsinaisen huuhtelun alkamista. Johtokyky= oranssi viiva.

Lyhentämällä kierron täyttöä ja sekoitusaluetta saatiin varsinainen huuhtelu alkamaan aikaisemmin ja siten optimoitua ylimääräinen huuhteluveden kulutus (kuva 12). Kierron täytön ja sekoitusalueen muutoksilla saatiin aikaan isompia linjauksia ja varsinaisen huuhtelun muutoksilla vielä hienosäädettyä lopullista huuhtelun kulkua. Optimoidussa huuhtelussa hyväksytty puhtaus saavutetaan vasta huuhtelun lopussa, mikä saavutettiin monien koepesujen jälkeen. L1CC02 emäspesussa parametrien optimoimisen jälkeen, johtokyky saavutti hyväksytyt tulokset vasta huuhtelun lopussa (kuva 12).

Vaikka johtokyky oli merkittävässä roolissa CIP-pesujen huuhteluiden optimoimisessa, muut puhtausanalyysien tulokset tukivat sähkönjohtavuuden mittaustuloksia. Myös muiden puhtausanalyysien tulokset tulivat saavuttamaan hyväksytyt raja-arvot optimoidun pesuohjelman hyväksymiseksi.

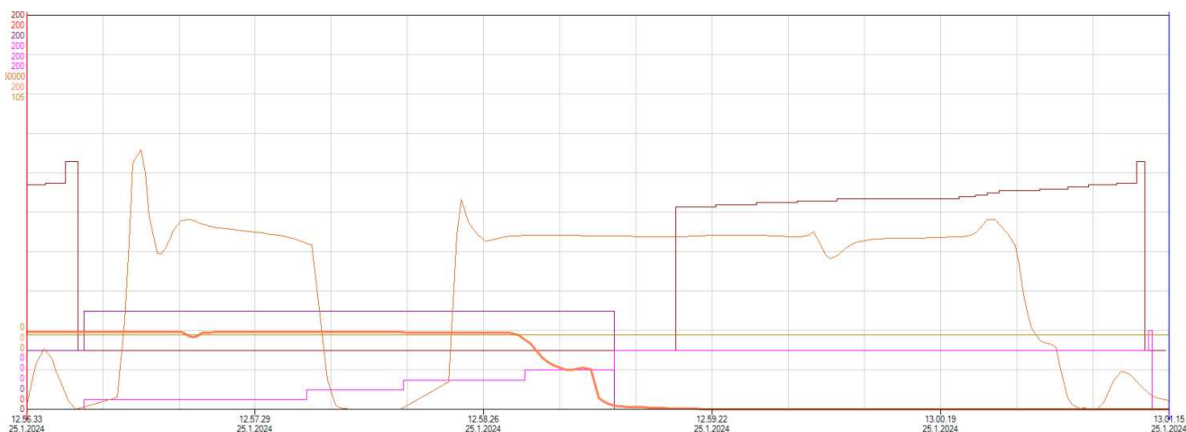


Kuva 12.L1CC02 parametrimuutoksien jälkeinen emäspesu. Johtokyky saavuttaa hyväksytyt tulokset myöhemmin, kuin ennen muutosta, varsinaisen huuhtelun lopussa. Pesussa johtokyky (oranssi viiva) saavuttaa hyväksytyt tulokset vasta loppuhuuhtelun lopussa.

Vertaamalla ennen parametrimuutoksia (kuva 11) ja parametrimuutoksien jälkeen (kuva 12) olevia pesuja, pesun kokonaiskestoa saatiin lyhennettyä 36 minuutista ja 54 sekuntista

34 minuuttiin ja 12 sekuntiin. Pesun kesto lyheni muutoksien seurauksesta 7,3 %, minkä vaikutus on myös kohtalaisen merkittävä. Tilanne toistui kaikkien pesukohteiden kohdalla enemmän tai vähemmän merkittävästi, mikä on havaittavissa myöhemmin esitettävässä taulukossa 5.

L1CC02 emäspesun loppuhuuhteen toteutumista parametrimuutoksien jälkeen voidaan tarkastella tarkemmin kuvasta 13. Johtokyvyn muutokset alkoivat tapahtua sekoitusvaiheen aikana, ja johtokyky saavutti hyväksytyn tason toivotusti vasta varsinaisen huuhtelun aikana. Varsinaisen huuhtelun jälkeen virtaus kuitenkin jatkui flip-vaiheiden aikana, mikä on havaittavissa tilavuusvirtaavuudesta, joka on kuvaan merkitty keltaisella viivalla. Vaikka virtaus jatkuukin reilusti varsinaisen huuhtelun jälkeen ja puhdistaa pesukohdetta edelleen, flip-vaiheiden virtaavuuden kestoissa on isoa eroja, minkä takia pesukohteen riittävän puhtauden varmistamiseksi, hyväksytyt tulokset tulevat saavuttaa varsinaisen huuhtelun lopussa. Mahdollisessa seuraavassa työssä flip-vaiheiden optimoinnissa on kuitenkin otettava huomioon huuhteluun loppuun jäävä pelivara pesun laadun varmistamiseksi.



Kuva 13. Parametrimuutoksien jälkeisen emäspesun loppuhuuhteen eteneminen. Kuvassa johtokyky alkaa laskea hyvissä ajoin, mutta saavuttaa hyväksytyn tuloksen kuitenkin vasta varsinaisen huuhtelun lopussa. Pesukohteessa on kuitenkin virtausta vielä keltaisen viivan mukaan reilu minuutti varsinaisen huuhtelun loppumisen jälkeen. Ruskea=pesun eteneminen, flip-vaiheet, keltainen= tilavuusvirtaavuus, =vaaleanpunainen=huuhtelu.

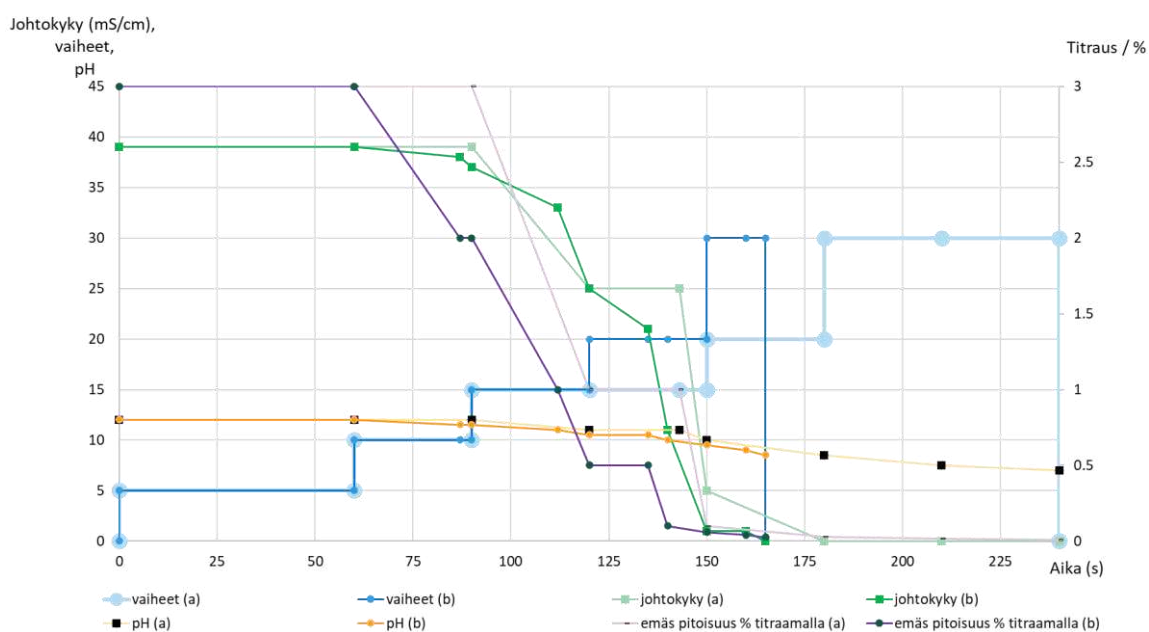
7.1.1. Parametrimuutoksien vaikutukset fysikaalisiin tuloksiin

Parametrimuutokset vaikuttivat erityisesti alkuhuhtelun näytteiden fysikaaliseen puhtauteen. Virtausnopeuden nostaminen nopeutti tuotejäämän poistumista prosessista, mutta huuhteluvaiheiden keston liiallinen lyhentäminen lisäsi partikkelien määrää huuhtelun lopussa otetussa näytteessä. Tuloksien perusteella alkuhuhteen kesto on kääntäen verrannollinen partikkelien määrään: mitä lyhyempi kesto, sitä enemmän partikkeleita näytteessä oli. Alkuhuhteen ei kuitenkaan tarvinnut olla absoluuttisen

puhdas emäspesun alussa, mutta emäspesun jälkeen olevan huuhtelun tuli olla absoluuttisesti puhdas. Suurin osa näytteistä olivat täysin puhtaita, mutta yksittäisissä näytteissä havaittiin partikkeleita ja/tai näyte oli samea. Yksittäisen pesujen kohdalla emäspesun jälkeisessä huuhteessa havaittiin tuotejäämiä, minkä seurauksena alkuhuuhteen vaiheita pidennettiin. Muutos korjasi esiin tullen ongelman. Identtisten koepesujen välillä oli havaittavissa myös pieniä eroavaisuuksia alkuhuuhteen puhtaudessa, mikä selittyi tuotantoerän reseptin ja tuotannon loppumisen ja pesun alkamisen keston vaihtelusta. Erot olivat kuitenkin niin pieniä, ettei niillä ollut merkittävää vaikutusta optimoituihin alkuhuuhdeluiden kestoihin.

7.1.2. Parametrimuutoksien vaikutukset kemiallisten analyysien tuloksiin

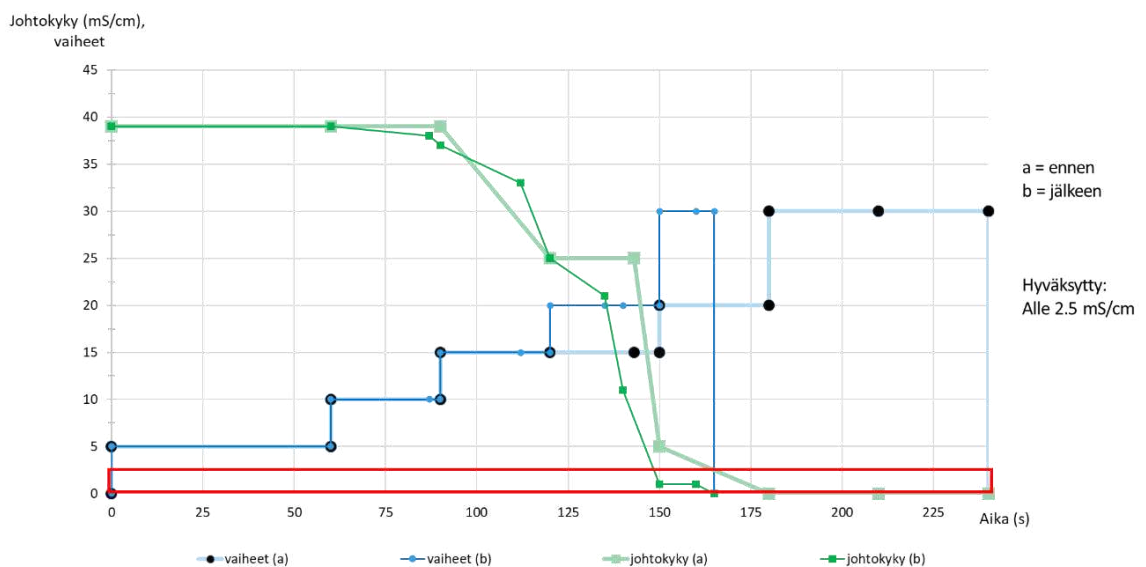
Huuhtelun kesto oli yksi merkittävin optimointiin vaikuttavista parametreista, minkä riittävää kesto voidaan kemiallisten analyysien avulla analysoida. Pesukohteen L1CC02 emäspesun alkuperäisen loppuhuuhdelun keston vaikutusta kemiallisten analyysi mittareihin; pH:n, johtokykyyn ja pitoisuuteen, on havainnollistettu Kuva 144. Kuvasta voidaan havaita kemiallisissa mittareissa ensimmäisiä muutoksia noin 90 sekuntin kohdalta huuhtelun alkamisesta. Parametrien muutoksien jälkeen olevassa pesussa muutoksia alkavat tapahtua hieman aikaisemmin noin 60 sekuntin kohdalla huuhtelun alkamisesta (kuva 14). Muutoksista huolimatta kemiallinen vaikutusaika pysyy suhteellisen samana.



Kuva 14. Kemiallisten analyysien tulosten pohjalta muodostettu kuvaaja pesukohteen L1CC02 alkuperäisen (a) ja muutoksen jälkeisen (b) emäspesun jälkeen. Kuvassa havainnollistetaan pH:n, johtokykyyn, pitoisuuden muuttumista suhteessa huuhteluvaiheiden ja huuhtelun kokonaiskeston nähden.

Sähkönjohtokyky

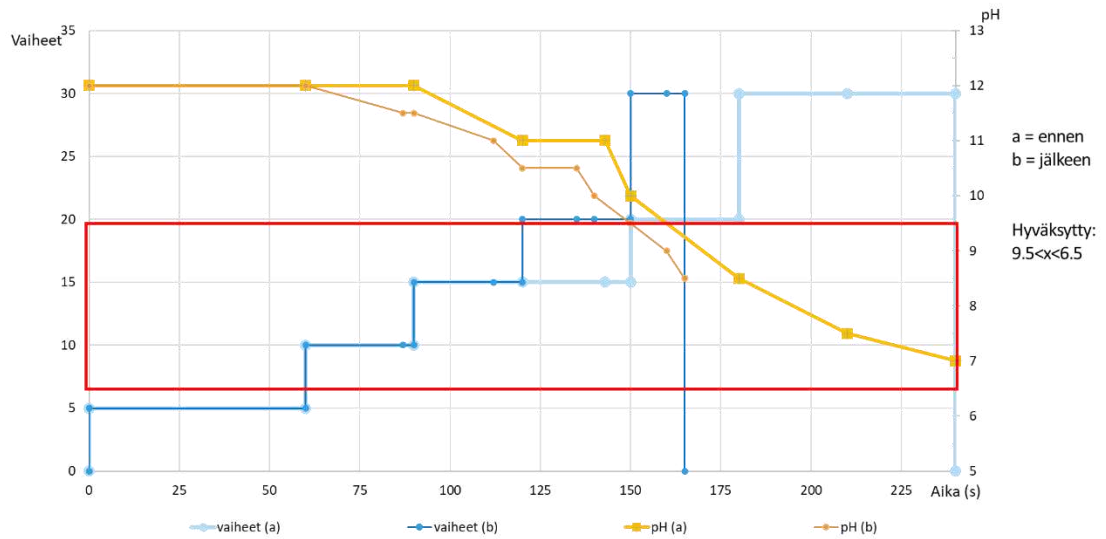
Optimoitujen parametrien pesun loppuhuuhteessa johtokyky saavutti hyväksytyin tason hieman aikaisemmin kuin ennen parametrimuutoksia oleva pesu (kuva 15). Ero pesujen välillä ei ollut kuinkaan merkittävä. Lyhentämällä kierron täyttöä ja sekoitusaluetta, riittävä puhtaus saavutettiin vasta varsinaisen huuhtelun aikana. Varsinaisen huuhtelun kesto määritettiin niin, että riittävä puhtaus saavutettiin vasta varsinaisen huuhtelun lopussa. Tämä mahdollisti vielä huuhtelun lyhentämisen varsinaisesta huuhteluvaiheesta. Johtokyky saavutti parametrimuutoksien jälkeen hyväksytyin raja-arvon 148 sekuntin kohdalla huuhtelun alkamisesta.



Kuva 15. Johtokyvyn muutokset L1CC02 emäspesun loppuhuuhteen aikana ennen ja jälkeen parametrimuutoksien. Muutoksen ansiosta hyväksytty tulos saavutettiin 17 sekuntia aikaisemmin. Punaisella on merkitty hyväksytyin tuloksen raja-arvo, 2,5mS/cm.

PH

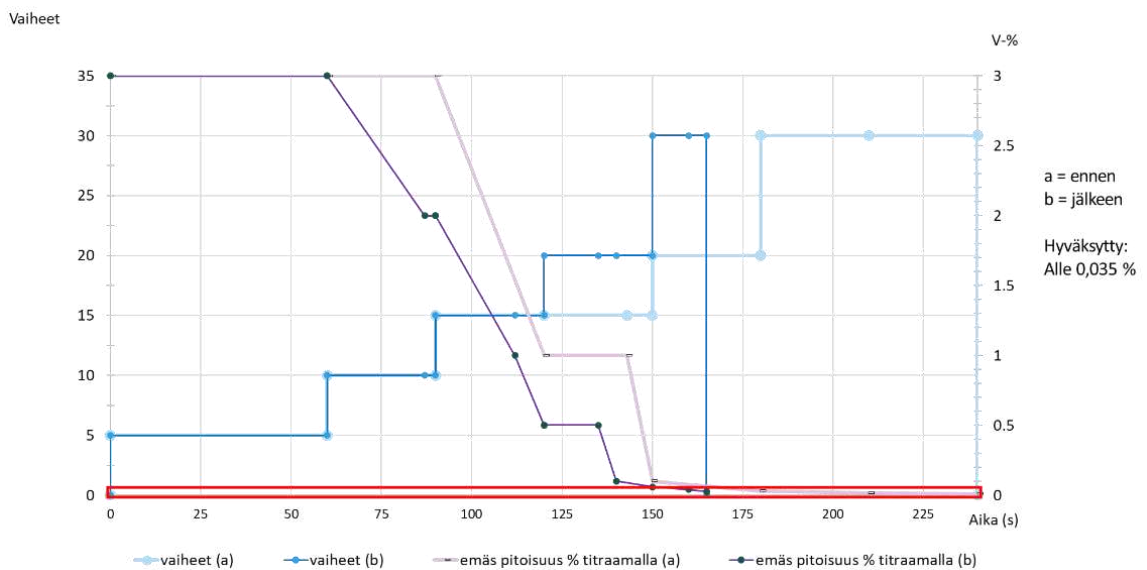
Pesun lopputuloksen kemiallista puhtautta määritteli myös pH, jonka tuli saavuttaa 6.5–9.5 raja-arvot (kuva 16). PH laski kuvan mukaan suhteellisen tasaisesti kohti neutraalia. Parametrimuutoksien myötä pH alkoi laskemaan muutoksen jälkeen hieman aikaisemmin kuin ennen muutosta, mutta ero hyväksyn raja-arvon kohdalla ei ollut merkittävä, 10 sekuntia. Optimoidussa pesussa hyväksytty tulos saavutettiin 150 sekuntin kohdalla.



Kuva 16. PH:n muutokset LICCO2 emäspesun loppuhuuhteen aikana ennen ja jälkeen parametrimuutoksien. Hyväksytty tulos saavutettiin muutoksen avulla pH:n osalta 10 sekuntia aikaisemmin. Hyväksytyt raja-arvot merkitty kuvaan punaisella.

Emäs ja happopitoisuudet

Tarkat huuhtelunäytteen emäksen ja hapon pitoisuudet varmistettiin titraamalla. Pitoisuuden tulisi olla hyvin lähellä nollaa, mutta hyväksytty tulos saavutettiin emäspitoisuuden ollessa noin alle 0,035 % (kuva 16) ja happopitoisuuden ollessa alle 0,25 %. Näytteiden emäs- tai happopitoisuudet olivat kuitenkin sallituissa rajoissa, jos pH ja johtokyky olivat myös sallituissa rajoissa. Hyväksytty tulos ennen parametrimuutoksia saavutettiin kuvan 17 mukaan ajassa 165 sekuntia, kun taas optimoinnin jälkeen hyväksytty tulos saavutettiin ajassa 150 sekuntia.

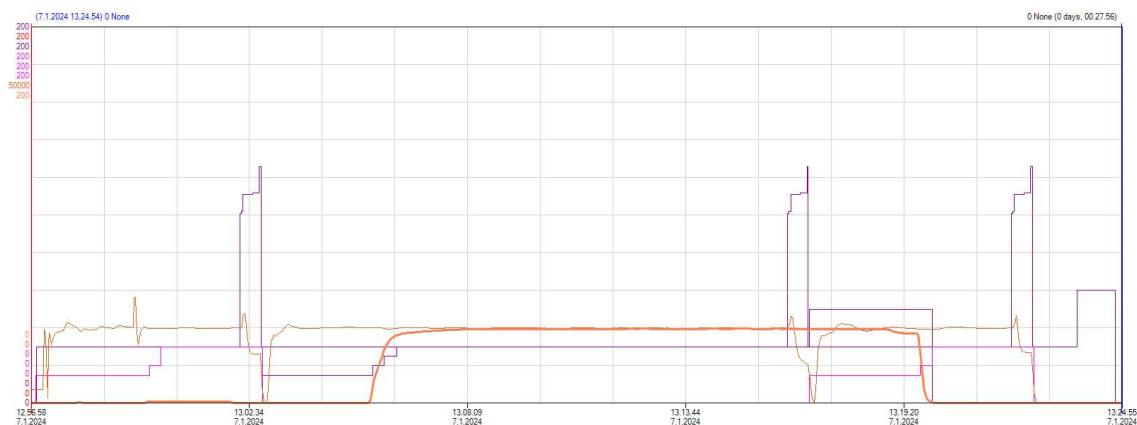


Kuva 17. LICCO2 emäspesun loppuhuuhteen emäspitoisuuden muutokset ennen ja jälkeen parametrimuutoksien. Muutoksen ansiosta hyväksytty tulos saavutettiin 15 sekuntia aikaisemmin kuin ennen muutosta. Punaisella on merkitty hyväksytyyn tuloksen raja-arvo, joka on 0,035 %.

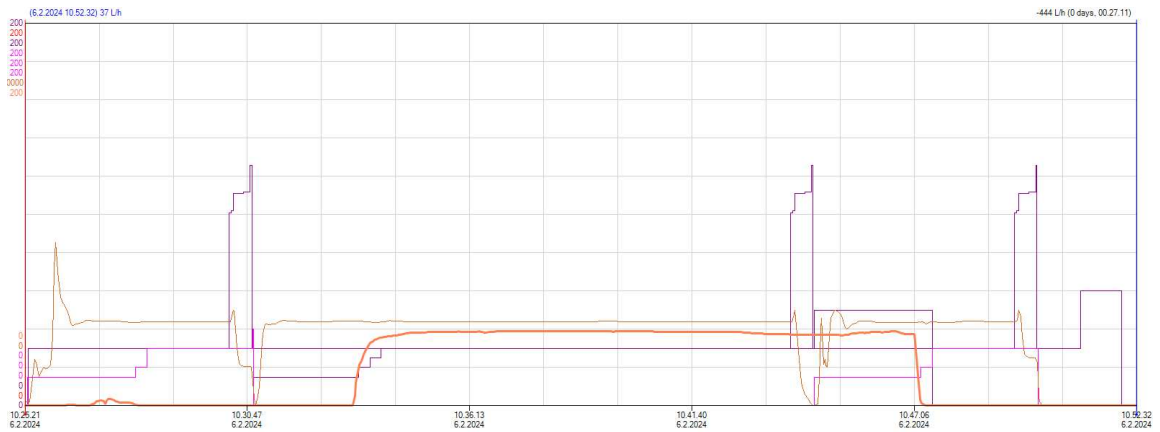
Kemiallisien analyysien tuloksien perusteella L1CC02 emäspesun loppuhuuhteen hyväksyty puhtaus saavutettiin optimoinnin jälkeen 150 sekuntin kohdalla huuhtelun alkamisesta, kun taas ennen muutosta loppuhuuhteen kokonaiskesto oli jopa 240 sekuntia (kuva 13). Puhdistuksen laadun varmistamiseksi loppuhuuhteen kesto on kuitenkin syytä pidentää 165 sekuntiin laadun vaihtelun vuoksi. L1CC02 pesukohteen emäspesun loppuhuuhtelu lyheni muutoksien ansiosta 75 sekuntia, minkä vaikutus itsessään vedenkulutukseen on jo merkittävä.

7.1.3. Virtausnopeuden muutoksien vaikutukset pesuun

Virtausnopeuden nostaminen lyhensi huuhtelun keston tarvetta poistaen lian ja kemikaalit putkistosta lyhyemmässä ajassa. Muutos näkyi johtokyvyn nopeammassa muutoksessa saavuttaen hyväksytyt tulokset aikaisemmin verrattuna ennen muutosta. Alkuperäisellä virtausnopeudella johtokyky saavuttaa emäsvaiheen jälkeen hyväksytyt raja-arvon varsinaisen huuhtelun alussa (kuva 18), kun taas virtausnopeuden nostamisen ansiosta johtokyky saavutti hyväksytyt raja-arvon jo selkeästi ennen varsinaisen huuhtelun alkamista (kuva 19). Virtausnopeuden muutokset tehtiin vain pesukohteille, jotka eivät saavuttaneet 1,5 m/s virtausta. Vaikka tilavuusvirtausnopeuden muutos esimerkiksi pesukohteessa L1CC11 oli vain 1000 l/h, vaikutus oli selkeä. Muutoksen avulla huuhtelun vaiheita pystyttiin lyhentää entisestään.



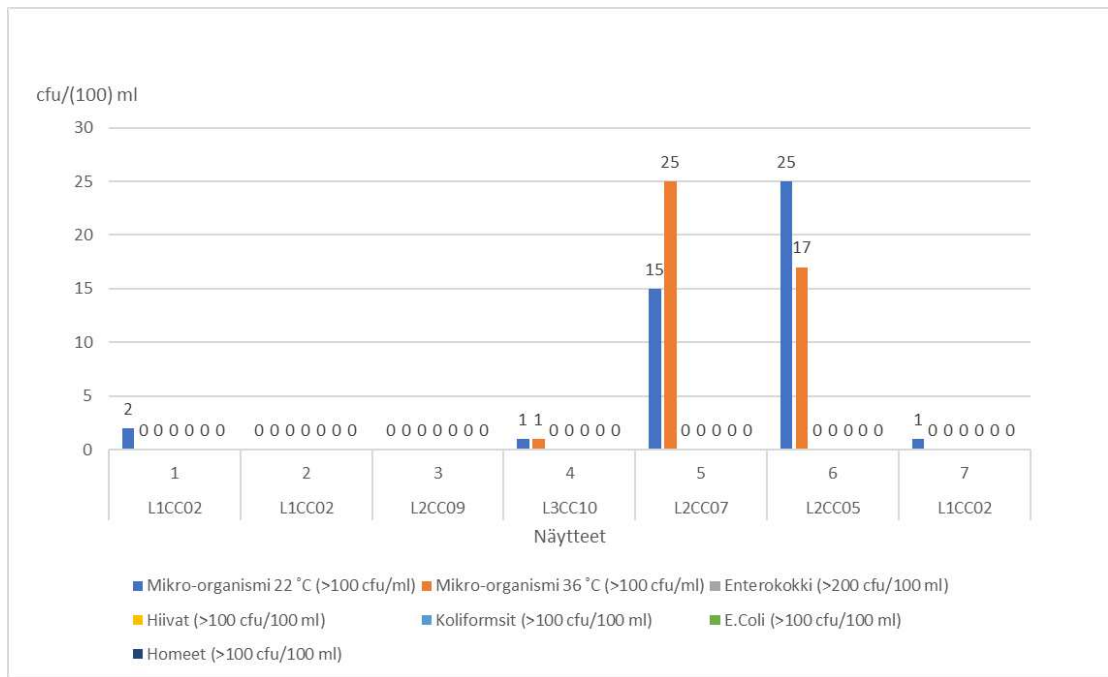
Kuva 18. L1CC11 emäspesu ennen virtausnopeuden muutosta alkuperäisellä pesuohjelmalla. Johtokyvyllä mitattuna riittävä puhtaus saavutetaan juuri varsinaisen huuhtelun alussa. Alkuperäinen tilavuusvirtausnopeus oli 10000 l/h.



Kuva 19. L1CC11 emäpesu virtausnopeuden muutoksen jälkeen alkuperäisellä pesuohjelmalla. Alkuperäiseen ohjelmaan nähden riittävä puhtaus saavutetaan johtokyvyn mukaan aikaisemmin kuin ennen muutosta. Muutettu tilavuusvirtausnopeus oli 11000 l/h.

7.1.4. Mikrobiologisten analyysien tulokset

Mikrobiologisia näytteitä otettiin työn loppupuolella, vasta kun muiden muuttujien suhteen puhtaus on riittävällä tasolla parametrimuutoksien jälkeen. Mikrobiologisilla analyyseillä pyrittiin varmistamaan puhtauden riittävyys ennen parametrimuutoksien lopullista hyväksymistä. Näytteitä otettiin satunnaisesti koepesuista, mutta missään analysoiduissa näytteissä missään ei esiintynyt huolestuttavaa mikrobiologista kasvustoa (kuva 20). Joissain näytteissä oli havaittavissa äärimmäisen pientä mikro-organismi kasvua niin 22 °C kuin myös 36 °C asteessa. Kasvustojen määrä ei kuitenkaan ylittänyt kappaleessa 5.4.3 talousvedelle määritettyjä rajoja. Myös toistojen vähäisen määrän takia tuloksia ei voi pitää merkitsevinä. Sen lisäksi yksittäiset kasvustot näytteissä saattavat selittyä myös näytteenottoaikan ja -välineiden epähygieenisyydellä. Yhden pesun muutoksien jälkeen mikrobiologiseen puhtauteen ei tapahtunut muutoksia, mikä viittaa, ettei mikrobiologiset analyysit olleet valideja kertomaan yksittäisen pesu onnistumisesta, vaan yleisestä pesukohteen puhtaudesta. Jos pesuparametrimuutokset olisivat olleet pidempään käytössä, saataisiin myös mikrobiologisten analyysien tulokset valideiksi kertomaan parametrimuutoksien onnistumisesta. Muita näytteistä poiketen, näyte 7 otettiin parametrimuutoksien ollessa käytössä parin viikon ajan. Tuloksia verrattaessa muihin saman kohteen tuloksiin, ei havaittu lyhyessä ajassa muutoksia. Tulosta ei kuitenkaan voida pitää merkityksellisenä vähäisen datan myötä.



Kuva 20. Mikrobiologisten analyysien tulokset koepesuittain. Tuloksissa havaittiin vain mikro-organismista kasvua 22 °C ja 36 °C, mutta kasvu ei ylittänyt haitallisia mikrobien raja-arvoja.

7.2. Pesukohteiden parametrit ja pesuohjelmat optimoinnin jälkeen

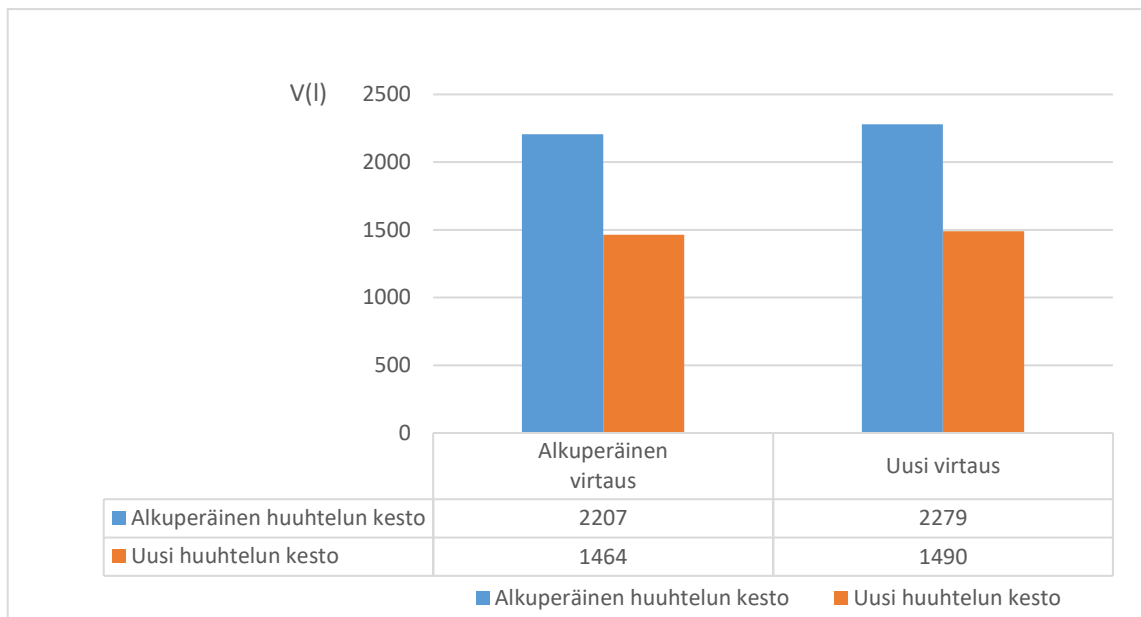
Koepesujen pohjalta saatiin optimaaliset huuhteluvaiheiden parametrit, jotka on esitetty pesukohteittain Taulukko 5. Huuhteluvaiheista keskityttiin virtaavien huuhteluvaiheiden keston lyhentämiseen, joita ovat kierron täyttö, sekoitusalue ja varsinaisten huuhteluiden. Lähtökohtaisesti kaikilla pesukohteilla on yksilöidyt pesuohjelmien huuhteluvaiheet, mutta kuten taulukosta nähdään, tankkien huuhteluvaiheissa ovat keskenään hyvin samankaltaiset. Puolestaan linjojen pesuohjelmien huuhteluvaiheissa on suurempaa vaihtelua, mitkä selittyvät linjojen erilaisuudella.

Taulukko 5.Optimointikohteiksi valittujen pesukohteiden pesuparametrit ennen ja jälkeen parametrimuutoksien.

Pesu linja	Pesu-kohde	Alkuperäinen		Muutettu		Alkuperäinen		Muutettu		Alkuperäinen pesuohjelma	Muutettu pesuohjelma	Alkuperäinen		Muutettu	
		Täyttö (l)	Täyttö (s)	Täyttö (l)	Täyttö (s)	Sekoitusalue (l)	Sekoitusalue (s)	Sekoitusalue (l)	Sekoitusalue (s)			Huuhtelut emäs (s)	Huuhtelut emäsha ppo(s)	Huuhtelut emäs (s)	Huuhtelut emäsha ppo(s)
L1	L1CC02	270	60	150	30	200	60	150	30	AH 60s +VH 60s+LH 60s	AH 25s+ VH 5s+ LH 15s	120	180	40	45
	L1CC04	230	60	180	40	200	60	150	30	AH 60s +VH 60s+LH 60s	AH 25s+ VH 5s+ LH 15s	120	180	40	45
	L1CC06	270	60	180	40	200	60	150	30	AH 60s +VH 60s+LH 60s	AH 25s+ VH 5s+ LH 15s	120	180	40	45
	L1CC08	270	60	180	40	200	60	150	30	AH 60s +VH 60s+LH 60s	AH 25s+ VH 5s+ LH 15s	120	180	40	45
	L1CC10	380	195	300	140	60	30	60	30	AH 60s + VH 0s +LH 120s	AH 40s + VH 0s +LH 60s	180	180	100	100
	L1CC11	445	185	350	140	50	30	50	30	AH 120s+VH 10s+LH 120s	AH 60s+VH 5s+LH 30s	250	260	90	95
	L1CC12	480	200	400	170	50	30	50	30	AH 60s+VH 60s+LH 20s	AH 30s+VH 5s+ LH 15s	80	140	45	50
L2	L2CC03	300	100	210	60	200	100	150	45	AH 60s +VH 60s+LH 60s	AH 30s +VH 10s+LH 30s	120	180	60	70
	L2CC05	300	100	210	60	200	100	150	45	AH 60s +VH 60s+LH 60s	AH 30s +VH 10s+LH 30s	120	180	60	70
	L2CC07	300	100	210	60	200	100	150	45	AH 60s +VH 70s+LH 60s	AH 30s +VH 10s+LH 30s	120	190	60	70
	L2CC09	700	140	600	120	100	60	70	40	AH 60s +VH 0s+LH 60s	AH 30s +VH 0s+LH 25s	120	120	55	55
	L2CC12	330	150	330	150	100	60	100	60	AH 120s+VH 120s+LH 180s	AH 60s+VH 30s+LH 30s	300	420	90	120
L3	L3CC06	230	60	230	60	180	60	180	60	AH 60s +VH 60s+LH 60s	AH 30s+ VH 30s+LH 40s	120	180	70	100
	L3CC08	230	60	230	60	180	60	180	60	AH 180s +VH 60s+LH 60s	AH 180s+ VH 40s+LH 60s	240	300	240	280
	L3CC10	230	60	230	60	180	60	180	60	AH 60s +VH 60s+LH 60s	AH 30s+ VH 30s+LH 40s	120	180	55	85

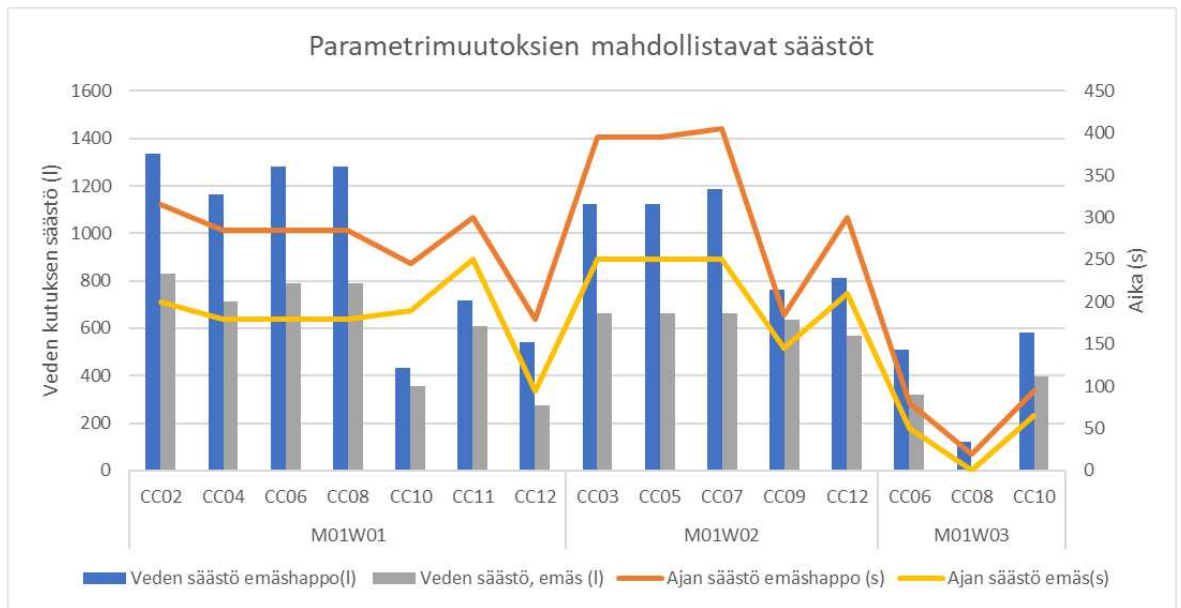
7.3. Parametrien ja pesuohjelmien muutoksien vaikutukset

Huuhteluvaiheiden parametrimuutokset vähensivät veden kokonaiskulutusta, mutta virtausnopeuden kasvattaminen lisäsi puolestaan kulutusta. Esimerkiksi L1CC11 tilavuusvirtausta nostettiin 1000 l/h, joka lisäsi veden kulutusta 0,27 litraa sekuntia kohden. Muihin pesuohjelman parametrimuutoksiin verrattuna virtauksen kasvun nostava vedenkulutus jäi mitättömäksi. Pesukohteen L1CC11 vedenkulutuksessa tapahtunut muutos huuhteluiden kestojen lyhentämisen ja virtausnopeuden nostamisen seurauksena on havainnollistettu kuvan 21 pylväsdiagrammissa. Virtausnopeuden nostaminen nosti pesukohteen vedenkulutusta yhden pesun aikana 72 litraa, mutta pesuohjelman ja virtausnopeuden optimoimisen jälkeen vedenkulutusta pystyttiin vähentämään jopa 717 litraa pesua kohden. Kuvasta 21 voidaan myös havaita hyvin, ettei virtausnopeuden nostamisella ollut merkittävää vaikutusta verrattuna huuhtelun keston muutoksiin.



Kuva 21. Pesukohteen L1C11 virtausnopeuden ja huuhtelun keston muutoksien vaikutukset vedenkulutukseen emäshappopesussa. Muuttamalla virtausnopeutta ja muita pesuparametrejä veden kulutus väheni L1C11

Pesukohteiden optimoinnin jälkeen muutokselle laskettiin vedenkulutuksen laskun mahdollistama taloudellinen hyöty. Taloudelliseen hyötyyn sisältyi vedenkulutuksen säästöjen lisäksi energiasäästöt sekä työajan, tuotantotehokkuuden ja henkilöstön muodostamat säästöt. Työssä kuitenkin keskityttiin vain vedenkulutuksen optimointiin. Kuvassa 22 on esitetty pesukohteittain parametrimuutoksien vaikutukset veden kulutuksen ja huuhteluiden kestoon yhden emäshappo- ja emäspesun aikana. Pesukohteiden välillä on havaittavissa suurta vaihtelua, mutta myös emäs- ja emäshappopesun välisissä säästöissä on merkittävä ero.



Kuva 22. Yhteenveto kaikkien pesukohteiden parametrimuutoksien mahdollisista säästöistä veden ja ajan suhteen. Säästöt vaihtelevat pesukohteittain merkittävästi. Suurempi veden säästö mahdollistaa myös suuremman ajallisen säästön.

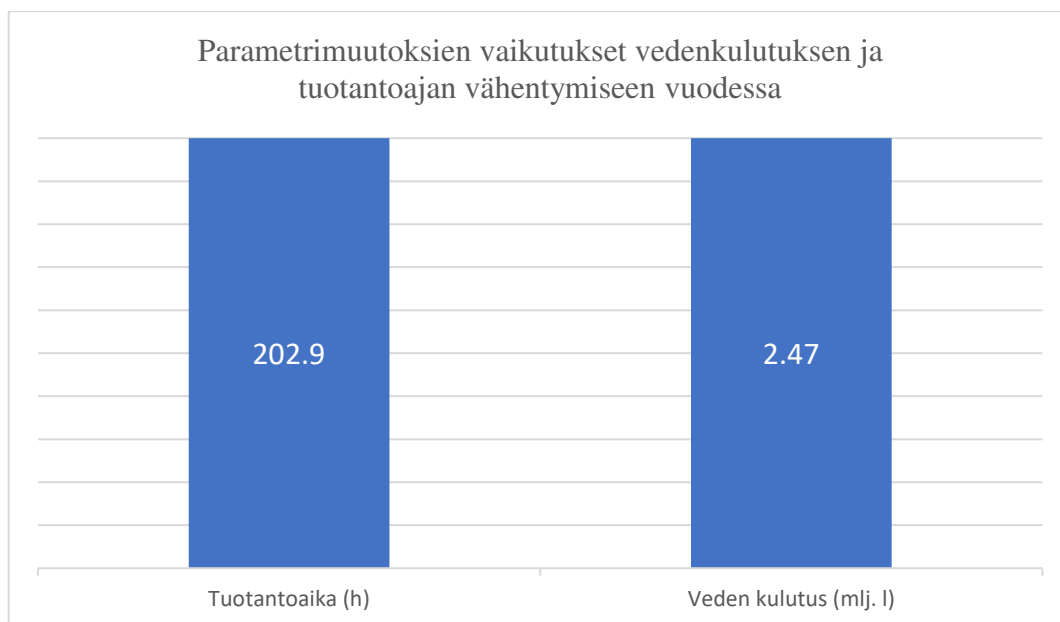
7.3.1. Vaikutus vuositason vaikkeilla

Parametrimuutoksien vaikutusten havainnollistaminen isommassa kuvassa vaihtelevien tuotantopäivien ja kvartaalien vuoksi oli konkreettisempaa kuin yksittäisen pesun säästön tarkastelu. Parametrimuutoksien vaikutukset ja merkitys kasvoivat tuotantovolyymien kasvaessa. Pesukohteiden pesujen keskimääräisellä toistuvuudella määritettiin veden kulutuksen ja tuotantoajan säästöt vuodessa. Pesujen keskimääräinen toistuvuus laskettiin vuoden 2023 syys-marraskuun pesujen kuukauden keskiarvon mukaan (taulukko 6).

Taulukko 6. Pesujen toistuvuus keskimäärin kuukaudessa pesukohteittain. Pesokohteiden välillä on suurta vaihtelua 32,33 krt/kk (L2CC09) verrattuna 12,67 krt/kk (L3CC10). Toistuvuudet laskettiin vuoden 2023 syys-marraskuun keskiarvosta.

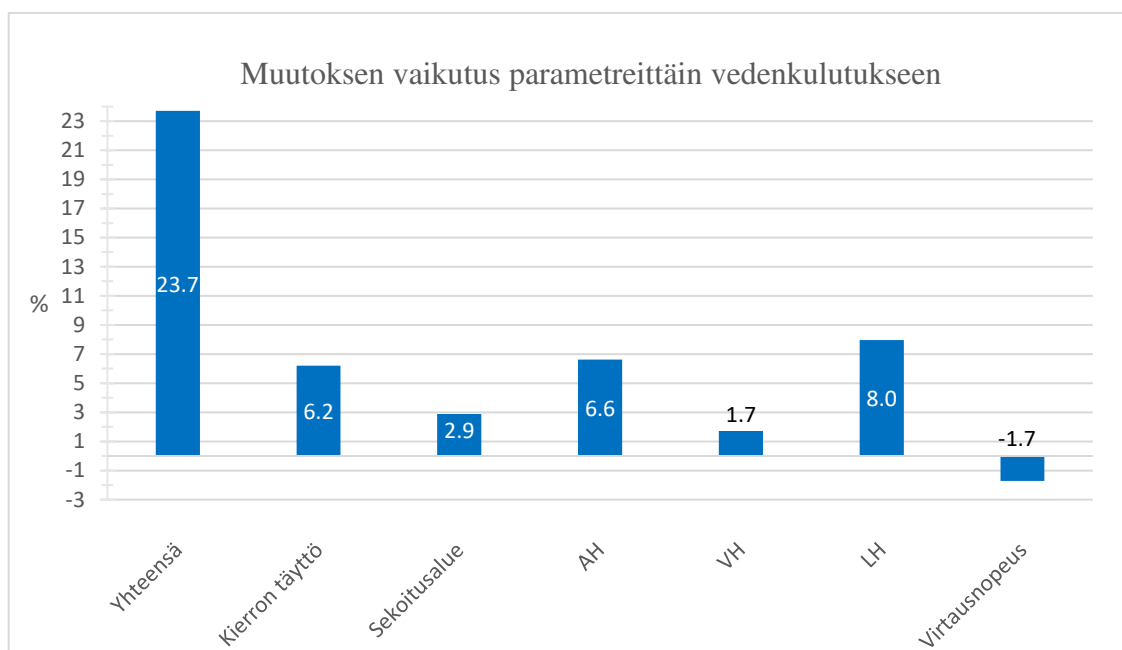
Pesukohde	Emäspesut krt/kk	Emäshappopesut krt/kk	Kaikki pesut krt/kk
L1CC02	16,42	4,25	20,67
L1CC04	25,42	4,25	29,67
L1CC06	18,08	4,25	22,33
L1CC08	13,42	4,25	17,67
L1CC09	13,08	4,25	17,33
L1CC10	20,08	4,25	24,33
L1CC11	13,75	4,25	18
L1CC12	22,08	4,25	26,33
L2CC03	23,42	4,25	27,67
L2CC05	20,08	4,25	24,33
L2CC07	15,42	4,25	19,67
L2CC09	28,08	4,25	32,33
L2CC12	14,42	4,25	18,67
L3CC06	10,08	4,25	14,33
L3CC08	10,42	4,25	14,67
L3CC10	8,42	4,25	12,67

Vuodessa parametrimuutoksien avulla tuotantoaika lisääntyi 202,9 h ja vedenkulutus väheni 2,47 miljoona litraa, joka on 23,7 % vähemmän kuin ennen parametrimuutoksia (kuva 23). Tulos laskettu vuoden 2023 syys-lokakuun tuotantovolyymin perusteella.



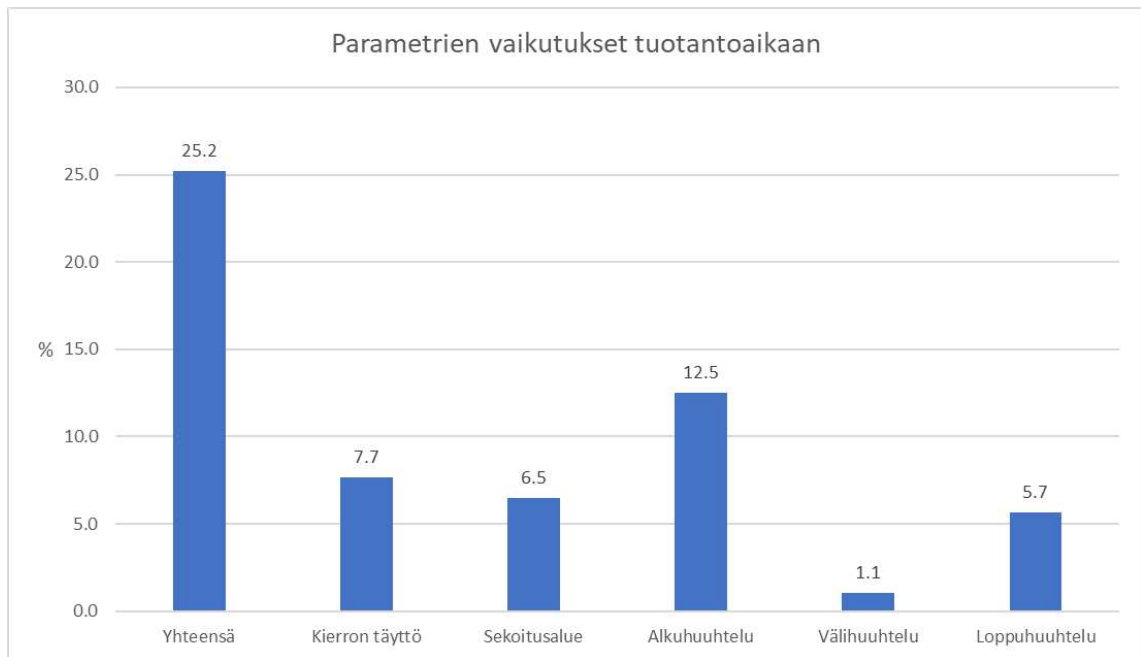
Kuva 23. Parametrimuutoksien vaikutus vedenkulutuksen ja tuotantoajan lisääntymiseen vuoden 2023 syksyn tuotantovolyymin perusteella.

Kierron täyttö, sekoitusalue, alkuhuuhdeltu, välihuuhdeltu ja loppuhuuhdeltu vähensivät vedenkulutusta 25,4 %, mutta yksittäisissä pesukohteissa riittävän puhtaustuloksen varmistamiseksi virtausnopeutta jouduttiin nostamaan (kuva 24). Lisääntynyt virtausnopeus lisäsi vedenkulutusta, mutta sen merkitys ei ollut suuri, vain 1,7 %. Merkittävimmät vedenkulutusta vähentävät parametrit olivat loppuhuuhdeltun (8,0 %) ja alkuhuuhdeltun (6,6 %) varsinainen huuhtelu. Välihuuhdeltun optimoinnin merkitys jäi vähäiseksi (1,7) emäs-happopesujen volyymin vähäisyyden takia.



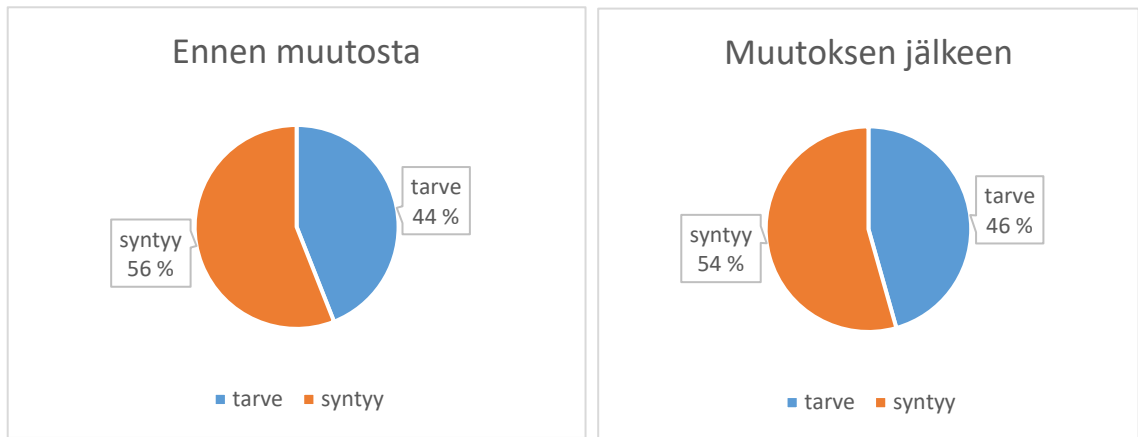
Kuva 24. Yksittäisten parametrimuutoksien vaikutukset vedenkulutukseen (V-%). Suurin vaikuttavin parametri oli loppuhuuhdeltun varsinainen huuhtelu (8,0 %). Yhteensä parametrien avulla vedenkulutus väheni 23,7 %.

Veden kulutuksen lisäksi parametrimuutokset mahdollistavat pesujen huuhteluiden kokonaiseiston vähentämisen. Parametrimuutoksien avulla huuhteluiden kokonaiseisto lyheni 25,2 %, mikä lisäisi vuoteen teoreettisesti 202,9 tuntia tuotantoaikaa. Lisääntynyt tuotantoaika on kuitenkin hyvin teoreettinen muuttuvan tuotannon ja ennustetun tuotantovolyymien mukaan. Kuvan 25 mukaan merkittävin tuotantoaikaan vaikuttavin parametri oli alkuhuuhdeltun varsinainen huuhtelu (12,5 %). Muut parametrien muutoksien vaikuttivat tuotantoaikaa alkuhuuhdeltua vähemmän; kierron täyttö (7,7 %), sekoitusalue (6,5 %), loppu- (5,7 %) ja välihuuhdeltu (1,1 %) (kuva 25). Tuloksiin vaikutti myös kierron täytön ja sekoitusalueen enimmäisajat, jotka eivät lähtökohtaisesti ole toteutuneet alkuperäisissä pesuohjelmissa. Näiden parametrien muutokset vääristävät hieman todellista hyötyä.



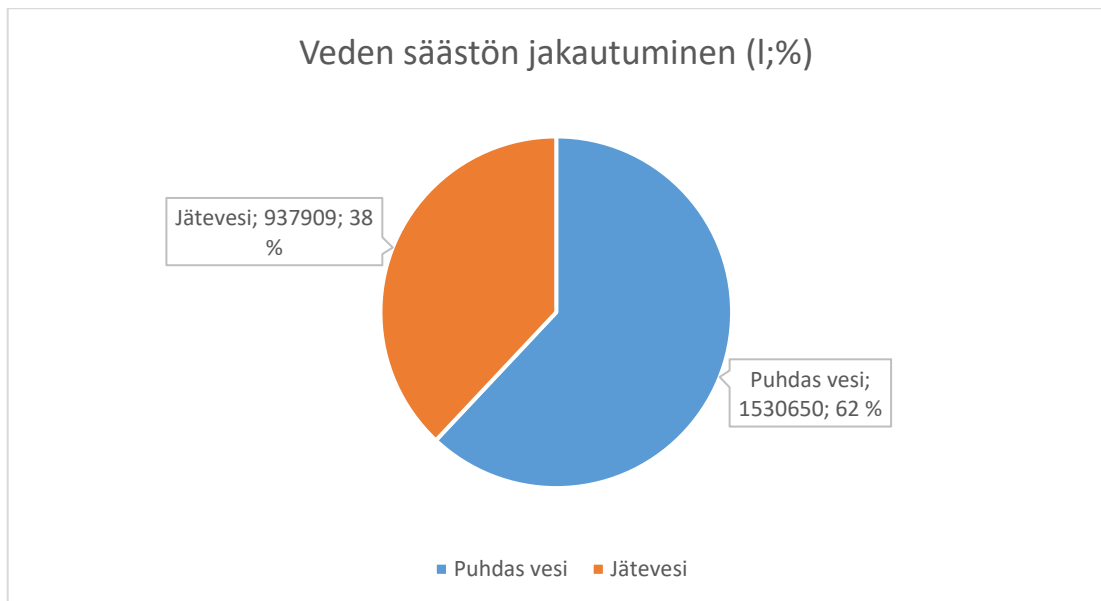
Kuva 25. Merkittävin tuotantoaika vähentänyt parametri oli alkuhuuhteen varsinainen huuhtelu, jopa 12,5 %. Vähiten merkittäväksi parametriksi jäi välihuuhtelu. Tuotantoaika pystyttiin vähentämään yhteensä teoreettisesti 25,2 %.

7.3.2. Huuhteluveden kierron toteutuminen ja sen vaikutukset vuositason Parametrimuutoksien jälkeen oli hyvä varmistaa kierrätettävän huuhteluveden toteutuminen, jotta puhtaan veden käyttö olisi mahdollisimman optimoitua. Huuhtelukiertoon muodostuu huuhdetta käytettäväksi väli- ja loppuhuuhdeten varsinaisista huuhteluista sekä flip-vaiheiden aikana kulkevasta virtauksesta. Kierrätettyä huuhdetta käytetään alkuhuuhteen kaikkiin vaiheisiin tankin täytöstä aina varsinaisen huuhtelun loppuun. Ennen parametrimuutoksia kiertoon syntyvän huuhteluveden määrä oli riittävä suhteessa kierrätettävän huuhteluveden tarpeeseen 56 % vrt. 44 % (kuva 26). Myös parametrimuutoksien jälkeen kierrätettyä vettä syntyi tarpeeseen nähden 54 % vrt. 46 % (kuva 26). Muutoksien avulla suhde myös tasoittui, eikä siten kierrätettävä vesi joudu niin paljon viemäriin ilman toista käyttökertaa. Kiertävän veden osuutta saataisiin tasoitettua entisestään, jos alkuhuuhdeten muutos ei olisi niin suuri.



Kuva 26. Huuhteluvedenkierrossa muodostuvan ja tarvittavan huuhteluvesien suhde ennen (vas.) ja jälkeen (oik.) parametrimuutoksien. Parametrimuutokset eivät vaikuttaneet merkittävästi syntyvän huuhteluveden ja tarvittavaan huuhteluveteen suhteeseen. Suhde kuitenkin parani hieman, mikä vähentää jäteveden määrää.

Työssä taloudellista hyötyä ei laskettu, mutta sen laskemissa tieto vedenkulutuksen vähentymisen jakautumista puhtaan veden ja jäteveden välille vaihtelevien hintojen takia on hyvin oleellinen. Puhtaan veden osuus vedenkulutuksen vähenemisestä oli 62 %, kun taas jäteveden osuus 38 %. (kuva 27). Veden säästön jakautumisessa ei otettu huomioon prosessista ylimääräiseksi jäänyttä kierrätettyä huuhteluvettä.



Kuva 27. Veden säästö jakautuu puhtaan veden (62 %) ja jäteveden (38 %) välille. Kuvassa ei ole huomioitu ylimääräisen huuhteluveden päätymistä viemäriin (kuva 26).

8. Tulosten tarkastelu

CIP-pesuprosessin optimoinnissa kirjallisuuden ja aikaisempien tutkimuksien vähäisen määrän myötä työn alussa niin koepesujen suunnittelussa kuin myös toteuttamisessa ei osattu ottaa kaikkia näkökulmia alusta alkaen huomioon. Se aiheutti työn tekemiseen ylimääräisiä ja turhia työvaiheita. Myös pesukohteiden yksilöllisen optimoinnin yhdistäminen muuttuvaan tuotantoon toi koepesujen toteuttamiseen aikataulullisia haasteita. Pesujen optimoinnin tuloksiin vaikuttivat eniten fysikaalisten ja kemiallisten analyysien tulokset, sillä mikrobiologiset tulokset eivät olleet valideja puhdistuksen onnistumisen näkökulmasta.

8.1. Näytteenotto ja mikrobiologinen puhtaus

Näytteenotto suoritettiin osana muuttuvaa tuotantoa alustavan suunnitelman mukaan. Näytteenottohetket arvioitiin sekuntikellon ja tietokoneella olevien ohjelmien avulla, mihin vaikuttivat inhimillinen reagointikyvyyn myötä syntyneet näytteenottohetkien virhemarginaalit. Ne olivat kuitenkin niin pieniä, ettei niiden vaikutus ollut merkittävä. Näytteenotto pyrittiin suorittamaan mahdollisimman hygieenisesti, mutta näytteenottovälineet ja -paikat eivät olleet aseptisiä, mikä saattoi vaikuttaa mikrobiologisten tuloksiin.

Näytteenoton lisäksi on myös pohdittava mikrobiologiset analyysien luotettavuudesta. Mikrobiologiset epäpuhtaudet eivät muodostu heti, vaan pidemmän ajan myötä. On siis hyvin todennäköistä, ettei analyysien tuloksista saatu selville yksittäisen pesun onnistumista, vaan pesukohteen yleisestä puhtaudesta. Mikrobiologisia tuloksia ei voida pitää riittävän luotettavana mittarina pesumuutoksien onnistumisen näkökulmasta niiden epäluotettavuuden takia. Myöskään työssä saatujen tuloksien vähäinen määrä ei antanut riittävästi tietoa, jotta tuloksia voitaisiin pitää luotettavina (kuva 20). Luotettavien tuloksien saamiseksi pesumuutoksien vaikutusajan tulisi olla huomattavasti pidempi ja toistoa enemmän, jotta huuhtelunäytteiden mikrobiologisten analyysien tulokset kertoisivat pesumuutoksien onnistumisesta. Tästä syystä pesumuutoksien jälkeen pesukohteiden mikrobiologista puhtautta olisi hyvä seurata jonkin aikaan tarkemmin, jotta voidaan oikeasti varmistua pesujen onnistumisen luotettavuudesta myös mikrobiologisen puhtauden näkökulmasta. Vaihtoehtoisesti prosessin putkia olisi voitu avata ja ottaa sivelynäyte putken pinnasta, mutta jatkuvatoimisena prosessina näytteiden ottaminen osoittautui haastavaksi. Näytettä ei ollut mahdollista ottaa milloin tahansa ja mistä tahansa sekä näytteenottamiseen olisi tarvinnut kunnossapidon apua. Näytteenotto

olisi ollut myös hygieniariski suljetun prosessin avaamisen seurauksena, minkä jälkeinen puhdistus olisi vienyt enemmän aikaa tuotannolta. Sen lisäksi yksittäinen näyte ei olisi kertonut kokopesukohteen puhtautta, vaan yhden kohdan puhtautta. Näytteitä olisi pitänyt ottaa useista kohdista, eikä haastavimpiin puhdistuspaikkoihin ollut mahdollista ottaa näytteitä purkamisesta suuren työmäärän takia.

8.2. Koepesut

Huuhteluiden optimoinneissa koepesujen toistot olivat hyvin vaihtelevia muuttuvan tuotannon takia. Myös pesukohteiden suuri määrä vaikutti toistettavuuksien määrään ajanhallinnallisista syistä. Nämä saattoivat heikentää pesujen optimoinnin onnistumisen luotettavuutta sekä optimoinnin maksimoinnin saavuttamista. Vaikka kaikki tulokset saavuttivat riittävän puhtauden, joitain kohteita olisi voitu optimoida vielä enemmän tekemällä useampia koepesuja. Pesujenmuutoksien luotettavuutta heikensi myös käytössä ollut tuotannonohjausjärjestelmä, joka muutoksista huolimatta saattoi välillä toteuttaa joissain pesukohteissa pesun alkuperäisen pesureseptin mukaan. Tämä kävi ilmi vasta työn loppupuolella, minkä takia pesujen toteutumiset jouduttiin käymään uudelleen läpi, jotta saatiin varmistus koepesujen parametrimuutoksien onnistumiselle. Pesujen läpikäynnistä selvisi myös, että huuhteluajat olivat osittain pidentyneet alkuperäisen ohjelman mukaan, millä ei kuitenkaan ollut vaikutusta pesujen laatuun heikentävästi. Kyseisiä koetuloksia ei voitu pitää luotettavina. Sen lisäksi pesujen toteutuminen ei-reseptin mukaan vääristää muutosta ja sen mahdollistamaa hyötyä. Jotkut koepesut epäonnistuvat myös parametrimuutoksien aikana tapahtuvien järjestelmävirheiden myötä, mitkä muuttivat muutetut parametrit nolleen. Tämä vaati huolellisuutta parametrejä muuttaessa, erityisesti jos muutos tehtiin kesken pesun. Järjestelmävirheongelma on ollut tiedossa tehtaalla jo pitkään, eikä järjestelmäntekijä ole pystynyt ratkaisemaan ongelmaa. Ongelma aiheutti hämmennystä erityisesti ensimmäisiin koepesuihin.

Huuhteluvaiheiden lyhentäminen vaikutti merkittävästi pesujen aikana kuluvaan veden määrään, mutta kohtalaisen merkittävästi myös pesujen kokonaiskeston. Veden määrää vähensivät merkittävästi varsinaisien huuhteluiden, noin 72 %, kierron täytön, noin 21 % ja sekoitusalueen, noin 8 %, lyhentäminen. Virtausnopeuden nostaminen vaikutti vedenkulutukseen nostavasti, mutta huuhteluiden kestot lyhentyivät samalla vähentäen vedenkulutusta, minkä myötä virtausnopeuden nostaminen ei vaikuttanut työssä merkittävästi kokonaisvedenkulutukseen. Työssä virtausnopeutta optimoitiin vain pesukohteissa, joiden pesuprosessi ei saavuttanut riittävän puhtauden vaatimaan 1,5 m/s

virtausnopeutta. Kaikkien pesukohteiden optimaalisen virtausnopeuden löytäminen optimoisi kuitenkin tuotannon puhdistusprosesseja edelleen. Veden kulutuksen säästöjen laskemisessa huomioitiin keskimääräinen pesukohteiden pesujen toistettavuus kuukaudessa ajalta elokuusta lokakuuhun 2023, minkä mukaan pesumäärät on laskettu. Tuloksista tulee ottaa huomioon, etteivät hyödyt kasva samassa suhteessa tuotannonvolyymiin kasvaessa, vaan pesujen volyymin kasvaessa.

8.3. Kehitysehdotukset

Tässä työssä optimoitiin huuhteluvaiheiden kestoa ja pesukohteiden riittämätöntä virtausnopeutta. Jatkossa pesuja voitaisiin optimoida enemmän keskittymällä virtausnopeuksien optimoiminen myös niissä pesukohteissa, jotka saavuttavat hygienian vaatiman virtausnopeuden. Virtausnopeuden kasvattaminen mahdollistaa keston lyhentämisen, mutta mikä on tuotannollisesti tehokkain virtausnopeus heikentämättä puhdistustulosta.

Sen lisäksi pesukohteiden pesuja voitaisiin jatkossa optimoida pesuohjelmien flip-vaiheiden aikojen lyhentämisellä. Flip-vaiheet kestävät vaihtelevasti tarpeettoman kauan suhteessa pesun kokonaiskeston. Flip-vaiheita voitaisiin yksinkertaisesti lyhentää asentamalla venttiileihin antureita, joiden avulla pystytään lyhentämään vaiheiden kestoa. Teoreettisesti, jokaisesta flipistä pystyttäisiin vähentämään tuotantoaikaa kohtalaisen merkittävästi, mikä vähentäisi keskimäärin 4–5 litraa vedenkulutusta flip-vaihetta kohden. Yhdessä pesussa on keskimäärin kolmesta viiteen flippiä riippuen pesutyypistä, joista jokainen flip on kestoaltaan noin pari minuuttia. Flippien osuus pesun kokonaiskestolta on merkittävä, noin 20 %, joten tällä saataisiin lisättyä myös tuotantoaikaa. Projektissa tulee ottaa myös huomioon veden väheneminen aiheuttamat vaikutukset puhdistustulokseen. Vesimäärät on todella pieniä, eikä siten todennäköisesti vaikuta pesun puhdistustulokseen, mutta puhdistuksen riittävyys on silti hyvä varmistaa muutoksien jälkeen. Projektin on hyvä aloittaa tarvittavan venttiilimäärän laskemisella ja niiden pohjalta kustannus ja säästö arvio.

Työssä optimoitiin vain RAW-pesukeskuksesta valitut pesukohteet, joiden osuus kaikista tuotannon pesukohteista on vain vajaa kolmannes. Hyödyntämällä työtä voidaan optimoida myös loput Raw-CIP pesukeskuksen pesukohteet sekä lämpökäsittelyn jälkeen olevan Finish- CIP pesukeskuksen pesukohteet. Vaikka pesukohteet ja prosessissa kulkevat valmistuserät muuttuvat ja vaikuttavat puhdistuksen optimointiin, kaikkien

pesukohteiden optimoimisella on mahdollista saavuttaa suuret taloudelliset kustannussäästöt.

9. Johtopäätökset

Kaura on monipuolinen raaka-aine, jonka hyödyntäminen elintarviketeollisuudessa on vielä hyvin rajoittua sen terveydellisistä hyödyistä huolimatta. Kauran vähäinen käyttö elintarviketeollisuudessa on suoraan verrannollinen tutkitun tiedon määrään, joka teki työn taustan selvittämisestä haasteellisemmän. Työn kannalta kaikkea oleellista taustatietoa ei ollut saatavilla, minkä takia esimerkiksi kokeellisen osan alussa virtausnopeuden merkitystä ei osattu ottaa huomioon. Työ edetessä työ osoittautui laajaksi suhteessa työn tavoiteltuun laajuuteen nähden, minkä takia pesukohteita ja optimoitavia pesuparametreja jouduttiin vähentämään kesken työn toteutuksen aikana.

Työn ennako-oletuksena oli veden runsas kulutus tuotettua tuotetta kohden, mikä kävi ilmi jo työn alkuvaiheessa pelkästään kuvaajien tutkimisella. Sama todennettiin vielä pesuparametrien muutoksien tuloksista. Käytössä olevista puhtauden todentamisen menetelmistä fysikaalisen ja kemiallisen puhtauden analysointimenetelmät nousivat tärkeimmiksi. Mikrobiologisen analyysien tulokset eivät olleet valideja puhdistuksen onnistumisen näkökulmasta, minkä takia tuloksia ei voitu käyttää. Parametrien muutoksilla pystyttiin vähentämään vedenkulutusta, mistä varsinaisten huuhteluiden optimoinnin merkitys korostui. Asetettujen parametrimuutoksien säntillinen toteutumattomuus varjosti työn tuloksien luotettavuutta, mutta lopullisten parametrimuutoksien tuloksien luotettavuuteen pesujen reseptin vastainen toteutuminen ei vaikuttanut. Tuotannon pesujen virheellinen toteutumisella voi olla vaikutuksia parametrimuutoksien mahdollistamiin kustannussäästöihin.

Parametrien muutoksien mahdollistivat veden ja tuotantoajan vähenemisen, mitkä antoivat yritykselle vuositasolla myös ison taloudellisen hyödyn. Merkittävimmät säästöt tehtiin lyhentämällä varsinaisten huuhteluiden kestoja. Tilavuusvirtausnopeuden nostaminen lisäsi veden kulutusta, mutta suhteessa muiden parametrimuutoksien mahdollistamiin säästöihin vaikutus oli vähäinen. Pesukohteet olivat hyvin yksilöllisiä, minkä takia parametrimuutoksia ei pystytty suoraan soveltamaan pesukohteelta toiselle. Emäs- ja emäshappopesun välillä ei havaittu suurta eroa vedenkulutuksen vähenemisessä. Myös emäshappopesun huuhteluiden optimoimisen hyöty kuukausitasoilla jäi selvästi emäspesua alhaisemmaksi pesujen toistettavuuden jakautumisen takia. Huuhteluiden optimoinnin mahdollistamien veden ja energian kulutuksen vähentäminen tukivat myös yrityksen kestävä kehityksen tavoitteita.

10. Lähteet:

- Avila-Sierra, A., Vicaria, J.M., Lechuga, M., Martínez-Gallegos, J.F., Olivares-Arias, V., Medina-Rodríguez, A.C., Jiménez-Robles, R., Jurado-Alameda, E. (2021). Insights into the optimisation of the Clean-In-Place technique: Cleaning, disinfection, and reduced environmental impact using ozone-based formulations. *Food and Bioproducts Processing*, **129**, 124–133.
- A. 1352/2015. Sosiaali- ja Terveysministeriön asetus. Finlex. Lainsäädäntö. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2015/20151352#P4>>. (Luettu 6.10.2023).
- Brennan, C.S., Cleary, L.J. (2005). The potential use of cereal (1→3,1→4)-β-d-glucans as functional food ingredients. *Journal of Cereal Science*, **42**, 1–13.
- Buabeng-Baidoo, E., Mafukidze, N., Pal, J., Tiwari, S., Srinivasan, B., Majozi, T., Srinivasan, R. (2017). Study of water reuse opportunities in a large-scale milk processing plant through process integration. *Chemical Engineering Research and Design*, **121**, 81–91.
- Chandrakash, S. (2012). A new risk analysis of clean-in-place (CIP) milk processing. School of Chemical Engineering. The University of Adelaide. Thesis (M.Eng.Sc.)
- Deswal, A., Deora, N.S., Mishra, H.N. (2014). Optimization of Enzymatic Production Process of Oat Milk Using Response Surface Methodology. *Food and Bioprocess Technology*, **7**, 610–618.
- Dudbridge, M. (2012). Lean manufacturing in the food industry. *New Food Magazine*. <<https://www.newfoodmagazine.com/article/9566/lean-manufacturing-in-the-food-industry/>>. (Luettu 3.8.2024).
- Elintarviketeollisuusliitto (2024). Vastuullisuus elintarvikealalla. ETL. <<https://www.etl.fi/tietoa-ruoka-alasta/vastuullisuus-elintarvikealalla/>>. (Luettu 24.7.2024).
- Elintarviketeollisuusliitto (2024). Pakkaukset. ETL. <<https://www.etl.fi/tietoa-ruoka-alasta/vastuullisuus-elintarvikealalla/pakkaukset/>>. (Luettu 24.7.2024).
- Elovena (2024). Usein kysyttyä kaurasta ja kaurahiutaleista. Elovena. <<https://www.elovena.com/fi/kaikki-kaurasta/usein-kysyttya-kaurasta>>. (Luettu 10.4.2024).
- Endress+Hauser (2014). Optimoi elintarviketeollisuuden käyttöpaikalla tapahtuvat puhdistusprosessit. <<https://www.fi.endress.com/fi/teollisuusalat/elintarvike-ja-juomateollisuus/cip-optimointi-elintarviketeollisuus>>. (Luettu 1.8.2024).
- Eurooppa-neuvosto (2024). 55-valmiuspaketti – EU:n vihreän siirtymän suunnitelma. Consilium. <<https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/green-deal/fit-for-55/>>. (Luettu 24.7.2024).
- Fan, M. (2018). Fundamental Understandings and Optimization Strategies of in-place cleaning. Doctor of Philosophy, Food Science and Technology. The Ohio State University.

- Fan, M., Phinney, D.M., Heldman, D.R. (2018). The impact of clean-in-place parameters on rinse water effectiveness and efficiency. *Journal of Food Engineering*, 222, 276–283.
- Forsythe, S. (1995). *Food Hygiene, Microbiology and HACCP*. Springer Science & Business Media, New York, NY, UNITED STATES.
- Forsythe, Stephen & Hayes, P.. (2000). *Food Hygiene, Microbiology and HACCP*. painos 3, s.353-354. Springer Science & Business Media, New York, USA.
- Giugliano, R., Musolino, N., Ciccotelli, V., Ferraris, C., Savio, V., Vivaldi, B., Ercolini, C., Bianchi, D.M., Decastelli, L. (2023). Soy, Rice and Oat Drinks: Investigating Chemical and Biological Safety in Plant-Based Milk Alternatives. *Nutrients*, 15, 2258.
- Grinstead, D. (2009). 12 - Cleaning and sanitation in food processing environments for the prevention of biofilm formation, and biofilm removal. Kirjassa: Fratamico, P.M., Annous, B.A., Gunther, N.W. (Toim.), *Biofilms in the Food and Beverage Industries*, Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutritio, ss. 331–358. Woodhead Publishing. Cambridge, UK.
- Heil, M., Rosso, J., Hazel, A.L., Brøns, M. (2017). Topological fluid mechanics of the formation of the Kármán-vortex street. *Journal of Fluid Mechanics*, 812, 199–221.
- Holappa, J. (2022). Kaurajuoman hiilijalanjälki. Bio- ja elintarviketekniikka, Insinööri (AMK). Seinäjoen Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Hughes, E.B. (1933). Factory Cleanliness in the Food Industry. *Journal of the Royal Sanitary Institute*, Cabi Digital library, Vol. 53,605–610.
- Hutchison, C. (2023). Smart Manufacturing: shaping the future of food and beverage. Salas O'Brien. <<https://salasobrien.com/news/smart-manufacturing-food-and-beverage/>> (Luettu 3.8.2024).
- Ibrahim, M.S., Ahmad, A., Sohail, A., Asad, M.J. (2020). Nutritional and functional characterization of different oat (*Avena sativa* L.) cultivars. *International Journal of Food Properties*, 23, 1373–1385.
- ISO 9308-1:2014 Water quality — Enumeration of *Escherichia coli* and coliform bacteria (2014). International Organization for Standardization.
- ISO 6222-1999 Water quality -- Enumeration of culturable micro- organisms -- Colony count by inoculation in a nutrient agar culture medium (1999). International Organization for Standardization.
- Jackson, L.S., Al-Taher, F.M., Moorman, M., Devries, J.W., Tippet, R., Swanson, K.M.J., Fu, T.-J., Salter, R., Dunaif, G., Estes, S., Albillos, S., Gendel, S.M. (2008). Cleaning and Other Control and Validation Strategies To Prevent Allergen Cross-Contact in Food-Processing Operations. *Journal of Food Protection*, 71, 445–458.
- Jalo, V. (2014). Soygurt tuotteiden hävikin selvittäminen prosessissa ja pakkauksessa. Turun Ammattikorkeakoulu. Bio- ja elintarviketekniikka, Insinööri (AMK). Opinnäytetyö.

- Jalomaa, J. (2020). Kasvipohjaisten juomien ja muiden maitotuotteiden kaltaisten elintarvikkeiden haltuunotto ja käyttö perinteisten maitotuotteiden rinnalla. Helsingin Yliopisto. Kasvatustieteellinen tiedekunta, Pro gradu -tutkielma.
- Janeček, Š., Svensson, B., MacGregor, E.A. (2014). α -Amylase: an enzyme specificity found in various families of glycoside hydrolases. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 71, 1149–1170.
- Jensen, B.B.B. (2008). May the Force (and Flow) Be With You: Importance of Flow in CIP, Food Safety <<https://www.food-safety.com/articles/4268-may-the-force-and-flow-be-with-you-importance-of-flow-in-cip>>. (Luettu 18.1.2024).
- Johansson, L. (2006). Structural analyses of (1→3),(1→4)- β - D-glucan of oats and barley. General Chemistry Division, Department of Applied chemistry and Microbiology, University of Helsinki. Academic dissertation.
- Jokinen, E. (2020). Kauran tärkkelyksen liisteröitymis- ja vanhenemisominaisuudet. Helsingin Yliopisto. Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta. Pro gradu tutkielma.
- Kiilto (2021). Kiilto Pro Avena CIP - Kiertopesuaineet. Kiilto Fi. <<https://www.kiilto.fi/tuote/kiilto-pro-avena-cip/>> (Luettu 1.6.2024).
- Kumar, L., Sehrawat, R., Kong, Y. (2021). Oat proteins: A perspective on functional properties. *LWT*, 152, 112307.
- L 297/2021. Elintarvikelaki. Finlex. Lainsäädäntö. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2021/20210297>>. (Luettu 8.10.2023).
- Lavonen, N. (2015). BIB2-hanaviinisarjan pesuvälin pidentäminen. Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma (AMK). Metropolia Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Leipätiedotus (2024). Mitä täysjyvä on?. <<https://www.leipätiedotus.fi/leiparavitsemuksessa/taysjyva/mita-taysjyva-on.html>>. (Luettu 4.3.2024).
- Leipätiedotus (2024). Rasva. <<https://www.leipätiedotus.fi/leiparavitsemuksessa/mita-viljatuotteista-saa/rasva.html>>. (Luettu 27.1.2024).
- Leipätiedotus (2024). Viljan jyvä. <<https://www.leipätiedotus.fi/tietoa-leivasta/vilja/viljan-jyva.html>>. (Luettu 29.5.2024).
- Maa- ja Metsätalousministeriö (2014). Elintarviketeollisuus vesihuoltolaitoksen asiakkaana, Opas yhteistyön järjestämiseen. <https://mmm.fi/documents/1410837/1720628/mmm_elintarvikehuolto_WEB.pdf>. (Luettu 12.1.2024).
- Meldal, J. 17 10 21 T.J.G.M.U. (2021). Nämä elintarvikkeet kuormittavat ilmastoa eniten. Tieteen Kuvalehti. <<https://tieku.fi/ilmasto/ilmastonmuutos/mika-elintarvikekuormittaa-ilmastoa-eniten>>. (Luettu 15.1.2024).
- Melero, V., Gedraite, E.D.S., Kunigk, L., Vieira, P.A., Malagoni, R.A., Sislian, R., Filho, U.C., Gedraite, R., Augusto, S.R. (2013). Experimental Investigation about Rinse Water Consumption of a CIP Process Applied to a Shell and Tube Exchanger. *Advanced Materials Research*, 785–786, 1294–1298.

- Muurinen, N. (2013). Etämonitorointi vesistön tilan seurassa, Mikkelin alapuolinen Saimaa. Mikkelin Ammattikorkeakoulu. Ympäristöteknologia. Opinnäytetyö.
- Mäkinen, O.E., Wanhalinna, V., Zannini, E., Arendt, E.K. (2016). Foods for Special Dietary Needs: Non-dairy Plant-based Milk Substitutes and Fermented Dairy-type Products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56, 339–349.
- Niamsuwan, S., Kittisupakorn, P., Mujtaba, I. (2011). Minimization of water and chemical usage in the cleaning in place process of a milk pasteurization plant. *Songklanakar Journal of Science and Technology*, 33.
- Oksman-Caldentey, K.-M., Laitila, A., Wilhelmson, A., Heiniö, R.-L., Outinen, M., Kaukovirta-Norja, A., Lehtinen, P., Plaami, S., Sontag-Strohm, T., Mikola, M., Poutanen, K. (1999). Kaura elintarvikeraaka-aineena, VTT Tiedotteita - Meddelanden - Research Notes. VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo.
- Olatunde, O.O., Owolabi, I.O., Fadairo, O.S., Ghosal, A., Coker, O.J., Soladoye, O.P., Aluko, R.E., Bandara, N. (2023). Enzymatic Modification of Plant Proteins for Improved Functional and Bioactive Properties. *Food and Bioprocess Technology*, 16, 1216–1234.
- Opetushallitus (2024). Veden pH-arvon määrittäminen. Oppimateriaalit. <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/ymparistoanalyysit_ph_vedesta.html>. (Luettu 8.8.2024).
- Owusu-Apenten, R., Vieira, E. (2023). Quality and Sensory Evaluation of Food. Teoksessa: Owusu-Apenten, R., Vieira, E.R. (Toim.), *Elementary Food Science*. Springer International Publishing, Cham, ss. 113–125.
- Parikka, P., Kaukoranta, T., Rämö, S., Hietaniemi, V., Asola, A., Jestoi, M., Virkajärvi, V., Sarlin, T., Holopainen, U., Laitila, A. (2014). Fusarium-homeet viljassa: Homeen tartunta ja toksiinien muodostuminen sekä sadon toksiiniriskin hallinta. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus (MMT), MTT raportti, 153.
- Paudel, D. (2018). Rapid and Simultaneous Determination of Nutritional Constituents of United States Grown Oats Using Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS). South Dakota State University. MS in Biological Sciences. Thesis.
- Physics LibreTexts (2015). 12.1: Flow Rate and Its Relation to Velocity. <[https://phys.libretexts.org/Bookshelves/College_Physics/College_Physics_1e_\(OpenStax\)/12%3A_Fluid_Dynamics_and_Its_Biological_and_Medical_Applications/12.01%3A_Flow_Rate_and_Its_Relation_to_Velocity](https://phys.libretexts.org/Bookshelves/College_Physics/College_Physics_1e_(OpenStax)/12%3A_Fluid_Dynamics_and_Its_Biological_and_Medical_Applications/12.01%3A_Flow_Rate_and_Its_Relation_to_Velocity)>. (Luettu 22.7.2024).
- Raisio (2024a). Vastuullisuus. <<https://www.raisio.com/vastuullisuus/>>. (Luettu 24.7.2024).
- Raisio (2024b). Ympäristöystävälliset pakkaukset. <<https://www.raisio.com/vastuullisuus/ymparistoystavalliset-pakkaukset/>>. (Luettu 24.7.2024).

- Ruokavirasto (2018). Elintarvikkeiden mikrobiologinen näytteenotto ja analyysit-Ohje elintarvikevalvontaviranomaisille.
<https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/tietoa-meista/elintarvikevalvonta/eviran-ohje-10502_2.pdf>. (Luettu 27.1.2024)
- Ruokavirasto (2021). Veden ja jään valvonta elintarvikehuoneistoissa.
<<https://www.ruokavirasto.fi/elintarvikkeet/oppaat/vesiohje/veden-ja-jaan-valvonta-elintarvikehuoneistoissa/>>. (Luettu 27.1.2024).
- Ruokavirasto (2022). Kauravälipaloissa hometta.
<<https://www.ruokavirasto.fi/elintarvikkeet/ohjeita-kuluttajille/takaisinvedot1/kauravalipaloissa-hometta/>>. (Luettu 25.1.2024).
- Ruokavirasto (2023). Puhtaus ja kunnossapito.
<<https://www.ruokavirasto.fi/elintarvikkeet/elintarvikeala/tilat-ja-valineet/puhtaus-ja-kunnossapito/>>. (Luettu 4.6.2024).
- Ruokavirasto (2024). Homesienet ja homemyrkyt eli mykotoksiinit.
<<https://www.ruokavirasto.fi/elintarvikkeet/ohjeita-kuluttajille/ruokamyrkytykset/homesienet-ja-homemyrkyt-eli-mykotoksiinit/>> (Luettu 25.1.2024).
- Sangwan, S., Singh, R., Kumar Tomar, S. (2014). Nutritional and functional properties of oats: An update. *Journal of Innovative Biology*, 1, 6.
- ScienceDirect (2007). Aerobic Bacterium - an overview. ScienceDirect Topics.
<<https://www.sciencedirect.com/topics/biochemistry-genetics-and-molecular-biology/aerobic-bacterium>>. (Luettu 25.1.2024).
- ScienceDirect (2014). Coliform Bacteria - an overview. ScienceDirect Topics. Encyclopedia of Food Microbiology.
<<https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/coliform-bacteria>>. (Luettu 25.1.2024).
- ScienceDirect (2017). Enterococcus - an overview. ScienceDirect Topics.
<<https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/enterococcus>>. (Luettu 25.1.2024).
- Seefried Verfahrenstechnik (2024). CIP – SIP - Systems. <<https://www.s-vt.net/cip-sip-systems/?lang=en>>. (Luettu 18.1.2024).
- SFS-EN 27888 Veden laatu-Sähkön johtavuuden määrittäminen (1994). Standardi SFS-EN 27888 Korvaa standardin SFS 3022:1974. Suomen Standardisoimisliitto SFS, Vesi- ja ympäristöhallitus.
- Silva, L.D., Aguiar, M.M., Paiva, A.D., Bernardes, P.C., Gedraite, R., Naves, E.A.A. (2023). Optimization of clean-in-place (CIP) procedure of pipelines contaminated with *Bacillus cereus* by applying pulsed flow. *Food Control*, 147, 109565.
- Sun, T., Li, J., Qin, Y., Xie, J., Xue, B., Li, X., Gan, J., Bian, X., Shao, Z. (2020). Rheological and functional properties of oat β -glucan with different molecular weight. *Journal of Molecular Structure*, 1209, 127944.

- Tamime, A.Y. (2008). *Cleaning-In-Place: Dairy, Food and Beverage Operations*, 3. painos, s. 96-103. Newark: John Wiley & Sons, Incorporated.
- Tiwari, A., Hokajärvi, A.-M., Santo Domingo, J.W., Kauppinen, A., Elk, M., Ryu, H., Jayaprakash, B., Pitkänen, T. (2018). Categorical Performance Characteristics of Method ISO 7899-2 and Indicator Value of Intestinal Enterococci for Bathing Water Quality Monitoring. *Journal of water and health*, 16, 711–723.
- Valoppi, F., Wang, Y.-J., Alt, G., Peltonen, L.J., Mikkonen, K.S. (2021). Valorization of Native Soluble and Insoluble Oat Side Streams for Stable Suspensions and Emulsions. *Food and Bioprocess Technology*, 14, 751–764.
- VWR (2024a). Testipaperit, pH liuskat. <<https://fi.vwr.com/store/category/testipaperit-ph-liuskat/573718>> (Luettu 15.1.2024).
- VWR (2024b). pH-testiliuskat, MQuant, Supelco. <<https://fi.vwr.com/store/product/573807/ph-testiliuskat-mquant-supelco>>. (Luettu 15.1.2024).
- VWR (2024c). The ideal measuring range for every application. <https://fi.cmd.vwr.com/bin/public/idocdownload/10179308/Hach_The_ideal_measuring_range_for_every_application.pdf> (Luettu 15.1.2024)
- Väre, T. (2020). *Kauran ja ohran beetaglukaanin merkitys ja rakenteen hajoamiseen vaikuttavat tekijät*. Helsingin Yliopisto. Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta. Pro gradu-tutkielma.
- Whitehead, A., Beck, E.J., Tosh, S., Wolever, T.M. (2014). Cholesterol-lowering effects of oat β -glucan: a meta-analysis of randomized controlled trials 1234. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 100, 1413–1421.
- Wirtanen, G. (Toim.) (2002). *Laitehygienian elintarviketeollisuudessa: hygieniaongelmien ja Listeria monocytogeneksen hallintakeinot*, VTT publications. VTT, Espoo. <<https://publications.vtt.fi/pdf/publications/2002/P480.pdf>>
- Wood, P.J. (2010). Review: Oat and Rye β -Glucan: Properties and Function. *Cereal Chemistry*, 87, 315–330.
- World Health Organization (2018). E. coli. <<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/e-coli>>. (Luettu 25.1.2024).
- World Health Organization. (2023). Safety and quality of water use and reuse in the production and processing of dairy products: meeting report. <<https://www.who.int/publications/i/item/9789241516402>> (Luettu 10.9.2024)
- Yue, C., Cao, H., Lin, H., Hu, J., Ye, Y., Li, J., Hao, Z., Hao, X., Sun, Y., Yang, Y., Wang, X. (2019). Expression patterns of alpha-amylase and beta-amylase genes provide insights into the molecular mechanisms underlying the responses of tea plants (*Camellia sinensis*) to stress and postharvest processing treatments. *Planta*, 250, 281–298.
- Zhang, B., Li, H., Wang, S., Junejo, S.A., Liu, X., Huang, Q. (2020). *In Vitro Starch Digestion: Mechanisms and Kinetic Models*. Kirjassa: Wang, Shujun (Toim.),

Starch Structure, Functionality and Application in Foods, ss. 151–167. Springer, Singapore.

Ääri, K. (2023). Taikinan laajenemistestin soveltuvuus gluteenittomille kaurataikinoille. Helsingin Yliopisto. Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta. Pro gradu-tutkielma.

Huuhteluvesinäytteiden puhtausanalyysien tulokset

PVM	Pesu- linja	Pesu- kohde	Alkuperäinen pesuohjelma	Muutettu pesuohjelma	Silmä- määräinen	Johto- kyky	Titraus emäs (ml)	Titraus happo (ml)	Konsentraatio, emäs (m-%)	Konsentraatio happo (m-%)	PH	Mikrobiologinen puhtaus
8.12.2023	L1	CC02	AH 60s+ LH 60s	AH 60s+ LH 15s	ok	0	0,30		0,048		10.0	Mittausta ei tehty
11.12.2023	L1	CC02	AH 60s+ LH 60s	AH 60s+ LH 15s	ok	0	0,18		0,0288		8.5–9.0	Mittausta ei tehty
12.12.2023	L1	CC02	AH 60s+ LH 60s	AH 40s+ LH 15s	ok	0	-		-		-	Mittausta ei tehty
14.12.2023	L1	CC02	AH 60s+VH 60s LH 60s	AH 0s+VH 10s LH 60s	ok	0	0,22		0,0352		8.0	Mittausta ei tehty
18.12.2023	L1	CC02	AH 60s+VH 60s LH 60s	AH 25s+VH 5s+ LH 15s	ok	0	0,11		0,0176		7.5	Mittausta ei tehty
18.12.2023	L1	CC02	AH 60s+VH 60s LH 60s	AH 25s+VH 5s+ LH 15s	ok	0	0,14			0,0308	7.0	Tulos ei ylittänyt hyväksyttyä raja-arvoa
4.1.2024	L1	CC02	AH 60s +LH 60s	AH 20s+LH 15s	Ei	0	0,16		0,0256	-	7,5	Mittausta ei tehty
10.1.2014	L1	CC02	AH 60s+VH 60s LH 60s	AH 25s+VH 5s+ LH 15s	ok/ epäselvä	0	0,21	0,11	0,0336	0,0242	9.0/7.0	Mittausta ei tehty
25.1.2024	L1	CC02	AH 60s+VH 60s LH 60s	AH 25s+VH 5s+ LH 15s	ok	0	0,28		0,0448	0	8.0	Tulos ei ylitä hyväksyttyä raja-arvoa
14.12.2023	L1	CC04	AH 60s+VH 60s LH 60s	AH 30s+VH 5s+ LH 15s	ok	0/0	0,18		0,0288		8.0 /7,5	Mittausta ei tehty
15.12.2023	L1	CC04	AH 60s+LH 60s	AH 30s+LH 15s		0			0			Mittausta ei tehty
23.1.2024	L1	CC04	AH 60s+VH 60s LH 60s	AH 25s+VH 5s+ LH 15s	ok	0	0,15		0,024	0	8.5	Mittausta ei tehty
4.12.2023	L1	CC06	AH 60s+ LH 60s	AH 60s+ LH 30s	ok	0	0,20		0,032		8.0	Mittausta ei tehty
28.2.2024	L1	CC08	AH 60s+ LH 60s	AH 25s+LH 15s	ok	0		0,12	0	0,0264	6.5/6.5	Tulos ei ylitä hyväksyttyä raja-arvoja
5.1.2024	L1	CC10	AH 60s+ LH 120s	AH 60s+ LH 120s	ok	0	0,18		0,0288	0		Mittausta ei tehty
19.12.2023	L1	CC11	AH 120s+VH 10s+LH 120s	AH 120s+VH 10s+LH 60s	ok	0	0,00		0	0	7.5	Mittausta ei tehty
19.12.2023	L1	CC11	AH 120s+VH 10s+LH 120s	AH 120s+VH 10s+LH 60s		0	0,10		0	0,022	7.0	Mittausta ei tehty
5.1.2024	L1	CC11	AH 120s+LH 120s	AH 90s+LH 30s	ok	0	0,12		0,0192		7	Mittausta ei tehty
9.1.2024	L1	CC11	AH 120s+VH 10s+LH 120s	AH 60s+VH 5s+LH 20s	ok		0,06	0,12	0,0096	0,0264	7.0/7.0	Mittausta ei tehty
17.1.2024	L1	CC11	AH 120s+VH 10s+LH 120s	AH 120s+VH 10s+LH 120s					0	0		Mittausta ei tehty
5.1.2024	L1	CC12	AH 60s+LH 20s	AH 60s+LH 20s	ok	0	0,13		0,0208	0	8.5/7.5	Mittausta ei tehty
16.1.2024	L2	CC03	AH 60s+VH 60s LH 60s	AH 60s+VH 60s LH 60s	ok	0	0,2	0,12	0,032	0,0264	9.5/7.0	Mittausta ei tehty
16.1.2024	L2	CC05	AH 60s+VH 60s LH 60s	AH 30s+VH 10s LH 20s	ok	0	0,41	0,18	0,0656	0,0396	10.5/7.0	Mittausta ei tehty
8.2.2024	L2	CC05	AH 60s+ LH 60s	AH 30s+ LH 30s	ok	0	0,3		0,048	0	9.5/8.5	Tulos ei ylitä hyväksyttyä raja-arvoja
31.1.2024	L2	CC07	AH 60s+ LH 60s	AH 30s+ LH 20s	ok	0	0,49		0,0784	0	10.5/9.5	Tulos ei ylitä hyväksyttyä raja-arvoja
9.1.2024	L2	CC09	AH 60s +VH 0s+Lh 60s	AH 60s +VH 0s+Lh 60s	ok	0		0,1	0	0,022	7.0/ tai alle	Mittausta ei tehty
16.1.2024	L2	CC09	AH 60s+VH 0s LH 60s	AH 60s+VH 0s LH 60s	ok	0	0,08	0,12	0,0128	0,0264	7.0/7.0	Mittausta ei tehty
30.1.2024	L2	CC09	AH 60s+ LH 60s	AH 30s+ LH 30s	ok	0	0,1		0,016	0	8.0,	Mittausta ei tehty
31.1.2024	L2	CC09	AH 60s+ LH 60s	AH 30s+ LH 30s	ok	0	0,1		0,016	0	8.0,	Mittausta ei tehty
16.1.2024	L2	CC10	AH 60s+VH 0s + Kuumavesi 600s	AH 60s+VH 0s + Kuumavesi 600s	ok	0	0,12		0,0192	0	8.0/-	Mittausta ei tehty
5.1.2024	L2	CC11	AH 300s +VH 30s +LH 120s	AH 300s +VH 30s +LH 120s	ok/ epäselvä	0	0,62	0,11	0,0992	0,0242	10.0/7.0	Mittausta ei tehty
19.12.2013	L2	CC12	AH 120s+VH 120s+LH 180s	AH 120s+VH 120s+LH 60s	ok	0	0,14		0,0224		8.0	Mittausta ei tehty
19.12.2013	L2	CC12	AH 120s+VH 120s+LH 180s	AH 120s+VH 120s+LH 60s	ok	0	0,13			0,0286	7.0	Mittausta ei tehty

Liite 1/2

5.1.2024	L2	CC12	AH 120s+LH 180s	AH 90s+LH 30s	ok		0,14		0		7.0	Mittausta ei tehty
9.1.2024	L2	CC12	AH 120s+LH 180s	AH 90sVH 60s+LH 60s	ok		0,16	0,1	0,0256	0,022	8.5/7.0	Mittausta ei tehty
5.1.2024	L3	CC06	AH 60s+VH 60s LH 60s	AH 60s+VH 60s LH 30s	ok	2/0	0,2	0,12	0,032	0,0264	8.5/7.0	Mittausta ei tehty
9.1.2024	L3	CC06	AH 60s+VH 60s LH 60s	AH 30s+VH 30s LH 20s	ok/ epäselvä	0	0,4	0,14	0,064	0,0308	10.0/7.0	Mittausta ei tehty
16.1.2024	L3	CC10	AH 60s+VH 60s LH 60s	AH 30s+VH 30s LH 30s	ok	0	0,32	0,1	0,0512	0,022	9.5/7.0	Mittausta ei tehty
30.1.2024	L3	CC10	AH 60s+ LH 60s	AH 30s+ LH 30s	ok	0	0,14		0,0224	0	8.5,	Tulos ei ylitä hyväksyttyä raja-arvoja