



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Lassi Saesmaa

# Täryseulan saannon optimointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

12.4.2020

|  |  |
|--|--|
| Tekijä<br>Otsikko  | Lassi Saesmaa<br>Täryseulan saannon optimointi                   |
| Sivumäärä<br>Aika  | 47 sivua + 8 liitettä<br>12.4.2020                               |
| Tutkinto   | insinööri (AMK)  |
| Tutkinto-ohjelma   | bio- ja kemiantekniikka  |
| Ammatillinen pääaine   | kemiantekniikka  |
| Ohjaajat   | kehitysinsinööri Aleksanteri Lehessaari<br>lehtori Timo Seuranen |
| <p>Insinööriyön tavoite oli vähentää täryseulan tuotteista saatavia laatupoikkeamia ja parantaa täryseulalta päätuotteena saatavan K390-jakauman saantoa rajoittavana tekijänä ollessa K390- ja K540-jakaumien laatu. Työssä selvitettiin täryseulan maksimi seulontakapasiteetti muuttamalla kiteen syöttövirtausta ja säätämällä kiteen leviäminen seulalle optimaaliseksi. Tavoitteena oli nostaa K390-jakauman saanto yli 35 %:iin ja vähentää laatu-<br/>poikkeamia vähintään 80 % vertailuaikana olleesta vuoden 2018 laatu-<br/>poikkeamien määrästä. Työ tehtiin Suomen Sokeri Oy:n sokeripuhdistamolla Porkkalassa Kirkkonummella.</p> <p>Mogensen-täryseulalla seulotaan sokerin puhdistusprosessista saatavaa kide 0,50 -tuotetta, joka on hyvin jakautunutta kidekoon määritelmän mukaan. Seulalta saadaan neljää jakaumaa myytäväksi tuotteina asiakkaille ja erikoistuotteiden raaka-aineeksi.</p> <p>Seulan syöttövirtausta säädettiin muuttamalla kidettä seulalle kuljettavan tärykuljettimen tehoa. Kiteen leviämistä seulalle säädettiin kahdella levityspellillä, joiden alta kide leviää seulan ylimmän seulaverkon päälle. Optimaalisella leviämällä tarkoitetaan kiteen leviämistä koko seulaverkon pinta-alalle, jolloin pystyttiin hyödyntämään koko seulan seulontakapasiteetti. Aina kun muutettiin kiteen syöttövirtausta seulalle, levityspeltejä piti säätää, jotta kide levisi seulalle optimaalisesti.</p> <p>Työn kokeellinen osuus suoritettiin koeajosarjoilla neljällä eri tärykuljettimen arvolla tehden kaksi koeajosarjaa jokaisella tärykuljettimen arvolla. Koeajosarjojen aikana otettiin näytteitä syötteestä, K390- ja K540-jakaumasta, ja näytteet analysoitiin Camsizer-partikkelianalysointilaitteella. Analyysitulosten perusteella määritettiin tärykuljettimen uudeksi arvoksi 45 %. K390-jakauman saanto optimoinnin jälkeen oli 35,3 %, eikä 10 viikon seurannan aikana tullut yhtään laatu-<br/>poikkeamaa. Koeajosarjojen tuloksista löydettiin yhteys syötteessä tapahtuvassa laatu-<br/>vaihtelussa ja seulalta saatavien tuotteiden laadussa tapahtuneen vaihtelun välillä.</p> |  |
| Avainsanat   | täryseula, saanto, laatu, optimointi                             |

|  |  |
|--|--|
| Author<br>Title  | Lassi Saesmaa<br>Optimization of Yield From the Vibrating Sieve                |
| Number of Pages<br>Date  | 47 pages + 8 appendices<br>12 April 2020                                       |
| Degree   | Bachelor of Engineering  |
| Degree Programme   | Bio- and Chemical Engineering  |
| Professional Major   | Chemical Engineering   |
| Instructors  | Aleksanteri Lehessaari, Development Engineer<br>Timo Seuranen, Senior Lecturer |
| <p>The aim of this thesis was to decrease quality deviations coming from sieved products and increase the percentage yield of the main product K390 from the sieve. The limiting factor was the quality of K390- and K540-products. In this thesis, the maximum screening capacity of the vibration sieve was determined by changing the crystal feed stream and adjusting the crystal spread on the sieve to optimal. The aim was to increase the yield of the K390-distribution by more than 35 % and reduce quality deviations at least by 80 % from the 2018 reference period. Thesis was done at Suomen Sokeri Oy`'s sugar refinery in Porkkala, Kirkkonummi.</p> <p>The Mogensen vibration sieve is used to screen the crystal 0.50 -product from the sugar purification process, which is well- distributed in terms of medium crystal size. The sieve provides four distributions as products for sale to customers and as a raw material for specialty products.</p> <p>The crystal feed stream was controlled by varying the power of the vibratory conveyor carrying the crystal to the sieve. Spreading of the crystal on the sieve was controlled by two spreading dampers under which the crystal spreads over the top sieve net. Optimal spreading means spreading the crystal over the entire sieve net area, which enabled the screening capacity of the entire sieve to be utilized. Each time the crystal feed flow to the sieve was changed, the spreading dampers had to be adjusted to optimally spread the crystal to the sieve.</p> <p>The experimental part of the thesis included performing test runs with four different vibratory conveyor value. Two test runs were performed with each vibratory conveyor values. During the test runs samples were taken from the feed, K390- and K540-distributions and analyzed by Camsizer particle analyzer. On the basis of the analysis results, a new value of 45 % was determined for the vibrating conveyor. The yield of the K390-distribution after optimization was 35.3 %, and no quality deviations occurred during the 10-week follow-up period. The results of the test runs showed a correlation between the quality of the feed and the quality of the products obtained from the sieve.</p> |  |
| Keywords   | vibrating sieve, yield, quality, optimization                                  |

## Sisällys

### Lyhenteet

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1   | Johdanto   | 1  |
| 2   | Kidesokeri ja sokerin puhdistusprosessi                | 3  |
| 2.1 | Sakkaroosi   | 3  |
| 2.2 | Raakasokeri kidesokerituotannossa                      | 3  |
| 2.3 | Sokerin puhdistusprosessi                              | 4  |
| 3   | Analysointi  | 11 |
| 4   | Seulonta   | 13 |
| 4.1 | Erikoistuoteseulonta                                   | 13 |
| 4.2 | Laatu"   | 15 |
| 4.3 | Saanto   | 18 |
| 5   | Mogensen täryseula                                     | 19 |
| 5.1 | Seulaverkot  | 20 |
| 5.2 | Tärymoottorit ja tärymittarit                          | 21 |
| 5.3 | Kiteen syöttö seulalle                                 | 23 |
| 5.4 | Kiteen levitys seulalle                                | 25 |
| 6   | Työn suoritus  | 28 |
| 6.1 | Perehtyminen seulalla työskentelyyn ja työturvallisuus | 28 |
| 6.2 | Työhön liittyvä tuotantosuunnittelu                    | 29 |
| 6.3 | Muutokset levityspelteihin                             | 30 |
| 7   | Saantojen laskeminen                                   | 32 |
| 8   | Koeajosarjat   | 34 |
| 8.1 | Tulosten analysointi                                   | 37 |
| 8.2 | Syöte  | 38 |
| 9   | Tulokset   | 44 |

|     |            |    |
|-----|------------|----|
| 9.1 | Laatu      | 44 |
| 9.2 | Saanto     | 45 |
| 10  | Yhteenveto | 46 |
|     | Lähteet    | 47 |

#### Liitteet

Liite 1. Sakkaroosiliuoksen yli- ja alikyllästysalueet (puhdas sakkaroosi)

Liite 2. Camsizer-partikkelianalysointituloste

Liite 3. Seulonnan lohko-kaavio

Liite 4. Testivaiheen Camsizer-partikkelianalysointitulokset

Liite 5. Muutokset levityspelteihin ja mittauspiste-erät

Liite 6. Saantolaskujen tiedot

Liite 7. Koeajosarjat Camsizer-partikkelianalysointitulokset

Liite 8. K390- ja K540-jakaumien keräilytulokset optimoinnin jälkeen

## Lyhenteet ja määritelmät

|                   |   |
|-------------------|---|
| Affinointi        | Sokerin puhdistusprosessiin liittyvä raakasokerin esipuhdistus.                                   |
| Camsizer          | Partikkelianalysointilaitteisto, jolla analysoidaan kidesokerinäytteitä.                          |
| DNA               | Dynamic network of applications. Metson kehittämä automaatio-ohjausjärjestelmä.                   |
| K390              | Täryseulalta seulonnan tuotteena saatava jakauma, täryseulan päätuote.                            |
| K540              | Täryseulalta seulonnan tuotteena saatava jakauma.   |
| Kide 0,50         | Täryseulan syötteenä käytettävä sokerin puhdistusprosessin tuote, jonka keskikidekoko on 0,50 mm. |
| Levityspeltti     | Kiteen leviämistä säätelevä täryseulan osa.   |
| Ryönä             | Kiteytyksen jälkeen kiteistä erotettu liuos, joka kiteytetään uudestaan.                          |
| Saitto-saturointi | Yksi prosessin vaihe sokerinpuhdistusprosessissa.   |

## 1 Johdanto

Opinnäytetyön tilaajana toimi Suomen Sokeri Oy:n sokeripuhdistamo Porkkalassa Kirkkonummella. Opinnäytetyö liittyi kidejakeiden seulontaan puhdistamoprosessissa. Raakasokerista puhdistusprosessissa syntynyt puhdistettu kidesokeri on hyvin jakautunutta keskikidekoon määritelmän mukaan. Asiakkaille tuotteiksi ja Suomen Sokerilla valmistettavien erikoistuotteiden raaka-aineeksi kidesokerista erotellaan eri kidejakaumia seulomalla.

Porkkalan sokeripuhdistamolla yhtenä kidesokeriseulana toimii Mogensenin-täryseula, jolla saadaan eroteltua erikoistuotteina kidejakaumia puhdistusprosessista saatavasta kide 0,50 -tuotteesta. Täryseulalta saadaan kerättyä neljää kidekokojakaumaa talteen, ja kulutuksella mitattuna näistä tuotteista yksi K390-jakauma on tärkein tuote ja muut kolme jakaumaa ovat tämän jakauman sivutuotteita. Tuotteilla tarkoitetaan seulalta saatavia jakaumia, ja tuotteiden nimet tulevat sanasta kide ja jakauman halutusta keskikidekoosta.

Ongelmana seulan toiminnassa ovat lisääntyneet laatupoikkeamat eri kidejakeissa sekä K390-tuotteen huonontunut saanto. K390-tuotteen pitämiseksi laaturajoissa on kiteen syöttövirtausta seulalle jouduttu laskemaan, mikä on lisännyt seulan käyttöaikaa. Ongelmaa on ryhdytty ratkaisemaan ja seulan toimittajalta on saatu seulan toiminnasta uusia tietoja, joita on otettu käyttöön. Työn tavoitteena on kokeellisesti selvittää seulan maksimi seulontakapasiteetti muuttamalla kiteen syöttöä ja säätämällä kiteen leviämistä seulalle.

Suomessa sokerituotanto on alkanut jo 1700-luvulla, ja Suomen Sokeri Oy on perustettu vuonna 1918, kun kuusi sokerinpuhdistamoa yhdistyi. Nykyään Suomessa sokeriteollisuudessa toimii Suomen Sokeri Oy ja Sucros Oy, jotka ovat osa saksalaista Nordzucker-konsernia. Porkkalassa Kirkkonummella toimiva Suomen Sokeri Oy:n sokerinpuhdistamo työllistää noin 150 henkilöä ja Säkylässä toimiva Sucros Oy:n sokerijuurikastehdas työllistää noin 85 henkilöä. (1; 2.)

Suomen Sokerin tuotteita myydään ja markkinoidaan pohjoismaissa Dansukker-tuotemerkillä ja Porkkalan sokerinpuhdistamolla valmistetaankin suurin osa Suomessa myytävistä sokeri- ja siirappituotteista. Porkkalan puhdistamon rakentaminen alkoi vuonna 1963 ja otettiin käyttöön vuonna 1965 jatkaen Helsingissä Töölönlahdenrannalla sijainneen Töölön sokeritehtaan toimintaa. Porkkalan puhdistamo on ainoa tällä hetkellä Suomessa toimiva sokerinpuhdistamo. Puhdistamon tuotannosta noin puolet tulee nestesokeri- ja siirappituotannosta ja puolet puhdistetusta kidesokerista, josta puhdistamolla jatkjalostetaan erikoistuotteina esimerkiksi palasokeria, tomusokeria ja hilliosokeria. Puhdistamo toimittaa teollisuusmyyntiä, ja puhdistamon yhteydessä toimiva pakkaamo vastaa koko Suomen vähittäistuotepakkauksesta. (1; 2.)



## 2 Kidesokeri ja sokerin puhdistusprosessi

Tässä luvussa kerrotaan sakkaroosista, raakasokerista, sokerin puhdistusprosessista sekä puhdistusprosessista saatavista tuotteista.

### 2.1 Sakkarooosi

Kidesokeri on viljelykasveista teollisesti eristettyä ja puhdistettua sakkaroosia. Sakkarooosi kuuluu hiilihydraatteihin, joista koostuu suuri osa ihmisten ruokavaliosta ja mitä kasvit käyttävät energian kuljetus- ja varastointimolekyylinä. Sakkarooosia on jossain määrin useimmissa kasveissa, ja näin sen voidaan sanoa olevan luonnollinen energianlähde. Sakkarooosimolekyyli koostuu yhdestä D(+) -glukoosimolekyylistä ja yhdestä D(-) -fruktoosimolekyylistä. (2; 3.)

### 2.2 Raakasokeri kidesokerituotannossa

Suurina pitoisuuksina sakkaroosia esiintyy sokerijuurikkaassa ja sokeriruossa, ja näitä kasveja käytetäänkin raaka-aineena sokeriteollisuudessa. Sakkarooosi on kuitenkin samaa, kuin ihmisille enemmän tutuissa kasveissa, kuten ananaksessa tai porkkanassa. Raaka-aineena Porkkalan puhdistamon kidesokerituotannossa käytetään trooppiselta ja subtrooppiselta vyöhykkeeltä tulevaa sokeriruosta valmistettua raakasokeria sekä kotimaisesta tai pohjoiseurooppalaisesta sokerijuurikkaasta valmistettua raakasokeria. Raakasokeri on kellertävää epäpuhtauksia sisältävää kiteytettyä sakkaroosia, joka koostuu sakkaroosikiteistä ja niitä ympäröivästä sokeriliuoskalvosta, joka sisältää pääosan raakasokerin epäpuhtauksista. (2.)

## 2.3 Sokerin puhdistusprosessi

### Affinointi

Affinoinnilla tarkoitetaan raakasokerikiteiden esipuhdistusta, ja tämä prosessin vaihe on tarpeellinen, jos raakasokeri ei ole tarpeeksi puhdasta. Suhteellisen puhtaiden raakasokerikiteiden pinnalla on epäpuhdas siirappikerros, joka on tarkoitus poistaa affinoinnilla mahdollisimman tehokkaasti. Raakasokereissa on eroja, ja erilaiset raakasokerit affinoituvat eri tehokkuudella, joka vaikuttaa muihinkin prosessin vaiheisiin. Käytännössä mitä säännöllisempiä, tasakokoisempia ja karkeampia sokerikiteet ovat, sitä tehokkaammin ne puhdistuvat affinoinnissa. (2; 4.)

### Liutus ja esisuodatus

Liutuksella raakasokerin sisältämä sokeri ja epäpuhtaudet saadaan molekyyli- ja ioni-tilaan, minkä ansiosta päästään käsiksi raakasokerikiteiden sisällä oleviin epäpuhtauksiin. Esipuhdistettu raakasokeri liuotetaan normaalisti ”makeaan veteen”, joka on laimeaa sokeripitoisuudeltaan 0,5–15-prosenttista sokerivettä. Liutus tapahtuu suhteellisen korkeissa lämpötiloissa, noin 70–80 °C, koska sakkaroosin liukoisuus ja liukoisuusnopeus veteen kasvaa huomattavasti lämpötilaa lisättäessä. Liutus tapahtuu liuotusastioissa, eli liuotuspannuissa, joita on vaakasuoria (horisontaalisia) sekä pystysuoria (vertikaalisia). Liutuksesta prosessituote poistuu ns. mehuna, jonka kuiva-ainepitoisuus on 67–73 % ja lämpötila 70–80 °C. (2.)

## Saitto-saturointi

Saitto-saturointi on ensimmäinen vaihe mehunkäsittelyksi kutsutussa puhdistusprosessissa. Puhdistettavaan sokeriliuokseen lisätään kalkkia kalkkimaitona, joka on kalsiumhydroksidin ja veden seos, jossa kalsiumia on liukoisuuteen nähden ylimäärin. Kalkilla liuoksen pH saadaan nostettua pH:hon 9–11, minkä seurauksena orgaaniset ja epäorgaaniset hapot neutraloituvat, jolloin niiden suolat saostuvat kalsiumsuoloina sekä suurimolekyyliset orgaaniset epäsokerit saostuvat. Korkealla pH:lla varmistetaan myös mikrobien poisto liuoksesta. Kalkki saostetaan hiilidioksidilla kalsiumkarbonaatiksi, joka absorboi itseensä kalkin lisäyksestä syntyneet saostumat, ja tämä saostuma on verrattain helppo erottaa suodattamalla. (2; 4.)

## Raskassuodatus

Raskassuodatus on mekaanisen suodatuksen ensimmäinen vaihe, ja Porkkalan puhdistamossa raskassuotimina toimii englantilaiset Smith-autosuotimet. Saitto-saturoinnin jälkeen sokeriliuoksen seassa oleva saittosakka epäpuhtauksineen erotetaan sokeriliuoksesta raskassuodatuksessa. Smith-autosuotimissa vaakasuoran rummun sisällä pyörii hitaasti nailonkankailla päällystetty suodinlevysarja, ja tämän pyörimisliikkeen ansiosta sakka jää suodinlevyjen päälle tasaisena kakkuna. Pumppujen avulla suotimien rummut pidetään täynnä sokeriliuosta, joka paine-eron ansiosta kulkeutuu sakan ja suodinkankaiden läpi suodinlevyjen onttoihin kehyksiin ja siitä edelleen alapuoella olevaan säiliöön. Autosuotimessa on normaalisti 32 kpl saman kokoista suodinlevyä, joista kertyy yhteensä 65 m<sup>2</sup> suodatuspinta-alaa. (2.)

## Kevyt painesuodatus

Raskassuodatuksen jälkeen sokeriliuoksesta on vielä tarvetta puhdistaa orgaanisia epä-sokereita, kuten väriaineita ja raskassuodatuksesta läpi tullutta erittäin hienojakoista saitosakkaa. Raskassuodatuksen jälkeen sokeriliuokseen lisätään puhdistusapuaineiksi aktiivihiltä ja piimaata. Aktiivihilli on erittäin tehokas poistamaan väriaineita, ja piimaata lisätään, jotta saataisiin aikaiseksi suodattava huokoinen kakku. Kevyessä painesuodatuksessa erotetaan sokeriliuoksesta tämä aktiivihilli-piimaasakka ja siihen jääneet epäpuhtaudet. (2.)

## Värinpoistohartsisuodatus

Värinpoistossa sokerin sisältämät väriaineet poistetaan ajamalla mehu värinpoistosuotimien sisältämän värinpoistohartsikerroksen läpi, johon mehun sisältämät väriaineet sitoutuvat. Värinpoistohartsisuotimet ovat sylinterinmuotoisia painesäiliöitä, joita käytetään Porkkalan puhdistamolla kahden suotimen sarjassa, jolloin värinpoisto tehostuu ja varmistuu. Suodinparin ensimmäisessä, eli keulasuotimessa värinpoistohartsina käytetään akryylihartsia ja jälkimmäisessä suotimessa polystyreenihartsia. Kuvassa 1 nähdään kaksi värinpoistosuodinta sarjassa. (2.)



Kuva 1. Kaksi värinpoistosuodinta sarjassa (5).

### Kiteytys

Viimeinen varsinainen puhdistusvaihe on kiteytys, jossa sokeriliuos saatetaan takaisin kiteiseen muotoon. Mehunkäsittelyn jäljiltä perusteellisesti puhdistettu sokeriliuos sisältää liikaa vettä ja kiteytystä varten sokeriliuoksen kuiva-ainepitoisuus nostetaan noin 65 %:sta 74–76 %:iin haihduttamalla siitä vettä esihaihduttimissa. Itse kiteytys tapahtuu keittimissä haihdutuskiteytyksenä. Sokerin hajoamisen ja värinnousun estämiseksi sokeriliuoksessa keitto suoritetaan alipaineessa (-0,78 bar), jolloin lämpötila saadaan pidettyä alle 85 °C:ssa. (2; 4.)

Sokeriliuoksesta haihdutetaan keittimessä vielä hieman vettä, jolloin liuoksen kylläisyys nousee liukoisuuskäyrän (liite 1) hieman ylikylläiselle metastabiiliselle alueelle, mikä on edellytys kiteiden syntymiselle. Ylikylläisessä tilassa ei kuitenkaan ala syntyä kiteitä spontaanisti vaan se saadaan aikaiseksi siementämällä sokeriliuos täysziemennysmenetelmällä. Täysziemennysmenetelmässä sokeriliuokseen lisätään kidealkioina puhdasta jauhettua kidesokeria suspensionä isopropanolissa. Lisätyt kidealkiot toimivat kasvualustana syntyville kiteille ja niiden määrää vaihtamalla suspensiossa pystytään vaikuttamaan syntyvien kiteiden kokoon. Mitä enemmän suspensiossa on kidealkioita, sitä enemmän kiteitä syntyy ja kiteet jäävät pienemmiksi, kun niillä on vähemmän tilaa kasvaa. Kiteiden kasvatus jatkuu lisäämällä sokeriliuosta ja samanaikaisesti haihduttamalla vettä höyryn avulla. Tarkoitus on pysyä metastabiililla alueella, kunnes kiteet ovat halutun suuruisia. (2; 4.)

Haihdutuskiteytyksen jälkeen puhtaat sakkaroosikiteet erotetaan jäljelle jääneestä ylikylläisestä sakkaroosiliuoksesta eli keitossa syntyneestä emäliuoksesta linkoamalla, jossa erotus tapahtuu keskipakovoimaa hyväksikäyttäen. Kiteistä erotettua emäliuosta ja linkouksessa käytettyä katevettä kutsutaan ryönäksi ja se sisältää vielä runsaasti sakkaroosia. Tätä ryönää kutsutaan 2-keittomehuksi ja se siirretään takaisin kiteytysvaiheeseen. 2-keittomehun ryönästä saadaan vielä 3- ja 4-keittomehu kiteytykseen. Erotetut sakkaroosikiteet kuivataan tämän jälkeen vielä kuivausrummuissa ennen siirtoa varastosiiiloihin. Kuvassa 2 keittoastia, jossa haihdutuskiteytys tapahtuu. (2.)



Kuva 2. Keittoastia (5).

## Taloussokeri ja Kide 0,50 -sokeri

Porkkalan sokeripuhdistamolla puhdistusprosessista kiteytetään kahta tuotetta, jotka ovat taloussokeri ja kide 0,50 -sokeri. Tuotteet eroavat toisistaan halutun kidekoon mukaan ja ero kidekoossa saadaan aikaiseksi kiteytyksessä käytettävällä siemennys-suspensiolla. Kide 0,50 -tuotteelle halutaan pienempi kidekoko ja tämä saadaan aikaiseksi lisäämällä siemennys-suspensioon enemmän siemenkidettä, jolloin jokaiselle kiteelle jää vähemmän tilaa kasvaa. Tässä työssä käsiteltävässä Mogensen-täryseulalla erotellaan kidejakeita kide 0,50 -tuotteesta. Kide 0,50 -tuotteella on myös tiukempi vaatimus värin suhteen, joten sitä valmistetaan ainoastaan suoraan puhdistusprosessista tulevasta puhdistetusta sokeriliuoksesta, eli 1-keittomehusta. Kiteistä analysoidaan väriarvot laboratoriossa ja eri kidelaaduille on määritetty värirajat. Porkkalan laboratoriossa käytettävä värianalysoinnissa tulokset saadaan ICUMSAn IU -yksikössä. Taloussokerille ja kide 0,50 -sokerille asetetut keskirakeen ja värin laaturajat nähdään taulukosta 1. (2; 5.)

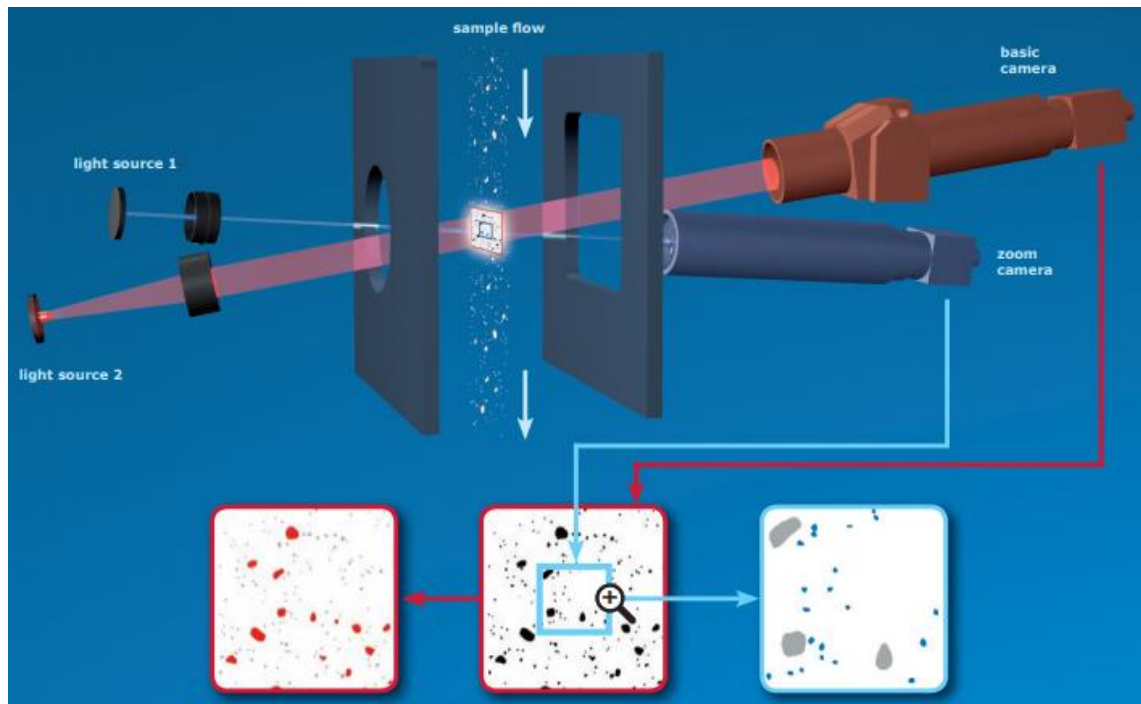
**Taulukko 1. Taloussokerin ja kide 0,50:n laaturajat keskirakeelle ja värille**

| Tuote         | Taloussokeri | Kide 0,50 |
|---------------|--------------|-----------|
| Keskirae (mm) | 0,45–0,62    | 0,39–0,52 |
| Väri (IU)     | <40          | <22       |



### 3 Analysointi

Kaikki tämän työn kidesokerianalyysit tehtiin Camsizer XT -partikkelianalysaattorilla, käyttäen vapaan pudotuksen X-Fall-moduulia. Partikkelianalysaattorin optisella mittaajärjestelmällä voidaan määrittää kidesokerinäytteestä yksittäisten kiteiden koko ja kiteiden lukumäärä näytteessä. Kuvassa 3 nähdään partikkelianalysaattorin mittauseriaate.



Kuva 3. Kuvassa havainnoidaan analysaattorin mittauseriaatetta (6).

Patentoidussa kaksikamera järjestelmässä mittauskohdan ohittavat partikkelit kuvataan kahdella digitaalikameralla. Järjestelmä ottaa 275 kuvaa sekunnissa ja kuvassa voi olla kerralla satoja partikkeleita. Toinen kameroista on optimoitu kuvaamaan ja analysoimaan pienikokoisemmat partikkelit suurella resoluutiolla. Toinen kamera kuvaa isommat partikkelit isommalta näkymäalueelta. Molemmat kamerat valaistaan omalla led-valolla, jossa on optimoitu valaistus, kirkkaus ja pulssin pituus. X-Fall-moduulissa näyte annostellaan näytteen syöttökouruun, mistä se pääsee tärymoottorin avulla putoamaan tasaisena virtana painovoiman avulla laitteen mittausalueelle. (6.)

Tutkittava näyte sekoitetaan astiassa ja annostellaan näytteen syöttökouruun näytekauhalla. Kun näytettä otetaan kauhaan, sitä ei ravistella tai tasoiteta sormella, vaan näyte on se mitä kauhaan jää. Analysointia ohjataan tietokoneohjelmalla, johon on valmiiksi asennettu eri kidenäytteille analysointiohjelmat. Analysointi tapahtuu valitsemalla tutkittavan kidenäytteen analysointiohjelma ja syöttämällä näytetiedot. Analysointi kestää 3–5 minuuttia, jonka jälkeen analyysitulokset saadaan tulostettuna paperille (liite 2). Tuloksissa saadaan näytteen keskiraekoko (mm), hajonta sekä näytteen sisältämien kiteiden prosentuaaliset osuudet koko näytteestä jaoteltuna kuuteen kidekorajaan. Nämä kidekorajat riippuvat tutkittavasta näytteestä, ja ne on valmiiksi määritetty analysointiohjelmissa. Kuvassa 4 nähdään Camsizer XT -partikkelianalysointilaitte.



Kuva 4. Camsizer XT -partikkelianalysointilaitte (6).

## 4 Seulonta

Tässä luvussa kerrotaan työn aiheen tietoperustasta, seulontatuotteiden laadusta, saannosta ja niihin liittyvistä ongelmista sekä tuotteista otettavista näytteistä.

### 4.1 Erikoistuoteseulonta

Porkkalan sokeripuhdistamossa puhdistusprosessin yhtenä tuotteena saadaan kide 0,50 -kidesokerituotetta, joka sisältää eri kidejakeita keskikidekoon määritelmän mukaan. Asiakkaita varten ja erikoistuotteiden raaka-aineeksi kide 0,50 -tuotteesta erotellaan eri kidejakeita erikoistuotteina seulomalla. Yhtenä erikoistuoteseulana Porkkalassa toimii Mogensen-täryseula (kuva 5), jolta kerätään neljää kidekoko jakaumaa.

Yksi täryseulalta saatavista jakaumista K390 on kysynnän mukaan halutuin tuote ja muita jakaumia saadaan sivutuotteina. Insinööriyössä keskitytään selvittämään seulan maksimi seulontakapasiteetti sekä optimoimaan K390-jakauman saanto rajoittavana tekijänä ollessa K390- ja K540-jakaumien laatu. Seulalta on saatu laadullisia ongelmia, joita on ryhdytty selvittämään, ja seulan tärytoiminnot ja verkkokoot on asennettu seulan toimittajalta saatujen uusien tietojen mukaisesti. Työssä on tarkoitus selvittää kokeellisesti kiteen maksimisyöttö ja kiteen levitys seulalle. Kiteen syöttöä muutettaessa on kiteen leviämistä sääteleviä levityspeltejä muutettava, jotta kide leviää seulalle tasaisesti jaoteltuna. Optimaalisella kiteen levityksellä pyritään hyödyntämään koko seulan seulontapotentiaali, jolloin seulalle voi syöttää maksimaalisen määrän seulottavaa kidesokeria.



Kuva 5. Mogensen-täryseula.

## 4.2 Laatu

K390-jakauman laatu oli varsinaisena rajoittavana tekijänä työssä, K540-jakauman laadun pysyessä myös hyvänä. Laatuvaatimuksina kidesokerille kidekoon ja keräiltävien tuotteiden suhteen ovat keskirakeen pysyminen jakaumalle asetetuissa rajoissa, 0,315 mm pienempien kiteiden prosentuaaliselle osuudelle koko jakeesta asetetut rajat sekä lisäksi K390-jakaumalle yli 0,50 mm ja alle 0,16 mm oleville kiteille asetetut laaturajat, mitkä ovat nähtävissä taulukosta 2. Näytteen poikkeama näistä rajoista aiheuttaa poikkeavia toimenpiteitä prosessihenkilökunnalta. Seulan rakenteen takia K540- ja K390-jakaumien laadun ollessa hyvä seualta kerättävien keskirakeelta pienempien K230- ja K200-jakaumien laatu on aina hyvää.

**Taulukko 2. Mogensen-täryseulalta saatavien jakaumien laaturajat.**

| Laatu | Keskirae (mm) | < 0,315 mm | > 0,50 mm | > 0,40 mm | 0–0,16 mm |
|-------|---------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| K540  | 0,51–0,57     | < 5 %      |           |           |           |
| K390  | 0,38–0,43     | < 21 %     | < 8 %     |           | < 1 %     |
| K230  | 0,21–0,25     |            |           |           | < 10 %    |
| K200  | 0,20–0,26     |            |           | < 1 %     |           |

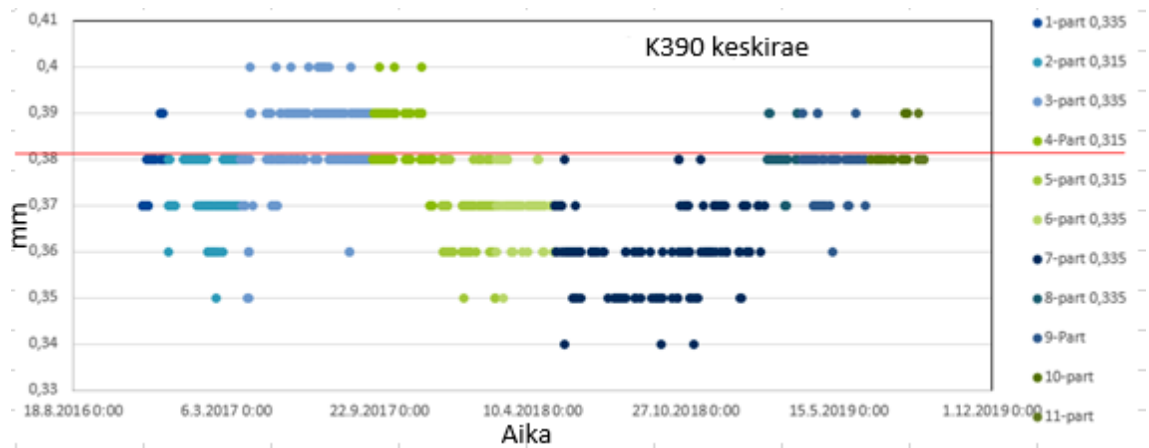
Kidejakeiden kidekoon analysointiin käytettävä Camcizer XT -partikkelianalysointilaite jakaa jakauman sisältämät sokerikiteet kuuden kidekorajan prosentuaalisina osuuksina koko näytteestä. Analyysituloksina saadaan myös jakauman keskiraee, hajontaprosentti ja alle 0,315 mm:n halkaisijalta olevien kiteiden yhteenlaskettu prosenttiosuus näytteestä. Keskiraekoolla tarkoitetaan jakauman sisältämien sokerikiteiden keskiarvoa. Taulukosta 3 nähdään työssä käsiteltävistä jakaumista saatavat Camcizer XT -partikkelianalysointilaiteella saatavat analyysitulokset.

**Taulukko 3. Camcizer-partikkelianalysointilaiteella saatavat tulokset jakaumille K390 ja K540.**

| K390              |                |                |              |                      |                       |                       |                       |                      |
|-------------------|----------------|----------------|--------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| Keskiraee_C<br>mm | Hajonta_C<br>% | <0.315_C2<br>% | >0.50_C<br>% | 0.40-<br>0.50_C<br>% | 0.315-<br>0.40_C<br>% | 0.25-<br>0.315_C<br>% | 0.16-<br>0.25_C<br>%  | 0.00-<br>0.16_C<br>% |
| 0,38-0,43         |                | <21            | <8           |                      |                       |                       |                       | <1                   |
| K540              |                |                |              |                      |                       |                       |                       |                      |
| Keskiraee_C<br>mm | Hajonta_C<br>% | <0.315_C1<br>% | >0.80_C<br>% | 0.63-<br>0.80_C<br>% | 0.50-<br>0.63_C<br>%  | 0.315-<br>0.50_C<br>% | 0.20-<br>0.315_C<br>% | 0.00-<br>0.20_C<br>% |
| 0,51-0,57         |                | <5             |              |                      |                       |                       |                       |                      |

K390-laadun keskiraee ei ole pysynyt laadun rajoissa (0,38-0,41 mm), vaan on jäänyt laadun alarajan alle, mikä on aiheuttanut eniten poikkeamia laadussa. Isoin vaikutus keskiraheen koon pienenemiselle on ollut alle 0,315 mm:n halkaisijalta kokoisen kiteen päätyminen K390-jakauman joukkoon. Seulan ongelmiin on etsitty ratkaisua vaihtamalla seulaan eritiheyksisiä seulaverkkoja.

Kuvan 6 pistekaaviosta huomataan, että seulaverkkojen vaihto on nostanut keskiraakeen halutulle tasolle vain hetkellisesti. Taulukon osassa 3 ja 6 seulaverkon reikien halkaisija on ollut sama 0,335 mm, mutta näytteiden keskiraekoko poikkeaa suuresti. Seulaverkon koosta huolimatta kidekoko on seilannut keskiraakeen koon suhteen, mistä voidaan päätellä, että seulaverkon koko ei ratkaise keskiraakoon laatuongelmaa. Mittausdata on saatu keräilynäytteistä, joissa näytettä kerätään näyteastiaan tasaisin väliajoin seulan ollessa käynnissä. Kiteen pysymiseksi laaturajoissa on syöttövirtausta jouduttu laskemaan, mikä on lisännyt seulan käyttöaikaa. Seulan toiminnan optimoinnilla pyritään lisäämään seulalle syötettävän kiteen määrää laadun pysyessä hyvänä, mikä nopeuttaa ja tehostaa prosessin toimintaa. Työssä tavoitteena on vähentää seulalta tulevan K390-jakauman aiheuttamia laatupoikkeamia vähintään 80 % verraten tuloksia vuoden 2018 K390-jakauman laatupoikkeamiin.



Kuva 6. K390-jakauman keskiraakeen vaihtelu eri seulaverkko kokojen välillä. Taulukon osissa 9-11 verkkokokoo on ollut 0,335 mm. (7.)

### 4.3 Saanto

Seulalla havaittujen ongelmien myötä K390-jakauman saanto on huonontunut, millä tarkoitetaan, että seulotun K390-jakauman osuus seulalle syötettävästä syötteestä on pienentynyt. Laatuongelmien alkamisesta saanto on laskenut jopa 17 %, mikä tarkoittaa, että iso osa K390-jakaumaan kuuluvasta sokerista päätyy muiden jakaumien joukkoon, jolla on taloudellisesti negatiivinen vaikutus. K390-jakauman saannon huonontumisen myötä voi olettaa, että seulan ylin seulaverkko, jolta kerätään K540-jakauma, ei ole seulonut halutulla tehokkuudella. Ylimmältä seulaverkolta keräiltävän K540-jakaumaan on jäänyt liikaa alle 0,40 mm halkaisijaltaan olevia kiteitä, joiden pitäisi päätyä alemmilta seulaverkoilta keräiltävien jakaumien joukkoon. Erityisesti kiteiden halkaisijalta 0,315 – 0,40 mm osuus K540-jakaumassa on suuri, mikä vaikuttaa suoraan K390-jakauman saantoon.

Seulalta saatavista tuotteista otettavat näytteet ovat keräilynäyte ja pistonäyte. Keräilynäytteessä sylinteritoiminen lusikka käy hakemassa kidevirrasta pienen näytteen automaattisesti keräilyastiaan seulan ollessa käynnissä. Pistonäytteet otetaan kauhalla tuotetta kuljettavassa putkessa olevasta näytteenottoaukosta. Tässä työssä näytteet otettiin pistonäytteinä.



## 5 Mogensen täryseula

Tässä luvussa kerrotaan seulan rakenteesta sekä kiteen syötöstä ja levityksestä seulalle.

Täryseulassa kidekoon suhteen jakautunut kidesokeri erotellaan halutun keskikidekoon mukaan seulaverkoilla, joissa verkon tiheys pienenee verkkojen välillä asteittain. Seulan tärinän ja seulaverkkojen kaltevan asennon johdosta kidesokeri pääsee liikkumaan seulaverkoilla ja seulaverkon tiheyttä pienemmät sokerikiteet pääsevät putoamaan alemmalle seulaverkolle. Seulassa on kaksi rinnakkaista puolta, jotka erottaa toisistaan keskellä oleva jakolevy. Seulassa on viisi seulaverkkoa per puoli, joiden päälle jäänyt kidesokeri keräillään bunkkereihin. Seula sijaitsee prosessitiloissa korkeammalla tasolla kuin bunkkerit, joihin seualta tulevat kidevirrat ohjataan, joten kidevirrat kulkeutuvat bunkkereihin putkistoja pitkin painovoiman avulla. Tarvittaessa keräiltävät kidevirrat pystytään ohjaamaan bunkkereiden sijaan kaseriin, josta sokeri päätyy takaisin puhdistusprosessiin. Keräiltävät tuotteet ovat K540, K390, K230 ja K200. Taulukosta 4 nähdään Mogensen-täryseulan tekniset tiedot.

**Taulukko 4. Mogensen täryseulan tekniset tiedot (8).**

|                    |                   |
|--------------------|-------------------|
| Tyyppi             | Mogensen SEL 2056 |
| Materiaali         | AISI 316          |
| Paino kg           | 4900              |
| Pituus mm          | 3730              |
| Leveys mm          | 2450              |
| Korkeus mm         | 2805              |
| Tärymoottori 2 kpl | 7.5 kW, 980 r/min |

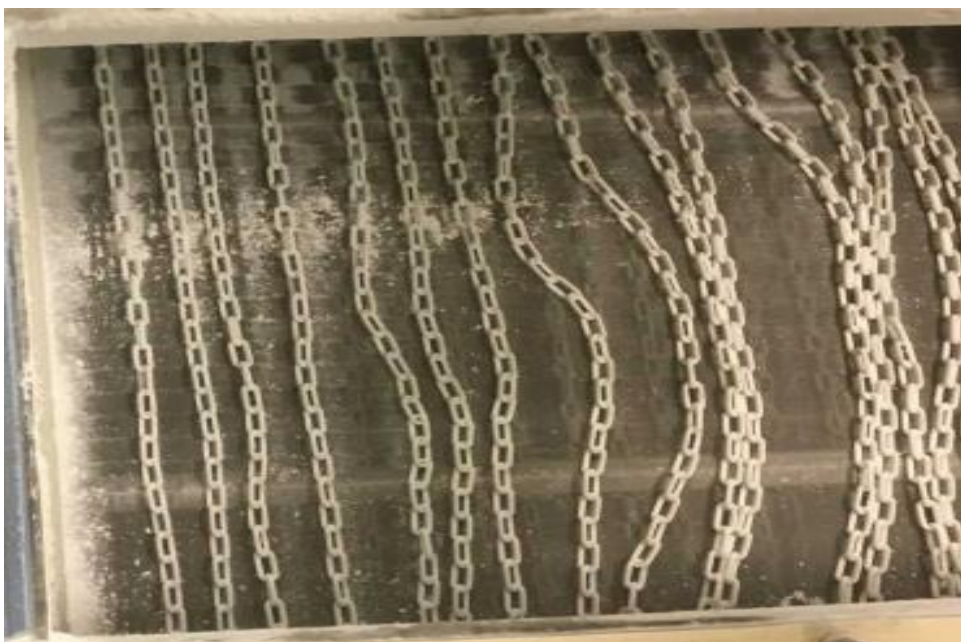
## 5.1 Seulaverkot

Täryseulan seulaverkot ovat teräksistä verkkomateriaalia, jossa verkossa olevien reikien koko ja verkkomateriaalin paksuus on tarkkaan määritetty. Seulaverkot kiinnitetään seulaan kiristämällä jousikiinnikkeillä, jotta verkot pysyvät tiukasti paikoilleen pingottuneena. Seulaverkot asennetaan avattavien luukkujen kautta, mistä verkkojen vaihto ja huolto tehdään. Kuvassa 7 nähdään seulaverkkojen reikien halkaisijat sekä verkkomateriaalin paksuus ilmoitettuna millimetreinä. Sinisellä pohjalla on ilmoitettu reikien halkaisijat ja valkoisella verkkomateriaalin paksuus. Ylimmän verkon päältä ja alta, jonka reikien halkaisija on suurin, kerätään K540-jakauma ja kahdelta seuraavalta verkolta K390-jakauma.

| Mogensen täryseulan verkkokoot |   |   |      |
|--------------------------------|---|---|------|
| 0,315                          | → | → | K530 |
| 0,71                           |   |   |      |
| 0,22                           |   |   |      |
| 0,56                           | → | → | K390 |
| 0,2                            |   |   |      |
| 0,5                            |   |   |      |
| 0,18                           |   |   |      |
| 0,335                          |   |   |      |
| 0,15                           | → | → | K230 |
| 0,25                           | → | → | K200 |

Kuva 7. Seulaverkon tiheyskoot ja seulaverkoilta keräiltävät tuotteet (7).

Seulaverkkojen päällä on muoviset ketjut (kuva 8), joiden tarkoitus on puhdistaa verkkoja niiden päällä täristessään.



Kuva 8. Seulaverkkoja puhdistavat muoviketjut.

## 5.2 Tärymoottorit ja tärymittarit

Täry seulalle saadaan aikaiseksi kahdella vastapainotärymoottorilla. Tärymoottorit oli säädetty ennen insinööriyön aloitusta seulan valmistajalta saatujen suositusten mukaisesti, eikä tärymoottoreiden tehoa muutettu insinööriyön aikana. Tärymoottorien tehoa ja seulan tasaista tärinää seurataan seulan molemmilla puolilla olevilla tärymittareilla (kuva 9). Seulan ollessa käynnissä tärinän seurauksena tärymittarin mitta-asteikkoon ilmestyy kaksi tummaa teräväkärkistä aluetta, joiden yhtymäkohdasta asteikolla voi lukea iskun pituuden arvon. Seulan valmistajan mukaan seulan tärymoottoreiden tehoa vastaava optimi arvo tärymittareista luettuna on 6,5–7. Liian kova täry aiheuttaa seulaverkkojen pomppimista, mikä johtaa verkkojen ennenaikaiseen kulumiseen. Kidesokeri ei myöskään seuloudu yhtä tehokkaasti kiteiden pomppiessa seulaverkkojen yli. (9.)

Liian alhainen täry aiheuttaa seulaverkkojen tukkeutumista, eikä kidesokeri pääse seuloutumaan tehokkaasti. Tärymittarit sijaitsevat seulan molemmilla puolilla, jotta seulan tärinän voi todeta olevan tasaista. Molempien tärymittareiden osoittaessa samaa lukemaa voi päätellä, että kide jakautuu tasaisesti seulan molemmille puolille. Kiteen epätasainen jakautuminen seulan eri puolille johtaa seulaverkkojen epätasaiseen kulumiseen.



Kuva 9. Tärinämittarit sijaitsevat molemmilla puolilla seulaa.

### 5.3 Kiteen syöttö seulalle

Täryseulalle syötettävä kide tulee syöttöbunkkeri 4:stä, mihin se on siirretty kuljettimilla suursiilo 13:sta, missä säilötään puhdistusprosessista tulevaa kide 0,50 -laatua. Syöttöbunkkeria ennen on myös karkea kokkareseula, jossa poistetaan siilovarastoinnissa mahdollisesti syntyneet yli 2,8 mm halkaisijaltaan olevat kokkareet.

Seulalle tulevan kidesokerin määrää säädetään muuttamalla kidesokeria kuljettavan tärykuljettimen (kuva 10) kahden tärymoottorin tehoa välillä 0-100 %. Tärykuljetin ohjaa kuljettimen tuotekourussa olevaa kidesokeria eteenpäin kahden tärymoottorin avulla. Lisäämällä tärymoottorien tehoa kidesokeri liikkuu tärinän seurauksena tuotekourussa nopeammin. Kidesokeri putoaa tärykuljettimelle painovoiman avulla tärykuljettimen yläpuolella olevasta syöttöbunkkerista. Kidesokerin liikkeessa tärykuljettimella eteenpäin pääsee syöttösiilosta tippumaan lisää kidesokeria tärykuljettimelle. Tärykuljetin ohjaa kidesokerin kauhahihnaelevaattoriin, joka nostaa kidesokerin 24,5 metriä seulan päällä olevalle tärykuljettimelle, jonka tarkoitus on saada kidesokeri tippumaan tasaisena virtana seulaan. Seulan päällä olevalta tärykuljettimelta kidesokeri tippuu seulan syöttöaukkoon ja sen teho pidettiin työn aikana vakiona. Tärykuljettimien nopeuden säätö tapahtuu prosessinohjaamosta Metson DNA (Dynamic network of applications) -automaatiojärjestelmällä. Seulonnan lohkoakaavio nähdään liitteessä 3.

Syöttöbunkkeri 4:ssä on säätöpelti, jolla voi säätää syöttöbunkkerista tärykuljettimelle tippuvan sokerin määrää sulkemalla ja avaamalla säätöpeltiä. Tämän työn aikana säätöpeltiä ei muutettu ja kiteen syöttöä pystyi säätämään ainoastaan tärykuljettimen tehoa muuttamalla. Työn alussa tärykuljettimen teho oli 30 %, mihin se oli tiputettu 2019 vuoden alussa laatuongelmien takia. Vuonna 2018 tärykuljetinta oli käytetty 60 %:n teholla, minä aikana säätöpeltiä vielä säädettiin, joten sen aikaista kiteen syötön määrää (t/h) ei voi suoraan verrata vuoden 2019 syötön määrään. Työn jälkeen säätöpellin asento merkittiin tarralla, jotta sitä ei jatkossa muuteta.



Kuva 10. Tärykuljetin, jolla säädetään seulaan menevän kiteen syöttövirtausta.

#### 5.4 Kiteen levitys seulalle

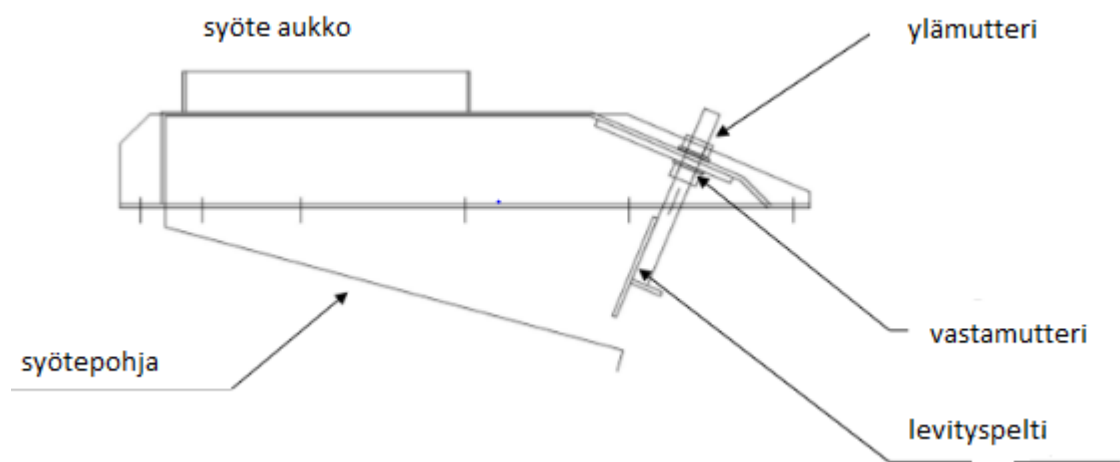
Kiteen levityksellä seulalle halutaan maksimoida seulan seulontakapasiteetti. Kiteen leviämistä seulalle säädetään levityspelleillä, jotka levittävät seulalle tulevan kiteen ylimmän seulaverkon päälle. Seulalle syötettävä kide tippuu tärykuljettimelta jakolevyn päälle, joka jakaa syötteen seulan molemmille puolille. Kide valuu seulan syötepuolelta ja levityspelttien välistä kidemattona seulan ylimmäiselle seulaverkolle ja tarkoituksena on saada kide leviämään koko seulaverkon pinta-alalle tasaisena mattona. Seula on jaettu kahteen rinnakkaiseen puoleen pituussuunnassa jakolevyllä. Kiteen leviäminen tasaisesti seulan molemmille puolille ehkäisee seulaverkkojen epätasaista kulumista sekä vaikuttaa seulan tasaiseen tärinänsä. Kuvassa 11 havainnoidaan kiteen optimaalista leviämistä.



Kuva 11. Kiteen optimi levitys seulalle koko levityspellin leveydeltä.

Seulassa on kaksi levityspelttiä, joita molempia säädetään itsenäisesti. Levityspellit ovat kiinni seulan kansirakenteessa kahdella tukivarrella. Tukivarret menevät seulan kansirakenteen läpi, ja ne on kiinnitetty kansirakenteeseen kahdella mutterilla, joista toinen on seulan sisäpuolella ja toinen ulkopuolella. Syötön määrää lisättäessä oli levityspeltejä nostettava ja syötön määrää vähennettäessä oli levityspeltejä laskettava. Laskettaessa

levityspeltiä löysätään seulan ulkopuolella olevaa ylämutteria haluttu määrä, minkä jälkeen kiristetään seulan sisäpuolella oleva vastamutteri. Nostettaessa levityspeltiä löysätään seulan sisäpuolella olevaa vastamutteria haluttu määrä, minkä jälkeen kiristetään seulan ulkopuolella olevaa ylämutteria. Kansirakenteessa on molempien levityspeltien kohdalla luukut, jotka avaamalla pääsee säätämään levityspeltejä. Seulan yläpuolella on työskentelytaso, jolta levittäjäpeltien säätö tapahtui. Kuvassa 12 nähdään seulan syötealueen rakenne.

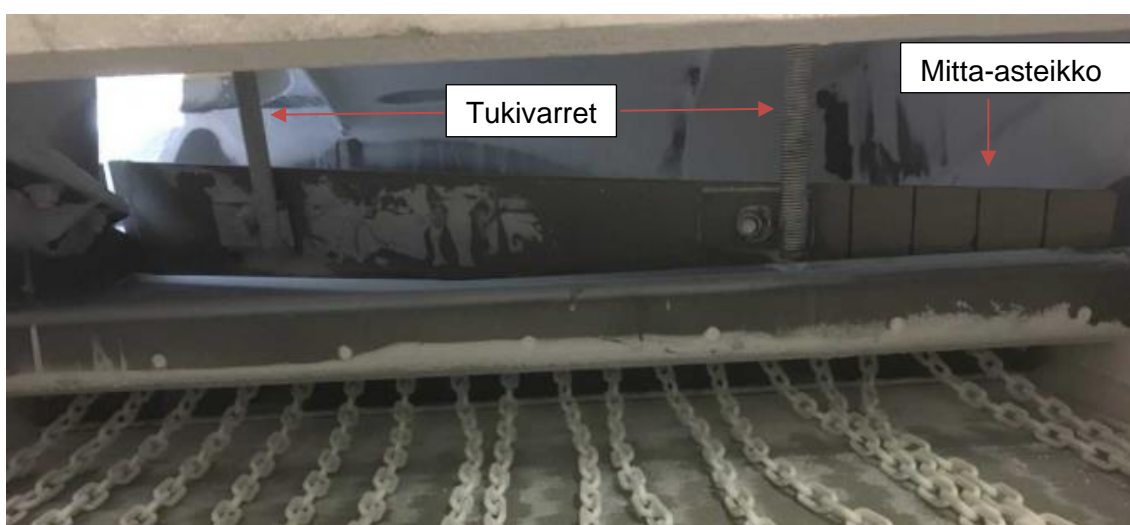


Kuva 12. Seulan syötealueen rakenne ja osat (10).

Mutterien kiertämisen vaikutusta levityspellin korkeuden muutokseen syöte pohjasta mitattiin kahdesta mittauspisteestä levityspellin päältä syöte pohjaan työntömitalla. Mittauspisteet merkittiin tussilla 15 cm:n päähän levityspeltien tukivarsista levityspeltien keski kohtaa kohden. Mitattaessa korkeutta työntömita asetettiin mittauspisteen kohdalle levityspellin päälle ja työntömitan mittausvarsi työnnettiin levityspellin sivustaa vasten syöte pohjaan. Tehtäessä haluttu muutos muttereihin, kirjattiin muutoksen määrä mutterin kierroksina ja työntömitalla mitattiin kolme toistomittausta mittauspisteistä. Työntömita näytti mittaustuloksen digitaal näyttöllä.



Kiteen leviäminen seulalle havainnoitiin visuaalisesti luukuista, joista näki ylimmän seulaverkon päälle. Optimaalisessa levityksessä kidematto valuu koko levityspellin leveydeltä ylimmälle seulaverkolle, jotta seulaverkon pinta-ala tulee hyödynnettyä kokonaisuudessaan. Työturvallisuussyistä seulan ollessa päällä levityspeltien säätöluukkuja ei saanut avata, eikä seulan sisälle saanut laittaa mitään, jolla olisi voinut mitata kidematon paksuutta tai leveyttä, joten visuaalinen havainnointi oli ainut tapa mitata kiteen leviämistä. Kiteen leviämisen arvioinnin helpottamiseksi levityspelteihin tehtiin mitta-asteikko alkaen levityspellin päädyistä, mihin kiteen haluttiin leviävän. Mitta-asteikko tehtiin 25 cm:n pituiseksi ja siinä oli merkinnät 5 cm:n välein. Kuvasta 13 nähdään levityspeltti, sen tukivarret ja levityspelttiin tehty mitta-asteikko.



Kuva 13. Levityspeltti, levityspelttiin tehty mitta-asteikko sekä levityspellin tukivarret.

## 6 Työn suoritus

### 6.1 Perehtyminen seulalla työskentelyyn ja työturvallisuus

Työskentely seulalla aloitettiin perehtymällä työturvallisuuteen. Prosessialueella liikkuessa ja työskennellessä käytettiin yrityksen työvaatteita sekä suojarusteita. Käytettävät suojarusteet olivat turvakengät, kuulosuojaimet, työhansikkaat ja kypärä, johon oli liitetty silmiä suojaava visiiri. Prosessialueella liikkuessa tilasta toiseen on merkittynä oviin tai niiden lähetyville tarrat, joissa ilmoitetaan tilassa käytettävät suojavälineet ja mahdollisesti vaaraa aiheuttavat tekijät. Ennen työskentelyn aloitusta seulalla täytimme yrityksen ohjaajan kanssa AD-HOC-työturvallisuuslomakkeen, joka täytetään aina kun tehdään normaalista poikkeavaa työtä. Lomakkeeseen kartoitetaan työssä mahdollisesti vaaraa aiheuttavat tekijät.

Seulassa on turvakytkin, joka estää seulan moottoreiden käynnistymisen. Turvakytkin asetettiin aina kiinni asentoon seulalla työskennellessä. Turvakytkimen toiminnan varmistamiseksi tehtiin koekäynnistys turvakytkimen ollessa kiinni asennossa ja todettiin, että turvakytkin toimii, eikä seula käynnistynyt.

Seulan toimintaa ohjataan prosessiohjaamosta Metson DNA (Dynamic network of applications) -automaatiojärjestelmällä. Prosessiohjaamossa työskentelee kidepuolen prosessiohjaaja sekä nestepuolen prosessiohjaaja. Seula kuuluu kidepuolen prosessiin, joten kidepuolen prosessiohjaaja oli vastuussa seulan käytön ohjaamisesta. Työskentely seulalla aloitettiin aina käymällä prosessiohjaamossa, jossa ilmoitettiin prosessinohjaajalle työskentelyn aloituksesta. Prosessinohjaaja sammutti seulan, jos se oli käynnissä ja asetti seulan käynnistykseenestotilaan. Seulalla kytkettiin käynnistykseenestokytkin kiinni asentoon, mikä esti seulan käynnistymisen prosessiohjaamosta.

## 6.2 Työhön liittyvä tuotantosuunnittelu

Seulan käyttö tuotannossa määräytyy seualta saatavien jakeiden kysynnän mukaan. Seualta tulevat jakeet siirretään keräilybunkkereihin, joista ne siirretään edelleen pakkaamon pakkaussäiliöihin, mistä ne pakataan asiakkaille. Prosessi saa pakkaamolta viikoittain pakkauslistan, johon on määritelty tuotekohtaisesti tarvittava määrä tonneittain ja jonka mukaan prosessi ajaa seulaa, kunnes tarvittava määrä jakeita on saatu bunkkereihin. Normaaleissa olosuhteissa prosessi täyttää keräilybunkkerit täyteen seualta tulevilla jakeilla, jonka jälkeen pakkaamo voi ottaa jakeet tarpeittensa mukaan pakkaussäiliöihin.

Lyhyempiä säätö- ja testiajoja sekä pidempiä koeajosarjoja varten oli kidepuolen prosessiohjaajan kanssa sovittava bunkkereihin jätettävästä tilasta tuleville koeajoille. Keräilybunkkereissa on pinnanmittausjärjestelmä, joka sammuttaa automaattisesti seulan keräilybunkkereiden tullessa täyteen. Kidepuolen prosessiohjaajan kanssa sovittiin seuraavan koeajon ajankohta sekä tarvittavan tilan jättö keräilybunkkereihin, jotta koeajo oli mahdollista suorittaa.

Pakkaamon aamupalavereissa selvisi päiväkohtainen aikataulu pakattavista tuotteista. Koeajosarjojen ajankohdat suunniteltiin pakkaamon tarpeiden mukaan sekä tarvittaessa pakkaamo muokkasi pakkausohjelmaa, jotta koeajot saatiin suoritettua sovitussa aikataulussa.

### 6.3 Muutokset levityspelteihin

Muutokset levityspeltien korkeutta sääteleviin muttereihin tehtiin kokonaisilla kierroksilla, puolikierroksilla tai  $\frac{1}{4}$ -kierroksilla muutoksien seuraamisen helpottamiseksi. Kierretyn muutoksen määrä havainnoitiin ylämutterien yhdelle tasaiselle sivulle tehdystä merkinnästä. Muutoksia tehtäessä mitattiin alkutilanne levityspellin mittauspisteistä ja tehtiin haluttu muutos, jonka jälkeen mitattiin uusi mittauspisteistä. Mutterit nimettiin 1a, 1b, 2a, 2b, jossa numero viittaa seulan puoleen ja kirjain mutterin sijaintiin. Muttereilla a säädettiin uloimpia tukivarsia ja muttereilla b sisempiä tukivarsia. Mitattaessa levityspellin korkeutta syötepuhjaan työntömitan mittaussarsi työnnettiin aina samalta puolelta levityspeltiä. Kuvassa 14 nähdään levityspellin säätömutterit.



Kuva 14. Kuvassa säätömutterit 2a ja 2b sekä luukku, josta muttereita pääsee säätämään.

Levityspeltien säätäminen aloitettiin selvittämällä, minkä suuruiset muutokset säätömuttereihin vaikuttavat kiteen leviämiseen. Huomattiin, että jo yhden kierroksen muutokset muttereihin aiheuttavat selviä muutoksia kiteen leviämiseen. Molempia levityspeltejä säädettiin itsenäisesti ja huomattiin, että levityspellit ovat hieman eri asennossa. 2-puolen levityspelti oli kiinni seulan eri puolet erottavasta jakaja seinämästä, kun 1-puolen levityspellin ja jakaja seinämän välillä oli noin 3 mm:n rako. Kiteen syötön tasaisesta

jakautumisesta seulan eri puolille ei ollut mahdollista saada täyttä selvyyttä, koska kide-  
mattojen paksuutta ei voinut mitata seulan ollessa käynnissä. Seulan sisällä tapahtuvan  
pölynpoiston aiheuttaman ilmvirtauksen vaikutusta syötteen tasaiseen jakautumiseen  
ei pystynyt tarkasti arvioimaan, mutta sen voi olettaa olevan erittäin pieni. Seulassa ole-  
valla pölynpoistojärjestelmällä ehkäistään pölyräjähdysriskiä poistamalla seulassa leijai-  
levaa sokeripölyä.

Työ eteni tekemällä muutoksia levityspeltien korkeuteen, jonka jälkeen tarkastettiin ki-  
teen leviäminen, kunnes saatiin kide leviämään optimaalisesti koko levityspeltien levey-  
deltä syötön ollessa 30 %. Otettiin pistonäytteitä K390- ja K540-jakaumista, joista huo-  
mattiin kiteen laadun olevan laaturajoissa.

Seuraavaksi syöttö muutettiin 40 %:iin ja 50 %:iin sekä kiteen levitys säädettiin kullekin  
syötemäärälle optimaaliseksi. Kiteen leviämisen ollessa optimaalinen kullekin syötemää-  
rälle tarkistettiin kiteen laadun pysyneen hyvänä analysoimalla pistonäytteen jakaumista  
K390 ja K540. Testivaiheen Camcizer-partikkelianalysointitulokset voidaan nähdä liit-  
teestä 4. Muutokset optimilevityksiin eri syötemäärille osoittautuivat pieniksi, ja tarvitta-  
van muutoksen määrä säätömuttereihin vaihteli hieman riippuen tärykuljettimen lähtöar-  
vosta, kun tehtiin esimerkiksi 10 %:n muutos tärykuljettimen arvoon.

Tarvittavan muutoksen määrä havainnoitiin visuaalisesti tarkastamalla kiteen leviäminen  
tarkastusluukuista ja kun havaittiin leviäminen optimaaliseksi, päätettiin levityspeltien  
korkeuden olevan oikea optimaaliseen levitykseen. Muutokset muttereihin ja mittaukset  
mittauspisteistä nähdään liitteestä 5. Taulukosta 5 nähdään esimerkki muutoksista mut-  
tereihin ja mitatut korkeudet mittauspisteistä, joissa esitetään mittauspisteiden korkeudet  
ennen muutosta, muutosten määrä muttereihin ja mittauspisteiden korkeudet muutoksen  
jälkeen.

**Taulukko 5. Esimerkki säätömuttereihin tehdyistä muutoksista.**

| pvm  | Muutos<br>mutteriin |                     |                     |                     | mittauspiste korkeus ka (mm). |        |       |        |
|------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------------------|--------|-------|--------|
|      | 1a                  | 1b                  | 2a                  | 2b                  | 1a                            | 1b     | 2a    | 2b     |
| 2.10 |                     |                     |                     |                     | 100,26                        | 126,68 | 99,61 | 125,71 |
| 3.10 | 3/4 kierros<br>auki | 1/4 kierros<br>auki | 1/4 kierros<br>auki | 1/4 kierros<br>auki | 98,74                         | 124,82 | 98,38 | 124,74 |

## 7 Saantojen laskeminen

Tässä luvussa kerrotaan, kuinka K390-jakauman saanto on laskettu.

K390-jakauman saanto optimoinnin jälkeen on laskettu 18.10.2019–18.12.2019 kerätyistä tiedoista (liite 6), jotka on saatu Mogensen-täryseulan syöttöbunkkerin ja K390-jakauman keräilybunkkerin pinnanmittauksesta. Pinnanmittaus tietoja kertyi tuolta ajalta 31 ajokerralta yhteensä 92,6 tuntia, kun täryseula on ollut käytössä. Saantoa verrataan 17.12.2018–5.1.2019 kerättyihin pinnanmittaus tietoihin, milloin tietoja kertyi 57 ajokerralta yhteensä 90,7 tunnilta, jotta saadaan tietää saannon muutos optimoinnin jälkeen. Pinnanmittaus tietoja voitiin kerätä vain ajokajoilta, jolloin 4- tai 5-bunkkerista ei ollut ottoja käynnissä pakkaamoon.

Bunkkeri 4 toimii täryseulan syöttöbunkkerina ja bunkkeri 5 K390-jakauman keräilybunkkerina. Molemmat bunkkerit ovat kooltaan 100 m<sup>3</sup> ja bunkkereissa on eteläinen ja pohjoinen pinnanmittaus, jotka kuvastavat bunkkerien eri puolten pinnanmittausta, eli näiden pinnanmittausten keskiarvo on bunkkerin keskipinta. Pinnanmittaus ilmoittaa pinnankorkeuden prosentteina bunkkerin tilavuudesta ja kun bunkkeri on täynnä, pinnanmittaus on 100 %. K390-jakauman saanto-% lasketaan keräilybunkkeri 5:n kerätyn sokerin osuutena syöttöbunkkeri 4:stä lähteneestä sokerista.

Saantolasku tehdään arvoilla, joihin on summattu vertailuissa käytettävät ajokajojen ajat ja pinnankorkeudet. Summataan yhteen bunkkerin eteläisen puoleiset pinnanmittauslukemat, ja summataan yhteen bunkkerin pohjoispuolen pinnanmittauslukemat saantolaskussa käytetyistä täryseulan ajoista. Pinnanmittausten summien arvoista otetaan keskiarvo, joka on bunkkerin keskipinta.

$$h = \frac{h(e)+h(p)}{2} \quad (1)$$

$h$  on pinnankorkeuden keskipinta

$h(e)$  on pinnanmittaus eteläinen

$h(p)$  on pinnanmittaus pohjoinen

Pinnankorkeuden keskipinta lasketaan molemmista bunkkereista ennen ja jälkeen täryseulan ajoa pinnankorkeuden muutoksen saamiseksi. Syöttöbunkkeri 4:ssä pinnankorkeuden keskipinnan arvosta ennen ajoa vähennetään keskipinnan loppuarvo ajon jälkeen, jotta saadaan bunkkerissa tapahtunut pinnankorkeuden muutos, kun bunkkerista lähtee sokeria. Keräilybunkkeri 5:ssä keskipinnan loppuarvosta vähennetään alkuarvo, jotta saadaan tietää tapahtunut pinnankorkeuden muutos, kun bunkkeriin on kertynyt lisää sokeria.

Pinnankorkeuden muutos muutetaan kiloiksi kaavalla

$$massa(kg) = \Delta h \times 1000 \times p \quad (2)$$

jossa  $\Delta h$  on pinnankorkeuden muutos ja  $p$  on sokerin tiheys (0,85 kg/l).

Määritetään pinnankorkeuden muutos molemmissa bunkkereissa kiloina tunnissa kaavalla

$$kg/h = \frac{m(kg)}{t} \times 60 \quad (3)$$

jossa  $m$  on massa ja  $t$  on aika. Tämän jälkeen jakauman saanto-% saadaan kaavalla

$$Saanto\% = \frac{kg/h(bunk5)}{kg/h(bunk4)} \times 100 \quad (4)$$

## 8 Koeajosarjat

Työn kokeellisena osuutena selvitettiin täryseulan maksimi seulontakapasiteetti suorittamalla koeajosarjoja, joissa muuttujana oli kiteen syöttövirtaus ja rajoittavina tekijöinä K390- ja K540-jakaumien laatu. Koeajosarjojen aikana otettiin näytteitä syöttestä sekä jakaumista K390 ja K540. Kun kiteen syöttövirtausta muutettiin tärykuljettimen arvolla, niin kiteen leviäminen säädettiin optimaaliseksi seuraavaa koeajosarjaa varten. Koeajosarjoja edeltäneiden testiajojen perusteella (liite 4) ensimmäinen koeajosarja suoritettiin tärykuljettimen arvolla 50 %. Koeajosarjat toteutettiin nostamalla syöttövirtausta, kunnes ei oltu laadullisesti halutulla tasolla. Tämän jälkeen syöttövirtausta laskettiin asteittain, ja näytteistä saatujen tulosten perusteella määritettiin syöttövirtaus, jolla laatu pysyy halutulla tasolla. Koeajosarjat toteutettiin taulukosta 6 nähtävinä ajankohtina, toteutuneilla tärykuljettimen arvoilla ja levityspeltien mittauspisteiden korkeuksilla. Valituilla tärysyöttimen arvoilla tehtiin kaksi koeajosarjaa uskottavampien tulosten saamiseksi. Toisessa koeajosarjassa tärykuljettimen arvolla 55 % kokeiltiin noin 10 cm kapeampaa levitystä.

**Taulukko 6. Koeajosarjojen ajankohdat, tärysyöttimen arvot ja mittauspisteiden korkeudet.**

| Pvm        | Täry % | 1a     | 1b     | 2a    | 2b     |
|------------|--------|--------|--------|-------|--------|
| 24.9.2019  | 50     | 98,71  | 124,60 | 98,46 | 124,67 |
| 26.9.2019  | 60     | 100,63 | 126,29 | 99,44 | 125,75 |
| 30.9.2019  | 60     | 100,63 | 126,29 | 99,44 | 125,75 |
| 1.10.2019  | 55     | 99,49  | 125,84 | 98,63 | 125,07 |
| 2.10.2019  | 55     | 100,26 | 126,68 | 99,61 | 125,71 |
| 4.10.2019  | 50     | 98,74  | 124,82 | 98,38 | 124,74 |
| 9.10.2019  | 45     | 98,28  | 124,18 | 97,99 | 123,70 |
| 10.10.2019 | 45     | 98,28  | 124,18 | 97,99 | 123,70 |



Seula toimii 4,5 tunnin syklissä, joka koostuu seulontajaksosta ja puhdistusjaksosta. Seulontajaksossa seula seuloo 240 minuutin ajan, jonka jälkeen kidesokeria syöttävä tärykuljetin pysähtyy ja kidesokerin syöttö seulaan loppuu. Tätä seuraa 30 minuutin puhdistusjakso, jolloin seulan tärymoottorit pysyvät päällä ja seula puhdistuu värinän johdosta. Puhdistusjakson jälkeen sykli alkaa alusta, kun kidesokeria syöttävä tärykuljetin käynnistyy automaattisesti.



Kuva 15. K540-jakauman näytteenottoaika.

Koeajosarjoissa näytteitä otettiin puhdistusjaksojen välissä neljän tunnin seulontajakson aikana syötteestä, K390- ja K540-jakaumista. Syötenäytteet otettiin tärykuljettimen näytteenottoluukusta näytekauhalla. K390- sekä K540-jakaumien näytteenotto tapahtui kunkin jakauman keräilysiiloon johtavassa putkistossa olevasta näytteenottoapaikasta, joista normaalisti prosessissa otetaan pistonäytteet. Kuvassa 15 nähdään K540-jakauman näytteenottoaikka. Näytteenotossa pyrittiin toistettavuuteen asettamalla näytteenottokauha aina samassa asennossa putkessa olevaan aukkoon. Taulukosta 7 nähdään koeajosarjoille tehty suunnitelma.

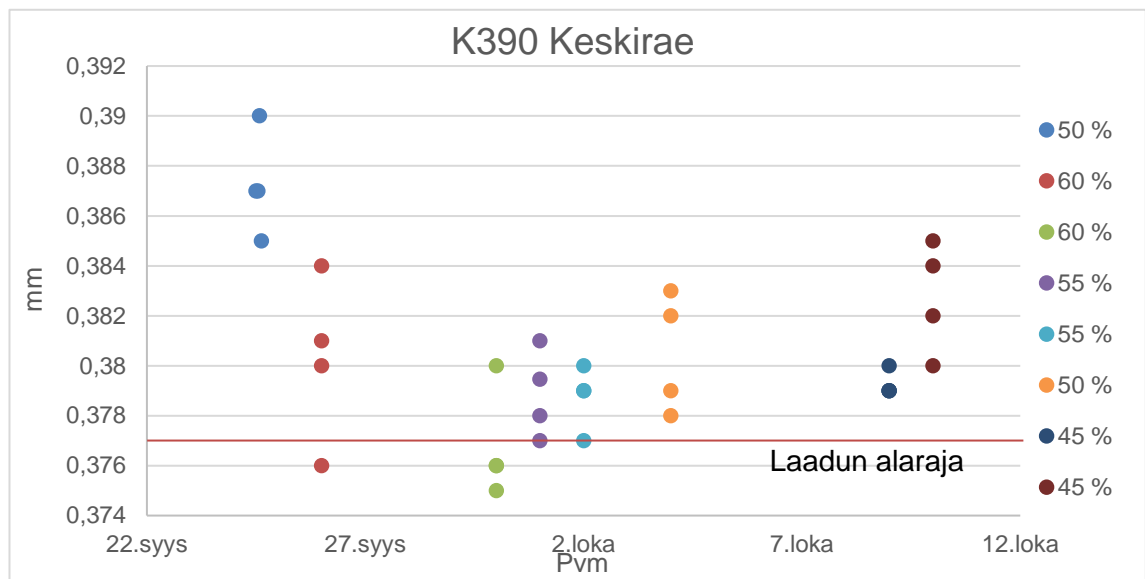
**Taulukko 7. Koeajosarjojen suunnitelma, mistä selviää näytteidenottoajat koeajosarjan aikana.**

| Aika(tuntia) | Syöte   | K540    | K390    |
|--------------|---------|---------|---------|
| 0,5          | Näyte 1 | Näyte 1 | Näyte 1 |
| 1,5          | Näyte2  | Näyte 2 | Näyte 2 |
| 2,5          | Näyte 3 | Näyte 3 | Näyte 3 |
| 3,5          | Näyte 4 | Näyte 4 | Näyte 4 |

## 8.1 Tulosten analysointi

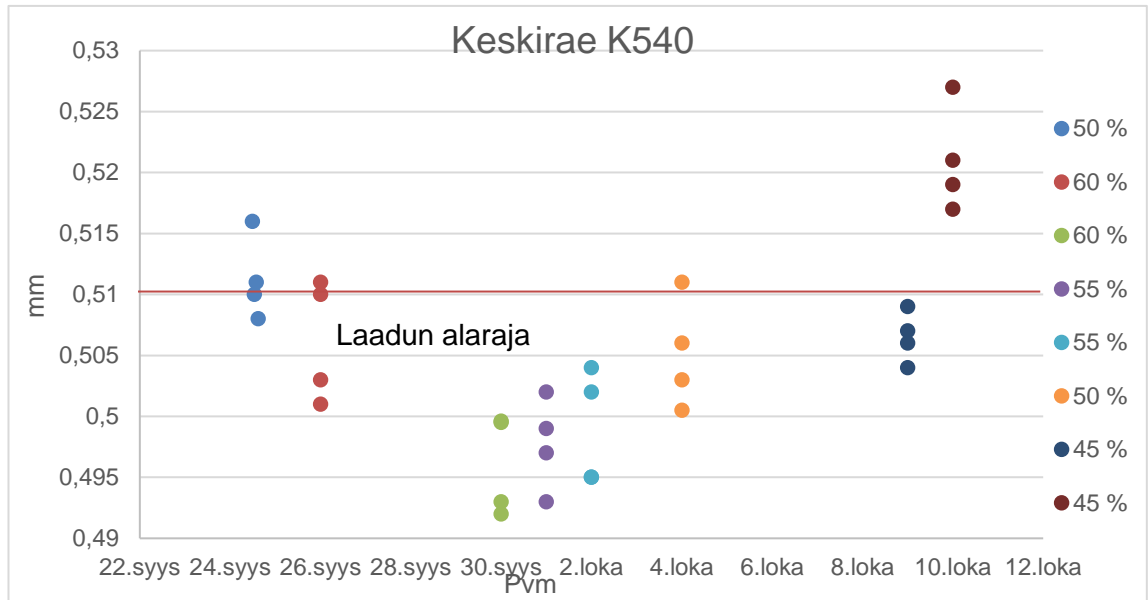
Koeajosarjojen tuloksia kuvataan Excelillä tehdyillä pistekaavioilla, mistä tulosten run-  
sasta määrää lukijan on helpompi tulkita. Taulukoidut arvot tuloksista löytyvät liitteestä  
7. Keskiraetta lukuun ottamatta tulokset olivat selvästi jakaumille asetetuissa laatura-  
joissa, joten nämä tulokset esitetty liitteessä 7.

Kuvan 16 pistekaaviossa esitetään K390-jakauman keskiraetta eri koeajosarjoissa,  
jossa pisteet edustavat yksittäisiä näytteitä. Keskirae pysyi koeajosarjojen ajan laatura-  
joissa. Parhaat tulokset saatiin molemmat koeajosarjat huomioiden tärykuljettimen ar-  
voilla 45 % (0,379-0,385 mm) ja 50 % (0,378-0,39 mm), joissa kaikki näytteet olivat laa-  
turaajoissa.



Kuva 16. K390-jakauman keskiraeta koeajosarjoissa eri tärykuljettimen arvoilla.

Kuvan 17 pistekaaviosta huomataan, että K540-jakaumassa ei saatu enää haluttua kiiteen laatua tärykuljettimen arvoilla 60 % ja 55 %. Yhdessä koeajosarjassa tärykuljettimen arvolla 45 % yksi näyte ja arvolla 50 % kaksi näytettä oli laadun alarajan alla, mutta tuloksissa keskiarvallisesti näillä tärykuljettimen arvoilla oltiin laadun rajoissa.

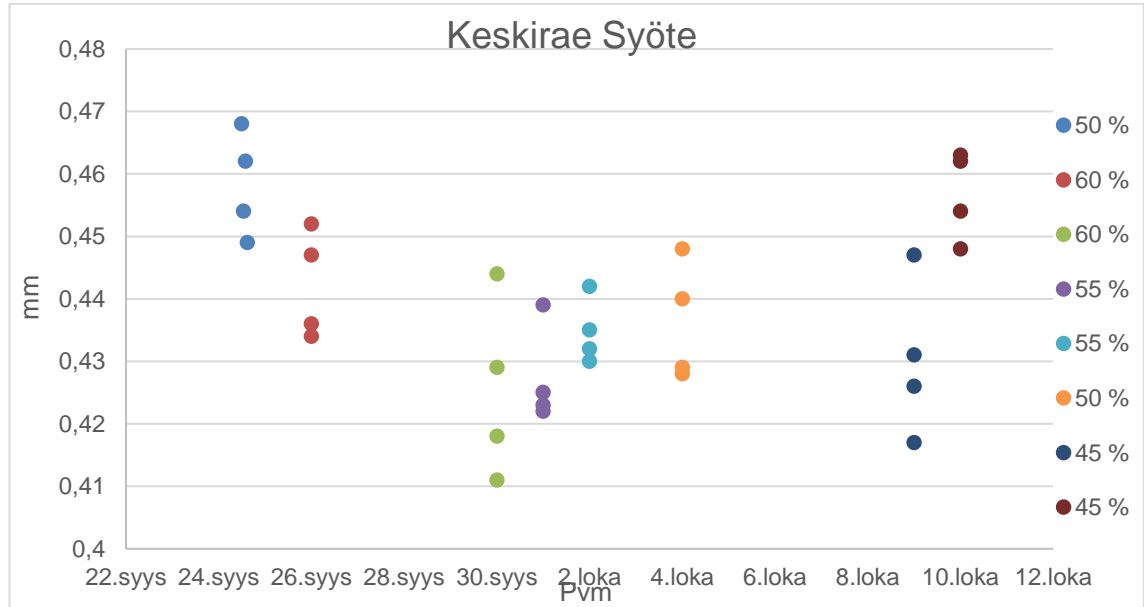


Kuva 17. K540-jakauman keskirae koeajosarjoissa eri tärykuljettimen arvoilla.

## 8.2 Syöte

Tutkittaessa syötenäytteistä saatuja tuloksia havaittiin yhteys syötteen kidekoon vaihtelun vaikutuksesta K390- ja K540-jakaumiin. Kuvan 18 pistekaaviosta huomataan syötteen keskirakeen muuttuvan koeajosarjojen välillä verraten paljon. Kuvien 16 ja 17 pistekaavioihin verrattaessa huomataan syötteen keskirakeen arvon heijastuvan jakaumien keskirakeeseen.

Syötteen keskirakeen muuttuessa koeajosarjojen välillä saman suuntainen muutos havaitaan K390- ja K540-jakaumissa. Koeajosarjojen 2-3 sekä 7-8 välillä keskirakeen muutos on suurin, jolloin seuraus jakaumien keskirakeessa näkyy selvimmin.



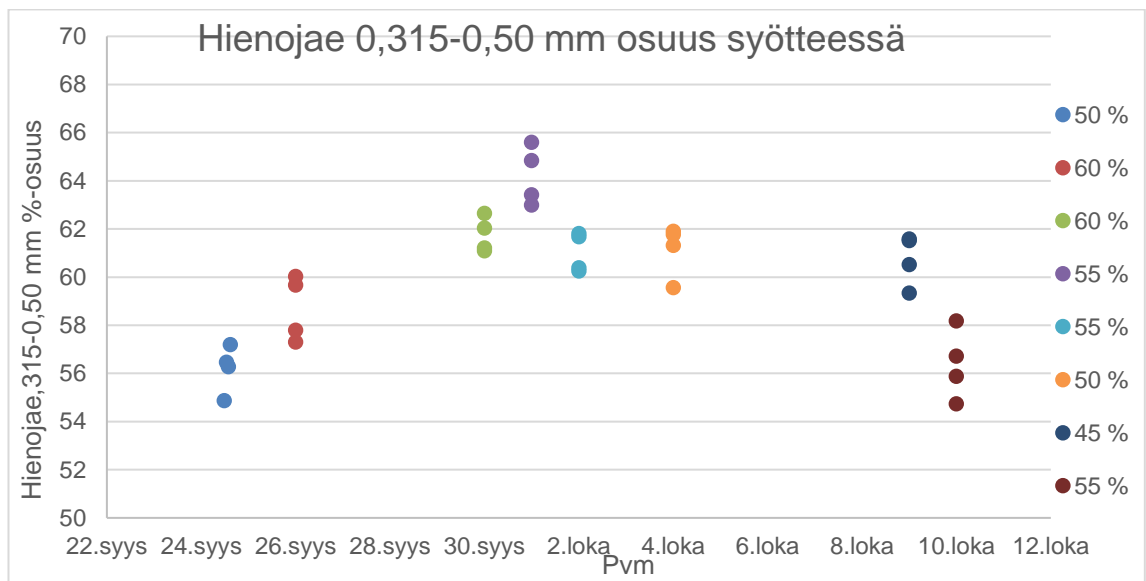
Kuva 18. Keskirae syötteessä eri tärkykuljettimen arvoilla.

Verrattaessa taulukon 8 keskirakeen keskiarvon muutosta syötteessä koeajosarjojen välillä, huomataan jakaumien keskirakeen muuttuvan lähes poikkeuksetta saman suuntaisesti. Tämä huomataan varsinkin, kun keskirakeen muutos on suuri, kuten koeajosarjojen 2-3 ja 7-8 välillä.

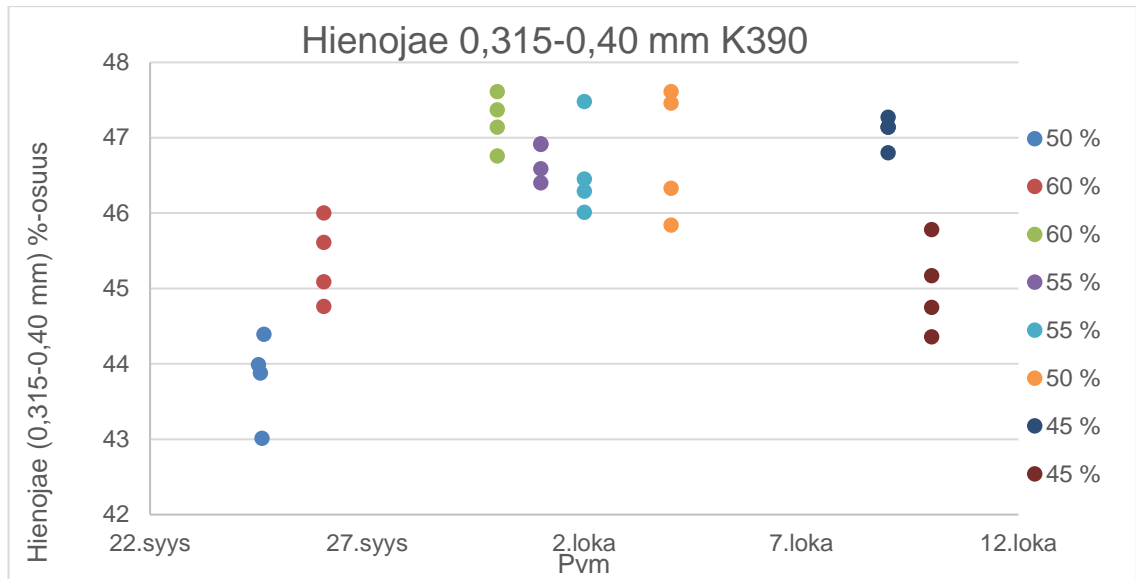
Taulukko 8. Keskirakeen keskiarvot koeajosarjoissa.

| Koeajosarja   | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tärkykuljetin | 50 %  | 60 %  | 60 %  | 55 %  | 55 %  | 50 %  | 45 %  | 45 %  |
| Syöte (mm)    | 0,458 | 0,442 | 0,426 | 0,427 | 0,435 | 0,436 | 0,430 | 0,457 |
| K540 (mm)     | 0,511 | 0,506 | 0,496 | 0,498 | 0,499 | 0,505 | 0,507 | 0,521 |
| K390 (mm)     | 0,387 | 0,380 | 0,377 | 0,379 | 0,379 | 0,381 | 0,379 | 0,383 |

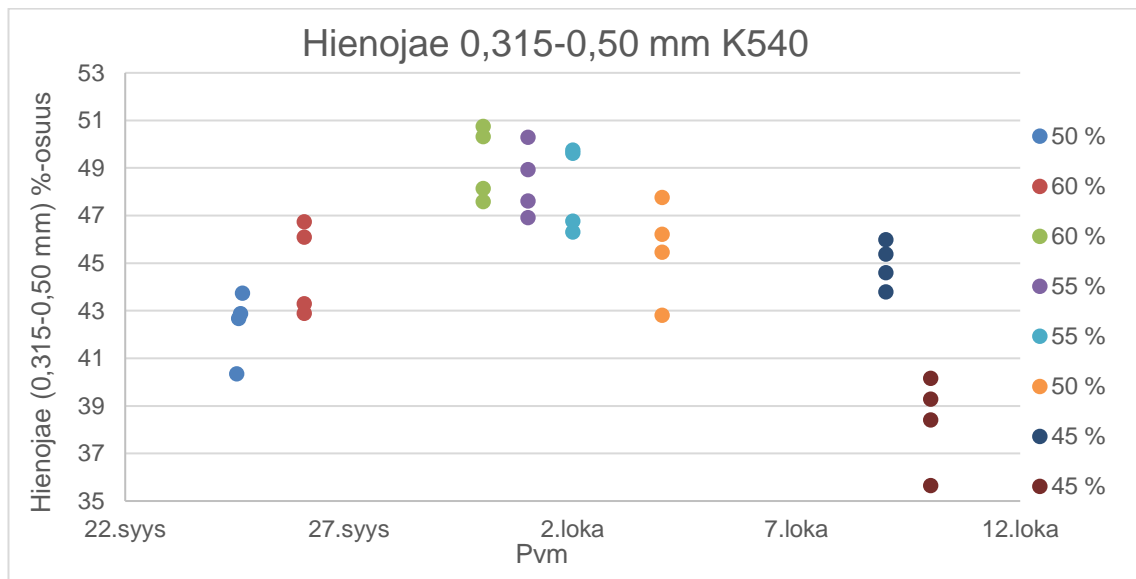
Tämä ilmiö näkyy selvemmin vertaamalla hienojakeen (0,315 – 0,50 mm) %-osuutta syötteessä hienojakeen osuuteen K390- ja K540-jakaumissa. Hienojakeen (0,315-0,50 mm) osuus syötteessä vaihtelee jopa yli 10 %. Tämä heijastuu K390- ja K540-jakaumissa, kuten huomataan kuvien 19, 20 ja 21 pistekaavioista. Syötteen keskirakeen ja hienojakeen vaihtelun vaikutuksista seuralta saataviin jakaumiin voidaan päätellä syötteen laadun vaikuttavan koeajosarjojen tuloksiin ja mahdollisesti olevan osasyys pidemmällä aikavälillä seuralta saatuihin laatuvaihteluihin.



Kuva 19. Syötteessä oleva hienojae (0,315-0,50 mm) %-osuus koeajosarjoissa.

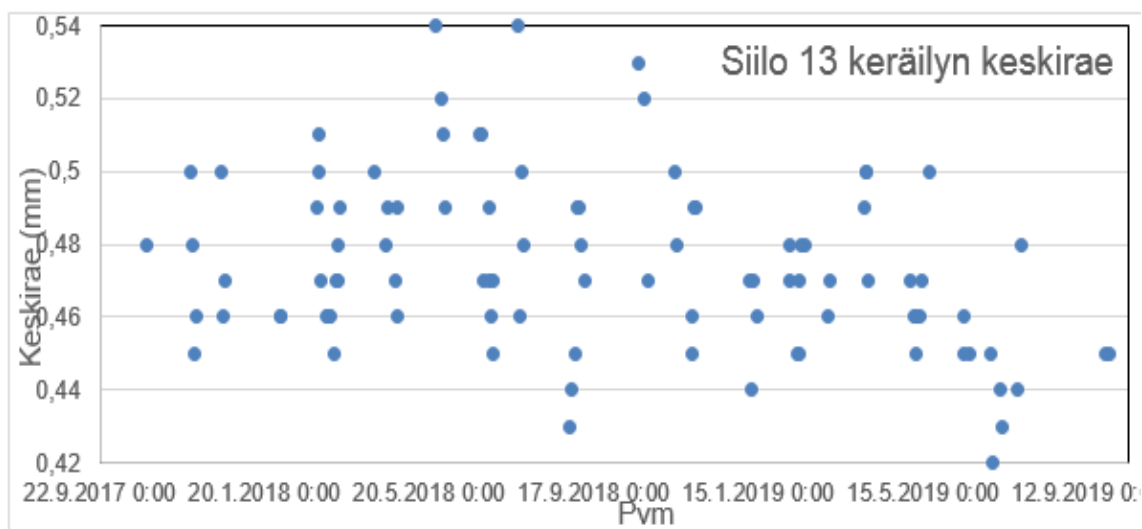


Kuva 20. Hienojae (0,315-0,40 mm) %-osuus K390-jakauman näytteissä.



Kuva 21. Hienojae (0,315-0,50 mm) %-osuus K540-jakauman näytteissä.

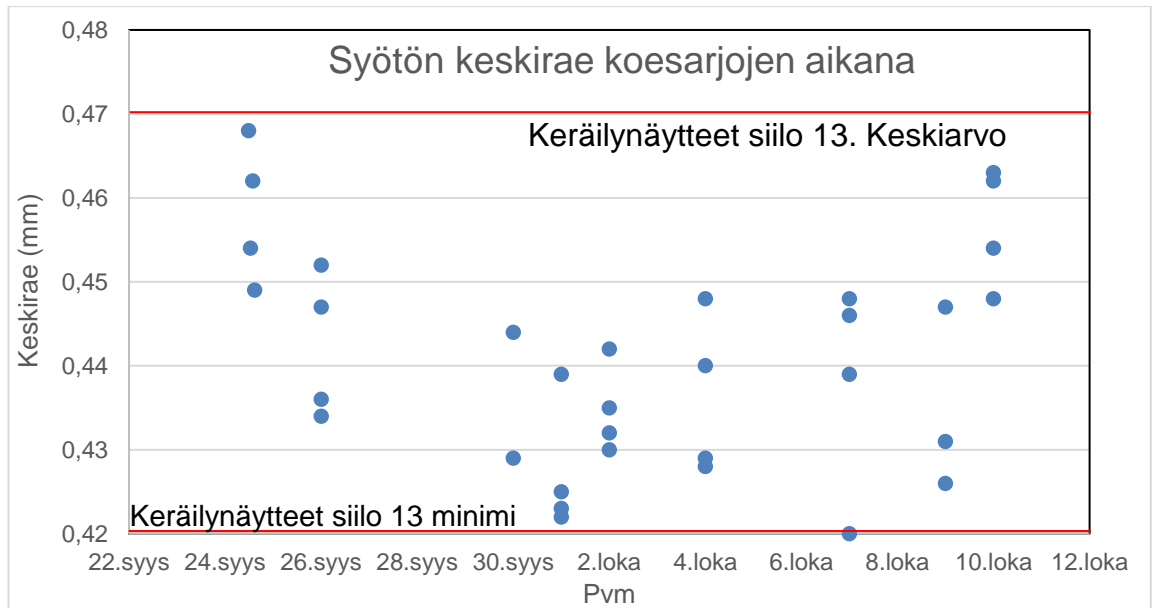
Siilo 13 on suursiilo, missä säilytetään kaikki kide 50 -sokeri. Tästä siilosta ohjataan kaikki syöttöbunkkeri 4:ään tuleva sokeri. Kuvasta 22 huomataan keskirakeen suuri vaihtelu siilo 13:n keräilynäytteissä.



Kuva 22. Keskirakeen vaihtelu siilo 13:n keräilynäytteissä 26.10.2017-27.9.2019.

Kuvan 23 pistekaaviosta huomataan keskirakeen olleen koeajosarjoissa siilo 13:n keräilynäytteiden keskirakeen keskiarvon alapuolella ja jopa lähempänä minimiarvoja. Tämä tarkoittaa syötteen olleen erittäin hienoa koeajosarjojen aikana verrattaessa keskimääräiseen syötteeseen, kuten huomataan kuvien 22 ja 23 pistekaavioista. Edellä mainitun perusteella voidaan siis olettaa keskirakeen olevan jatkossa keskimäärin korkeampi ja minimissään koeajosarjojen tasolla. Tuloksista huomattiin keskirakeen nousun syötteessä nostavan keskiraetta saatavissa jakaumissa, minkä perusteella voi olettaa keskirakeen olevan jatkossa keskimäärin koeajosarjojen ylätasolla tai korkeampi.





Kuva 23. Syötön keskiraie koeajosarjoissa ja siilo 13:n keskiarvo ja minimiarvo keräilynäytteiden keskiraieessa.

Uudeksi arvoksi tärysyöttimelle valittiin 45 %. Valinta tehtiin arvioiden kokonaisuus K390- ja K540-jakaumien tuloksista koeajosarjoissa. Molemmista koeajosarjoissa tärysyöttimen arvolla 45 % kaikki näytteet olivat laaturajoissa yhtä K540-jakauman näytettä lukuun ottamatta. Myös syötteen keskiraieen noustessa jälkimmäisessä koeajosarjassa lähelle pitkän ajan seurannan keskiarvoa nousi molemmissa jakaumissa keskiraie erittäin hyvälle tasolle ollen jakaumassa K390 0,380–0,385 mm ja jakaumassa K540 0,517–0,527 mm.

## 9 Tulokset

### 9.1 Laatu

Tavoitteena oli saada vähennettyä laatupoikkeamia K390-tuotteesta vähintään 80 % verraten vuoden 2018 tasoon, jolloin laatupoikkeamia tuli yhteensä 171 kappaletta (11). Vertailua varten kerättiin 10 viikon ajalta saadut K390- ja K540 keräilynäytetulokset (taulukko 9) seulan optimoinnin jälkeen. Keräilynäytteiden analyysitulokset löytyvät liitteestä 8.

**Taulukko 9. K390- ja K540-jakaumien näytteet ja laatupoikkeamat 10 viikon seuranta-ajalta optimoinnin jälkeen.**

|      | Näytettä | Laatupoikkeamia |
|------|----------|-----------------|
| K390 | 24       | 0               |
| K540 | 8        | 0               |

Optimoinnin jälkeen laatupoikkeamia ei ole tullut kummastakaan työssä seuratuista jakaumista. K390-jakauman hienojakeen 0-0,16 mm osuus keräilynäytteissä on huomattavasti suurempi, kuin koeajosarjojen näytteissä. Tämä johtuu keräilynäytteet ottavan automaattisen näyteenottimen toiminnasta, missä hienoa sokeripölyä pääsee kertymään näyteastiaan. Keräilynäytteen näyteenottimen toiminnasta kerrotaan työn saantosuudessa luvussa 4. K390-jakauman keskiraie on pysynyt tasaisesti 0,38-0,39:ssa. K540-jakauman keskiraie on seilannut keräilynäytteissä, minkä voi päätellä johtuvan syötteen kidekoon vaihtelusta, josta kerrotaan työn koeajosarjat osuudessa luvussa 8.

Laatuongelman voi sanoa poistuneen laadun seurannan perusteella, ja K390-jakauman laatupoikkeamista saadaan ennustettavasti vähennettyä tavoiteltu 80 %.

## 9.2 Saanto

Työn tavoitteena oli parantaa K390-jakauman saantoa työssä vertailuajana olevan vuoden 2018 saantoon. Saannon laskutavat, laskuissa käytetyt tiedot ja ajankohdat on esitetty luvussa 7 saantojen laskeminen. Taulukossa 10 nähdään saantotulokset.

**Taulukko 10. Saantotulokset.**

| K390            | Vanha saanto | Uusi saanto | Erotus |
|-----------------|--------------|-------------|--------|
| K390 saanto-%   | 20,49        | 35,30       | 14,81  |
| K390 saanto t/h | 1,35         | 2,04        | 0,69   |

Työssä päästiin tavoitteeseen, joka oli nostaa K390:n saanto yli 35 %:iin ja parannusta vertailuajankohdan saantoon tuli 72,2 %. Vertailuajankohtana K390 saatiin keskiarvoisesti 1,35 t/h ja optimoinnin jälkeen 2,04 t/h, minkä ansiosta täryseulan käyttötunnit vähenivät 30 %.

Vähäisemmät täryseulan käyttötunnit helpottavat tuotantosuunnittelua ja poistavat viikonloppuajojen tarpeen sekä vähentävät useiden seulaan liittyvien laitteiden sähkönkulutusta. Kiteen optimaalinen leviäminen vähentää todennäköisyyttä seulaverkkojen hajoamiselle ja seulalle tarvittaville huoltotoimenpiteille.

Bunkkerien pinnanmittaukseen saattaa vaikuttaa bunkkerien sisällä tapahtuvat sokerin sortumat, joiden vaikutusta pinnanmittauksen luotettavuuteen on vaikea arvioida. Mittaukset koostuvat useista mittauskerroista, mikä lisää tulosten uskottavuutta. Vertailuajankohdan ja optimoinnin jälkeisten tulosten ero on huomattava, mikä osoittaa saannon parantuneen.

## 10 Yhteenveto

Työllä pyrittiin vähentämään seualta tulevia laatupoikkeamia ja parantamaan seualta päätuotteena saatavan K390-jakauman saantoa optimoimalla kiteen leviäminen seualle ja selvittämään kiteen maksimi syöttövirtaus K390- ja K540-jakaumien laadun ollessa rajoittavana tekijänä.

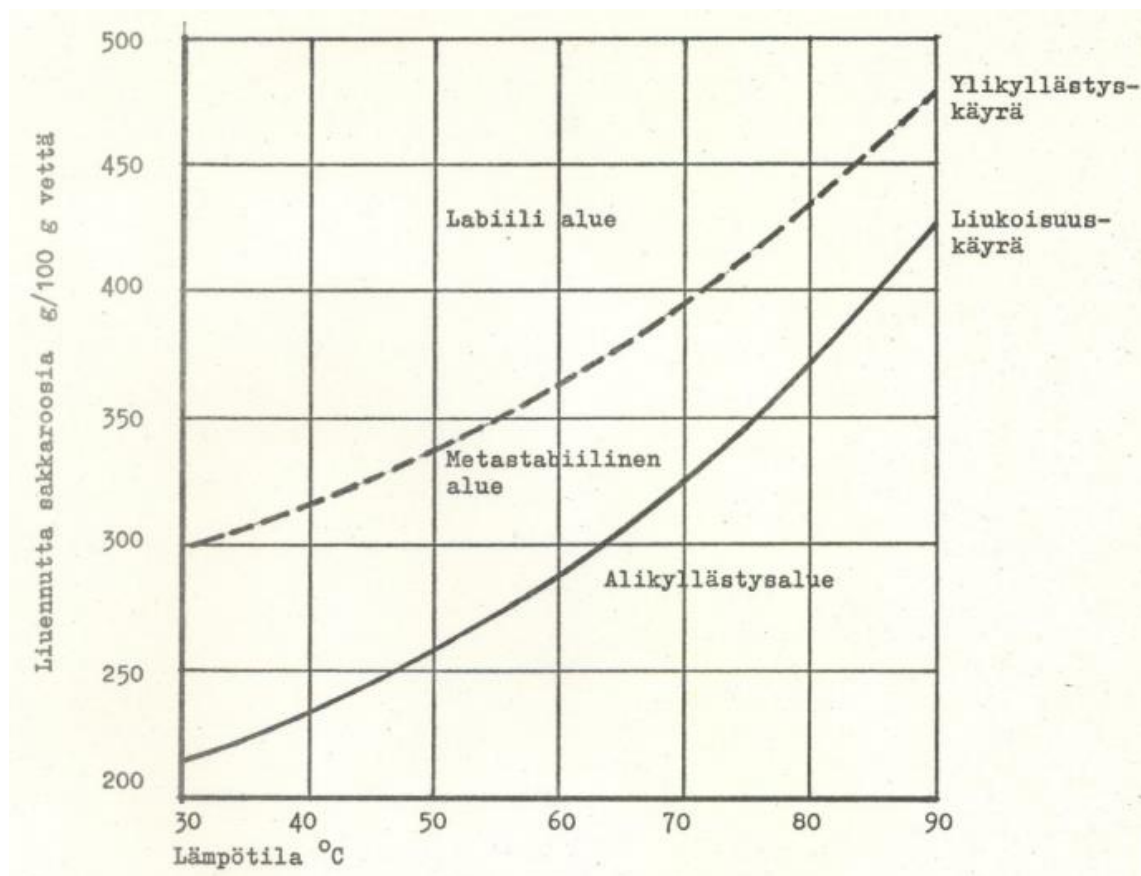
Työn tuloksissa päästiin työlle asetettuihin tavoitteisiin. Laadun suhteen tavoite oli vähentää seualta tulevia laatupoikkeamia 80 % vertailuajankohdasta. 10 viikon seurannassa optimoinnin jälkeen ei tullut yhtään laatupoikkeamaa, mikä osoittaa laatuongelman poistuneen. Tavoitteena oli nostaa K390-jakauman saanto yli 35 %:iin, mikä saavutettiin ja uusi saanto oli 35,3 %.

Tuloksissa havaittu syötteen koostumuksen vaihtelun vaikutus seualta saatavien jakaumien laatuun oli merkittävä havainto ja selittää osaltaan pitkällä aikavälillä laadussa tapahtuneen vaihtelun seualta saatavissa tuotteissa. K390-jakauman saannon paraneminen ja siitä seurannut seulan käyttöajan väheneminen helpottaa tuotantosunnittelua ja vähentää sähkönkulutusta, ja kiteen optimaalinen leviäminen vähentää todennäköisyyttä seulaverkkojen hajoamiselle.

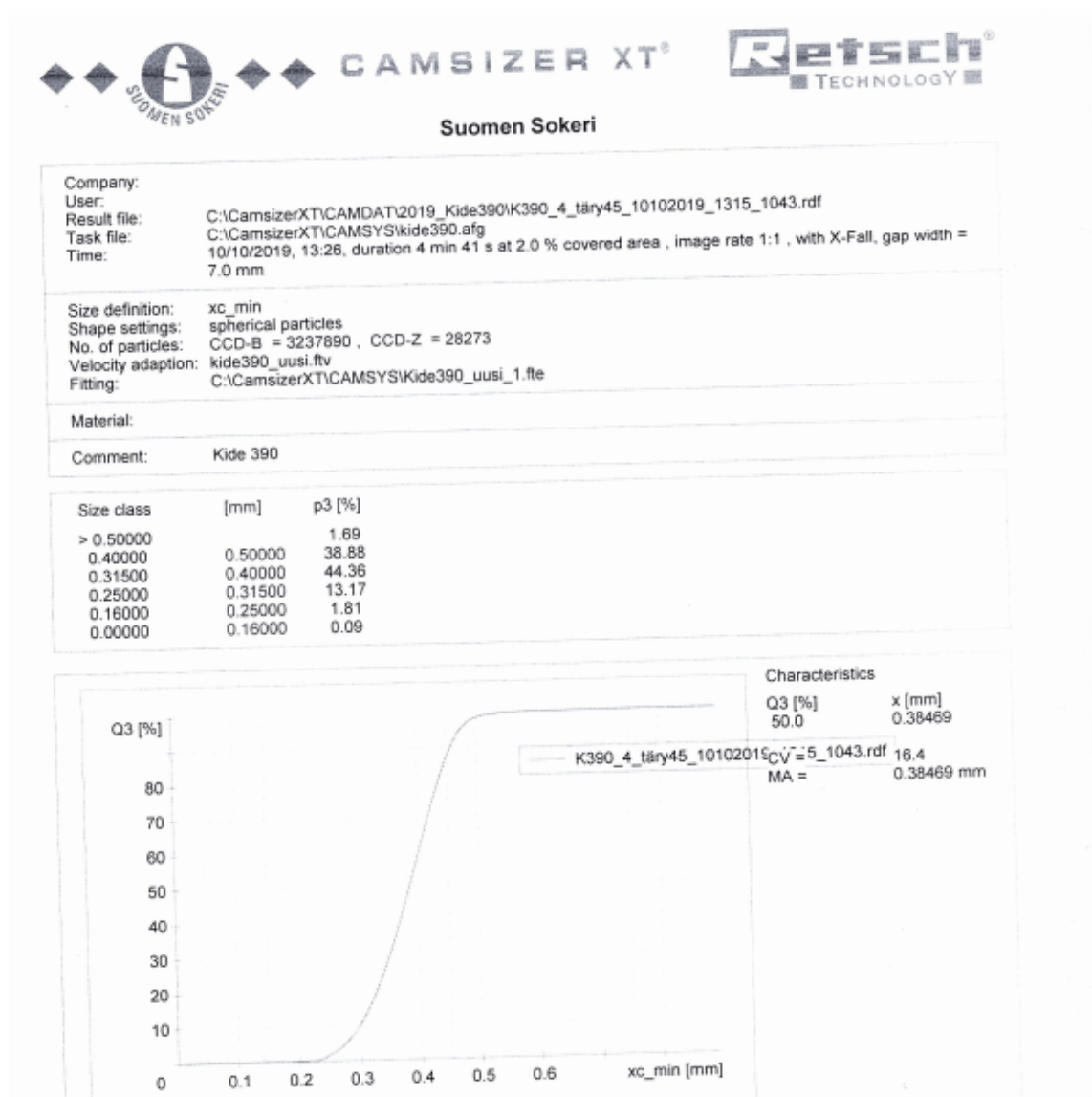
Jatkotoimenpiteenä tulisi selvittää seulan ajosyklin pituus. Tällä hetkellä seulontajakso on 240 minuuttia ja puhdistusjakso 30 minuuttia. Jatkossa pitäisi selvittää, onko 240 minuutin seulontajakso liian pitkä vai alkaako sokeri tukkimaan seulaverkkoja aikaisemmin. Pitäisi myös selvittää, kuinka nopeasti seula puhdistuu, ja onko 30 minuutin puhdistusjakso turhan pitkä.

## Lähteet

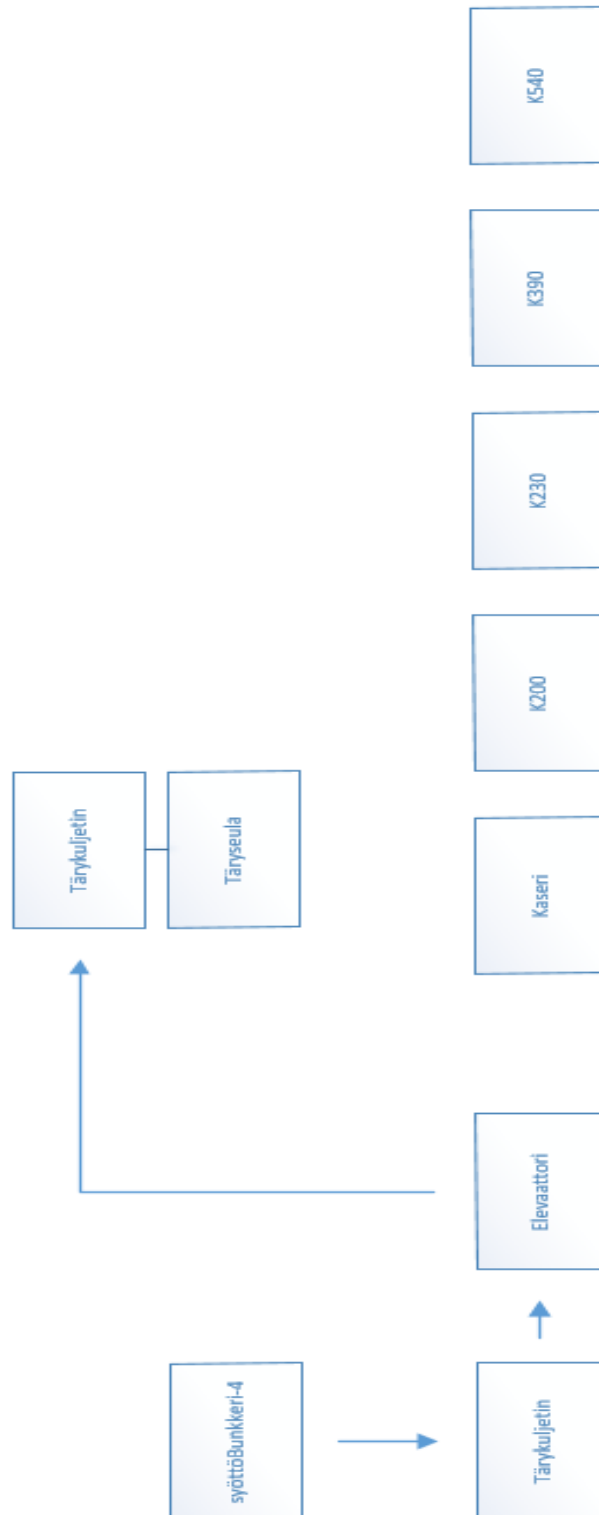
- 1 Yritysesittely. Verkkoaineisto. Nordicsugar. < <https://www.nordicsugar.fi/suomen-sokeri-ja-sucros/suomen-sokeri-ja-sucros>>. Luettu 21.1.2020.
- 2 Opetuskirje. Sokeriteknologia/Sokerinpuhdistamot. 2010. Yrityksen sisäinen dokumentti. Suomen Sokeri Oy.
- 3 Sucrose – an overview. Verkkoaineisto. Sciencedirect. <<https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/sucrose>>. Luettu 29.12.2019.
- 4 Chung, Chi Chou. 2000. Handbook of sugar refining. John Wiley & sons inc.
- 5 Heiska, Mikko. 2012. PowerPoint-materiaali. Suomen Sokeri Oy.
- 6 Particle analyzer Camcizer xt. 2011. Verkkoaineisto. Horiba. <[www.horiba.com/fileadmin/uploads/Scientific/Documents/PSA/CAMSIZER\\_XT\\_flyer.pdf](http://www.horiba.com/fileadmin/uploads/Scientific/Documents/PSA/CAMSIZER_XT_flyer.pdf)>. Luettu 18.12.2019.
- 7 Mogensen crystal size distribution and maintenance data. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. Suomen Sokeri Oy.
- 8 Mogensen-Sel. Verkkoaineisto. Mogensen. <[https://www.mogensen.se/english/documents/sel\\_lag\\_eng\\_090415.pdf](https://www.mogensen.se/english/documents/sel_lag_eng_090415.pdf)>. Luettu 2.12.2019.
- 9 Suomen Sokerin kehitysinsinöörin sähköpostikeskustelu seulan valmistajan edustajan kanssa. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. Suomen Sokeri Oy.
- 10 Feeding integrated spreader pdf. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. Suomen Sokeri Oy.
- 11 Lehtovaara, Anssi. 2019. Pakkaamon kehitys ja laatuinsinööri. Suomen Sokeri Oy. Sähköposti keskustelu. 17.10.2019.

**Sakkaroosiliuoksen yli- ja alikyllästysalueet (puhdas sakkaroosi)**

## Camsizer-partikkelianalysaattori tuloste



## Seulonnan lohkokkaavio





## Testivaiheen Camsizer-partikkelianalysaattoritulokset

| laatu | pvm  | keskirae_C mm<br>0,38-0,43    | hajonta_C<br>% | <0,315_C2<br>% <21   | >0,50_C<br>% | 0,4-<br>0,5_C %      | 0,315-<br>0,40_C     | 0,25-<br>0,315_C<br>% | 0,16-<br>0,25_C<br>%  | 0-<br>0,16_<br>C %       | Täry<br>% |
|-------|------|-------------------------------|----------------|----------------------|--------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|-----------|
| 390   | 11.9 | 0,386                         | 15,7           | 13,59                | 1,39         | 39,53                | 45,49                | 13,43                 | 0,11                  | 0,05                     | 30        |
| 390   | 11.9 | 0,385                         | 15,9           | 13,99                | 1,6          | 39,28                | 45,13                | 13,84                 | 0,1                   | 0,05                     | 40        |
| 390   | 11.9 | 0,389                         | 15,7           | 13                   | 1,52         | 41,3                 | 44,18                | 12,83                 | 0,11                  | 0,06                     | 50        |
| 390   | 11.9 | 0,386                         | 15,8           | 13,62                | 1,6          | 39,47                | 45,31                | 13,46                 | 0,1                   | 0,06                     | 60        |
| 390   | 13.9 | 0,387                         | 15,8           | 13,09                | 1,63         | 40,43                | 44,85                | 12,95                 | 0,06                  | 0,08                     | 40        |
| 390   | 16.9 | 0,389                         | 15,7           | 12,69                | 1,80         | 41,51                | 44,00                | 12,52                 | 0,09                  | 0,08                     | 40        |
| 390   | 17.9 | 0,387                         | 15,6           | 12,89                | 1,56         | 40,47                | 45,08                | 12,53                 | 0,15                  | 0,21                     | 40        |
| 390   | 17.9 | 0,383                         | 16             | 14,49                | 1,38         | 38,24                | 45,89                | 12,98                 | 1,32                  | 0,19                     | 50        |
| 390   | 17.9 | 0,384                         | 15,8           | 14,06                | 1,2          | 39,02                | 45,72                | 12,51                 | 1,38                  | 0,17                     | 60        |
| 390   | 18.9 | 0,393                         | 15,6           | 11,9                 | 1,91         | 43,36                | 42,83                | 11,72                 | 0,09                  | 0,09                     | 50        |
| 390   | 19.9 | 0,389                         | 15,7           | 12,74                | 1,71         | 41,48                | 44,07                | 12,18                 | 0,39                  | 0,17                     | 50        |
| 390   | 19.9 | 0,389                         | 15,6           | 12,5                 | 1,92         | 41,7                 | 43,88                | 12,28                 | 0,1                   | 0,12                     | 50        |
| laatu | pvm  | Keskirae_C<br>mm<br>0,51-0,57 | Hajonta_C<br>% | <0.315_C1<br>%<br><5 | >0.80_C<br>% | 0.63-<br>0.80_C<br>% | 0.50-<br>0.63_C<br>% | 0.315-<br>0.50_C<br>% | 0.20-<br>0.315_C<br>% | 0.00-<br>0.20_<br>C<br>% |           |
| 540   | 11.9 | 0,518                         | 13,9           | 39,59                | 0,48         | 8,46                 | 51,47                | 39,15                 | 0,31                  | 0,13                     | 30        |
| 540   | 11.9 | 0,512                         | 15,7           | 43,33                | 0,85         | 8,24                 | 47,58                | 41                    | 2,06                  | 0,27                     | 40        |
| 540   | 11.9 | 0,509                         | 16,2           | 45,41                | 0,6          | 7,78                 | 46,25                | 42,16                 | 2,77                  | 0,44                     | 50        |
| 540   | 11.9 | 0,507                         | 16,7           | 46,55                | 0,69         | 7,71                 | 45,05                | 43,17                 | 2,92                  | 0,46                     | 60        |
| 540   | 13.9 | 0,523                         | 13,5           | 36,29                | 0,65         | 9,31                 | 53,75                | 35,88                 | 0,25                  | 0,16                     | 40        |
| 540   | 16.9 | 0,521                         | 14,3           | 38,34                | 0,84         | 9,48                 | 51,34                | 37,74                 | 0,44                  | 0,16                     | 40        |
| 540   | 17.9 | 0,516                         | 14             | 40,68                | 0,53         | 8,1                  | 50,69                | 40,02                 | 0,49                  | 0,17                     | 40        |
| 540   | 17.9 | 0,5                           | 16,1           | 48,39                | 0,38         | 6,74                 | 44,49                | 45,76                 | 2,34                  | 0,29                     | 50        |
| 540   | 17.9 | 0,5                           | 16,9           | 50,37                | 0,6          | 6,6                  | 42,43                | 47,13                 | 2,89                  | 0,35                     | 60        |
| 540   | 18.9 | 0,52                          | 13,9           | 38,78                | 0,37         | 8,67                 | 52,18                | 38,18                 | 0,45                  | 0,15                     | 50        |
| 540   | 19.9 | 0,518                         | 14,2           | 39,79                | 0,39         | 8,36                 | 51,46                | 38,99                 | 0,63                  | 0,17                     | 50        |
| 540   | 19.9 | 0,513                         | 14,3           | 42,2                 | 0,43         | 7,73                 | 49,64                | 41,29                 | 0,76                  | 0,15                     | 50        |

## Muutokset levityspelteihin ja mittauspistearvot

| pvm  | muutos mutte-<br>riin |                       |                       |                       | mitta-<br>pis-<br>teet | (mm)    |       |        |
|------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|---------|-------|--------|
|      | 1a                    | 1b                    | 2a                    | 2b                    | 1a                     | 1b      | 2a    | 2b     |
| 11.9 |                       |                       |                       |                       | 95,35                  | 122,48  | 99,53 | 124,04 |
| 12.9 |                       |                       |                       |                       |                        |         | 99,6  | 124,39 |
| 12.9 |                       |                       | kierros auki          | kierros auki          |                        |         | 96,6  | 120,92 |
| 12.9 |                       |                       | kierros kiinni        | kierros kiinni        |                        |         | 99,11 | 123,91 |
| 12.9 |                       |                       | 1/2 kierros<br>auki   |                       |                        |         | 98,43 | 124,32 |
| 13.9 |                       |                       |                       |                       | 95,88                  | 125,25  | 98,43 | 124,32 |
| 13.9 | kierros kiinni        |                       |                       |                       | 98,08                  | 126,55  | 98,43 | 124,32 |
| 13.9 |                       | kierros kiinni        |                       |                       | 99,24                  | 127,53  | 98,43 | 124,32 |
| 13.9 |                       | 1/2 kierros<br>kiinni |                       |                       | 98,59                  | 126,74  | 98,43 | 124,32 |
| 16.9 |                       |                       | 1/4 kierros<br>auki   |                       | 98,59                  | 126,74  | 97,83 | 123,64 |
| 17.9 |                       |                       |                       |                       | 98,79                  | 125,33  | 97,73 | 123,31 |
| 17.9 |                       |                       | 1/4 kierros<br>auki   |                       | 98,79                  | 125,33  | 96,53 | 123,39 |
| 17.9 | 1/4 kierros<br>auki   |                       | 1/4 kierros<br>auki   |                       | 98,42                  | 125,59  | 97,00 | 123,49 |
| 18.9 | 1/4 kierros<br>kiinni |                       | 1/4 kierros<br>kiinni |                       | 98,64                  | 125,37  | 97,12 | 123,49 |
| 18.9 |                       |                       | 1/4 kierros<br>kiinni |                       | 98,64                  | 125,37  | 97,85 | 123,71 |
| 19.9 |                       |                       | 1/4 kierros<br>kiinni |                       | 98,64                  | 125,37  | 98,85 | 124,08 |
| 19.9 |                       |                       |                       | 1/4 kierros<br>kiinni | 98,64                  | 125,37  | 98,97 | 124,71 |
| 19.9 |                       |                       |                       |                       | 98,84                  | 124,74  | 98,97 | 124,71 |
| 19.9 |                       | 1/4 kierros<br>kiinni | 1/4 kierros<br>kiinni |                       | 99,08                  | 125,59  | 99,27 | 126,72 |
| 23.9 |                       | 1/4 kierros<br>auki   | 1/4 kierros<br>auki   |                       | 98,71                  | 124,6   | 98,46 | 124,67 |
| 25.9 | 1/4 kierros<br>kiinni | 1/4 kierros<br>kiinni | 1/4 kierros<br>kiinni | 1/4 kierros<br>kiinni | 99,23                  | 125,79  | 99,44 | 125,75 |
| 25.9 | 1/4 kierros<br>kiinni |                       |                       |                       | 100,63                 | 126,29  | 99,44 | 125,75 |
| 1.10 | 1/4 kierros<br>auki   |                       | 1/4 kierros<br>auki   | 1/4 kierros<br>auki   | 99,487                 | 125,843 | 98,63 | 125,07 |
| 2.10 | 1/2 kierros<br>kiinni |                       | 1/4 kierros<br>kiinni | 1/4 kierros<br>kiinni | 100,26                 | 126,68  | 99,61 | 125,71 |
| 3.10 | 3/4 kierros<br>auki   | 1/4 kierros<br>auki   | 1/4 kierros<br>auki   | 1/4 kierros<br>auki   | 98,74                  | 124,82  | 98,38 | 124,74 |
| 8.10 |                       | 1/4 kierros<br>auki   |                       | 1/4 kierros<br>auki   | 98,28                  | 124,18  | 97,99 | 123,70 |

## Saantolaskujen tiedot

Saanto ennen optimointia 27.12.2018-  
5.1.2019

|   | Aika<br>(min) | 4-bunk pohj<br>alku | 4-bunk pohj<br>loppu | 4-bunk etelä<br>alku | 4-bunk etelä<br>loppu | 5-bunk<br>etelä<br>loppu | 5-bunk<br>etelä alku | 5-bunk<br>pohj<br>loppu | 5-bunk<br>pohj<br>alku |
|---|---------------|---------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------|------------------------|
| Σ | 5444          | 4105,97             | 3058,05              | 4263,64              | 3900,53               | 2167,92                  | 2024,32              | 2968,87                 | 2823,37                |

|   | 4-bunk<br>alku ka | 4-bunk<br>loppu ka | 4-bunk<br>alku-loppu | 4-bunk pinnan-<br>muutos kg | 4-bunk pin-<br>nanmuutos<br>kg/h | 5-bunk<br>alku ka | 5-bunk<br>loppu ka | 5-bunk<br>loppu-<br>alku |
|---|-------------------|--------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------|--------------------|--------------------------|
| Σ | 4184,81           | 3479,29            | 705,51               | 599687,8                    | 6609,34                          | 2423,84           | 2568,39            | 144,55                   |

|   | 5-bunk<br>pinnan-<br>muutos<br>kg | 5-bunk pin-<br>nanmuutos<br>kg/h | K390 %-<br>osuus syö-<br>töstä |
|---|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| Σ | 122867,<br>5                      | 1354,16                          | 20,49                          |

Saanto optimoinnin jälkeen. 18.10.2019-  
18.12.2019

|   | Aika<br>(min) | 4-bunk<br>pohj alku | 4-bunk pohj<br>loppu | 4-bunk<br>etelä alku | 4-bunk etelä<br>loppu | 5-bunk etelä<br>loppu | 5-bunk etelä<br>alku | 5-bunk<br>pohj loppu | 5-<br>bunk<br>pohj<br>alku |
|---|---------------|---------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|
| Σ | 5558          | 1879,52             | 1131,94              | 2163,16              | 1650,82               | 1543,22               | 1329,53              | 1927,78              | 1696,<br>78                |

|   | 4-bunk<br>alku ka | 4-bunk<br>loppu ka | 4-bunk alku-<br>loppu | 4-bunk pin-<br>nan-<br>muutos kg | 4-bunk pin-<br>nanmuutos<br>kg/h | 5-bunk alku<br>ka | 5-bunk<br>loppu ka | 5-bunk<br>loppu-alku |
|---|-------------------|--------------------|-----------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------|--------------------|----------------------|
| Σ | 2021,34           | 1391,38            | 629,96                | 535466                           | 5780,49                          | 1513,15           | 1735,5             | 222,34               |

|   | 5-bunk<br>pinnan-<br>muutos<br>kg | 5-bunk pin-<br>nan-<br>muutos<br>kg/h | K390 %-<br>osuus syö-<br>töstä |
|---|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| Σ | 188993,<br>3                      | 2040,23                               | 35,30                          |

## Koeajosarjat Camsizer-partikkelianalysaattoritulokset

| Pvm  | laatu | Keski-<br>rae_C<br>mm<br>0,51-<br>0,57<br>0,38-<br>0,43<br>(K39) | Ha-<br>jonta_C<br>% | <0.315_C1<br>% <5<br><0,315<br><21 (K39) | >0.80_C<br>%<br>>0,50<br>(K39) | 0.63-<br>0.80_C<br>%<br>0,4-<br>0,5<br>(K39) | 0.50-<br>0.63_C<br>%<br>,315-<br>0,40<br>(K39) | 0.315-<br>0.50_C<br>%<br>0,25-<br>0,315<br>(K39) | 0.20-<br>0.315_C<br>%<br>0,16-<br>0,25<br>(K39) | 0.00-<br>0.20_C<br>%<br>0-0,16<br>(K39) | täry<br>% |
|------|-------|--|---------------------|--|--------------------------------|--|--|--|---|---|-----------|
| 24.9 | 390   | 0,387  | 16                  | 13,98                                    | 1,54                           | 40,49  | 43,99  | 13,16  | 0,7   | 0,12                                    | 50        |
| 24.9 | 390   | 0,387  | 16                  | 14,26                                    | 1,37                           | 40,49  | 43,88  | 12,64  | 1,49  | 0,13                                    | 50        |
| 24.9 | 390   | 0,39   | 15,8                | 13,22                                    | 1,63                           | 42,14  | 43,01  | 12,26  | 0,83  | 0,13                                    | 50        |
| 24.9 | 390   | 0,385  | 16,1                | 14,78                                    | 1,21                           | 39,62  | 44,39  | 13,01  | 1,62  | 0,15                                    | 50        |
| 24.9 | 540   | 0,516  | 15,2                | 1,28                                     | 0,52                           | 8,89   | 48,96  | 40,35  | 1,1   | 0,18                                    | 50        |
| 24.9 | 540   | 0,51   | 15,4                | 1,79                                     | 0,29                           | 7,54   | 47,7   | 42,68  | 1,55  | 0,24                                    | 50        |
| 24.9 | 540   | 0,511  | 15,5                | 1,65                                     | 0,31                           | 7,42   | 47,74  | 42,88  | 1,43  | 0,22                                    | 50        |
| 24.9 | 540   | 0,508  | 16                  | 2,08                                     | 0,47                           | 7,44   | 46,27  | 43,74  | 1,81  | 0,27                                    | 50        |
| 24.9 | syöte | 0,468  | 22,2                | 7,12                                     | 0,36                           | 6,02   | 31,62  | 54,88  | 6,43  | 0,69                                    | 50        |
| 24.9 | syöte | 0,454  | 23,5                | 10,68                                    | 0,2                            | 4,69   | 27,96  | 56,47  | 9,11  | 1,57                                    | 50        |
| 24.9 | syöte | 0,462  | 22,3                | 7,99                                     | 0,22                           | 5,07   | 30,44  | 56,28  | 7,1   | 0,89                                    | 50        |
| 24.9 | syöte | 0,449  | 23,9                | 11,13                                    | 0,16                           | 4,33   | 27,18  | 57,2   | 9,72  | 1,41                                    | 50        |
| 26.9 | 390   | 0,38   | 16,7                | 16,6                                     | 1,59                           | 36,2   | 45,61  | 14,49  | 2   | 0,11                                    | 60        |
| 26.9 | 390   | 0,381  | 16,6                | 16,53                                    | 1,47                           | 36,91  | 45,09  | 14,15  | 2,26  | 0,12                                    | 60        |
| 26.9 | 390   | 0,384  | 16,3                | 15,42                                    | 1,47                           | 38,35  | 44,76  | 13,24  | 2,05  | 0,13                                    | 60        |
| 26.9 | 390   | 0,376  | 17                  | 18,65                                    | 1,31                           | 34,04  | 46   | 15,67  | 2,83  | 0,15                                    | 60        |
| 26.9 | 540   | 0,51   | 16,6                | 1,68                                     | 0,61                           | 9,37   | 45,04  | 43,3   | 1,54  | 0,14                                    | 60        |
| 26.9 | 540   | 0,511  | 17,6                | 1,91                                     | 0,64                           | 10,56  | 43,99  | 42,9   | 1,71  | 0,2                                     | 60        |
| 26.9 | 540   | 0,503  | 17,4                | 2,5                                      | 0,71                           | 8,3  | 42,39  | 46,1   | 2,2   | 0,3                                     | 60        |
| 26.9 | 540   | 0,501  | 17,7                | 2,78                                     | 0,59                           | 8,27   | 41,62  | 46,74  | 2,5   | 0,28                                    | 60        |
| 26.9 | syöte | 0,434  | 25,9                | 14,02                                    | 0,27                           | 4,58   | 23,33  | 57,8   | 12,29   | 1,73                                    | 60        |
| 26.9 | syöte | 0,452  | 24                  | 9,66                                     | 0,37                           | 5,76   | 26,9   | 57,31  | 8,7   | 0,96                                    | 60        |
| 26.9 | syöte | 0,447  | 22,8                | 9,61                                     | 0,22                           | 4,2  | 25,94  | 60,03  | 8,56  | 1,05                                    | 60        |
| 26.9 | syöte | 0,436  | 24,6                | 12,56                                    | 0,37                           | 4,14   | 23,26  | 59,67  | 11,03   | 1,53                                    | 60        |
| 30.9 | 390   | 0,376  | 16,5                | 17,32                                    | 1,35                           | 34,19  | 47,14  | 15,18  | 2,05  | 0,09                                    | 60        |
| 30.9 | 390   | 0,375  | 16,6                | 17,77                                    | 1,21                           | 33,65  | 47,37  | 15,54  | 2,16  | 0,07                                    | 60        |
| 30.9 | 390   | 0,376  | 16,5                | 17,32                                    | 1,42                           | 33,65  | 47,61  | 15,19  | 2,06  | 0,07                                    | 60        |
| 30.9 | 390   | 0,38   | 16,2                | 15,79                                    | 1,51                           | 35,94  | 46,76  | 13,84  | 1,89  | 0,06                                    | 60        |
| 30.9 | 540   | 0,500  | 16,3                | 2,06                                     | 0,47                           | 6,98   | 42,35  | 48,14  | 1,85  | 0,21                                    | 60        |

|      |       |       |      |       |      |       |       |       |       |      |    |
|------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|----|
| 30.9 | 540   | 0,492 | 17,8 | 3,35  | 0,46 | 6,7   | 39,17 | 50,32 | 3,02  | 0,33 | 60 |
| 30.9 | 540   | 0,493 | 17,2 | 2,8   | 0,27 | 6,26  | 39,92 | 50,75 | 2,56  | 0,24 | 60 |
| 30.9 | 540   | 0,500 | 18,1 | 2,63  | 0,58 | 8,52  | 40,68 | 47,59 | 2,47  | 0,16 | 60 |
| 30.9 | syöte | 0,411 | 25,1 | 17,15 | 0,14 | 2,24  | 17,81 | 62,66 | 15,2  | 1,95 | 60 |
| 30.9 | syöte | 0,418 | 25   | 15,67 | 0,17 | 2,67  | 19,45 | 62,04 | 14,05 | 1,62 | 60 |
| 30.9 | syöte | 0,429 | 24,4 | 13,41 | 0,2  | 3,34  | 21,83 | 61,22 | 11,84 | 1,57 | 60 |
| 30.9 | syöte | 0,444 | 23   | 9,46  | 0,26 | 4,58  | 24,6  | 61,1  | 8,46  | 1    | 60 |
| 1.10 | 390   | 0,381 | 16,3 | 15,63 | 1,45 | 36,52 | 46,4  | 13,8  | 1,7   | 0,13 | 55 |
| 1.10 | 390   | 0,379 | 16,3 | 16,15 | 1,42 | 35,84 | 46,59 | 14,17 | 1,85  | 0,13 | 55 |
| 1.10 | 390   | 0,378 | 16,5 | 17,03 | 1,33 | 34,72 | 46,92 | 14,81 | 2,07  | 0,15 | 55 |
| 1.10 | 390   | 0,377 | 16,6 | 17,49 | 1,26 | 34,34 | 46,91 | 15,09 | 2,2   | 0,2  | 55 |
| 1.10 | 540   | 0,502 | 15,8 | 1,87  | 0,37 | 6,88  | 43,96 | 46,92 | 1,66  | 0,21 | 55 |
| 1.10 | 540   | 0,493 | 17,4 | 3,39  | 0,25 | 6,14  | 39,92 | 50,3  | 3,03  | 0,36 | 55 |
| 1.10 | 540   | 0,499 | 17,6 | 2,76  | 0,45 | 7,9   | 41,27 | 47,62 | 2,49  | 0,27 | 55 |
| 1.10 | 540   | 0,497 | 17,5 | 2,66  | 0,41 | 7,45  | 40,54 | 48,94 | 2,35  | 0,31 | 55 |
| 1.10 | syöte | 0,425 | 22,6 | 12,01 | 0,12 | 2,42  | 19,84 | 65,61 | 11,18 | 0,83 | 55 |
| 1.10 | syöte | 0,422 | 24   | 14    | 0,15 | 2,72  | 19,71 | 63,42 | 12,65 | 1,35 | 55 |
| 1.10 | syöte | 0,423 | 24,1 | 13,82 | 0,15 | 2,68  | 20,35 | 63    | 12,46 | 1,36 | 55 |
| 1.10 | syöte | 0,439 | 21,4 | 8,92  | 0,19 | 2,75  | 23,29 | 64,85 | 8,2   | 0,72 | 55 |
| 2.10 | 390   | 0,379 | 16,5 | 16,45 | 1,38 | 35,72 | 46,45 | 14,45 | 1,86  | 0,14 | 55 |
| 2.10 | 390   | 0,38  | 16,4 | 16,37 | 1,39 | 36,23 | 46,01 | 14,2  | 2,04  | 0,13 | 55 |
| 2.10 | 390   | 0,379 | 16,5 | 16,78 | 1,45 | 35,48 | 46,29 | 14,5  | 2,14  | 0,14 | 55 |
| 2.10 | 390   | 0,377 | 16,4 | 17,33 | 1,24 | 33,95 | 47,48 | 14,95 | 2,23  | 0,15 | 55 |
| 2.10 | 540   | 0,504 | 15,6 | 1,69  | 0,32 | 7,1   | 44,58 | 46,31 | 1,48  | 0,21 | 55 |
| 2.10 | 540   | 0,502 | 16,7 | 2,37  | 0,41 | 7,44  | 43,01 | 46,77 | 2,03  | 0,34 | 55 |
| 2.10 | 540   | 0,495 | 17,1 | 2,89  | 0,43 | 6,76  | 40,3  | 49,62 | 2,54  | 0,35 | 55 |
| 2.10 | 540   | 0,495 | 17,4 | 2,62  | 0,52 | 7,13  | 39,97 | 49,76 | 2,36  | 0,26 | 55 |
| 2.10 | syöte | 0,43  | 24,8 | 14,36 | 0,19 | 3,06  | 22,13 | 60,26 | 12,42 | 1,94 | 55 |
| 2.10 | syöte | 0,442 | 22,8 | 9,67  | 0,44 | 3,94  | 24,13 | 61,82 | 8,71  | 0,96 | 55 |
| 2.10 | syöte | 0,432 | 23,9 | 12,72 | 0,35 | 3,19  | 22,06 | 61,68 | 11,02 | 1,7  | 55 |
| 2.10 | syöte | 0,435 | 24,4 | 12,47 | 0,31 | 4,01  | 22,81 | 60,4  | 10,95 | 1,52 | 55 |
| 4.10 | 390   | 0,383 | 16   | 14,83 | 1,56 | 37,77 | 45,84 | 13,04 | 1,6   | 0,19 | 50 |
| 4.10 | 390   | 0,382 | 16,1 | 15,21 | 1,64 | 36,82 | 46,33 | 13,48 | 1,54  | 0,19 | 50 |
| 4.10 | 390   | 0,379 | 16   | 15,52 | 1,4  | 35,62 | 47,46 | 15,01 | 0,37  | 0,14 | 50 |
| 4.10 | 390   | 0,378 | 16,2 | 16,08 | 1,33 | 34,98 | 47,61 | 14,44 | 1,51  | 0,13 | 50 |
| 4.10 | 540   | 0,511 | 15,6 | 1,33  | 0,49 | 8,48  | 46,89 | 42,81 | 1,13  | 0,2  | 50 |
| 4.10 | 540   | 0,503 | 16,7 | 2,41  | 0,56 | 7,96  | 42,85 | 46,22 | 2,08  | 0,33 | 50 |
| 4.10 | 540   | 0,506 | 16,4 | 1,71  | 0,56 | 8,1   | 44,16 | 45,47 | 1,51  | 0,2  | 50 |
| 4.10 | 540   | 0,500 | 16,7 | 1,98  | 0,58 | 7,87  | 41,8  | 47,77 | 1,78  | 0,2  | 50 |
| 4.10 | syöte | 0,448 | 21,9 | 8,27  | 0,27 | 3,88  | 25,67 | 61,91 | 7,48  | 0,79 | 50 |

|       |       |       |      |       |      |       |       |       |       |      |    |
|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|----|
| 4.10  | syöte | 0,44  | 24,1 | 11,46 | 0,33 | 4,26  | 24,38 | 59,57 | 10,15 | 1,31 | 50 |
| 4.10  | syöte | 0,429 | 24,4 | 13,13 | 0,22 | 3,82  | 21,5  | 61,33 | 11,82 | 1,31 | 50 |
| 4.10  | syöte | 0,428 | 24,3 | 12,96 | 0,5  | 3,63  | 21,13 | 61,78 | 11,71 | 1,25 | 50 |
| 9.10  | 390   | 0,379 | 16,1 | 15,74 | 1,54 | 35,45 | 47,27 | 14,32 | 1,27  | 0,15 | 45 |
| 9.10  | 390   | 0,379 | 16,3 | 15,97 | 1,49 | 35,4  | 47,14 | 14,84 | 1     | 0,13 | 45 |
| 9.10  | 390   | 0,38  | 16,3 | 15,72 | 1,49 | 35,99 | 46,8  | 14,03 | 1,59  | 0,1  | 45 |
| 9.10  | 390   | 0,379 | 16,1 | 15,81 | 1,43 | 35,62 | 47,14 | 14,29 | 1,42  | 0,1  | 45 |
| 9.10  | 540   | 0,506 | 15,6 | 1,6   | 0,74 | 7,6   | 44,67 | 45,39 | 1,35  | 0,25 | 45 |
| 9.10  | 540   | 0,507 | 16,2 | 1,71  | 1,2  | 8,31  | 44,17 | 44,61 | 1,48  | 0,23 | 45 |
| 9.10  | 540   | 0,509 | 16,1 | 1,38  | 0,78 | 8,84  | 45,2  | 43,8  | 1,2   | 0,18 | 45 |
| 9.10  | 540   | 0,504 | 16,4 | 1,81  | 0,51 | 7,96  | 43,73 | 45,99 | 1,63  | 0,18 | 45 |
| 9.10  | syöte | 0,417 | 25,4 | 16,25 | 0,47 | 2,95  | 18,74 | 61,59 | 14,22 | 2,03 | 45 |
| 9.10  | syöte | 0,431 | 24,7 | 13,18 | 0,2  | 3,8   | 22,29 | 60,53 | 11,85 | 1,33 | 45 |
| 9.10  | syöte | 0,426 | 24,7 | 13,25 | 0,31 | 3,6   | 21,31 | 61,53 | 12,2  | 1,05 | 45 |
| 9.10  | syöte | 0,447 | 23,4 | 9,4   | 0,36 | 4,82  | 26,08 | 59,34 | 8,66  | 0,74 | 45 |
| 10.10 | 390   | 0,382 | 16,4 | 15,85 | 1,43 | 37,55 | 45,17 | 13,99 | 1,72  | 0,14 | 45 |
| 10.10 | 390   | 0,38  | 16,6 | 16,32 | 1,55 | 36,35 | 45,78 | 14,53 | 1,69  | 0,1  | 45 |
| 10.10 | 390   | 0,384 | 16,3 | 15,1  | 1,67 | 38,48 | 44,75 | 13,68 | 1,32  | 0,1  | 45 |
| 10.10 | 390   | 0,385 | 16,4 | 15,07 | 1,69 | 38,88 | 44,36 | 13,17 | 1,81  | 0,09 | 45 |
| 10.10 | 540   | 0,527 | 16,1 | 0,79  | 1,11 | 12,9  | 49,55 | 35,65 | 0,65  | 0,14 | 45 |
| 10.10 | 540   | 0,519 | 16,4 | 1,09  | 1,42 | 10,82 | 47,38 | 39,29 | 0,93  | 0,16 | 45 |
| 10.10 | 540   | 0,521 | 17   | 1,37  | 1,38 | 12,11 | 46,73 | 38,41 | 1,19  | 0,18 | 45 |
| 10.10 | 540   | 0,517 | 17   | 1,66  | 0,91 | 11,15 | 46,12 | 40,16 | 1,46  | 0,2  | 45 |
| 10.10 | syöte | 0,454 | 24,9 | 9,67  | 1,23 | 6,58  | 26,64 | 55,88 | 8,75  | 0,92 | 45 |
| 10.10 | syöte | 0,462 | 23,1 | 6,69  | 0,79 | 6,66  | 29,13 | 56,73 | 6,17  | 0,52 | 45 |
| 10.10 | syöte | 0,463 | 24   | 8,24  | 0,86 | 7,1   | 29,06 | 54,74 | 7,41  | 0,83 | 45 |
| 10.10 | syöte | 0,448 | 24,3 | 9,6   | 0,68 | 5,69  | 25,84 | 58,19 | 8,74  | 0,86 | 45 |

## K390- ja K540-jakaumien keräilytulokset optimoinnin jälkeen

| K390       |  |                     |                           |                        |                          |                               |                           |                          |                                |
|------------|--|---------------------|---------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Pvm        | Keski-<br>rae_C<br>mm<br>0,38-<br>0,43 | Ha-<br>jonta_C<br>% | <0.315_C<br>2<br>%<br><21 | >0.50_<br>C<br>%<br><8 | 0.40-<br>0.50_<br>C<br>% | 0.315<br>-<br>0.40_<br>C<br>% | 0.25-<br>0.315_<br>C<br>% | 0.16-<br>0.25_<br>C<br>% | 0.00-<br>0.16_<br>C<br>%<br><1 |
| 21.10.2019 | 0,38                                   | 17                  | 17                        | 0,7                    | 39,3                     | 43                            | 13                        | 2                        | 2                              |
| 22.10.2019 | 0,39                                   | 17                  | 17                        | 1                      | 41,9                     | 40,6                          | 12,4                      | 2,2                      | 1,9                            |
| 24.10.2019 | 0,38                                   | 18                  | 18                        | 0,6                    | 39,1                     | 42                            | 12,5                      | 2,5                      | 3,2                            |
| 24.10.2019 | 0,39                                   | 16                  | 15                        | 1                      | 43                       | 41,4                          | 10,8                      | 1,9                      | 1,9                            |
| 4.11.2019  | 0,38                                   | 16                  | 15                        | 1,1                    | 38,7                     | 45,6                          | 12,4                      | 1,5                      | 0,7                            |
| 5.11.2019  | 0,38                                   | 17                  | 16                        | 1                      | 38,2                     | 44,4                          | 12,7                      | 1,9                      | 1,8                            |
| 6.11.2019  | 0,38                                   | 17                  | 18                        | 0,9                    | 36                       | 45,4                          | 13,3                      | 2,2                      | 2,1                            |
| 12.11.2019 | 0,38                                   | 17                  | 19                        | 0,7                    | 36,2                     | 44,2                          | 13,4                      | 2,3                      | 3,3                            |
| 25.11.2019 | 0,38                                   | 18                  | 19                        | 0,9                    | 37,5                     | 42,6                          | 13,2                      | 2,5                      | 3,3                            |
| 25.11.2019 | 0,38                                   | 18                  | 21                        | 0,6                    | 36                       | 42,7                          | 13,5                      | 2,8                      | 4,5                            |
| 26.11.2019 | 0,38                                   | 18                  | 20                        | 0,7                    | 39                       | 40,7                          | 13                        | 2,7                      | 3,8                            |
| 26.11.2019 | 0,38                                   | 17                  | 17                        | 0,6                    | 39,9                     | 42,9                          | 12,2                      | 2                        | 2,4                            |
| 29.11.2019 | 0,38                                   | 16                  | 16                        | 1,1                    | 38,9                     | 43,8                          | 12,2                      | 2,1                      | 1,9                            |
| 2.12.2019  | 0,39                                   | 16                  | 16                        | 1                      | 42,8                     | 40,9                          | 11,1                      | 1,9                      | 2,5                            |
| 3.12.2019  | 0,39                                   | 16                  | 15                        | 0,9                    | 41,9                     | 42,3                          | 11,1                      | 1,9                      | 2                              |
| 3.12.2019  | 0,39                                   | 17                  | 17                        | 0,9                    | 40,8                     | 41,5                          | 11,1                      | 2,1                      | 3,5                            |
| 5.12.2019  | 0,39                                   | 18                  | 18                        | 0,9                    | 40,2                     | 40,9                          | 11,8                      | 2,9                      | 3,3                            |
| 12.12.2019 | 0,38                                   | 18                  | 19                        | 0,8                    | 38,3                     | 41,7                          | 13                        | 3                        | 3,3                            |
| 12.12.2019 | 0,38                                   | 17                  | 18                        | 0,9                    | 37,9                     | 43,2                          | 13,2                      | 2,5                      | 2,3                            |
| 13.12.2019 | 0,39                                   | 17                  | 16                        | 1,1                    | 40,4                     | 42,3                          | 12,2                      | 2                        | 2                              |
| 16.12.2019 | 0,38                                   | 17                  | 19                        | 0,8                    | 36,8                     | 43,6                          | 13,9                      | 2,6                      | 2,4                            |
| 17.12.2019 | 0,38                                   | 18                  | 21                        | 0,9                    | 35,2                     | 42,9                          | 14,8                      | 3,3                      | 3                              |
| 17.12.2019 | 0,38                                   | 18                  | 20                        | 0,8                    | 38,6                     | 40,6                          | 14                        | 3,4                      | 2,7                            |
| 18.12.2019 | 0,38                                   | 19                  | 21                        | 0,9                    | 35,7                     | 41,6                          | 14,6                      | 3,8                      | 3                              |

| <b>K540</b> |   |                              |  |                              |                                    |                                    |  |                                     |                                    |
|-------------|---|------------------------------|--|------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--|-------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Pvm</b>  | <b>Keski-<br/>rae_C<br/>mm<br/>0,51-<br/>0,57</b> | <b>Ha-<br/>jonta_C<br/>%</b> | <b>&lt;0.315<br/>_C1<br/>%<br/>&lt;5</b> | <b>&gt;0.80<br/>_C<br/>%</b> | <b>0.63-<br/>0.80_<br/>C<br/>%</b> | <b>0.50-<br/>0.63_<br/>C<br/>%</b> | <b>0.315<br/>-<br/>0.50_<br/>C<br/>%</b> | <b>0.20-<br/>0.315<br/>_C<br/>%</b> | <b>0.00-<br/>0.20_<br/>C<br/>%</b> |
| 15.10.2019  | 0,52  | 15                           | 2  | 0,4                          | 7,9                                | 50,9                               | 38,6                                     | 1,5                                 | 0,7                                |
| 21.10.2019  | 0,52  | 15                           | 2  | 0,5                          | 8,7                                | 51,7                               | 37,1                                     | 1,3                                 | 0,7                                |
| 31.10.2019  | 0,51  | 16                           | 3  | 0,4                          | 7,7                                | 45,9                               | 43                                       | 2,3                                 | 0,7                                |
| 1.11.2019   | 0,51  | 15                           | 2  | 0,5                          | 8,4                                | 49                                 | 40,5                                     | 1,1                                 | 0,6                                |
| 18.11.2019  | 0,52  | 17                           | 4  | 0,4                          | 10,5                               | 48,8                               | 36,9                                     | 2,6                                 | 0,9                                |
| 24.11.2019  | 0,55  | 17                           | 2  | 1,1                          | 17,8                               | 51,8                               | 27,8                                     | 0,8                                 | 0,7                                |
| 11.12.2019  | 0,52  | 14                           | 1  | 0,3                          | 7,2                                | 52                                 | 39,1                                     | 0,7                                 | 0,7                                |
| 16.12.2019  | 0,53  | 17                           | 2  | 1                            | 13,7                               | 48,7                               | 34,9                                     | 1,4                                 | 0,4                                |