



Juha Laakkonen

# Hiilidioksidin käyttö sokeriliuoksen saturoinnissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

7.4.2023

## Tiivistelmä

Tekijä: Juha Laakkonen  
Otsikko: Hiilidioksidin käyttö sokeriliuoksen saturoinnissa  
Sivumäärä: 27 sivua  
Aika: 8.5.2023

Tutkinto: Insinööri (AMK)  
Tutkinto-ohjelma: Bio- ja kemiantekniikka  
Ammatillinen pääaine: Bio- ja elintarviketekniikka  
Ohjaajat: Lehtori Timo Laitinen  
Tuotantopäällikkö Mikko Heiska

---

Saitto-saturaatio on vaihe sokerinpuhdistuksessa, jossa pyritään vaikuttamaan sokerin laatuun ja puhtauteen. Menetelmä perustuu kalsiumhydroksidin kyllästämiseen hiilidioksidilla, jolloin tapahtuu reaktio, jossa muodostuu kalsiumkarbonaattisaostumia. Nämä saostumat sitovat itseensä epäpuhtauksia ja väriaineita.

Tämän insinööryön tavoitteena oli tutkia kahden eri hiilidioksidin syöttöpaikan vaikutuksia ja eroavaisuuksia havaintojen, mittauksien, sekä laboratoriossa suoritettavien analyysien pohjalta. Analyyseistä ja mittauksista saatujen tuloksien perusteella pystyttiin osoittamaan, miten merkityksellinen hiilidioksidin syöttöpaikka saitossa on.

Suomen Sokerin Porkkalan tehtaalla hiilidioksidin syöttötapaa ja paikkaa muutettiin saittoreaktoreiden kiertolinjoissa oleviin miksereihin, mikä ei kuitenkaan vaikuttanut sokerin tuotantoon odotetulla tavalla. Muutoksen todettiin vaikuttavan negatiivisesti tuotteen laatuun, suodattavuuteen ja valmistukseen kuluvaan aikaan.

Saiton toimintaa lähdettiin parantamaan muuttamalla hiilidioksidin syöttöpaikkaa, joka päätettiin sijoittaa vanhaan, aiemmin olleeseen savukaasun syöttöputkeen, joka johdattaa saittoreaktoreiden alaosiin.

Näytteiden pH-pitoisuuksien perusteella pystyttiin toteamaan kuinka mallissa, jossa hiilidioksidia syötetään miksereihin, liuos oli vielä liian emäksistä saturoinnin jälkeen. Samassa mallissa mitattiin reaktoreista ulos menevästä piipusta suurempia hiilidioksidipitoisuuksia kuin toisessa mallissa. Nämä mitatut tulokset viittaavat, että prosessissa ei muodostunut tarpeeksi kalsiumkarbonaattisaostumia, vaan osa hiilidioksidista oli jäänyt reagoimatta. Malli, jossa hiilidioksidia syötettiin reaktoreiden alaosaan, osoittautui mittausten sekä havaintojen perusteella paremmaksi.

Avainsanat: Saitto-saturaatio, sokerinpuhdistamo, hiilidioksidi, kalsiumkarbonaatti, kalsiumhydroksidi

---

## Abstract

Author: Juha Laakkonen  
Title: Carbonation in Sugar Juice Saturation  
Number of Pages: 27 pages  
Date: 8 May 2023

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Biotechnology and Chemical Engineering  
Professional Major: Biotechnology and Food Engineering  
Supervisors: Timo Laitinen, Senior Lecturer  
Mikko Heiska, Production Manager

---

Carbonation is a phase in sugar purification where the aim is to influence the quality and purity of the sugar. The method is based on saturating calcium hydroxide with carbon dioxide causing a reaction to occur where calcium carbonate precipitates are formed. These deposits absorb impurities and pigments.

The purpose of this thesis was to find the effects and differences between two different carbon dioxide feed points, based on observations, measurements, and analyses in the laboratory. Based on the results obtained from the analyses and measurements, it was possible to show how important the carbon dioxide input points are in the carbonation process.

The operation of the carbonation process was improved by changing the carbon dioxide feed location, which was decided to be placed in the old, previously existing flue gas supply pipe, which leads to the lower part of the carbonate reactors. On the basis of the results obtained from the analyses and measurements, it was possible to show how important the carbon dioxide input point is in the carbonation process.

At Suomen Sokeri's Porkkala factory, the feed location of the carbon dioxide was changed to the mixers in the circulation pipes of the carbonation reactors, which however did not affect the sugar output as expected. The change was found to have a negative effect on the product's quality, filterability and the time required for production.

On the basis of pH concentrations of the samples, it was possible to determine how in the model where carbon dioxide was fed to mixers, the solution was still too alkaline after the saturation process. In the same model, higher carbon dioxide concentrations were measured in the stack exiting from reactor, than in the other model. These measurements are indicated that calcium carbonate was not formed enough and there was unreacted carbon oxide left from the process. On the basis of measurements, a model where carbon dioxide was fed into the lower part of the reactors was proved to be better solution.

Keywords: Carbonation, saturation, sugar refinery, carbon dioxide, calcium carbonate, calcium hydroxide

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sokerinpuhdistamo	2
3	Saitto-saturaatio	3
4	Hiilidioksidi saittoprosessissa	4
5	Porkkalan tehtaan laitteisto ja apuaineet	7
5.1	Kalkkimaito	7
5.2	Mehulaatikko	8
5.3	Hiilidioksidi	8
5.4	Höyry	9
5.5	Saittoreaktorit	10
5.6	Autosuotimet	10
5.7	Precipitated calcium carbonate (PCC)	11
6	Työhön valmistautuminen ja työn suoritus	12
6.1	Koeajot	15
6.2	Näytteidenotto	16
7	Tulokset ja niiden tarkastelut	17
7.1	Hiilidioksidimittaus	17
7.2	Autosuotimien tukkeutuminen	18
7.3	pH-mittaukset	20
7.4	Johtokykymittaus	22
8	Yhteenveto	23
9	Pohdintaa ja jatkokehitysideoita	24
	Lähteet	27

## Lyhenteet

Brix: Refraktometrillä määritetty kuiva-ainepitoisuus.

PCC: Precipitated calcium carbonate. Saostunut kalsiumkarbonaatti.

## 1 Johdanto

Tämän työn tarkoituksena oli verrata kahden eri hiilidioksidisyöttöpaikan eroavaisuutta ja merkityksiä sokerinpuhdistusprosessissa. Työ toteutettiin Suomen Sokeri Oy:lle, joka vastaa sokerinpuhdistamo- ja pakkaustoiminnasta, Kirkkonummen Kantvikissa. Tehdas tunnetaan myös Porkkalan tehtaana.

Sokerinpuhdistusprosessissa on monia eri vaiheita, ja tässä työssä on käsitelty vaihetta, jota kutsutaan saitto-saturaatioksi. Sana ”saitto” juontuu vieraskielisistä sanoista, jolla tarkoitetaan erotusta (ruots. = skeda, saks. = scheiden = erottaa), kun saturoinnilla tarkoitetaan kyllästämistä (engl. = saturation ja saksaksi die Saturation) [1]. Nimitys on aikoinaan juurtunut tehtaan termistöön, ja usein puhutaankin lyhennettynä pelkästään saitosta.

Suomen Sokerilla on käytössä oma voimalaitos, josta hiilen polton sivuvirtana on muodostunut savukaasuja. Näitä kaasuja hyödynnettiin sokerin puhdistuksessa saitto-saturoinnissa. Voimalaitos kuitenkin lopetti vuonna 2020 hiilen polton, ja alkoi polttamaan maakaasua sekä öljyä savukaasun sijaan. Nykyisestä menetelmästä ei synny riittävästi savukaasuja, jotta siitä syntyvää hiilidioksidia voitaisiin hyödyntää saittoprosessissa. Tämä on johtanut siihen, että savukaasujen tilalle on jouduttu ottamaan käyttöön puhdas hiilidioksidi.

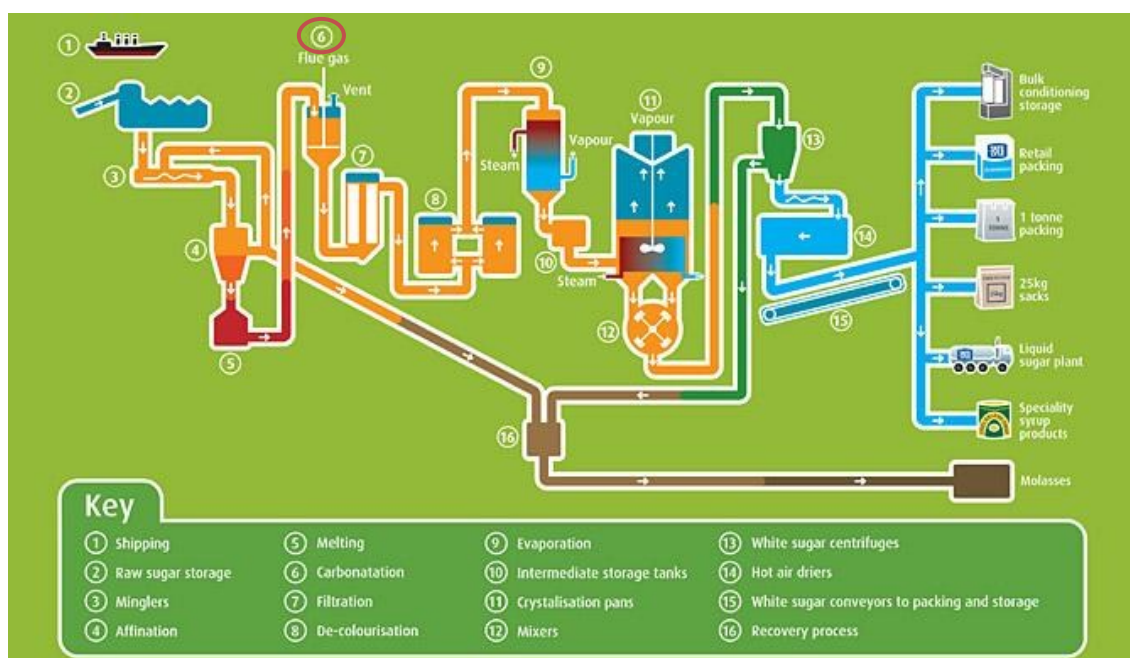
Mallia syöttökohdalle otettiin konsernin toisesta tehtaasta, jossa hyödynnettiin puhdasta hiilidioksidia prosessissa. Huomattiin, että kyseinen tapa ei toiminut moitteettomasti, vaan aiheutti suodattimien nopeaa tukkeutumista. Vikaa alettiin selvittämään, mikä taas johti siihen, että hiilidioksidin syöttöpaikkaa päätettiin vaihtaa.

Tavoitteena oli saada ajettua enemmän sokeriliuosta suotimien läpi vähemmällä tukkeutumismäärällä. Liuoksessa olevaa kalkkia pidettiin tukkeutumisen aiheuttajana, joten kalkin määrittämistä varten liuoksesta otettiin pH-näytteet, joiden avulla pystyttäisiin seuraamaan hiilidioksidin ja kalkin välillä tapahtunutta

reagointia. Työssä päätettiin myös seurata ylimääräisen, sitoutumattoman hiilidioksidin syöttämistä liuokseen. Tätä selvitettiin mittaamalla hiilidioksidin määrää reaktorista poistuvasta piipusta.

## 2 Sokerinpuhdistamo

Kirkkonummella sijaitsevalla sokerinpuhdistamolla valmistetaan sokeria muun muassa leipomoille, virvokejuoma- ja makeistehtaille. Tehtaan pakkaamossa valmistetaan kaupan myyntiin meneviä pienempiä pakkauksia, joita kuluttajat voivat hyödyntää vaikkapa leivonnassa. Kuvassa 1 esitettynä samankaltainen sokerinpuhdistamo, kuin Kirkkonummella sijaitseva.



Kuva 1. Sokerinpuhdistamon toimintaa yleisesti kuvaava piirros, jossa saittoprosessi on merkitty numerolla 6, joka on ympyröity punaisella. [2.]

Sokerinkäsittelyssä on monta eri vaihetta, joita ovat

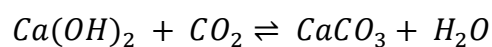
- affinointi eli raakasokerikiteiden esipuhdistus. (4)
- liuotus (5)

- mehunkäsittely (6, 7, 8)
- esihaihdutus (9)
- haihdutuskiteytys eli keitto (11)
- linkous (13)
- kidesokerin kuivaus (14)
- jälkituotteiden käsittely eli ns. recovery-toiminta (16) [1].

Nämä vaiheet sisältävät vielä eri alavaiheita, mutta tässä työssä perehdyttiin tarkemmin niin sanottuun mehunkäsittelyyn eli sokeriliuoksen puhdistamiseen ja värinpoistoon.

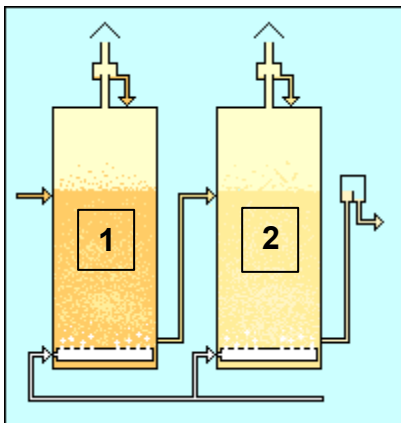
### 3 Saitto-saturaatio

Ennen saittoja raakasokeri on käsitelty affinoinnissa, jossa on tarkoitus puhdistaa sokerin pinnalla oleva filmi eli siirappihuntu. Tämän jälkeen sokerimehu on liuotettu liuotuspannuissa, minkä tarkoituksena on saattaa raakasokerikiteiden sisältämä sokeri ja epäpuhtaudet molekyyl- ja ionitilaan, jolloin epäpuhtaudet voidaan poistaa liuoksesta mehunkäsittelyn eri vaiheissa [1]. Saitto-saturaatiossa sokerimehuun sekoitetaan kalkkimaitoa eli kalsiumhydroksidi-vesiseos. Tätä seosta kyllästetään hiilidioksidilla, jolloin reaktiona muodostuu kalsiumkarbonaattisaostumia, jotka adsorboivat sokeriliuoksessa olevat epäpuhtaudet ja väriaineet. Kalsiumhydroksidi  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  on kemialliselta luonteeltaan vahva emäs, joten se nostaa mehun pH:ta. Saostunut kalsiumkarbonaatti  $\text{CaCO}_3$  on taas neutraali suola, joten saostettaessa pH laskee [1.] Saittoreaktoreissa tapahtuva reaktio esitettynä reaktioyhtälönä



Toisin sanoen kalsiumkarbonaatti sitoo niukkaliukoisia suoloja, kuten sulfaatteja, värikappaleita, tärkkelystä ja monia muita epäpuhtauksia [4.]

Kuvassa 2 on esitettyä yleisesti saittolaitteisto, jossa hiilidioksidin syöttö tapahtuu reaktorin alaosaan.



Kuva 2. Saittolaitteisto yleisesti. Hiilidioksidi syötetään reaktoreiden alaosaan, josta se pääsee vaikuttamaan liuokseen alhaalta ylös asti [5.]

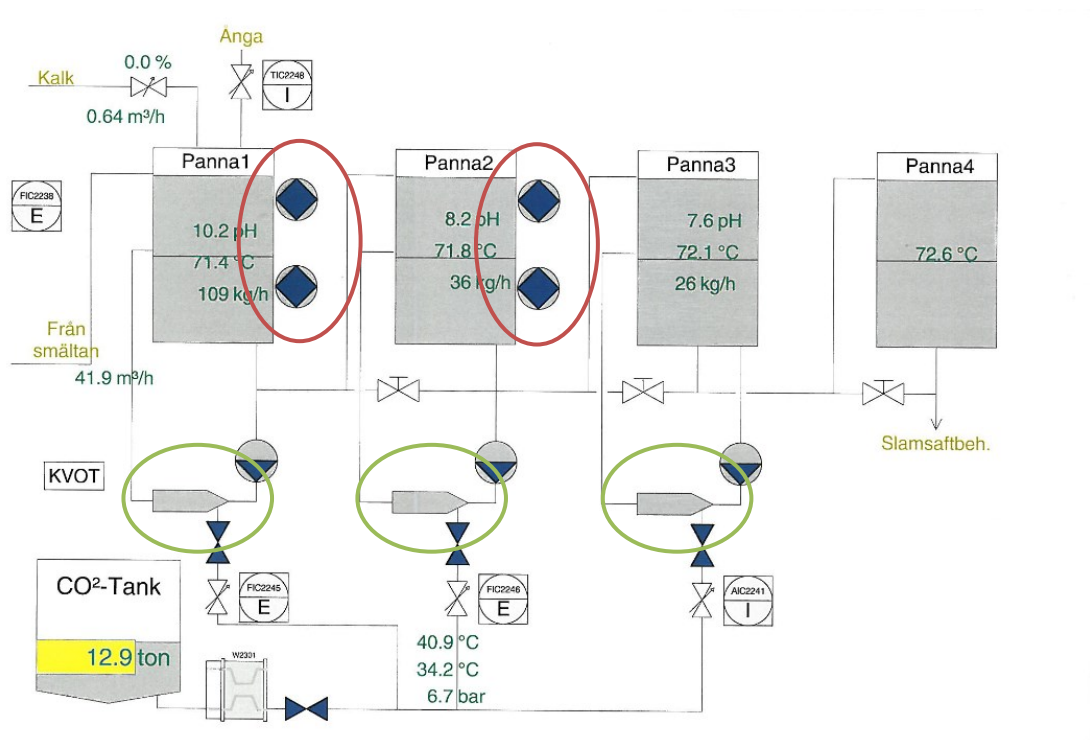
Ensimmäiseen reaktoriin (1) johdetaan kalkki-mehuliuos, joka on kuvassa esitettyä väriltään tummempaa, koska reaktio on alkamassa. Liuos johdetaan toiseen reaktoriin (2), jossa kalkin ja hiilidioksidin välistä reaktiota on tapahtunut ja sen seurauksena liuoksen väri on muuttunut vaaleammaksi.

## 4 Hiilidioksidi saittoprosessissa

Porkkalan tehtaalla on oma voimalaitos, josta on saatu hiiltä polttamalla savukaasua, jota on puhdistettu ja käytetty edelleen saitto-saturoinnissa jo tehtaan tuotannon käynnistymisestä asti 1960-luvulta. Voimalaitoksella siirryttiin polttamaan öljyä sekä kaasua hiilen sijaan vuonna 2020, minkä takia savukaasuja ei muodostu niin paljoa, että sitä riittäisi saittoprosessiin. Tästä syystä jouduttiin siirtymään puhtaan hiilidioksidin käyttöön.

Puhdasta hiilidioksidia oli käytetty positiivisin tuloksin konsernin toisella tehtaalla, Arlövissa Etelä-Ruotsissa, josta otettiin mallia Porkkalan

sokerinpuhdistamoon. Arlövin-mallissa hiilidioksidia syötettiin saittoreaktorin kiertolinjassa olevaan mikseriin (kuva 3, ympyröity vihreällä), kun Porkkalan tehtaassa vanhassa mallissa ennen muutoksia savukaasut johdettiin saittoreaktorin alaosaan. Arlövin tehtaalla on käytössä kolme reaktoria, ja kahdessa ensimmäisessä reaktorissa on sekoittajat, jotka näkyvät kuvassa 3 reaktoreiden oikealla puolella, punaisten ympyröiden sisällä.

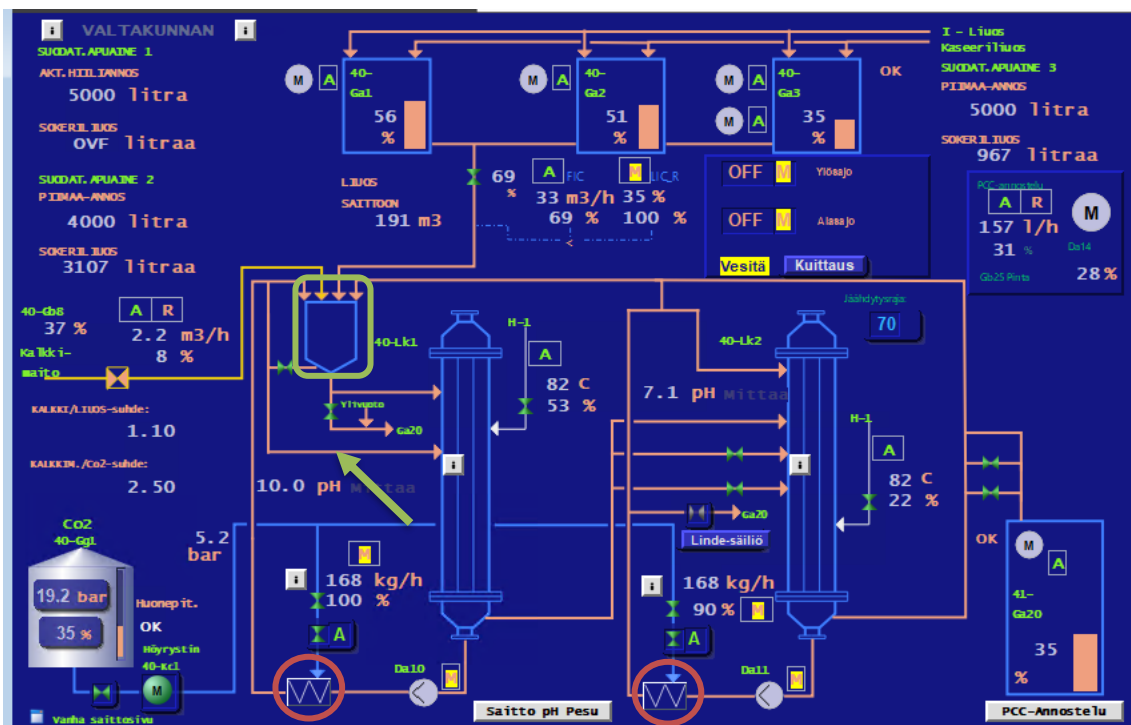


Kuva 3. Arlövin tehtaassa saittolaitteisto, jossa hiilidioksidi syötetään suoraan miksereihin (ympyröity vihreällä) [3]. Sekoittuminen tapahtuu panna1 - ja panna2 reaktoreissa, jossa sekoittimet merkattuna punaisilla ympyröillä. Panna3:een syötetään hiilidioksidia, jossa reaktion viimeiset vaiheet tapahtuvat, ennen valmiin liuoksen johtamista panna4:ään.

Porkkalan tehtaassa vanha savukaasun syöttöputki jäi käyttämättä saittolaitteistossa, kun käyttöön otettiin puhdas hiilidioksidi samankaltaisella menetelmällä kuin Arlövin tehtaalla. Arlövin tehtaalla kopioitu malli aiheutti kuitenkin saittolaitteistosta tulevan sokkeriliuoksen nopeaa tukkeutumista suodatusvaiheessa, sekä liuoksen laadun heikkenemistä. Päätettiin, että kalkki on syynä suodatusvaiheessa aiheutuvaan

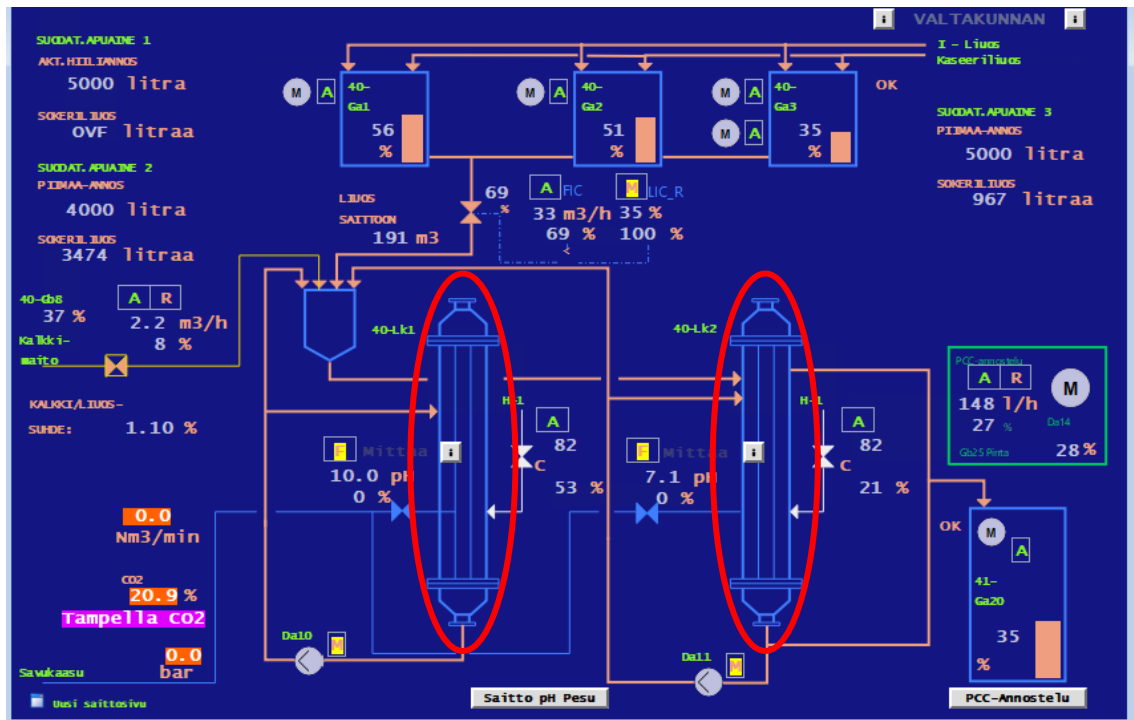
tukkeutumiseen, joten hiilidioksidin syöttöpaikan vaihtamista alettiin suunnittelemaan vanhan savukaasun syöttöpaikan tilalle.

Merkittävänä muutoksena Porkkalan tehtaalle tuodussa Arvlövin mallissa oli se, kuinka liuos ja siihen sekoitettu hiilidioksidi johdettiin kiertolinjaa pitkin saittoreaktorin yläosaan. Paikka on osoitettu vihreällä nuolella kuvassa 4.



Kuva 4. Porkkalan tehtaan saittolaitteisto, jossa hiilidioksidi ohjataan harmaasta säiliöstä kiertolinjoissa oleviin miksereihin (sininen viiva). Vihreällä neliöllä on merkitty mehulaatikko ja vihreällä nuolella kiertolinjan syöttö reaktoriin. Mikserit merkitty punaisilla ympyröillä.

Arvlövin tehtaan saittoprosessi poikkeaa muillakin tavoin Porkkalan tehtaan prosessista. Porkkalan tehtaalla reaktoreita on kaksi (kuva 5), eikä kummassakaan niissä ole sekoittajia.



Kuva 5. Porkkalan tehtaan saittolaitteisto parannusmuutoksen jälkeen, jossa sinisellä viivalla osoitettu hiilidioksidi on ohjattu suoraan saittoreaktoreihin (reaktorit ympäröity punaisella).

Kummankin tehtaan Arlövin, ja Porkkalan reaktoreissa käytetään höyryä, jonka tarkoituksena on sekoittaa sekä lämmittää saittoreaktorissa olevaa liuosta.

## 5 Porkkalan tehtaan laitteisto ja apuaineet

Saturoinnissa tapahtuva reaktio on aika yksinkertainen, jota on käytetty pidemmän aikaa teollisuudessa. Saturointi prosessina on kuitenkin monimutkaisempi ja paljon energiaa vaativa. Energiaa kuluu muun muassa liuoksen sekoittamiseen ja lämmittämiseen sekä apuaineisiin kuuluvan kalkkimaidon valmistukseen.

### 5.1 Kalkkimaito

Kalkkimaito koostuu kalsiumhydroksidista  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ja vedestä, ja sillä on laajoja sovelluksia monissa teollisissa prosesseissa, kuten juomaveden ja jäteveden

käsittelyssä, maaperän stabiloinnissa, rakentamisessa, maaperän parantamisessa maataloudessa ja puhdistuksessa metalliprosesseissa [6.]

Tavallisesti kalkkia lisätään niin paljon, että puhdistettavan sokeriliuoksen pH nousee alueelle 9,0–11,0, jolloin määrätty suurimolekyyliset orgaaniset epäsokerit (valkuaisaineet pektiinit, eräät polysakkaridit jne.) saostuvat eli koaguloituvat. Tällöin myös sekä orgaaniset että epäorgaaniset hapot neutraloituvat ja niiden suolat saostuvat kalsiumsuoloina [1].

## 5.2 Mehulaatikko

Mehulaatikko on pienempi säiliö (kuva 3, vihreä neliö), joka toimii eräänlaisena suppilona saittoreaktoriin, johon johdetaan esipuhdistettu sokerimehu sekä edellä mainittu kalkkimaitoseos. Seokset ohjautuvat mehulaatikosta ensimmäiseen saittoreaktoriin. Näytteenotossa tästä käytetäänkin ilmaisua ”saittoon tuleva” liuos.

## 5.3 Hiilidioksidi

Saitto-saturoinnissa käytettävä hiilidioksidi on puhdasta hiilidioksidia, joka höyrystetään nestemäisestä olomuodosta kaasuksi ennen kuin se johdetaan viiden baarin paineella saittoprosessiin. Hiilidioksidin toimituksesta vastaa ulkoinen yritys, Linde (entinen AGA).

Hiilidioksidia annostellaan tehtaan ulkopuolella sijaitsevasta isommasta säiliöstä höyrystimeen (kuva 6, vasemmalla).



Kuva 6. Hiilidioksidin höyrystin merkattu vihreällä ja paineensäätö punaisella neliöllä.

Suurin osa kalkista saostuu ensimmäisessä saittoreaktorissa ja CO<sub>2</sub>-hyötysuhde on siinä paljon suurempi kuin toisessa saittoreaktorissa. Kalkki olisi saatava saostetuksi mahdollisimman tarkoin, sillä saostamaton kalkki jää mehuun lisäten sen tuhkapitoisuutta [1.] Tämän takia ensimmäiseen saittoreaktoriin syötetään hiilidioksidia enemmän kuin toiseen saittoreaktoriin.

#### 5.4 Höyry

Saittoreaktoreihin syötetään kuumaa vesihöyryä, jolla on kaksi eri tarkoitusta; liuosta saadaan lämmitettyä haluttuun lämpötilaan sekä höyryputkesta tulevalta

noin 1 baarin paineella liuoksen sekoittuvuutta saadaan lisättyä. Höyryn haittapuolena on siitä liuokseen siirtyvä ylimääräinen vesi, joka laskee hieman liuoksen kuiva-ainepitoisuutta, eli brix-arvoa. Liian matala brix-arvo prosessissa tarkoittaa, että liuoksesta on haihdutettava vettä, johon taas kuluu turhaa energiaa.

## 5.5 Saittoreaktorit

Saittoreaktoreihin johdetaan mehulaatikon kautta kalkkimaito sekä mehu. Saittoreaktoreissa on omat kiertolinjat, joilla mehua sekoitetaan kierrättämällä sitä uudelleen saturoitavaksi, jolloin kalkkimaidon ja hiilidioksidin välistä reaktiota saadaan tapahtumaan mahdollisimman paljon. Kiertolinjat on johdettu reaktoreiden keski-/yläosiin.

Nykyisin käytetään hyvin yleisesti kaksivaiheista saittoa, joten saittoreaktoreita on 2 kpl sarjassa. Ne on yleensä varustettu sellaisella putki- ja venttiilijärjestelmällä, että mehukerroksen korkeutta voidaan tarvittaessa muuttaa kolmelle eri korkeudelle. Näin voidaan vaikuttaa mehun viipymisaikaan saittoreaktoreissa. Sopivien prosessiolosuhteiden ylläpitämiseksi reaktorit on varustettu pH:n ja lämpötilan mittaus- ja säätölaitteilla [1].

## 5.6 Autosuotimet

Autosuotimet suodattavat saitosta saapuvan sokeriliuoksen, jossa on mukana kalsiumkarbonaattisaostumia. Autosuodin on suljettu säiliö (kuva 7), jonka sisään on asennettu levyjä, eräänlaisia kennoja, joiden seinämien molemmin puolin on suodatinkangas. Sokeriliuos menee suodatinkankaiden lävitse kennon seinämään ja ohjautuu siitä prosessissa eteen päin.



Kuva 7. Autosuotimia rivissä kuvassa oikealla ympyröity punaisella. [7.]

Kyllästyneet kalsiumkarbonaattisakat eivät läpäise suodatinkangasta, vaan tarttuvat sen pinnalle. Autosuodin pestään, kun suodatinkankaan pinnalle on muodostunut tarpeeksi sakkaa eikä liuos enää läpäise kangasta kunnolla. Autosuotimia voi olla samaan aikaan käytössä useampia. Mehun laatua voi seurata autosuotimen molemmissa päissä olevista ”mehupilleistä”, eli lasiputkista, joiden läpi mehu kulkeutuu.

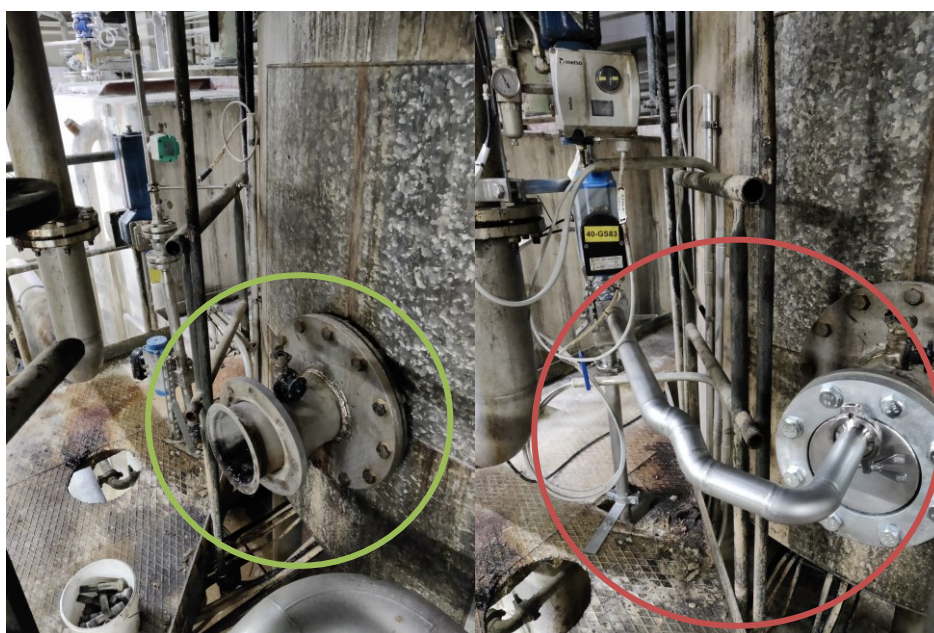
### 5.7 Precipitated calcium carbonate (PCC)

Tehtaan aikaisemmissa projekteissa saiton yhteyteen on otettu käyttöön saostuneen kalsiumkarbonaatin eli PCC:n annostelu. Idea on lähtöisin espanjalaisen puhdistamon PCC:n koekäytöstä. Espanjan tehtaan tavoitteena oli värinpoiston tehostaminen, mutta Porkkalan tehtaan PCC:n koeajoissa huomattiin positiivisia vaikutuksia saiton jälkeisessä suodatuksessa sekä kalkin kulutuksessa. Saiton jälkeinen suodatus on aiemmin ollut tuotannon pullonkaula, mutta nyt PCC:n ansiosta mehuja saadaan ajettua kiteytystä vastaava määrä, joten pullonkaula on pääosin poistunut [3.]

PCC:n on siis tarkoitus nopeuttaa sekä tehostaa sokeriliuoksen puhdistamista tuotannossa lisäämällä saittoreaktoreihin valmista kalsiumkarbonaattia.

## 6 Työhön valmistautuminen ja työn suoritus

Työ aloitettiin suunnittelemalla hiilidioksidiputkien johtamista molempien saitto-reaktoreiden alaosiin (kuva 8, vihreä ympyrä), jota kautta savukaasut johdettiin reaktoriin aikaisemmin, ennen puhtaan hiilidioksidin käyttöönottoa



Kuva 8. Muutos ennen (vasemmalla) ja jälkeen (oikealla), kun vanhaan savukaasun syöttöputkeen (vihreä ympyrä) liitettiin uusi (punainen ympyrä) hiilidioksidin syöttöputki.

Myös säiliön sisällä olevaan jakoputkeen kiinnitettävien jakolaitteiden muutosta harkittiin (kuva 9), mutta tässä vaiheessa kuitenkin päätettiin pysyä vanhassa savukaasumenetelmän mallissa.



Kuva 9. Saittoreaktorin pohjalla näkyvät höyryjakorengas merkattu keltaisella nuolella, jonka yläpuolella vanha savukaasun jakoputki merkattuna punaisella nuolella, jossa on ulostuloreikiä jakolaitteille (oikealla, vihreä neliö).

Uudessa parannusmallissa, jossa puhdasta hiilidioksidia syötettiin reaktorin alaosaan, päätettiin ensimmäisessä reaktorissa jakolaitteina käyttää rei'itettyä putkistoa, kun taas toisessa reaktorissa päätettiin käyttää kampamaisia jakolaitteita.

Työssä päätettiin mitata saittoprosessista vapautuvaa sitoutumatonta hiilidioksidin määrää sekä ajojaksojen välisiä eroja. Mittaukset suoritettiin saittoreaktoreista tehtaan katolle johdetusta piipusta Lancom-savukaasuanalysaattorilla (kuva 10). Mittausta varten piipun runkoon suunniteltiin pienempi putki, joka oli mitoitettu mittalaitteen sondin mukaisesti.



Kuva 10. Piipusta poistuvan hiilidioksidin määrän mittausta LANCOM-savukaa-  
suanalysaattorilla.

Ensimmäiset kokeet ja analyysit tehtiin ennen varsinaisia koeajoja ja ne suori-  
tettiin kaseeriliuoksilla. Kaseeriliuos on sokeriliuos, joka valmistetaan

puhdistusprosessin jo läpikäyneestä sokerista, eli pääosin puhtaasta sokerista. Varsinaiset ajot päästiin suorittamaan aikataulullisista syistä vasta myöhemmin. Kaseeriliuokset ovat laadultaan epätasaisia ja saattavat sisältää fosfaattia, joka tukkii autosuotimien kankaita, joten niitä ei voinut käyttää luotettavasti kokeissa, vaan pelkkänä harjoitteluna.

Testikokeissa ilmeni joitakin asioita, joihin oli hyvä puuttua ennen todellisia koeajoja. Yksi näistä oli näytteenottopaikkojen merkitseminen mittausepävarmuuden lieventämiseksi.

## 6.1 Koeajot

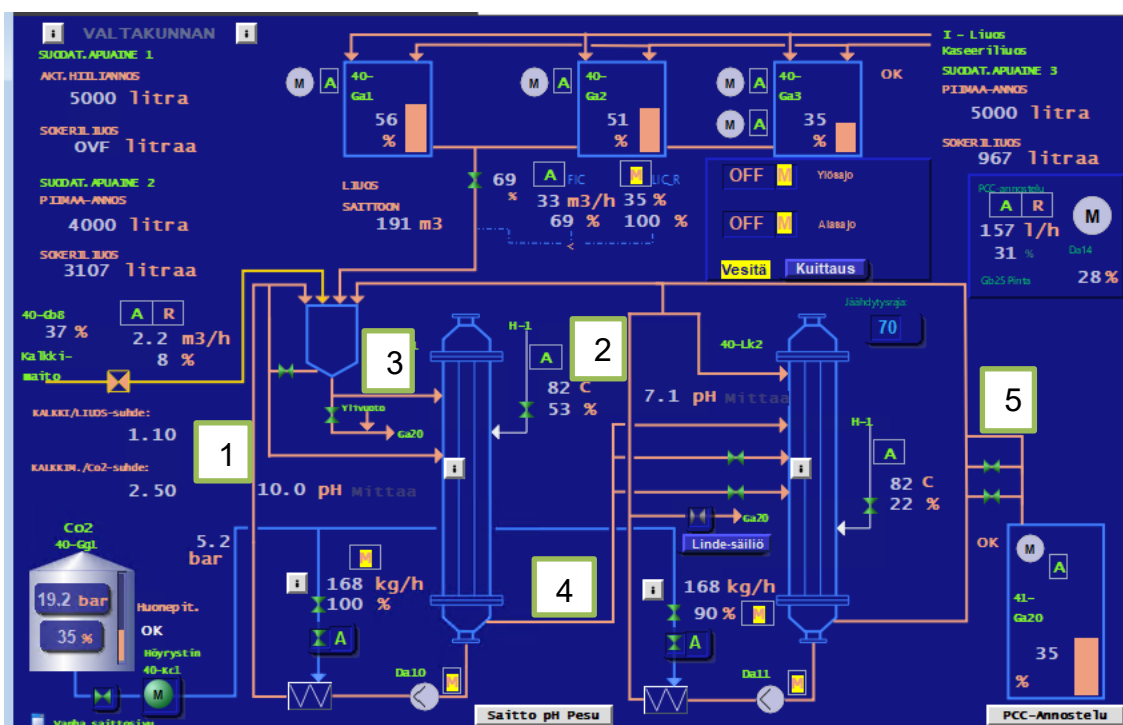
Koeajot suoritettiin yhden viikon aikana kahdessa eri osiossa. Ensimmäisessä kahden päivän kestävässä koeajossa ajettiin uudella toimintamallilla, jossa puhdas hiilidioksidin syöttö tulee saittosäiliöiden alaosiin. Toisessa koeajossa ajettiin nykyisellä käytössä olevalla menetelmällä, jossa puhdas hiilidioksidi ohjattiin mikserin kautta saittoreaktoreiden kiertolinjaan. Molemmissa koeajoissa pyrittiin pitämään samoja arvoja kalkin ja liuoksen sekä hiilidioksidin ja kalkkimaidon suhteen. Saittoon tuleva sokeriliuos pystyttiin pitämään tasalaatuisena käyttämällä molemmissa ajojaksojen liuoksissa raaka-aineena samaa ruokoraakasokerierää. Liuosten lämpötilat saittoreaktoreissa pidettiin myös samoina molemmissa koeajoissa.

Kaasunsyöttömenetelmä vaihdettiin heti, kun koeajojakson viimeiset iltanäytteet oli otettu, jotta prosessi ehti tasaantua ennen seuraavaa näytteenottokertaa. Tällä tavoin varmistettiin, että ajojaksojen välissä on riittävästi väliä, jottei ensimmäisen jakson liuokset vaikuta toisessa osiossa otettujen analyysien mitaustuloksiin.

## 6.2 Näytteidenotto

Näytteenotto suoritettiin aamupäivällä klo 11—13, sekä illalla klo 17—19 välisenä aikana näytteenottosuunnitelman mukaisesti. Näytteet otettiin seuraavista paikoista (kuva 11):

1. saittoreaktori 1:n kiertolinjasta
2. saittoreaktori 2:n kiertolinjasta
3. saittoon tulevasta liuksesta
4. saittoreaktori 1:stä poistuvasta liuksesta
5. saittoreaktori 2:sta poistuvasta liuksesta.



Kuva 11. Näytteenottopaikat numeroina putkilinjojen viereen (ruskeat linjat)

Kaikista näytteistä mitattiin pH niiden ollessa vielä kuumia. Tämän jälkeen näytteet laitettiin vesihauteeseen (+20 °C), minkä jälkeen kaikista näytteistä mitattiin

brix sekä johtokyky. Saittoreaktori 1:n kiertolinjasta ja saittoreaktori 2:sta poistuvasta liuksesta määritettiin kalsiumoksidin pitoisuus. Brix-mittauksella saatiin tarkempi ja luotettavampi arvo, kuin online-mittauksella otettuna. Mittauksessa käytettiin Bellingham + Stanley -refraktometriä. Brix-arvoa tarvittiin kalkin pitoisuuden määrittämisessä.

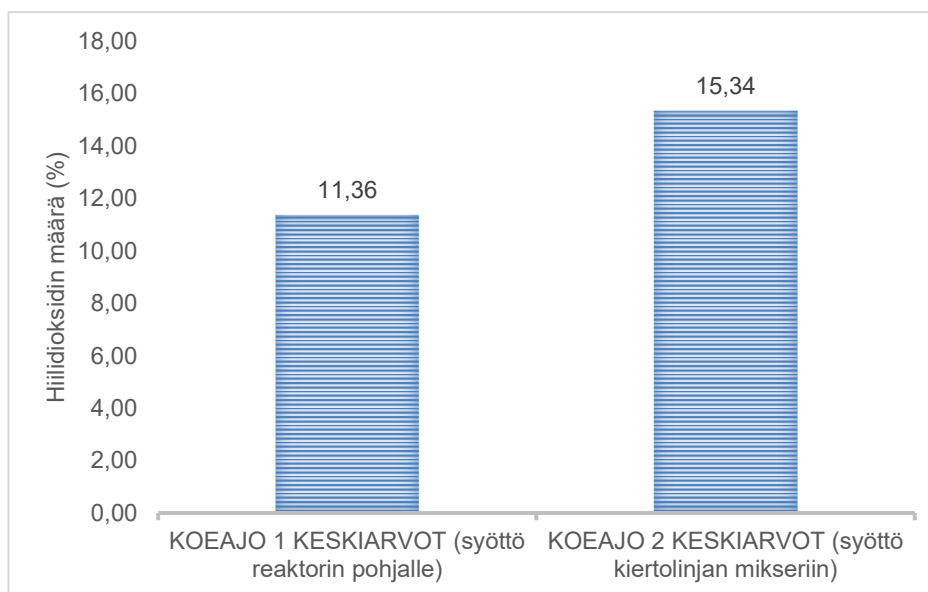
Kalsiumoksidin pitoisuus määritettiin laboratorion työohjeen mukaisesti titraamalla.

Aamulla otettavien näytteen yhteydessä mitattiin saittoreaktoreista poistuvan hiilidioksidin pitoisuus.

## **7 Tulokset ja niiden tarkastelut**

### **7.1 Hiilidioksidimittaus**

Mittauksen oletuksena oli, että kiertolinja 1:n syöttöputki on liian ylhäällä reaktorissa eikä näin ollen liuos pääse sekoittumaan kunnolla, vaan pelkästään reaktorin yläosassa. Oletuksena oli myös, että eri koeajojen mittaustuloksien välillä on eroja. Kuvasta 12 ilmenee, kuinka oletukset pitivät paikkaansa ja hiilidioksidia vapautuu piipusta ilmaan enemmän silloin kun sitä syötettiin toisessa koeajossa kiertolinjan mikseriin.



Kuva 12. Mitatut hiilidioksidipitoisuudet piipusta.

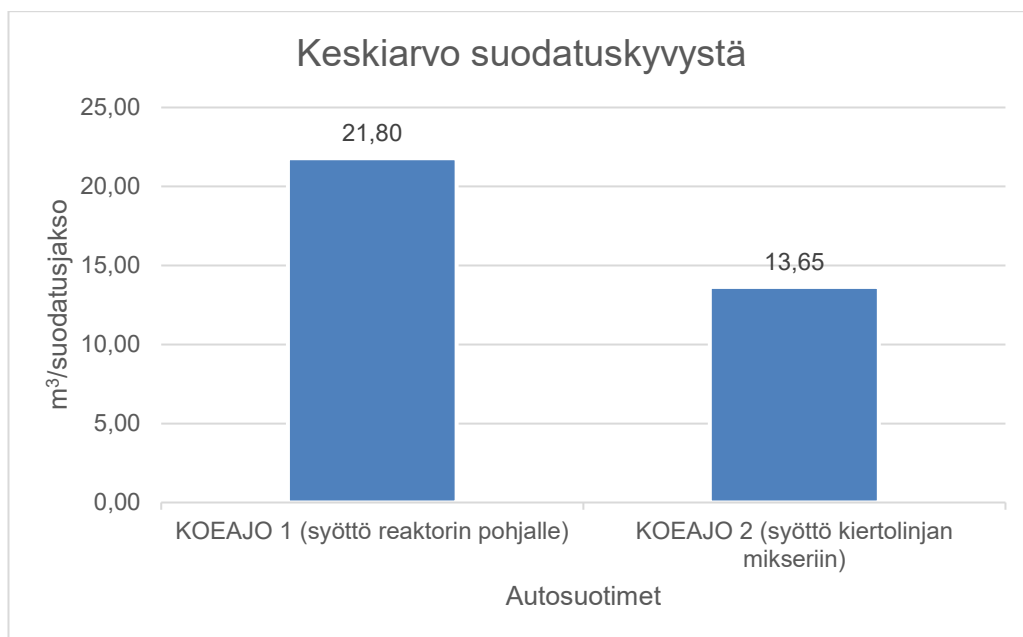
Piipusta vapautui vähemmän hiilidioksidia ensimmäisessä koeajossa, jossa sitä syötettiin reaktorin alaosaan, eli kalkki on ehtinyt reagoimaan hiilidioksidin kanssa. Hiilidioksidia syötetään saittoreaktoreihin ylimäärin, joten oli odotettavissa pitoisuuksien olevan jokseenkin suuria. Tässä mittauksessa olikin tärkeitä vertailla eroja koeajojen välillä, eikä niinkään hiilidioksidin määriä. Määrällisesti pitoisuutta voidaan säätää optimoimalla saittoon annostellun hiilidioksidin määrää sopivammaksi.

## 7.2 Autosuotimien tukkeutuminen

Saitosta läpi päässyt reagoimaton kalkki tukkeutti nopeammin autosuotimien kankaat toisessa koeajossa, jossa hiilidioksidia syötettiin kiertolinjan mikseriin. Tämän takia autosuotimia jouduttiin pesemään useimmin, kuin mallissa, jossa

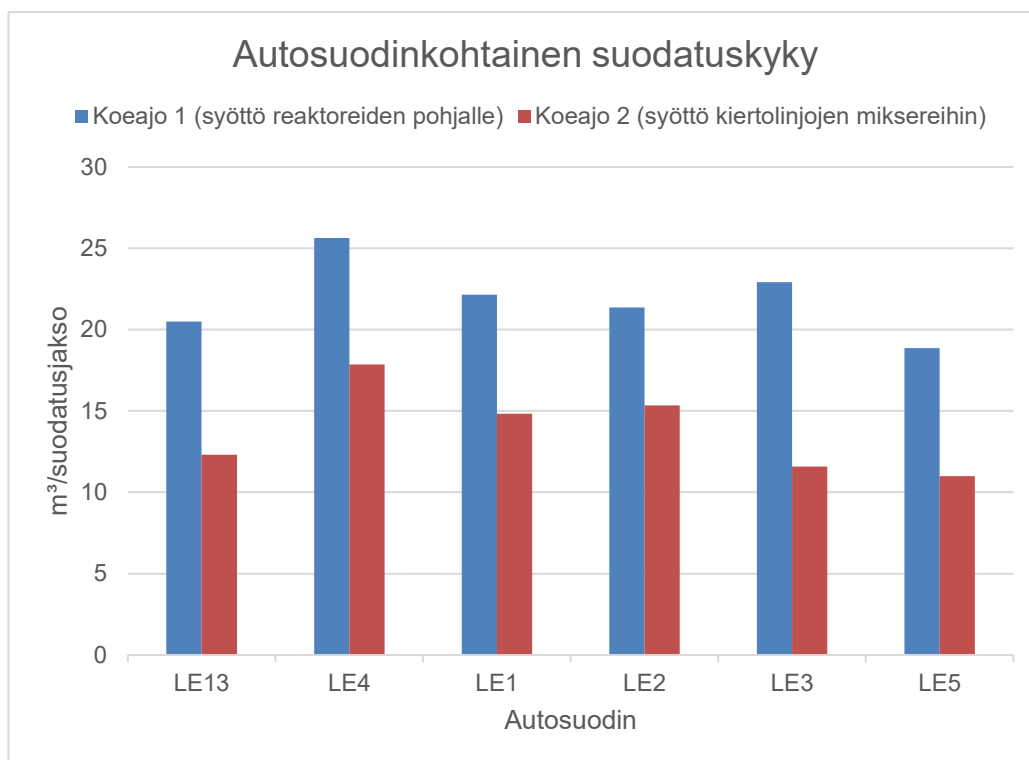
hiilidioksidia syötettiin reaktorin pohjalle. Useat pesukerrat vaikuttivat tehtaan tuotannon tasoon negatiivisesti.

Ajomäärien datasta otettujen tietojen perusteella näkyy kuinka eri suotimet suodattavat eri määriä liuosta, mutta ajojaksojen vaihtelevuus näkyy tasaisesti molemmilla koeajoissa (kuvat 13 ja 14).



Kuva 13. Koeajojen keskimääräinen suodatuskyky ennen suotimien tukkeutusta.

Koeajojen aikana suodattimet tukkeutuivat huomattavasti useammin toisessa koeajossa, kuin ensimmäisessä koeajossa.



Kuva 14. Autosuotimien sokeriliuoksen suodatuskyky kuutioina ennen tukkeutumista ja siitä johtuvaa pesutarvetta.

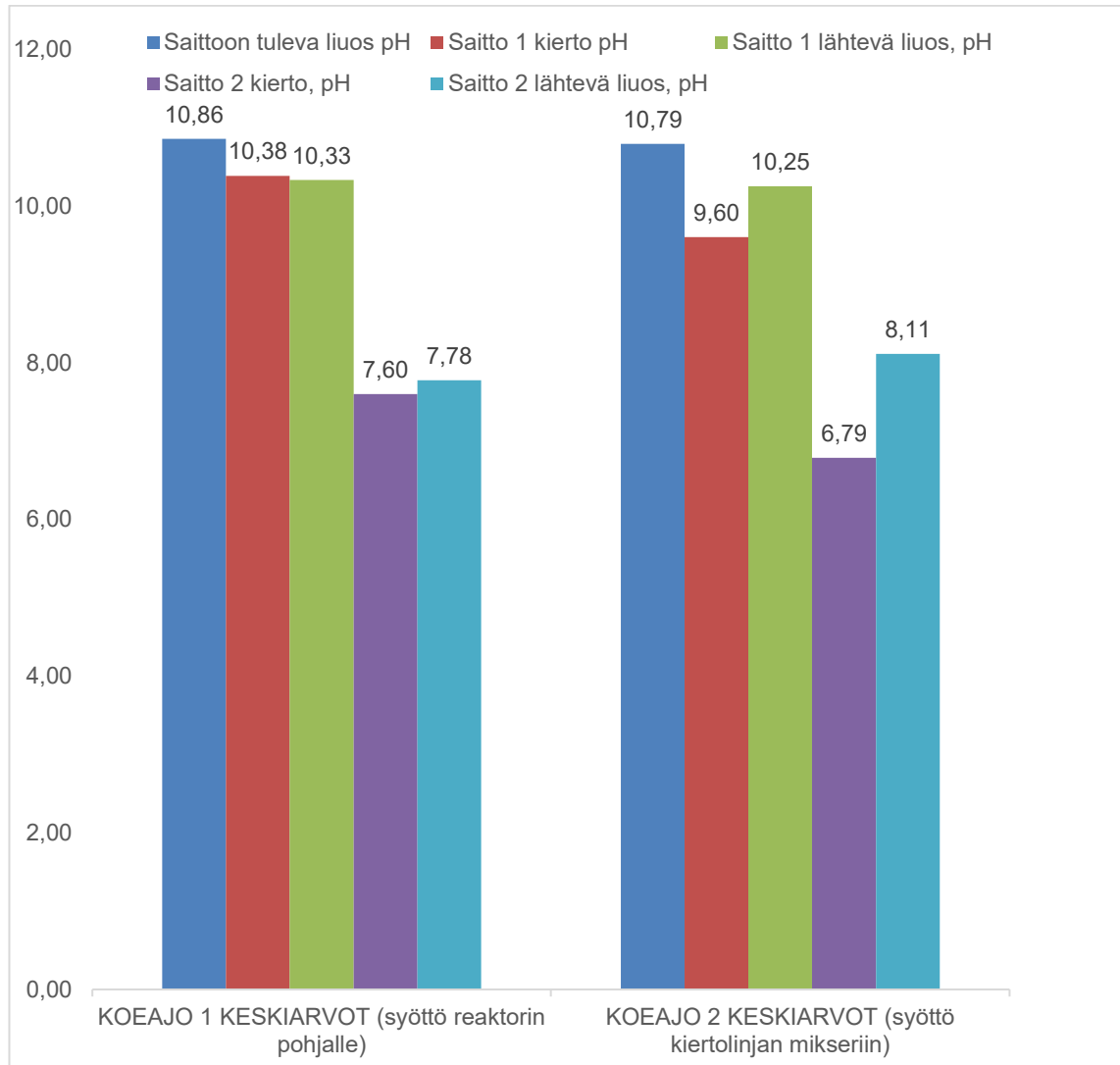
Eroa on havaittavissa LE3-suotimessa, joka on suodatusjakson aikana suodatanut ensimmäisessä koeajossa liuosta noin puolet enemmän kuin toisessa koeajossa.

### 7.3 pH-mittaukset

Näytepurkeista kaadettiin osa näytteestä pienempiin mittalaseihin, joista mitattiin pH kuumana ja laimentamattomana. pH-mittarin elektrodi huuhdeltiin huolellisesti ionivaihdetulla vedellä jokaisen mittauksen jälkeen ennen uutta mittausta. Mittauksessa käytettiin Eutech Instruments pH 2700 -laitetta. Koeajojen pH-mittaukset suoritettiin tehtaan laboratoriossa, jossa laitteista pidetään huolta ja ne kalibroidaan tietyin väliajoin.

Analyysien pH-mittausten tuloksista voidaan nähdä selkeää eroa koeajojen välillä (kuva 15). Saittoon tulevan liuoksen sekä saitton 1 kierron pH:t ovat

suunnilleen samat koeajo 1:ssä, koska hiilidioksidia syötetään saittoreaktorin pohjalta, jolloin liuos ehtii sekoittua säiliössä ennen kiertolinjaa.



Kuva 15. Näytteistä saatuja pH-mittauksen tuloksia.

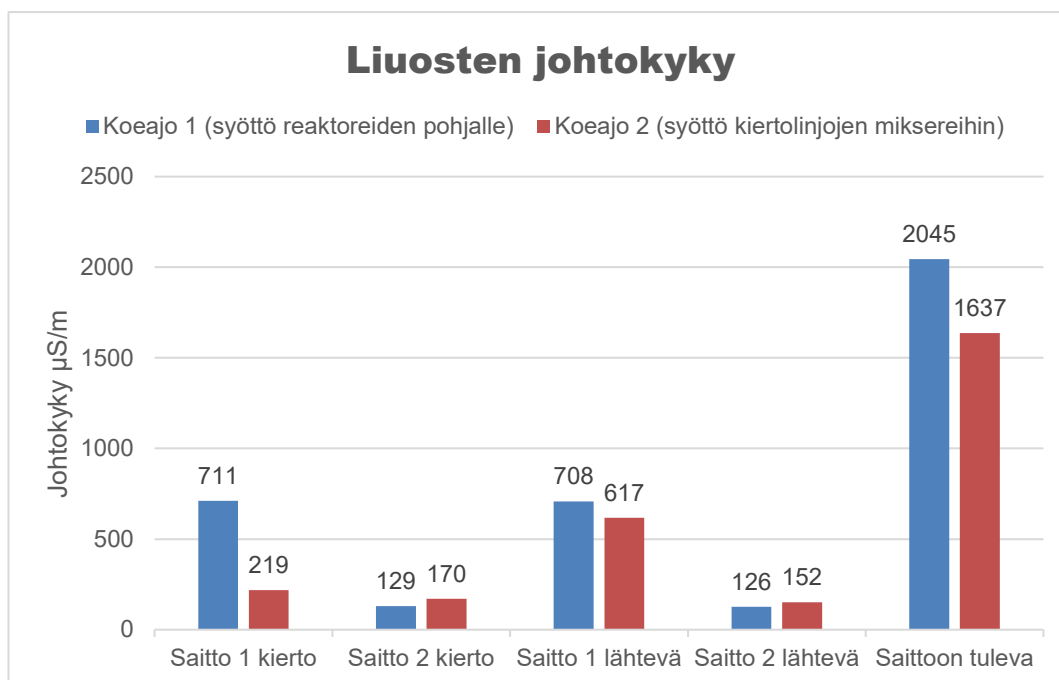
Koeajo 2:ssa molempien saittoreaktoreiden kiertolinjoissa (kuva 15, punainen ja violetti pylväs) on puolestaan matalampi pH, kuin koeajo 1:n kiertolinjoissa, koska hiilidioksidi syötetään koeajo 2:ssa suoraan molempien reaktoreiden kiertolinjaan. Mittaus antaa siis hieman valheellista tulosta, koska mittauspaikka

sijaitsee liian lähellä hiilidioksidin syöttöpaikkaa eikä liuos ole ehtinyt vielä sekoittua kunnolla.

Koeajo 2:ssa toisesta saittoreaktorista (kuva 15, turkoosi pylväs) lähtevän pH-arvo on korkeampi kuin koeajo 1:ssä, koska liuokseen syötetty hiilidioksidi on jäänyt vaikuttamaan enemmän saittoreaktorin pinnalla olevaan liuokseen, eikä ole päässyt sekoittumaan kunnolla vaan osa hiilidioksidista on poistunut piipun kautta. Toisin sanoen liuoksen pH on korkea, koska siinä on vielä reagoimattomaa kalkkia mukana.

#### 7.4 Johtokyky mittaus

Johtokyky mittaukset (kuva 16) tehtiin puolilaimennoksina, ja tästä syystä tulokset ovat pienempiä, kuin laimentamattomat liuokset. Mittalasiin punnittiin n. 50 g ionivaihdettua vettä sekä 50 g sokeriliuosta, minkä jälkeen näyte sekoitettiin huolellisesti. Ennen mittausta mittalaitteen elektrodi huuhdeltiin pienellä määrällä mitattavaa näytettä, koska siihen voi olla jäänyt ionivaihdettua vettä. Mittauksen jälkeen elektrodi huuhdeltiin runsaasti ionivaihdetulla vedellä, niin kauan että mittarin lukema on lähellä nollaa. Näytteen lämpötila oli vesihauteen mukainen +20 °C.



Kuva 16. Näytteiden johtokyky mittauksessa saatujen tulosten keskiarvoja

Johtokyvyn tuloksista voi päätellä saman kuin pH-mittauksessa, että näytteenottopaikka sijaitsee liian lähellä hiilidioksidin syöttöpaikka ja sen takia mittaustuloksiin ei voi luottaa täysin.

## 8 Yhteenveto

Tämä insinööri työ tehtiin Suomen Sokeri Oy:lle, Kirkkonummella sijaitsevan Porkkalan sokerinpuhdistamoon. Työn tavoite oli selvittää, minkälaisia vaikutuksia on puhtaan hiilidioksidin syöttöpaikan vaihtamisella saitto-saturoinnissa, joka on osa sokerinpuhdistusprosessia. Saitto-saturoinnissa on tarkoitus puhdistaa sokeriliuosta kalkin ja hiilidioksidin välisellä kemiallisella reaktiolla.

Puhdasta hiilidioksidia käytettiin konsernin toisella tehtaalla Ruotsissa, Arlövin tehtaalla, josta otettiin mallia Porkkalan sokerinpuhdistamoon. Arlövin-mallissa hiilidioksidia syötettiin saittoreaktoreiden kiertolinjoissa oleviin miksereihin, mutta tämä kopioitu malli ei toiminut yhtä hyvin Porkkalan tehtaassa, vaan aiheutti saiton jälkeisessä suodatuksessa suodattimien tukkeutumista. Tämän

takia puhtaan hiilidioksidin syöttö päätettiin johtaa saittoreaktoreiden alaosaan. Kahden eri mallin eroja selvitettiin koeajoilla, joissa toisessa hiilidioksidi oli ohjattu Arlövin tehtaan mallilla, ja toinen uudella mallilla reaktoreiden alaosaan. Yksi koeajo kesti kaksi päivää. Koeajoja tehtiin kaksi. Liuoksessa tapahtuvia muutoksia syöttöpaikkojen välillä seurattiin analysoimalla näytteitä, jotka oli otettu saittoprosessin eri kohdista. Näistä näytteistä mitattiin muun muassa pH ja johtokyky. Prosessista poistuvaa hiilidioksidin määrää mitattiin savukaa-suanalysointilaitteella, jolla selvitettiin mahdollisia hiilidioksidihäviöitä.

Näytteistä tehtyjen pH-mittauksien perusteella pystyttiin osoittamaan, miten kalkin ja hiilidioksidin välinen reaktio on tapahtunut saittoprosessin aikana. Hiilidioksidi häviöistä mitatut tulokset osoittivat kuinka Arlövin tehtaan mallia käytettäessä häviöt ovat suuremmat kuin uudessa mallissa. Autosuotimien suodattavuuskyky kasvoi, kun käytössä oli uusi reaktoreiden alaosaan syötetty puhdas hiilidioksidi.

Työssä saavutettiin tavoite, jossa pystyttiin mittaustulosten ja analyysein osoittamaan selkeää eroa kahden eri prosessimallin välillä. Molemmissa koeajoissa pystyttiin pitämään samanlaisia arvoja muun muassa pH:n, lämmön, kalkkimaitoliuoksen suhteen. Henkilökuntaa informoitiin myös tulevista näytteenotoista. Näin kaikki saittoprosessia koskevat mahdolliset muutokset saadaan ensikäden tietona ja myös laboratorioissa osattiin varautua ylimääräisiin mittauksiin.

## **9 Pohdintaa ja jatkokehitysideoita**

Tässä työssä haastavinta oli löytää materiaalia muualta kuin tehtaan omista asiakirjoista. Sokerinpuhdistamon perusasioihin löytyy kyllä materiaalia, mutta mitä yksityiskohtaisemmaksi prosessin toimintaan syventyy, sitä vähemmän aineistoa tuntuisi löytyvän.

Työ oli kuitenkin kaikin puolin onnistunut, eikä vastaan tullut juurikaan epäonnistumisia, muutamia aikatauluviivästyksiä lukuun ottamatta. Näytteille tehtävät analyysit onnistuivat laboratorio-ohjeilla sekä henkilökunnan avustuksella

mutkitta. Analyysien tuloksilla pystyttiin näyttämään toteen saiton epäkohtia, joita oli aikaisemmin vain arvailtu.

Työssä selvisi, minkälaisia vaikutuksia voidaan saada pienillä muutoksilla. Pienillä hienosäädöillä saitto-saturoinnista voisi saada toimivamman systeemin. Tietenkin se vaatisi monen asian muuttamista sekä aikaa koeajoille, mutta näillä muutoksilla voitaisiin vuositasolla säästää niin energiassa kuin apuainekustannuksissakin.

Ensimmäisenä muutoksia kannattaisi tehdä saittosäiliön pohjalla olevan hiilidioksidiputken ohentamista ja siihen liitettävien kaikkien jakolaitteiden muuttamista ohuemmiksi reikäputkimalleiksi, näin kaasu saataisiin kovemmalla paineella sekoitettua liuokseen, joka voisi myös parantaa sen kuplien leviämistä säiliön koko alalle, ja näin ollen vaikuttaisi liuokseen kokonaisvaltaisesti. Nykyisessä systeemissä voi olla, että paine ei riitä jakoputken loppupäähän asti, vaan kaikki paine purkautuu jo putken juuressa putkien kokoerojen takia.

Seuraavana muutoksena voisi olla hyvä vaihtaa sekoitustapaa saittoreaktoreissa. Höyryn sijaan voisi olla edullisempi ratkaisu hankkia säiliöön omat sekoittimet. Höyrystä sekoittuu myös jonkin verran vettä liuokseen, mikä on ei-toivottu asia ja johtaa siihen, että liuoksessa on enemmän haihdutettavaa. Toisaalta jos höyry poistettaisiin käytöstä, niin tilalle pitäisi keksiä toinen tapa lämmittää liuosta. Muutokseen pitäisi perehtyä enemmän energiankulutuslaskelmien kautta.

Kehitysideana olisi myös kalkin määrän seuraaminen. Ainakin tähän mennessä on tiedossa, että kalkkia menee enemmän kuin aikaisemmassa systeemissä, jolloin käytössä oli savukaasu. Systemi on muuttunut niistä ajoista, ja kalkin optimointi uuteen systeemiin olisi paikallaan. Tämä kannattaisi tehdä edellä mainittujen muutoksien jälkeen. Samoin kun höyryssä niin myös kalkkimaidon mukana liuokseen tulee lisää vettä.

Jos näillä muutoksilla saisi parannettua saiton toimintaa, niin tuotannon kapasiteettia voitaisiin nostaa ainakin tämän prosessin osalta. Miten se vaikuttaisi

koko prosessiin, on epävarmaa. Muutokset tietenkin vaativat aina enemmän perehtymistä asioihin, sekä paljon testejä ja mittauksia. Säästöjä voisi tulla myös liuokseen syötettävän PCC:n osalta, jota ehkä kuluisi vähemmän.

## Lähteet

- 1 Opetuskirje. Sokeriteknologia/Sokerinpuhdistamo. 2010. Yrityksen sisäinen dokumentti. Suomen Sokeri Oy.
- 2 Tate & Lyle Sugars. Verkkoaineisto. <[https://www.tateandlylesugars.com/sites/tateandlylesugars\\_com/files/2023-01/refining-process.jpg](https://www.tateandlylesugars.com/sites/tateandlylesugars_com/files/2023-01/refining-process.jpg)>. Luettu 2.5.2023
- 3 Siva, Alluri. Carbonation Process in Sugar Refinery and Raw melt decolourization process. Verkkoaineisto. <<https://www.sugarprocesstech.com/carbonation-process-in-sugar-refinery/>>. Luettu 17.4.2023.
- 4 Heiska, Mikko 2023. Tuotantopäällikkö, Suomen Sokeri Oy, Kirkkonummi. Keskustelu 19.4.2023.
- 5 How Sugar is Refined - the Basic Story. Verkkoaineisto. <<https://www.sucrose.com/lref.html>>. Luettu 16.4.2023.
- 6 Nordkalk Milk of Lime. Verkkoaineisto. <<https://www.nordkalk.com/products/nordkalk-milk-of-lime/>>. Luettu 15.4.2023.
- 7 The Magic of Our Refinery. Verkkoaineisto. <<https://www.msmsugar.com/msm-prai/process/magic-our-refinery>>. Luettu 20.4.2023.