

Jere Muukkonen

HOPEARIKASTEEN KOSTEUSPITOISUUDEN LASKEMINEN

Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Kemiantekniikan koulutus
2020



Centria-ammattikorkeakoulu	Aika 2020	Tekijä/tekijät Jere Muukkonen
Koulutus Kemiantekniikka		<input checked="" type="checkbox"/> AMK <input type="checkbox"/> YAMK
Työn nimi HOPEARIKASTEEN KOSTEUSPITOISUUDEN LASKEMINEN		
Työn ohjaaja Laura Rahikka		Sivumäärä 26 + 1
Työelämäohjaaja Risto Alapiha		
<p>Boliden Kokkolan Puhdistamolla tulee sivutuotteena hopearikastetta, joka viimeisessä vaiheessa suodatetaan painesuotopuristimilla sakaksi, jonka korkea kosteuspitoisuus on ongelma jatkojalostukselle. Työn tarkoituksena oli selvittää, voidaanko suodattimien ajotapaa muuttamalla saada kosteuspitoisuutta laskettua.</p> <p>Puhdistamolla on hopeasakan erottamiseen kaksi painesuotopuristinta. Painesuotopuristimissa kankailla päällystetyt suodatinlevyt puristetaan yhteen, jolloin ne muodostavat sarjan kammioita, joihin kertyy kakku. Levyjen kulmissa olevat reiät muodostavat putken suodokselle ja keskireiät muodostavat syöttöputken. Joka toisessa suodatinlevyssä on liikkuva kalvo, jonka taakse voidaan syöttää vettä, jolloin se puristaa kakkua.</p> <p>Suodatettava liete syötetään suodattimeen keskireikiä pitkin, ja se jakaantuu tasaisesti levyjen välisiin kammioihin. Kankaat läpäisevä suodos poistuu levyjen kokoojauria pitkin suodoslinjoihin ja sakka jää kankaiden pinnalle kakuksi. Paine nousee suodattimessa, kun syöttöä jatketaan ja kakkua kertyy. Kun syöttö on lopetettu, aloitetaan puristusvaihe, jossa kalvolevyihin syötetään puristusvettä ja kalvo puristaa kakusta suodosta pois. Tämän jälkeen kakku pestään syöttämällä sen läpi pesuvettä ja kuivataan syöttämällä ilmaa. Lopuksi levypakka avataan ja kakku putoaa suotopuristimen alla olevalle lavalle.</p> <p>Koevaiheessa testattiin muuttaa suodattimen ajoparametreja, jotta sakan kosteuspitoisuus saataisiin laskemaan. Suodattimen puristusaine on maksimissaan, joten sitä ei kannattanut lähteä muuttamaan. Suodattimessa oli kaksi eri kuivaustapaa, joita testattiin eri pituuksilla. Ongelmana oli myös, että kalvopuristuksen paine putosi puristuksen jälkeen heti nolnaan, kun paineen olisi pitänyt vain pienentyä ilmakeuivauksen ajaksi. Tätä ei kuitenkaan saatu toimimaan kokeiden aikana. Kokeissa pidennettiin ilmakeuivausaikaa ja testattiin ristiinkuivausta, mutta kosteuspitoisuus pysyi samalla tasolla. Lopuksi testattiin myös ilman kuivausta, mikä ei myöskään vaikuttanut kosteuteen merkittävästi, eli ilmakeuivauksella ei tuntunut olevan vaikutusta sakan kosteuteen tai ilma pääsee karkaamaan kulkematta kakun läpi.</p>		
Asiasanat Painesuotopuristin, Suodatus,		

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date 2020	Author Jere Muukkonen
Degree programme Bachelor of chemical engineering		
Name of thesis DECREASING MOISTURE CONTENT IN SILVER CONCENTRATE		
Instructor Laura Rahikka	Pages 26 + 1	
Supervisor Risto Alapiha		
<p>Silver concentrate is a side product at Boliden Kokkola. High moisture in their concentrate is a problem for further processing, so the goal of this thesis was to study ways to decrease the moisture content by optimizing the parameters of their pressure filters.</p> <p>At Boliden Kokkola there are two horizontal pressure filters for separating the silver concentrate. The pressure filters have plates that are covered with filter cloth. When the plates are pressed together, they form a series of chambers. The plates have holes in the corners that form a pipe for the filtrate and holes in the middle of the plates form a feeding pipe. Every other plate has a moving membrane that pressurizes the cake when water is fed behind the membrane.</p> <p>Slurry is fed to the pressure filter by the feeding pipe, and it spreads to the chambers. The filtrate passes the filter cloth and travels to the filtrate pipe in the corners. Bigger particles stay on top of the filter cloth and form a cake. Pressure in the filter rises as more slurry is fed and the cake grows. After the feeding is done, the cake is pressurized by feeding water behind the membranes. This pushes more filtrate out of the cake. Then the cake is washed by feeding water through it and dried by feeding air. Lastly the cake falls down to a platform when the filter is opened.</p> <p>The pressure filters have two options for drying that were tested with different lengths of air feeding. The filter is already operated at the maximum pressure so the pressure was left out as changing parameter. One problem with the filters was that the membrane pressure dropped during the drying phase when it should have still held a smaller pressure for that phase. The tests tried different air-drying times and feeding the drying air through filtrate pipe, but all results showed no change in the moisture content. In the last test the filters were tried without air drying but the moisture content remained similar. The air drying had no effect on the moisture content, or that the air blows out without going through the cake.</p>		

<p>Key words Filtration, Pressure filter,</p>
--

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

Kausaliteetti

Syy-seuraussuhde eli syy tapahtuu ennen seurausta ja syy aiheuttaa seurauksen.

Kovarianssi

Kovarianssi kuvaa riippuvuutta, joka nähdään muuttujien poikkeamissa keskiarvoista. Sillä voidaan mitata lineaarisen yhteyden voimakkuutta.

Kude

Kankaan poikkisuuntainen lanka.

Loimi

Kankaan pituussuuntainen lanka.

Monofilamentti

Rakentuu yhdestä kuidusta.

Multifilamentti

Rakentuu useammasta kuidusta.

Nailon

Muovi, jota voidaan käyttää kankaissa, kuiduissa ja kalvoissa. Siitä voidaan tehdä myös esimerkiksi auton osia.

PEEK

Polyeetterieetteriketoni. Erikoismuovi, jolla on hyvät mekaaniset ominaisuudet ja lämmönkesto. Kestää hyvin happoja ja emäksiä.

Polymeeri

Molekyylit, jossa useat pienet molekyylit ovat liittyneet ketjuksi katalyyttien vaikutuksesta. Esimerkiksi muovi ja kumi ovat erilaisia polymeerejä.

Polyesteri

Polymeeri, jossa esteriryhmät muodostavat keskeisen rakenteen. Käytetään paljon vaatteissa.

Polypropyleeni

Popeenista valmistettu polymeeri. Käytetään usein kalvoissa, kuiduissa, köysissä ja levyissä. Kestää hyvin liuottimia, emäksiä ja happoja.

PVDF

Polyvinyylidifluoridi. Fluoria sisältävä polymeeri, joka on hyvin inertti.

Viskositeetti

Suure, joka kuvaa fluidin, eli usein nesteen tai kaasun, kykyä vastustaa virtausta. Voidaan käsittää fluidin paksuutena.

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 BOLIDEN KOKKOLA	8
3 SUODATUS	9
3.1 Painesuotopuristin yleisesti	10
3.2 Suodatuksen periaatteet	10
3.2.1 Suotoapuaineet	10
3.2.2 Kakkusuodatus	11
3.2.3 Suodatinkangas	11
4 PUHDISTAMON PAINESUOTOPURISTIMET	14
5 KORRELAATIO	15
6 SYÖTTEEN ANALYYSIEN KORRELAATIOT	16
7 SUODATUSKOKKEET	18
7.1 Kokeet 1–4	20
7.2 Kokeet 5–11	20
7.3 Kokeet 12–13	20
8 TULOKSET	21
9 PÄÄTELMÄT	26
LÄHTEET	27
LIITTEET	
KUVIOT	
KUVIO 1. Ilmakuivausajan vaikutus sakan kosteuteen	
KUVIO 2. Syötteen kiintoainepitoisuus	
KUVIO 3. Sakan kosteuspitoisuus	
KUVIO 4. AgSP1, paras korrelaatio sakan kosteudelle	
KUVIO 5. Korrelaatiot 2019	
KUVIO 6. Paras korrelaatio 2019	
KUVAT	
KUVA 1. Neliökudonta	
KUVA 2. Toimikaskudos	
KUVA 3. Reverse dutch kudonta	
KUVA 4. Kaksikerroksinen kudonta	
KUVA 5. Sakkaa kertynyt tippapelleille ja pesuveden kanavaan	

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Ilmakuivaus.....
TAULUKKO 2. Ristiinkuivaus
TAULUKKO 3. Ei kuivausta.....
TAULUKKO 4. Syötteen kiintoainepitoisuuden seuranta

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on hopearikasteen kosteuspitoisuuden laskeminen ja työ tehdään Boliden Kokkolan puhdistamolle. Puhdistamolla tuotetaan sivutuotteena hopearikastetta, joka toimitetaan sakkana Bolidenin Rönnskärin jalostamolle. Lähtötilanteessa sakassa on keskimäärin 25 % kosteutta ja melko suuri hajonta, 3,5 %-yksikköä, joka kuormittaa Rönnskärin jalostamon prosessia, ja he tekivät aloitteen, että puhdistamolla selvitettäisiin mahdollisuutta saada sakan kosteutta pienemmäksi. Tässä työssä keskitytään tutkimaan käytössä olevien suodattimien toimintaa ja sitä, voidaanko suodattimien parametreja muuttamalla vaikuttaa sakan kosteuspitoisuuteen. Työn tavoitteet ovat kosteuspitoisuuden vaihtelun syiden selvittäminen ja keskimääräisen kosteuspitoisuuden laskeminen.

Tehtävänä työssä on perehtyä suodatuksen luonteeseen teoriassa, selvittää mahdollisia syitä kosteuspitoisuuden vaihtelulle, suorittaa koeajoja suodatuksesta ja muodostaa suositus suodatuksen ajotavasta ja parametreista. Työn suodatuskokeet voidaan suorittaa tuotannon suodattimilla.

Tallennetun analyysidatan perusteella voidaan arvioida myös syötteen pitoisuuksien vaikutusta hopeasakan kosteuspitoisuuteen. Syötteen koostumuksessa on paljonkin vaihtelua, joka syntyy alkuperäisen rikasteen pitoisuuksien vaihtelusta ja prosessin muutoksista. Hopean talteenottolaitoksen vaahdotusprosessista saadun, suodattimelle menevän syötteen laatu vaihtelee myös prosessin ajotavan ja operaattorin ajotyylin vaikutuksesta.

2 BOLIDEN KOKKOLA

Boliden Kokkola on Euroopan toiseksi suurin sinkkitehdas, joka aloitti tuotannon Kokkolassa 1969 Outokummun omistuksessa. Boliden osti sinkkitehtaan Outokummulta vuonna 2004 ja rikkihappotehtaan Kemiralta 2010. Vuonna 2014 osaksi tuotantoprosessia lisättiin hopean talteenottolaitos, jossa syntyy lopputuotteeksi hopearikastetta. (Boliden 2020.) Vuonna 2019 Boliden Kokkola tuotti 291 000 tonnia sinkkiä, 326 000 tonnia rikkihappoa ja 20 000 kiloa hopeaa rikasteessa (Boliden 2019).

Kokkolassa Sinkkirikaste voidaan tuoda laivoilla tai junilla tehtaalle ja eri rikasteet sekoitetaan prosessiin sopivaksi seokseksi. Ensimmäisenä rikaste pasutetaan Pasutolla. Sinkkisulfidi palaa pasutusuunissa sinkkioksidiksi eli pasutteenksi. Pasute jauhetaan ja kuljetetaan pasutesiiloon. Syntyvästä rikkidioksidikaasusta valmistetaan sivutuotteena rikkihappoa. Pasute ja sinkkirikaste liuotetaan ja puhdistetaan Puhdistamolla. Pasute ja rikaste liuotetaan rikkihappoliuokseen. Pasutteen liuotuksesta sakeutuu hopea-lyijyrrikaste, joka prosessoidaan hopeantalteenottolaitoksessa hopeasakaksi. Kolmevaiheisessa puhdistuksessa sinkkipulveria lisäämällä saostetaan pois ensin kuparia, toisessa vaiheessa kupari, koboltti ja nikkeli ja kolmannessa vaiheessa kadmium. Sinkkisulfaattiliuos kulkeutuu tämän jälkeen elektrolyysiin, jossa sinkki saostetaan alumiinikatodien pinnalle ja jäljelle jäänyt laimentunut sinkkisulfaattiliuos johdetaan takaisin puhdistamolle. Sinkkikerros irrotetaan katodin pinnalta ja sulatetaan valimolla. Siitä seostetaan ja valetaan asiakkaiden tarpeiden mukaisia sinkkiharkkoja. (Boliden 2020.)

3 SUODATUS

Suodatus on mekaaninen yksikköoperaatio, jolla erotetaan kiintoaineita nesteistä tai kaasusta. Suodatuksen tarkoituksena voi olla nesteen tai kaasun puhdistus, kiintoaineen talteenotto tai molemmat. Suodatuksessa käytetään huokoista kerrosta, jota kutsutaan suotoväliaineeksi ja se voi olla esimerkiksi suodatinkangas. Suotoväliaineen pinnalle muodostuu kasvava kiintoainekerros eli kakku, joka myös toimii suotoväliaineena. Suotoväliaineen läpi kulkeutuva puhdistettu neste tai kaasu on suodos. (Pihkala 2018, 56–57.)

Suodattavat väliaineet voidaan luokitella kahteen eri perustyyppiin, ohutkerroksiin ja paksukerroksiin. Ohutkerroksisia suotoväliaineita ovat esimerkiksi suodatinkangas, suodatinverkko, viira tai suodatinpaperi. Tässä tapauksessa suotoväliaineen aukot ovat pienemmät kuin kiintoainehiukkaset, jotka halutaan poistaa, jolloin vain sitä pienemmät hiukkaset läpäisevät väliaineen. Paksukerroksisessa suotoväliaineessa aukot ovat suurempia kuin kiintoainehiukkaset ja ne voivat kulkeutua pitkiäkin matkoja väliaineessa, mutta jäävät lopulta verkkorakenteen ahtaampiin soluihin ja näin jakaantuvat tasaisesti väliainekerrokseen. Kiintoaineet erotetaan väliainekerroksesta pesemällä vastavirtaan. Paksukerroksinen väliaine toimii paremmin, jos suodatettava aine on esimerkiksi limaista, jolloin ohutkerroksisen suotoväliaineen pinnalle muodostuva kakku tukkeutuu nopeasti ja pysäyttää suodatuksen. (Pihkala 2018, 57–58.)

Suodatuksessa käytettävät laitteet voidaan luokitella vaikuttavan voiman perusteella kolmeen eri ryhmään, painovoima-, paine- ja imusuodattimiin. Suodattimet voivat olla myös jatkuvatoimisia tai jaksoittain toimivia. Painovoimasuodattimia ovat hiekkasuodatin, joka voi olla joko jatkuva tai jaksoittain toimiva ja allassuodatin. Painesuodattimia ovat erilaiset suotopuristimet. Imusuodattimia ovat rumpusuodatin, kiekkosuodatin, tasosuodatin ja nauhasuodatin. Tavallisesti painesuodattimilla saadaan kirkkain suodos. (Pihkala 2018, 60–66.)

Lisäksi teollisuudessa voidaan käyttää suodatusperiaatteella toimivia linkoja erottamaan kiintoaineita, jotka muodostavat huokoisen kakun. Liette syötetään nopeasti pyörivään rumpuun, jonka seinämät on päällystetty suotoväliaineella. Keskipakoisvoiman muodostama paine puskee suodoksen väliaineen läpi. Jaksoittain toimivalla lingolla voidaan kakku kuivata lopettamalla lietteen syöttö ja jatkamalla pyöritystä, jolloin kakussa olevasta nestejäännöksestä saadaan suurin osa pois. Lingolla voidaan näin saada kuivempi kakku kuin paine- tai imusuodattimilla. (McCabe, Smith & Harriot 2005, 1014.)

3.1 Painesuotopuristin yleisesti

Painesuotopuristimessa on levyjä, jotka muodostavat sarjan kammioita, johon kakku kerätään. Levyt voivat olla joko pysty tai vaakasuunnassa ja levyjen rakenne voi vaihdella. Levyjen päälle tulee suotväliaine, joka on usein suodatinkangas. Suodattimen levyt puristetaan yhteen, jolloin levyissä ja suodatinkankaissa olevat kolot muodostavat yhtenäisen putken syötteelle ja suodokselle. Syöte pumpataan paineella tasaisesti levyjen muodostamiin kammioihin ja suodos läpäisee suodatinkankaan ja kulkeutuu levyssä olevia kokoojauria pitkin suodosreikään. Suodatusta jatketaan, kunnes syöte ei enää virtaa tai suodatuspaine nousee. Näin käy, kun kammiot ovat täynnä kiintoaineesta muodostunutta kakkua. Tämän jälkeen kakku pestään syöttämällä pesuvettä kakun läpi, jolloin siitä poistuvat liukenevat epäpuhtaudet. Kakku voidaan kuivata syöttämällä ilmaa tai höyryä, jonka paine ajaa jäännösnestettä pois kakusta. Lopuksi suodattimen pakka avataan, jolloin kakku voidaan poistaa kankaiden pinnalta painovoimaisesti vaakaprässeissä tai kuljettamalla kangasta pakan sivuille pystyprässeissä ja kankaat pestään. (Pihkala 2018; McCabe ym. 2005.)

3.2 Suodatuksen periaatteet

Suodatuksen vaikuttavia tekijöitä ovat käytettävä paine, ali- tai ylipaine, kakun paksuus ja ominaisuudet, suodatettavan lietteen viskositeetti ja lämpötila, lietteen kiintoainepitoisuus, kiintoainehiukkasten koko ja suotväline. Suodatusnopeus kuvaa suodoksen määrää aikayksikössä pinta-alaa kohti. Suodatusnopeuteen vaikuttavat suodattumisen aiheuttava voima, väliaineen aiheuttama virtausvastus, kiintoainehiukkasten koko ja lietteen lämpötila. Suodatusnopeus on suoraan verrannollinen väliaineen eri puolilla vallitsevaan paine-eroon. Kakun ja väliaineen yhdessä muodostava virtausvastus vaikuttavat suodatusnopeuteen merkittävästi ja vastus kasvaa kakun kasvaessa. Hienojakoinen aines muodostaa kakussa suuremman virtausvastuksen ja lietteen lämpötila vaikuttaa liuoksen viskositeettiin. (Pihkala 2018, 56–59.)

3.2.1 Suotoapuaineet

Suotoapuaineella voidaan estää suotvälialaneen tukkeutumista, jos suodatettava liete on limaista tai sisältää erittäin hienoja partikkeleita, jotka tukkivat väliaineen nopeasti. Sekoittamalla suotoapuainetta syötteeseen voidaan sen huokoisuutta kasvattaa, mikä edistää suodoksen läpäisyyä. Suotoapuaine voidaan

myös levittää välianeen pinnalle ennen suodatusta. Suotoapuaineena voidaan käyttää esimerkiksi piimaata, joka on piilevistä saostunut maalaji tai perliittiä, joka on jauhettua vulkaanista kiveä. Suotoapuaineen käytössä tulee huomioida myös sen erottaminen kakusta, jos kakku ei ole jätettä. (Pihkala 2018; McCabe ym. 2005.)

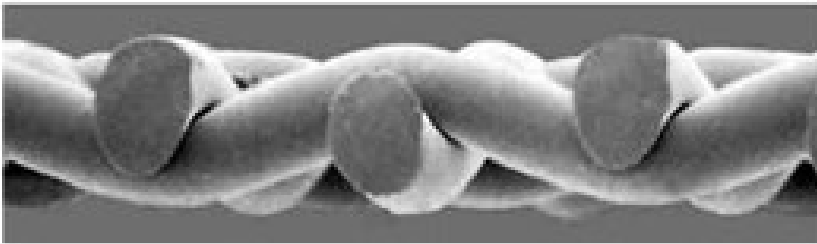
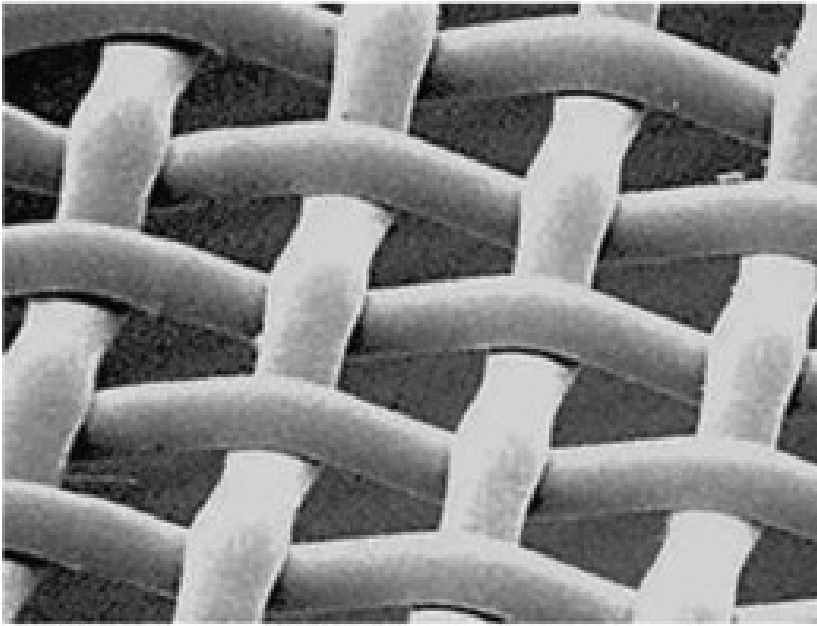
3.2.2 Kakkusuodatus

Kakkusuodatuksessa tärkeimmät tarkkailtavat ominaisuudet ovat suodoksen virtaus ja paine-ero kakun ja väliaineen yli. Suodatuksen edetessä joko suodoksen virtaus pysähtyy tai paine-ero kasvaa. Suodatusta voidaan ajaa joko tasapaineella, jolloin suodoksen virtaus laskee ajan kuluessa tai tasavirtauksena, jolloin painetta kasvatetaan tasaisesti, jotta saadaan tasainen virtaus suodokselle. Kakkusuodatuksessa nesteen läpäisylle on kaksi vastusta, jotka tulevat kakusta ja suotoväliaineesta. Välianeen vastus on normaalisti merkittävä vain suodatuksen alussa, jolloin kakun vastus on nolla. Kakun vastus kasvaa suodatuksen edetessä, koska kakku kasvaa. Kakun pesun aikana vastukset pysyvät samana ja välianeen vastus on yleensä merkityksetön tässä vaiheessa. (McCabe ym. 2005. 1019.)

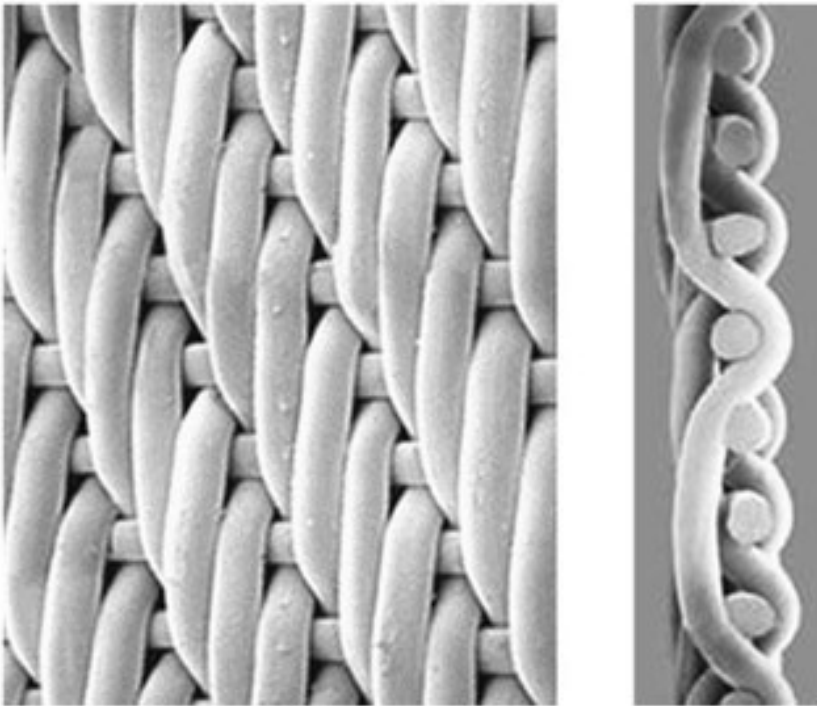
3.2.3 Suodatinkangas

Suodatinkankaan pitää pysäyttää erotettava kiintoaine, se ei saa tukkeutua, sen pitää kestää kemialliset ja fyysiset olosuhteet, kakun pitää irrota siitä eikä se saa olla kohtuuttoman kallis (McCabe ym. 2005, 1018). Suodatinkangasmateriaalina voi olla esimerkiksi polyesteri, nailon, polypropyleeni, PVDF tai PEEK. Suodatinkankaat voidaan erotella kudonnan avonaisuuden mukaan, joka voi olla avonainen eli yli kaksisataa mikrometriä tai suljettu eli yhdestä kahteen sataa mikrometriä.

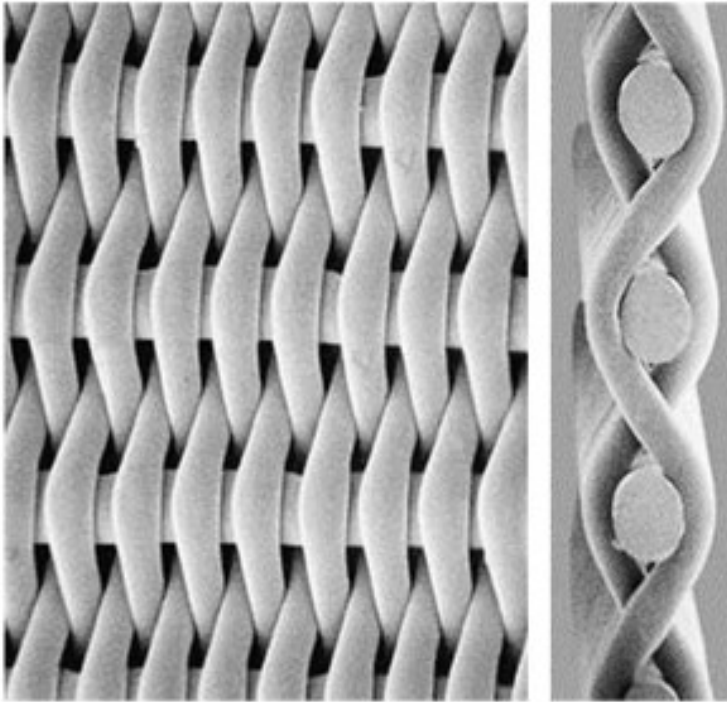
Tavallisessa neliökudonnassa monofilamenttinen kuitu kudotaan yli ja ali -kuviona (KUVA 1). Toimikkaassa kudonnassa monofilamenttinen kuitu kudotaan esimerkiksi niin, että loimi menee kolme yli ja yhden ali (KUVA 2). Reverse dutch -kudonnassa loimikankaita on enemmän kuin kudekankaita (KUVA 3). Kaksikerroksinen kudon voi olla monofilamenttinen tai multifilamenttinen (KUVA 4). Suodatinkankaille määritellään aukinainen alue, langan paksuus ja huokosten koko. Suurempi langan paksuus antaa lujuutta, mutta pienentää aukinaisen alueen osuutta kudoksessa. Kudokselle voidaan antaa prosenttiosuus, joka kuvaa aukinaisen alueen suhdetta langan peittämään alueeseen. (Perlmutter 2015, 10–13.)



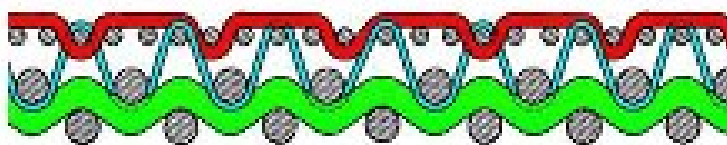
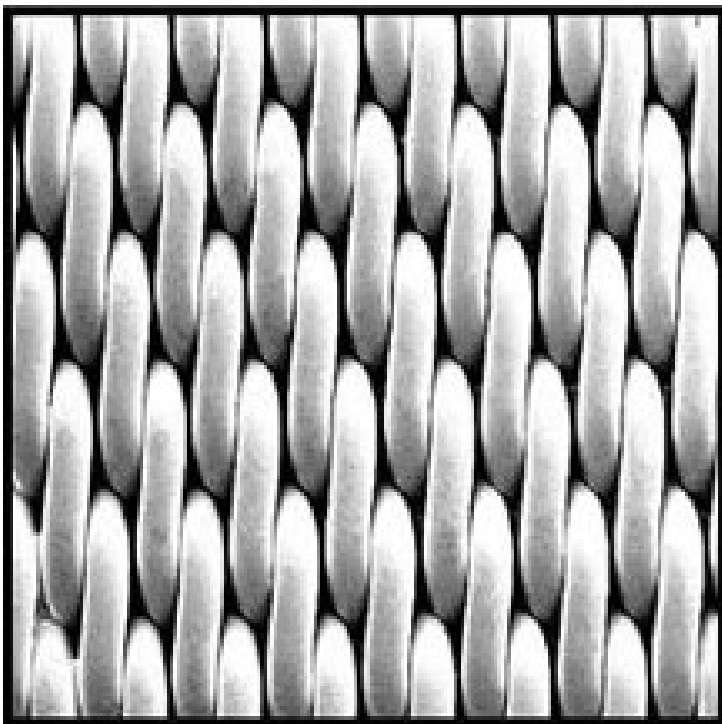
KUVA 1. Neliökudonta (Perlmutter 2015, 11)



KUVA 2. Toimikaskudos (Perlmutter 2015, 12)



KUVA 3. Reverse Dutch kudonta (Perlmutter 2015,12)



KUVA 4. Kaksikerroksinen kudonta (Perlmutter 2015, 13)

4 PUHDISTAMON PAINESUOTOPURISTIMET

5 KORRELAATIO

Korrelaatiolla voidaan kuvata kahden muuttujan välistä riippuvuutta. Riippuvuudelle voidaan määritellä korrelaatiokerroin, joka vaihtelee välillä $-1 \dots 1$. Jos korrelaatiokertoimen arvo on 1, on muuttujien välillä täydellinen riippuvuus eli yhden muuttujan kasvaessa myös toinen kasvaa suhteessa yhtä paljon. Korrelaatiokerroin -1 kuvaa taas käänteistä riippuvuutta. Jos kerroin on 0, ei muuttujien välillä löydy minikäänlaisia säännönmukaisuuksia. (Valli 2015.)

Korrelaatiokertoimen käytössä on myös huomioitava sen heikkoudet. Kerroin ei automaattisesti kerro sitä, vallitseeko muuttujien välillä kausaalinen suhde. Yksittäiset poikkeavat havaintoarvot voivat vaikuttaa kertoimen arvoon huomattavasti. Jos muuttujien välillä on epälineaarista riippuvuutta, sen määrä tulee aliarvioiduksi. Jos tarkasteltavaan ja selittävään muuttujaan vaikuttavat muut muuttujat, niiden yhteinen kovarianssi luetaan ainoastaan selittävälle muuttujalle. (Menetelmäopetuksen tietovaranto 2004.)

6 SYÖTTEEN ANALYYSIEN KORRELAATIOT

Puhdistamolla on käytössä Wedge, josta löytyy prosessin mittaustulosten historia. Jos ohjelmalla etsitään paras korrelaatio AgSP1 suodattimen sakanäytteen kosteudelle aikavälillä 1.1.2015–19.12.2020, huomataan, että vaahdotuksen tuotteen kadmiumpitoisuudella on korrelaatiokerroin -0,62 ja sinkkipitoisuudella korrelaatiokerroin -0,5 (KUVIO 4). Näitä voidaan pitää mahdollisesti merkittävinä korrelaatioina. AgSP2-näytteen kosteuden korrelaatio ei vaikuta AgSP1-näytteen kosteuteen.

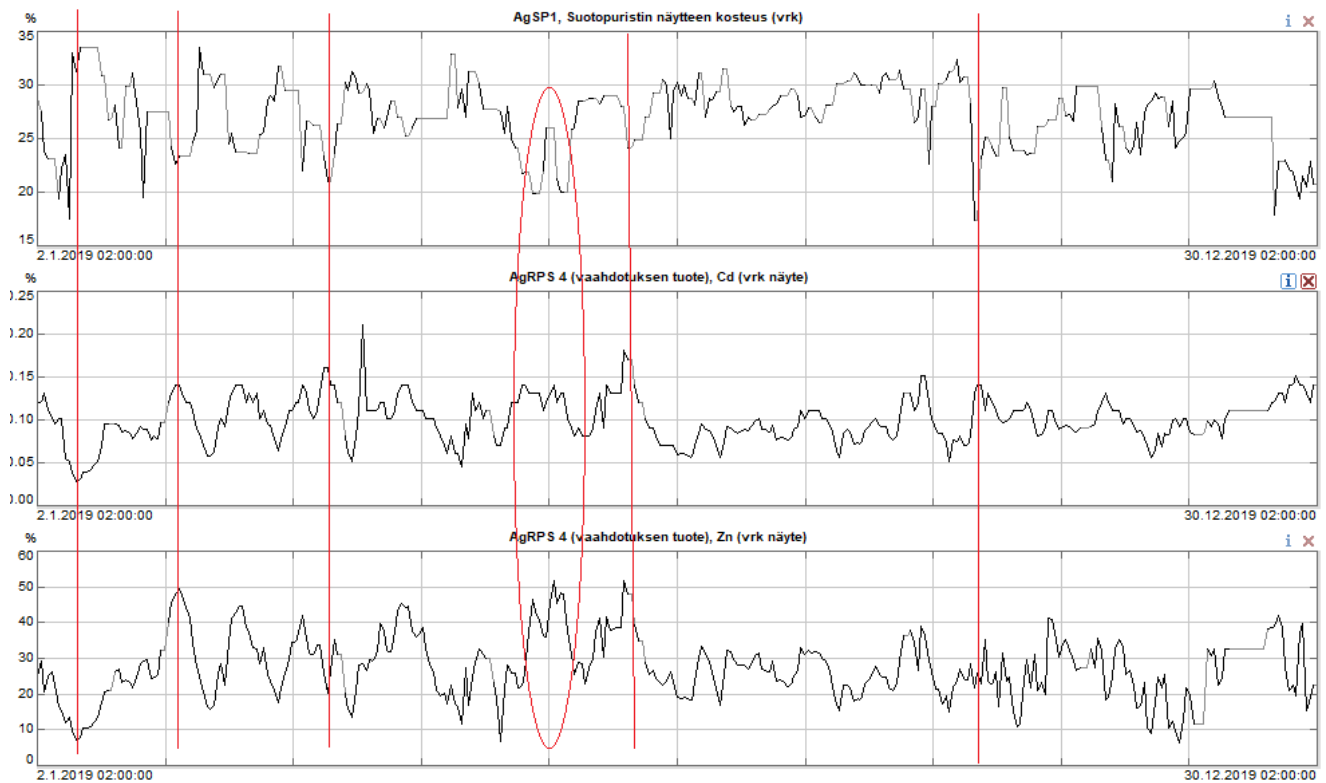
AgSP1, Suotopuristin näytteen kosteus (vrk)

Paras korrelaatio	Mittaus
0.83	AgSP2, Suotopuristin näytteen kosteus (vrk)
-0.62	AgRPS 4 (vaahdotuksen tuote), Cd (vrk näyte)
-0.5	AgRPS 4 (vaahdotuksen tuote), Zn (vrk näyte)
-0.34	AgRPS 4 (vaahdotuksen tuote), Pb (vrk näyte)
0.21	AgRPS 4 (vaahdotuksen tuote), Ag (vrk näyte)
0.2	AgRPS 4 (vaahdotuksen tuote), Sb (vrk näyte)
-0.13	AgRPS 4 (vaahdotuksen tuote), Cu (vrk näyte)
0.13	AgRPS 4 (vaahdotuksen tuote), As (vrk näyte)

KUVIO 4. AgSP1, paras korrelaatio sakan kosteudelle

Jos tarkastellaan tarkemmin kuviota 5, jossa on esitettyä erikseen sakanäytteen kosteuspitoisuus ja suodattimen syötteen kadmium- ja sinkkipitoisuus vuodelta 2019. Kuviossa on havaittavissa piikkejä, jotka seuraavat tätä käänteistä korrelaatiota eli sakan kosteus nousee, kun sinkki- ja kadmiumpitoisuus laskee ja päinvastoin. Jos haetaan paras korrelaatio pelkästään vuoden 2019 kosteuspitoisuudelle (KUVIO 6), kadmiumpitoisuuden korrelaatiokerroin on -0,63 ja pysynyt lähes samana. Sinkkipitoisuuden kerroin on -0,39 eli se on laskenut huomattavasti ja ei välttämättä ole enää merkittävä, vaikka kadmium- ja sinkkipitoisuuksien kuvaajat näyttäisivät seuraavan pitkälti toisiaan.

Suodattimien syötteen alkuainepitoisuudet vaihtelevat paljon ja muuttujia on niin monia, että tarkempia johtopäätöksiä sen perusteella on vaikea tehdä. Sinkin ja varsinkin kadmiumin pitoisuuksilla on kuitenkin selkeästi suuntaa antava vaikutus sakan kosteuteen.



KUVIO 5. Korrelaatiot 2019

AgSP1, Suotopuristin näytteen kosteus (vrk)

Paras korrelaatio	Mittaus
0.88	AgSP2, Suotopuristin näytteen kosteus (vrk)
-0.63	AgRPS 4 (vaahdotuksen tuote), Cd (vrk näyte)
-0.39	AgRPS 4 (vaahdotuksen tuote), Zn (vrk näyte)
-0.37	AgRPS 4 (vaahdotuksen tuote), Pb (vrk näyte)
0.35	AgRPS 4 (vaahdotuksen tuote), Ag (vrk näyte)
-0.2	AgRPS 4 (vaahdotuksen tuote), Cu (vrk näyte)
-0.19	AgRPS 4 (vaahdotuksen tuote), Hg (vrk näyte)
0.16	AgRPS 4 (vaahdotuksen tuote), As (vrk näyte)

KUVIO 6. Paras korrelaatio 2019

7 SUODATUSKOKEET

Suodatuskokeissa muuttuvina parametreina käytettiin ilmakuivausaikaa, ristiinkuivausaikaa ja membraanipuristuksen painetta. Muut suodattimen parametrit jätettiin arvoihin, joissa ne ovat olleet tuotannossa. Operaattoreita haastatellessa selvisi mahdollinen ongelma, kun hopean suotopuristimissa membraanipuristuksen paine tippuu nolnaan ennen ilmakuivauksen alkamista. Tämä todennäköisesti aiheuttaa sen, että liikkuva membraani, joka on puristanut kakkua tiiviimmäksi puristusvaiheessa, palautuu ilmakuivauksen alkaessa ja ilmalle syntyy pakoreitti membraanin ja kakun väliin. Tarkoitus olisi, että membraanipuristukseen jäisi pieni paine ilmakuivauksen ajaksi, mutta tätä ei saatu toimimaan kokeiden aikana ja kokeissa testattiin vain ilmakuivauksen vaikutusta kakun kosteuteen.

Toinen mahdollisesti kakun kosteuteen vaikuttava tekijä löytyi kakun jäämisestä kiinni kankaisiin. Tällöin kakku tippuu kankaiden pesuvaiheessa tippapeltien päälle (KUVA 5) ja kerää kosteutta pesuvaiheessa. Myöhemmin kun ajetaan uusi suodatus, märkä kakku tippuu tuotelavalle uuden kakun mukana tippapeltien auetessa. Märkää kakkua kertyy myös suodattimen pesuveden kanavaan (KUVA 5), josta se myös lapioidaan myöhemmin tuote lavalle. Tämä voi aiheuttaa yksittäisen piikin näytteen kosteuteen, jos märkää kakkua on ollut paljon juuri ennen näytteen ottoa, joka otetaan lavalta.

Liite 1 on koesuunnitelma, jossa määritellään parametrien arvot ja koesuunnitelmaan on lisätty uusia koesarjoja, kun edellisistä kokeista on saatu tuloksia ja huomioita. Yhdellä parametrien arvoilla ajetaan kaksi suodatusta ja molemmista suodatuksista otetaan sakkanäytteet kosteuspitoisuuden määrittämistä varten ja suotopuristimen syötteestä otetaan näyte suodatusten välissä, kiintoainepitoisuuden tarkkailemista varten.



KUVA 5. Sakkaa kertynyt tippapelleille ja pesuveden kanavaan

7.1 Kokeet 1–4

Ensimmäisessä vaiheessa tehtiin neljä koetta, joissa testattiin ensin kuivausta ja sitten ristiinkuivausta kahdella eri ajan arvolla. Suodattimia on aina ajettu normaalilla kuivauksella, mutta siinä on mahdollisuus käyttää myös ristiinkuivausta, jossa ilma johdetaan suodosputkeen, kun se normaalissa kuivauksessa johdetaan syöttöputkeen.

7.2 Kokeet 5–11

Ensimmäisen kokeen tuloksista ei saatu selkeää kuvaa kuivauksen vaikutuksista ja päätin jatkaa kokeita testaamalla enemmän pelkästään ristiinkuivausta, koska sitä ei ollut aiemmin käytetty ja dataa voisi osittain verrata myös tuotannon kosteusprosenttiin, kun suotopuristimissa on käytetty normaalia ilma-kuivausta. Kun kolme sarjan ensimmäistä koetta oli ajettu, huomasin, että AgSP2:lla, jota käytettiin kokeiden suodattimia, membraanipuristuksen paine ei aina saavuttanut tavoitearvoaan 14 baaria eli suodattimen membraanikalvoissa oli todennäköisesti vuoto. Tämän takia siirryttiin ajamaan kokeita AgSP1:llä ja kokeiden 5–7 parametreilla tehtiin kokeet uudestaan.

7.3 Kokeet 12–13

Tässä vaiheessa alkoi näyttää siltä, ettei ilma-kuivausajalla pystynyt juurikaan vaikuttamaan kakun kosteuteen, joten vertailun vuoksi tehtiin kokeet ilman ilma-kuivausta ja myös pienemmällä puristus-
paineella.

8 TULOKSET

Taulukoissa 1 ja 2 on esitettyä hopeasakan kosteus käytetyn kuvausajan mukaan ja kahden kokeen keskiarvo. Taulukossa 1 on kokeet, joissa käytettiin ilmakeivausta ja taulukossa 2 kokeet ristiinkeepivauksella. Ilmakeivauksella neljän kokeen sakan kosteuden keskiarvo oli 25,3 %, joka vastaa keskiarvoa 25,71 %, joka on ollut sakan kosteuden keskiarvo tuotannossa. Ristiinkeepivauksella sakan kosteuspitöisuuden keskiarvoksi tuli myös 25,2 %. Molemmilla keepivaustavöillä kosteuspitöisyys vaihtelee huomattavasti yksittäisellä aikaparametrilla ja reagoi epälineaarisesti ajan muutoksiin.

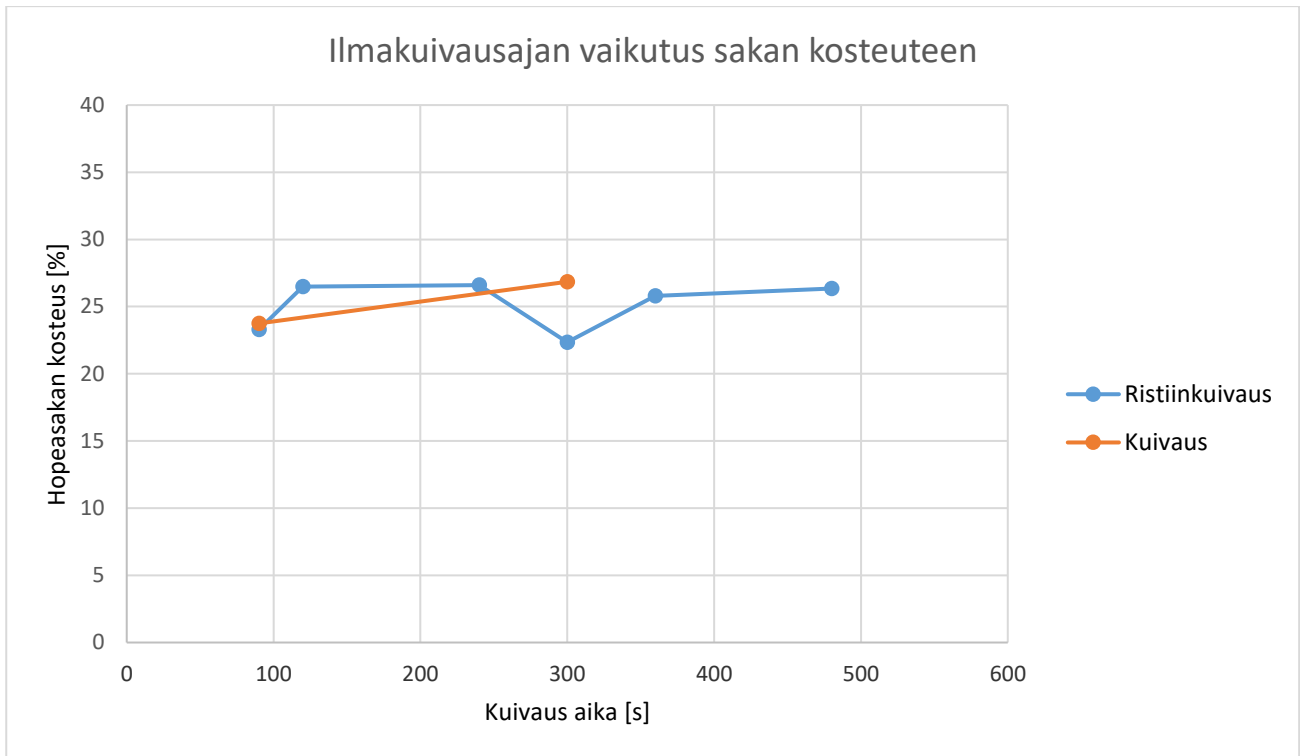
TAULUKKO 1. Ilmakeivaus

Kuivaus		Keskiarvo	
aika [s]	Kosteus [%]	aika [s]	Kosteus [%]
90	24,0	90	23,75
90	23,5	300	26,85
300	25,4		
300	28,3		
Keskiarvo	25,3		
Max	28,3		
Min	23,5		

TAULUKKO 2. Ristiinkuivaus

Ristiinkuivaus		Keskiarvo	
aika [s]	Kosteus [%]	aika [s]	Kosteus [%]
90	21,7	90	23,3
90	24,9	120	26,5
120	27,9	240	26,6
120	25,1	300	22,35
240	27,0	360	25,8
240	26,2	480	26,35
300	22,1		
300	22,6		
360	25,7		
360	25,9		
480	26,3		
480	26,4		
Keskiarvo	25,2		
Max	27,0		
Min	21,7		

Kuviossa 1 on kuvattu molempien kuivaustapojen sakan kosteuspitoisuus kuivausajan mukaan. Ristiinkuivauksen kaksi ensimmäistä koetta olivat yhdeksänkymmenen ja kolmensadan sekunnin kuivausajoilla. Näissä kokeissa kosteus poikkeaa selkeästi muista kokeista, mistä voi päätellä, että syötteen laatu on merkittävästi muuttunut tässä ajassa.



KUVIO 1. Ilmakuivausajan vaikutus sakan kosteuteen

Ilman ilmakuivausta tehdyissä kokeissa sakan kosteuspitoisuuden keskiarvo oli 25,1 % (TAULUKKO 3), joka on lähellä muiden kokeiden keskiarvoa ja tuotannon yleistä kosteuspitoisuuden keskiarvoa.

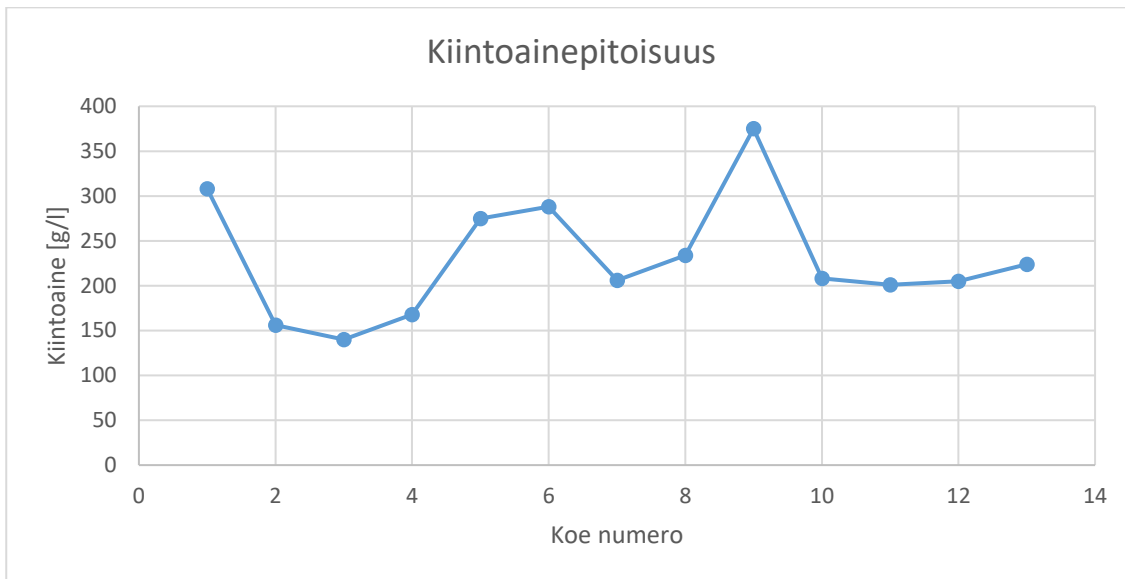
TAULUKKO 3. Ei kuivausta

Ei kuivausta	
Paine [bar]	Kosteus [%]
14	24,8
14	25,2
10	24,9
10	25,5
Keskiarvo	25,1
Max	25,5
Min	24,8

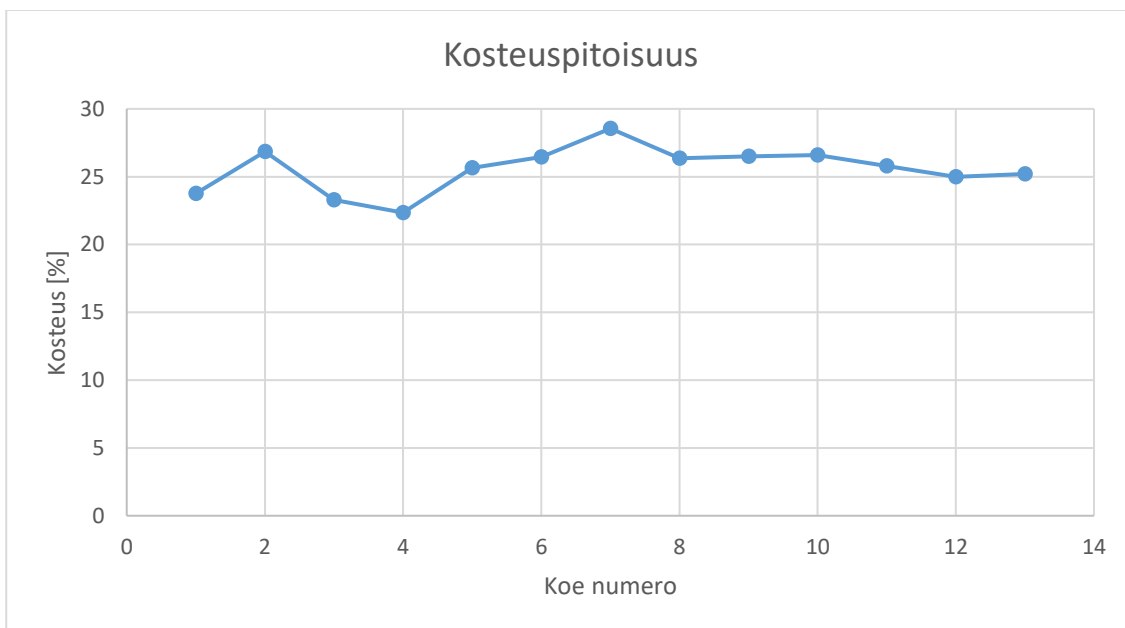
Taulukossa 4 on kokeiden syötteen kiintoainepitoisuuden seuranta ja kosteus. Kiintoainepitoisuuden (KUVIO 2) ja kosteuden (KUVIO 3) korrelaatiosta on vaikea tehdä johtopäätöksi, kun koko ajan on muutettu myös kuivaustapaa.

TAULUKKO 4. Syötteen kiintoainepitoisuuden seuranta

Kiintoainepitoisuuden seuranta		
Koe	kiintoaine [g/l]	Kosteus [%]
1	308	23,75
2	156	26,85
3	140	23,3
4	168	22,35
5	275	25,65
6	288	26,45
7	206	28,55
8	234	26,35
9	375	26,5
10	208	26,6
11	201	25,8
12	205	25
13	224	25,2



KUVIO 2. Syötteen kiintoainepitoisuus



KUVIO 3. Sakan kosteuspitoisuus

9 PÄÄTELMÄT

Työssä tehtyjen kokeiden perusteella vaikuttaisi, että suodattimien ilmakeivaus ei vaikuta juurikaan hopeasakan kosteuspitoisuuteen. Tämä voi johtua siitä, että ilma ei kulje tasaisesti kakun läpi ilmakeivauksen aikana vaan pääsee karkaamaan muuta reittiä pitkin. Puristuksen puuttuminen ilmakeivauksen aikana on yksi mahdollinen tekijä ilman karkaamiselle.

Suodattimien kakun kosteuteen eniten vaikuttavat parametrit ovat puristuksen aika ja paine ja kuivausaika ja tapa. Puristusaine on käytössä maksimissa, minkä voi olettaa olevan paras kosteuden kannalta ja puristusaika on kohtuullinen tuotannon kapasiteetin kannalta. Ilmakeivauksen parantaminen vaatisi lisää tutkimuksia siitä, kulkeeko ilma kakun läpi ollenkaan ja miten sen saisi kulkemaan paremmin.

Pieniä epäkohtia oli kakun kertyminen tippapeltien päälle ja pesuvesien kanavaan, joissa siihen kertyi kankaanpesuvesistä kosteutta ja tämä kostea sakka päättyy myös tuotelavalle, josta näyte otetaan. Tämän vaikutus yleiseen tuotteen kosteuteen on kuitenkin pieni ja yksittäinen. Kokeiden aikana huomasin myös, että toisella suodattimella puristusaine ei noussut haluttuun arvoon mikä johtui membraanikalvon vuodosta, jolloin suodattimelle joudutaan syöttämään enemmän puristusvettä paineen nostamiseen ja parametreista säädetty puristusveden enimmäismäärä lopettaa puristuksen. Trendien perusteella tätä oli esiintynyt suodattimella kesästä asti eli tähän kannattaisi operaattoreiden kiinnittää enemmän huomiota niin puristus saataisiin aina asetusarvoon.

Jos sakan kosteuspitoisuutta halutaan laskea nykyisillä suodattimilla, täytyy tutkia ilmakeivauksen parantamista ja varmistaa, että ilma kulkee kakun läpi. Muuten sakan kuivaukseen joudutaan keksimään muita ratkaisuja.

LÄHTEET

Boliden Kokkola. 2014. NovaTek suotopuristimien käyttöohje. Saatavissa sisäisesti

Boliden, 2019. Q4 Interim report and year-end report 2019. Saatavissa: <https://vp217.aler-tir.com/afw/files/press/boliden/202002135021-1.pdf> Viitattu 18.12.2020

Boliden, 2020. Sulatot, Boliden Kokkola. Saatavissa: <https://www.boliden.com/fi/operations/smelters/boliden-kokkola> Viitattu 18.12.2020

McCabe, W.L., Smith, J.C. & Harriot, P. 2005. Unit operations of chemical engineering. 7. Painos. New York: McGraw-Hill Education.

Menetelmäopetuksen tietovaranto. 2004. Korrelaatio ja riippuvuusluvut. Saatavissa: [Korrelaatiokertomet - KvantiMOTV \(tuni.fi\)](https://www.kvantimotiv.tuni.fi/) Viitattu 21.12.2020

Perlmutter, B.A. 2015. Solid-Liquid Filtration. Oxford: Butterworth-Heinemann. Saatavissa: <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.centria.fi/lib/cop-ebooks/reader.action?docID=1956679&query=filtration> Viitattu 5.10.2020

Pihkala, J. 2018. Prosessitekniikka. 3. Painos. Helsinki: Next print Oy.

Valli, R. 2015. Johdatus tilastolliseen tutkimukseen. 2., uudistettu painos, Jyväskylä: PS-Kustannus

Koesuunnitelma

Hopeasakan kosteuspitoisuuden laskeminen

Vakio parametrit:

- Alkutäytön maksimiaika (600s)
- Kakunpesuaika (300s)
- Ytimen puhallusaika (10s)
- Ravistus aika (30)
- Paineenpoisto aika (20s)
- Puristusveden min määrä (2000ltr)
- puristusveden max määrä suodattimeen (430ltr)
- paineenpoisto 2 (5min)
- Puristusaine (14bar)
- Puristusveden paine pumpun lukitus (16 bar)
- Tyhjennyksen lopetus (200ltr)
- Puristus aika (600s)

Muuttuvat parametrit:

- Kuivaus aika
- Ristiinkuivaus aika
- Puristusaine kuivauksen aikana

Näytteen otto:

Näytettä varten asennetaan näytekouru suodattimen levyjen alle. Sakkanäyte haetaan purun aikana ennen kuin prässi aloittaa kankaiden pesun, jotta näyte ei kastu. Näytekouru täytyy tyhjentää näytteenoton jälkeen. **Näyte haetaan jokaisen suodatuksen jälkeen ja lähetetään labraan.**

Näytteeseen merkataan:

AgSP koe [nro] [pvm] [aika]

AgSYS tulevasta syötteestä otetaan näyte **kerran päivässä** kokeiden välissä ja siihen merkataan:

AgSS koe

Huomioitavaa:

Jos mahdollista pyritään kerryttämään syöttösäiliöön syötettä niin, että voidaan ajaa saman kokeen suodatukset mahdollisimman samankaltaisella syötteellä.

Kakun paksuus vaikuttaa suodatuksen lopputulokseen, mutta muuttuvan syötteen ja laitteen ajomahdollisuuksien kanssa, kakun paksuuteen on vaikea vaikuttaa, joten mahdollisesti muuttuva kakun paksuus täytyy huomioida tuloksia analysoidessa. Kakun paksuus mittausten mukaan on vaihdellut välillä 20–32 mm.

Parametrien muuttaminen

Prässin parametrit sivulta asetetaan kokeen mukaiset ajat kuivaukselle tai ristikuivaukselle.

Kuvan yläreunassa olevasta ”kuivaus käytössä” painikkeesta painamalla valitaan käyttöön kuivaus tai ristiinkuivaus. Vain toinen voi olla käytössä

Myöhemmin ajetaan kokeita, joissa muutetaan mahdollisesti kuivauksen aikaista puristuspainetta.

Koe 1

Kuivaus aika: 90s

Ristiinkuivaus aika: 0s

Koe 2

Kuivaus aika: 300s

Ristiinkuivaus aika: 0s

Koe 3

Kuivaus aika: 0s

Ristiinkuivaus aika: 90s

Koe 4

Kuivaus aika: 0s

Ristiinkuivaus aika: 300s

Yhteensä:

8 Sakka näytettä

Päivittäin syötenäyte

Kun kaikki kokeet on ajettu, palautetaan kokeen 1 mukainen kuivausaika.

Ajetaan lisäkokeita pelkästään ristiinkuivauksella AgSP2:lla

Ajetaan yhden kokeen mukaisilla parametreilla päivän ajan, päivän aikana haetaan **kaksi** koe näytettä peräkkäisistä suodatuksista ja välissä syötenäyte. Näytteet lähetetään labraan.

Koe 5 28.11.

Kuivaus aika: 0s

Ristiinkuivaus aika: 120s

Koe 6 29.11.

Kuivaus aika: 0

Ristiinkuivaus aika: 240s

Koe 7 30.11.

Kuivaus aika: 0s

Ristiinkuivaus aika: 360s

Koe 8 1.12.

Kuivaus aika: 0s

Ristiinkuivaus aika: 480s

Yhteensä:

8 Sakka näytettä

Päivittäin syötenäyte

Ajetaan kokeet 5-7 koetta uudestaan AgSP1:llä. AgSP2 näyttäisi, että puristus ei toimi oikein. Koe 8 ajettu AgSP1.

Koe 9 2.12.

Kuivaus aika: 0s

Ristiinkuivaus aika: 120s

Koe 10 3.11.

Kuivaus aika: 0

Ristiinkuivaus aika: 240s

Koe 11 4.11.

Kuivaus aika: 0s

Ristiinkuivaus aika: 360s

6 Sakka näytettä

Päivittäin syötenäyte

Vertailun vuoksi, ajetaan AgSP1:llä ilman ilma-kuivausta ja toisessa kokeessa pienennetään myös puristuspainetta. Puristuspainetta voi säätää parametrit sivulta.

Molemmista kokeista kaksi sakka näytettä ja syötenäyte.

Koe 12 5.12.

Kuivaus aika: 0s

Ristiinkuivaus aika: 0s

Puristusaine: 14bar (normaali arvo)

Koe 13 6.12.

Kuivaus aika: 0s

Ristiinkuivaus aika: 0s

Puristusaine: 10bar