

KEMIN KAIVOKSEN RIKASTAMON RUMPUSUOTIMIEN
JA
IMUKONEIDEN KÄYTETTÄVYYDEN PARANTAMINEN

Kallinen Antti

Opinnäytetyö
Konetekniikka
Insinööri(AMK)

2021

Konetekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Antti Kallinen	Vuosi	2021
Ohjaajat	Ins.(AMK) Jari Lehtoväre ja Ins. (YAMK) Arto Jäntti		
Toimeksiantaja	Outokumpu Chrome Oy Kemin Kaivos Ins.(AMK) Heikki Rantalankila		
Työn nimi	Kemin kaivoksen rumpusuotimien ja imukoneiden käytettävyyden parantaminen		
Sivu- ja liitesivumäärä	92 + 2		

Opinnäytetyön tilaajana toimi Outokumpu Chrome Oy:n Kemin kaivos. Työn tavoitteena oli etsiä keinoja parantaa rikastamon rumpusuotimien ja imukoneiden käytettävyyttä. Työssä kartoitettiin laitteiston nykytilaa ja verrattiin sitä suunniteltuun toimintaan. Laitteiston nykytila tutkittiin kunnossapitotöiden yhteydessä. Laitteistoon liittyviä vikatietoja kerättiin ja analysoitiin käytettävyysohjelmien paikantamiseksi.

Työ suoritettiin tutkimalla Elijärven kaivoksen kunnossapitotietojärjestelmään tallennettua historiatietoa, haastattelemalla käyttö- ja kunnossapitohenkilöstöä sekä tutkimalla laitteistoon liittyvää kirjallisuutta ja arkistoituja dokumentteja. Työssä kerättiin vikatilastot exceliin ja tehtiin vika-analyysit suurimmille vikatiloille. Työssä myös haastateltiin käyttö- ja kunnossapitohenkilökuntaa ja tutkittiin laitteiston nykytila. Tilastojen ja tutkimusten pohjalta tehtiin syy-seuraus analyysit vikatiloille ja luotiin näiden pohjalta toimenpide-ehdotuksia vikatilojen poistamiseksi.

Työssä löydettiin suurimpia vikatilojen aiheuttajia ja laitteistossa olevia puutteita. Laitteiston nykytilan tutkimuksissa havaittiin korjattavia puutteita sekä rumpusuodattimilla, että imukoneilla. Vikatilat saatiin kategorisoidua ja analysoidua. Vikatilojen syy-seuraus analyysit löysivät ratkaisumalleja vikatiloille. Käyttöhenkilöstön haastattelu paljasti puutteita sekä löysi kehitysehdotuksia laitteistolle. Työssä saatiin selville ratkaisutoimenpiteitä sekä löydettiin jatkotutkimusta vaativia kohteita. Osa tutkimustuloksista jäi kaipaamaan lisätutkimuksia.

Avainsanat

kaivos, vedenpoisto, suodatus, käyttövarmuus, rumpusuodatin, imukone

Mechanical Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Antti Kallinen	Year	2021
Supervisors	Jari Lehtoväre, B.Eng. Arto Jäntti M.Eng.		
Commissioned by	Outokumpu Chrome oy, Kemi Mine Heikki Rantalankila, B.Eng.		
Subject of thesis	Improving usability and reliability of vacuum drum filters and liquid ring vacuum pumps in Kemi mine.		
Number of pages	92 + 2		

The commissioner for this thesis was Outokumpu Chrome Oy Kemi Mine. The aim of the thesis was to find ways to improve the usability and reliability of the dewatering process of chromium concentrate. The current state of dewatering equipment was charted and compared to the original planned operation. The process malfunction data was collected and analysed to find the causes of low usability.

The study consisted of inspecting the current state of the equipment, studying the causes of malfunctions in the process and researching literature sources concerning mineral dewatering equipment. All data concerning dewatering process malfunctions was collected from the Elijärvi Mine maintenance system. A fault analysis was performed to find the worst malfunctions. The process operators of Kemi Mine were interviewed in order to find hidden problems in the dewatering process.

Causes for the worst malfunctions and defects in the dewatering equipment were found in the study. Alarming defects both in the vacuum drum filter and the liquid ring vacuum pumps were revealed in the study of the current state of the equipment. All collected malfunction data was categorized and analysed. Root-cause analysis gave solutions to the problems. The interview of the process crew revealed hidden problems in the process and also possible development proposals. The study offers solutions to the worst problems in the process and offers ideas for further research. The most common causes for process stoppage and faults in the equipment were found in the study. Additionally, some problems were also found that need more research.

Key words Mine, dewatering, filtering, reliability, drum filter, vacuum pump

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	KEMIN KAIVOS	8
2.1	Kaivoksen esittely	8
2.2	Rikastusprosessi.....	9
3	KÄYTETTÄVYYS JA KUNNOSSAPIDON MITTARIT	11
3.1	Kokonaistehokkuus KNL.....	12
4	TYHJIÖRUMPUSUODATIN	13
4.1	Suodatusprosessi	13
4.1.1	Partikkelit suodatuksessa.....	20
4.1.2	Kakun peseminen suodosnesteen erottelua varten	24
4.1.3	Kakun kuivaus.....	25
4.1.4	Kakun erityisominaisuuksia	25
4.1.5	Lietteen suodatettavuus	26
4.2	Tyhjiörumpusuotimen tarkoitus ja rakenne	27
4.2.1	Tyhjiörumpusuodattimen käytön säätäminen	27
4.2.2	Suodattimen käytössä huomioitavaa.....	29
4.2.3	Usean suodattimen käyttö rikasteen vedenpoistossa.....	30
4.3	Suodatinkangas	32
4.3.1	Kankaan rakenne	32
4.3.2	Kankaan esikäsittely.....	34
4.3.3	Kankaan tukirakenne.....	35
4.3.4	Kankaan käyttö.....	35
5	ALIPAINELAITTEET, IMUKONE	37
6	NYKYTILANTEEN KARTOITUS.....	38
6.1	Imusuodattimet	38
6.2	Imukoneet, niiden tyypit ja tekniset tiedot	44
7	KÄYTETTÄVYYTTÄ HAITTAAVAT TEKIJÄT	47
7.1	Vika ja häiriöhistorian analysointi vuodesta 2018 vuoteen 2020.....	47
7.2	Vikatilojen analyysi	50
8	VIKATILOJEN KATEGORISOINTI JA PARETOANALYYSI	54

Konetekniikka
Insinööri (AMK)

8.1	Kuuden suurimman vikatilän juurisyysanalyysi.....	56
8.2	Kankaan tukkeutumisen juurisyysanalyysi.....	56
8.3	Kankaan reikiintymisen juurisyysanalyysi.....	61
8.4	Sykloneiden vikojen juurisyysanalyysi.....	63
8.5	Imukoneiden kiilahihnojen vikojen juurisyysanalyysi.....	65
8.6	Syöttö eli jakopytyn vikatilat.....	67
8.7	Suotimen takakaukalon viat.....	69
8.8	Kankaan käämityslangan viat.....	71
9	AIEMPIEN TOTEUTETTUIEN KEHITYSTOIMIEN VAIKUTUS VIKAANTUMISIIN.....	74
10	KÄYTTÖHENKILÖSTÖN HAASTATTELUT.....	75
11	HAVAITUT PUUTTEET LAITTEISTOSSA.....	79
12	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	80
12.1	Vikatilojen tutkimuksen tulokset.....	80
12.2	Haastattelujen tulokset.....	82
12.3	Laitteiston nykytilan tutkimuksen tulokset.....	84
12.4	Suosittelavat toimenpiteet käytettävyyden parantamiseksi.....	85
12.4.1	Kankaan elinkaaren parantaminen.....	85
12.4.2	Imukoneiden kuormitus ja kunto.....	87
12.4.3	Syöttöpyttyjen elinkaaren parantaminen.....	87
12.4.4	Linjastomuutos käyttövarmuuden parantamiseksi.....	88
12.4.5	Ajoparametrien säätäminen.....	88
13	POHDINTA.....	90
	LÄHTEET.....	91
	LIITTEET.....	92

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

KNL	Tuotannon kokonaistehokkuus, joka lyhennetään KNL, muodostuu käytettävyydestä (K), toiminta-asteesta (N), ja laatukertoimesta (L). Näiden kolmen osatekijän tulo määrää tuotannon kokonaistehokkuuden. (Järviö & Lehtiö. 2017.)
K	Kohteen kyky olla tilassa, jossa se kykenee tarvittaessa suorittamaan vaaditun toiminnon tietyissä olosuhteissa olettaen, että vaadittavat ulkoiset resurssit ovat saatavilla. (Järviö & Lehtiö. 2017.)
N	Toiminta-aste, joka on tuotantomäärä jaettuna nimellistuotantokyky kerrottuna käyttöajalla. (Järviö & Lehtiö. 2017.)
L	Laatukerroin (L) kertoo, kuinka paljon tuotetusta määrästä on laadullisesti puutteellista (Järviö & Lehtiö. 2017.)
Kakku	Suodatusprosessissa suodatusmateriaaliin jäävä kiinteä aine, suodos.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tilaajana on Outokumpu Chrome Oy. Työ tehdään Elijärven kaivoksen rikastamolla. Työssä tutkitaan rikastamon imukoneita ja rumpusuotimia tarkoituksena parantaa niiden käytettävyyttä. Työssä kartoitetaan laitteiston nykytilaa ja verrataan sitä suunniteltuihin ja valmistajan antamiin nimellisarvoihin ja etsitään poikkeavuuksia, jotka heikentävät käytettävyyttä. Työssä tutkitaan myös laitteiston historiatietoja ja kirjataan ylös vuosien 2018-2020 ilmoitetut vikatilat ja analysoidaan vikaantumista. Työhön haastatellaan myös käyttö- ja kunnossapitohenkilökuntaa pyrkimyksenä selvittää laitteiston ajotavat, parametrit sekä poikkeavuudet eri vuorojen välillä.

Teorian tukena käytetään Lapin ammattikorkeakoulun kirjaston kirjoja, internetistä saatavaa kirjallisuutta, laitteiston valmistajan tarjoamia dokumentteja sekä Elijärven kaivoksen arkistomateriaalia.

2 KEMIN KAIVOS

2.1 Kaivoksen esittely

Kemin kaivoksen omistaa Outokumpu Chrome Oy, joka on Outokumpu Oyj:n tytäryhtiö. Kaivos sijaitsee Keminmaan kunnan alueella Elijärvellä. Kemin kaivos on Euroopan unionin alueen ainoa kromikaivos. (Kaivosvastuu 2021.)

Lautiosaarelainen sukeltaja Martti Matilainen poimi sattumalta kromilohkareita Veitsiluodon Kemin tehtaille johtavan makeavesikanavan tuntumasta. Matilaisella oli aikaisempaa kokemusta kivilajeista entisestä työstään ja niin hän osasi lähettää niistä näytteet Vuoksenniskan laboratorioon Helsinkiin. Näissä näytteissä ei vielä ollut kromia, eivätkä ne muutenkaan kiinnostanut geologeja. (Särkikoski 2005.)

Myöhemmin Matilainen lähetti näytteet Geologiselle tutkimuslaitokselle, jossa reagoitiin nopeasti ja sieltä lähetettiin oma geologi Pentti Ervamaa Kemiin. Ervamaa lähti itse kalareissulle Tenojoelle ja jätti työkalunsa Matilaiselle, joka innostui etsimään uusia kiviä kanavan varresta. Tällä kertaa hän löysikin erikoisempia ei-magneettisia metallimalmeja. Hän oli löytänyt Länsi-Euroopassa ainutlaatuisen kromimalmiesiintymän. (Särkikoski 2005.)

Paikalle saapui myöhemmin geologisen tutkimuslaitoksen väkeä sekä laitteistoa ja malmilöydös tarkentui 1960 koskemaan seitsemää ja puolta miljoonaa tonnia 30 % kromimalmia. Outokumpu solmi 7.4.1960 valtion kanssa optiosopimuksen, jolla se sai Geologisen tutkimuslaitoksen valtaukset ja käytettäväkseen kromiitteesiintymän tutkimustiedot. Sopimuksen mukaan Outokummun oli täydennettävä alueen tutkimukset omin varoin vuoden 1964 loppuun mennessä. Malmi oli kuitenkin liian köyhää suoraan hyödynnettäväksi ja sen takia alettiin tutkimaan eri prosesseja sen rikastamiseksi. Kemin kaivoksen koerikastamon valmistelutyöt aloitettiin toukokuussa 1965 ja ensimmäiset louhinnat tehtiin 1966. (Särkikoski 2005.)

Kaivos kuuluu osaksi Outokummun omistamaa integroitua ferrokromin ja ruostumattoman teräksen valmistusketjua. Kaivoksen tehtävä on tuottaa kromimalmista tehtyjä kromirikasteita Tornion ferrokromitehtaan raaka-aineeksi.

Kemin kaivos avattiin vuonna 1968. Kaivostoiminta oli avolouhintaa vuoteen 2005 asti. Maanalainen louhinta alkoi vuonna 2003 ja vuodesta 2005 kaikki malmi on louhittu maanalaisesta kaivoksesta. (Kaivosvastuu 2021.)

Malmi esimurskataan maan alla karamurskaimella, josta se kuljetetaan nostokoneen kapassa risteysasemalle ja sieltä rikastamolle. Esimurskattu malmi rikastetaan pala- ja hienorikasteeksi. Rikasteet kuljetetaan kuorma-autoilla Tornion ferrokromitehtaalle. (Kaivosvastuu 2021.)

2.2 Rikastusprosessi

Kemin kaivoksen rikastusprosessi perustuu painovoimaan. Prosessissa ei käytetä kemikaaleja lukuun ottamatta vedenkäsittelyä, jossa käytetään flokkulanttia. Malmisyötteen keskimääräinen kromipitoisuus on 26 % kromi(III)oksidia. (Outokumpu 2013.)

Rikastamon tuotteita ovat palarikaste ja hienorikaste. Palarikasteen koko on 10-120 mm ja kromipitoisuus 35,5 kromi(III)oksidia. Hienorikasteen keskimääräinen raekoko on 0,2 mm ja sen kromipitoisuus on 45% kromi(III)oksidia. (Outokumpu 2013.)

Malmia syötetään murskaukseen noin 2,7 miljoonaa tonnia vuodessa. Murskauksesta palarikastukseen kulkee noin 1,7 miljoonaa tonnia. Osa murskauksesta, eli hienot, kulkee murskevarastoon, noin miljoona tonnia. Palarikastuksesta tulee palarikastetta 400 000 tonnia vuodessa ja palakiveä 270 000 tonnia. Palarikastuksen välituote, jonka määrä on noin 950 000 tonnia, kulkee murskauksen läpi murskevarastoon. Murskevarastolta jauhatukseen ja hienorikastukseen tulee 1,9 miljoonaa tonnia syötettä vuodessa. Jauhatukseen ja hienorikastukseen tulee myös palarikastamon liejua 40 000 tonnia. Jauhatuksesta ja hienorikastuksesta tulee vuodessa 850 000 tonnia hienorikastetta ja 1,1 miljoonaa tonnia rikastushiekkaa. (Outokumpu 2013.)

Rikastamon murskaus on kaksivaiheinen. Ylempi kartiomurskain on asetettu 50 mm:n välykseen ja toinen alempi kartiomurskain on asetettu 10 mm:n välykseen. Murskalla on myös varamurskaimena leukamurska. Murskevarasto on homogeenisointilaitos, joka syöttää hienorikastetta hienorikastamolle. (Outokumpu 2013.)

Palarikastuksessa on käytössä sink-float piiri. Väliaineena toimii piirauta. Palarikastuksessa on pesuseula, kaksi erotusrumpua ja kaksi väliaineseulaa sekä väliaineen puhdistuskierto. (Outokumpu 2013.)

Jauhatusessa on esijauhatus isolla tankomyllyllä (1800 kW Outotec) ja lisäjauhatus pienemmällä tankomyllyllä (560 kW Wärtsilä). Luokittimina toimii kahdeksan Derric seulaa. (Outokumpu 2013.)

Hienorikastamolla on käytössä spiraalirikastus. Spiraalirikastus perustuu painovoimaan eikä tarvitse kemikaaleja. Käytössä on hieno- ja karkeapiiri. Spiraaleja on yhteensä 456 kappaletta. Hienorikastuksen vedenpoistossa on käytössä kolme rumpusuodinta ja niiden kolme imukonetta. (Outokumpu 2013.)

Rikastehiekka pumpataan rikastushiekka altaaseen. Altaita on useampia ja kiintoaines laskeutuu pääosin altaaseen numero seitsemän. Vesi jatkaa matkaa ja selkeytymistä altaassa 4 ja valuu vielä altaaseen 5, josta se pumpataan takaisin rikastamolle. (Outokumpu 2013.)

3 KÄYTETTÄVYYS JA KUNNOSSAPIDON MITTARIT

Tuotannon kokonaistehokkuus (KNL)

Tuotannon kokonaistehokkuus, joka lyhennetään KNL, muodostuu käytettävyydestä (K), toiminta-asteesta (N), ja laatukertoimesta (L). Näiden kolmen osatekijän tulo määrää tuotannon kokonaistehokkuuden. Käytettävyys-kerroin kertoo, kuinka tehokkaasti työaika on käytetty, yksikkönä minuutit. Toiminta-aste ilmaisee, kuinka tehokasta tuotantotoiminta on ollut, yksikkönä tuotantomäärät. Laatukerroin kertoo, kuinka suuri osuus tuotteista voidaan lähettää markkinoille eli huomioidaan hyllyn määrä. (Järviö & Lehtiö 2017.)

Käytettävyys (Availability)

Standardissa SFS-EN 13306:2010 määritetään käytettävyys. Se on kohteen kyky olla tilassa, jossa se kykenee tarvittaessa suorittamaan vaaditun toiminnon tietyissä olosuhteissa olettaen, että vaadittavat ulkoiset resurssit ovat saatavilla. Luotettavuustarkasteluissa määritellään kohteen todennäköisyys, että se kykenee suorittamaan vaaditun toiminnon edellä mainituin lisämäärittelyin. (Järviö & Lehtiö 2017.)

Standardeissa ei ole määritelty käytönaikaista käytettävyyttä. Käytönaikainen käytettävyys antaa todellisemmän kuvan silloin, kun on kyse harvoin käytetyn koneen tai varalaitteen luotettavuudesta. Se lasketaan käyntiaika jaettuna käyntiajan ja kunnossapidon ja käytön vaatiman ajan summalla. (Järviö & Lehtiö 2017.)

Käytön määrän tutkiminen antaa arvokasta tietoa käytön tehokkuudesta. Käytön mittareita ovat käyttö ja käyntiasteet. Käyntiasteella tarkoitetaan käyntituntien suhdetta vertailtavaan kokonaisaikaan. Käyttöaste taas lasketaan hyödyntäen käyttötunteja, joissa huomioidaan joutoaika, varallaolo ja ulkoinen toimintakyvyttömyysaika. Näillä mittareilla voidaan myös selvittää tuotanto-omaisuuden tehokkuuden muutoksia pitkällä aikavälillä. (Järviö & Lehtiö 2017.)

Käyttötehokkuuden laskeminen

Laskenta on aina sovellettava kohteena olevaan prosessiin. Jokaisella prosessilla on ominaispiirteitä, jotka vaikuttavat käyttötehokkuuden laskentaan. Tärkeintä ei kuitenkaan ole absoluuttisen oikeat KNL-luvut, vaan että kyetään seuraamaan tehokkuuden ja tuottavuuden kehitystä pidemmällä aikavälillä.

Käyttöasteen laskennassa lähdetään siitä, että vuodessa on 8760 tuntia. Käyttöaika jaetaan 8760 tunnilla jolloin saadaan käyttöaste. (Laine 2010.)

Lisäksi lasketaan käytettävyys eli K. Laskennassa ei ole jakajana kaikki vuoden tunnit, vaan vuorojärjestelmän mukaiset tunnit ja se aika, minkä laitos on huoltotai korjauseisakissa. Näin saadaan selville, kuinka tehokkaasti koneet ovat toimineet silloin, kun niiden vuorojärjestelmän mukaan tulisi toimia. (Laine 2010.)

3.1 Kokonaistehokkuus KNL

Tässä opinnäytetyössä oli tarkoitus keskittyä käyttötehokkuuden parantamiseen ja laatu ja toiminta-aste sivuutettiin. Lopulta työ painottui luotettavuuden parantamiseen vikatiloja vähentämällä.

Toiminta-asteen (N) seurannalla pyritään selvittämään tuotantolinjan tai osaprosessin kykyä saavuttaa teoreettinen huippusuoritus. Toiminta-aste on lyhykäisyydessään tuotantomäärä jaettuna nimellistuotantokyky kerrottuna käyttöajalla. Kahdelle rumpusuotimelle esimerkkinä laskettuna saadaan 120 tonnia jaettuna 80 tonnia kertaa 1 tuntia. N on tällöin 1.5 eli laitteilla saavutetaan jo 150 % nimellistuotannosta. (Järviö & Lehtiö 2017.)

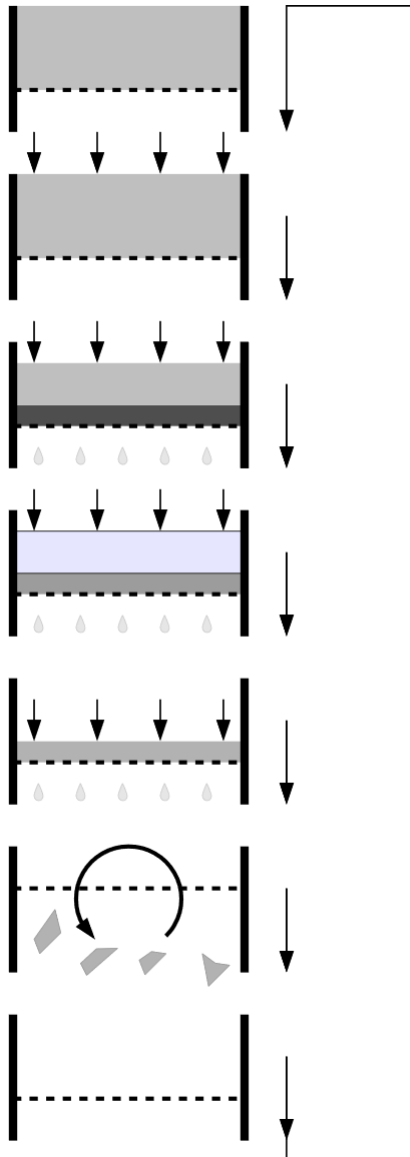
Laatukerroin (L) ilmaisee, kuinka paljon tuotetusta määrästä on laadullisesti puutteellista. Rikastustoiminnassa laatua seurataan rikasteen kromipitoisuudella sekä vedenpoistossa rikasteen kuivuutena. Laatu lasketaan vähentämällä tuotantomäärästä viallisen tuotteen määrä ja jakamalla tulos tuotetulla määrällä. Rikastamalla tuote ei kuitenkaan mene hukkaan samalla tavalla, kuten vaikka konepajatuotannossa, joten laatukerroin on jätetty opinnäytetyön ulkopuolelle. Suurin laatuhukka syntyy hydrosyklonien liiallisen kuristuksen kuljettaessa hienoa rikastetta ylitteeseen. (Järviö & Lehtiö 2017.)

4 TYHJIÖRUMPUSUODATIN

4.1 Suodatusprosessi

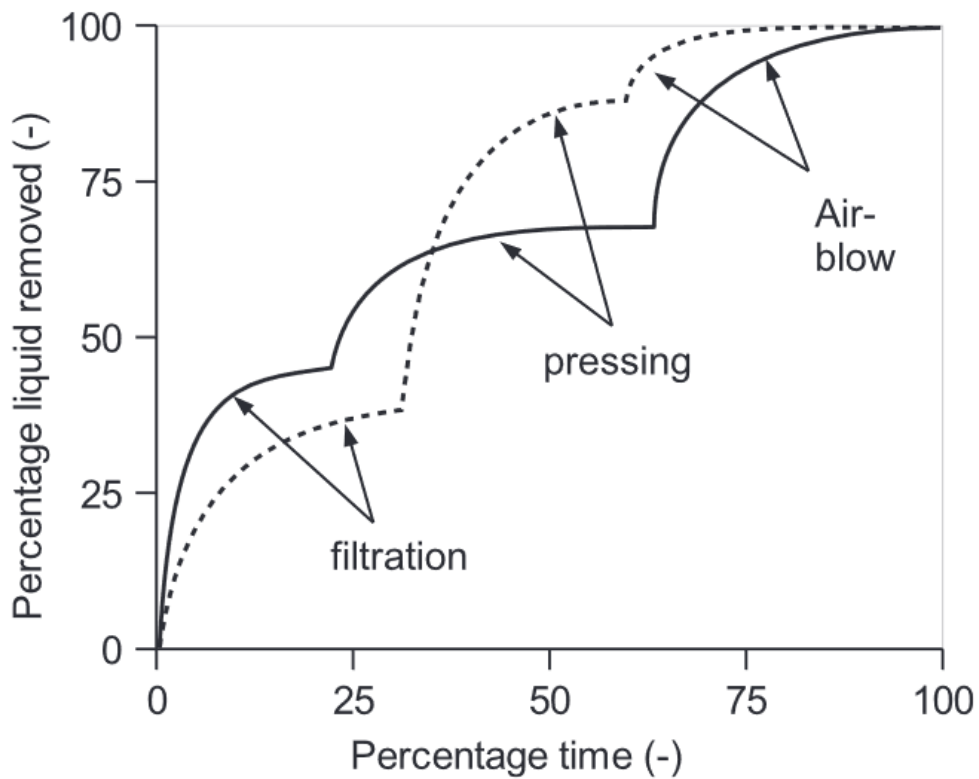
Suodatus on yleensä viimeinen vedenpoistoprosessi. Suodatuksessa lietteestä erotetaan neste suodatusväliainetta tai välikappaletta käyttäen. Väliaineena käytetään sopivaa kangasta tai muuta materiaalia, kuten muoviviiraa. Suodatuslaitteet voidaan jakaa kahteen pääryhmään, imusuodattimiin ja painesuodattimiin. (Lukkarinen 1987.)

Suodatuksessa ja sakeutuksessa vesi ja kiintoaines erotetaan toisistaan, tosin prosessi ei ole täydellinen erotuskyvyltään. Sakeutus ja suodatus eroavat toisistaan siinä, että sakeutuksessa kiintoaine liikkuu nestefaasin läpi ja suodatuksessa neste saadaan paine-eron avulla kulkemaan mineraalikerroksen ja suodatinmateriaalin läpi. (Lukkarinen 1987.) Suodatusprosessin tapahtumaketjussa liete leviää suodinkankaalle, sen jälkeen suodatuksen aiheuttava voima vaikuttaa ja suodosta virtaa kankaan läpi, sitten kakku eli suodate alkaa muodostumaan, jonka jälkeen pesuneste virtaa kakun läpi ja syrjäyttää kantanesteen. Lopuksi kakku kuivataan ojituksella, tai kaasunvaihdolla, kakku poistetaan laitteesta ja kangas puhdistetaan. Tämän jälkeen prosessi alkaa alusta (Kuvio 1). (Sparks 2012, 23.)



Kuvio 1. Suodatusprosessin kulku ylhäältä alas. (Sparks 2012, 24.)

Tärkeintä on, että voidaan muodostaa mahdollisimman kuiva kakku ilman, että kiintoainetta karkaa suodoksen mukana. Tämä vaatii paine-eron suodatinkankaan eri puolille. Imusuodattimessa normaalipaine on kakun muodostumispuolella ja suodatinkankaan takana on alipaine. Imusuodattimessa paine-ero on aina ulkoilman painetta pienempi. Uudella käyttämättömällä kankaalla kakun muodostuminen alkaa, kun yksittäiset rakeet menevät kankaan huokosten läpi. Rakeet kuitenkin nopeasti muodostavat holvit aukkojen päälle, aluksi molekyylivoimien avulla, ja suodatekerros alkaa muodostumaan. (Lukkarinen 1987.) Eri lietteet käyttäytyvät eri tavoin ja menettävät nestettään prosessin eri vaiheissa. (Kuvio 2).



Kuvio 2. Eri lietteet menettävät eri tavoin nestettä. (Sparks 2012, 25.)

Mitä paksummaksi kakku kasvaa, sitä vaikeammaksi nesteen virtaus sen läpi muodostuu. Suodatinkangas myös tukkeutuu aikanaan ja se pitää vaihtaa. Suodatusnopeuteen vaikuttavat monet muuttujat ja yksiselitteisen teorian muodostus on vaikeaa. Osa muuttujista on silti helposti eroteltavissa. Näitä ovat esimerkiksi kiintoaineen ominaisuudet, kuten raekoko, raekoon jakauma, rakeen muoto, aineen tiheys ja ominaispinta-ala, flokkulaatioaste, tsetapotentiaali ja muut pinta-ominaisuudet. Suodinnesteen nestefaasi, sen ionikoostumus, pintajännitys, pH, lämpötila, viskositeetti ja vaahdotustuotteiden mukana nesteeseen liuennut ilma vaikuttavat myös suodatukseen. Laittekohtaisia tekijöitä, kuten käytettävä kangas, paine-ero ja suodatusaika ei voida myöskään ohittaa. Kankaan tukkeutumisista on mahdoton ennustaa matemaattisesti. (Lukkarinen 1987.)

Vuonna 1856 Henry Darcy kehitti vanhimman suodatusteorian.

$$u = k (\Delta p \div L) \quad (1)$$

missä

u	on	veden virtausnopeus [m/s]
k	on	kerroksen huokoisuutta ilmaiseva kerroin
Δp	on	paine-ero [N/m ²]
L	on	kerroksen paksuus [m].

Jos otaksutaan, että nesteen viskositeetti vaikuttaa asiaan saadaan

$$Q = (kA\Delta p) \div (nL) \quad (2)$$

missä

Q	on	kakun läpäisseen suodoksen tilavuus [m ³ /s]
A	on	suodatuspinta-ala [m ²]
n	on	nesteen viskositeetti [Pa·s].

(Lukkarinen 1987.)

Kerroksen huokoisuuteen verrannollinen kerroin k on (3)

$$k = e^3 / 5(1-e)^2 S_v^2$$

missä

e	on	kerroksen huokoisuus
S_v	on	kiintoaineen ominaispinta-ala tilavuusyksikkö kohti.

(Lukkarinen 1987.)

Kun ilmeisesti

$$u = Q/A \quad (4)$$

saadaan yhtälöstä

$$u = \Delta p / nL. \quad (5)$$

Sijoittamalla tähän kaavasta k:n arvo, saadaan

$$U = (e^3 \Delta p) / 5(1-e)^2 S_v^2 nL. \quad (6)$$

Suodatus ja ominaispinta-alan määrittäminen permealiteettimenetelmällä ovat siis saman ilmiön toisintoja. Vanheneva käytetty ja tukkeutuva kangas aiheuttaa vaikeasti määritettävän eron asiaan. Myös kerroksen paksuus muuttuu koko ajan prosessissa. (Lukkarinen 1987.)

Huokoisuus on kaavan mukaan

$$e = V / (V_v + V_s) \quad (7)$$

missä

V_v on tyhjän osan tilavuus

V_s on kiintoaineen tilavuus.

(Lukkarinen 1987.)

Suodatuksessa on kakun muodostuksessa tyhjä tila täynnä vettä, pieni mahdollinen ilmamäärä kuitenkin mukaan luettuna. Kun e tarkoittaa tyhjää tilaa kakun tilavuusyksikköä kohti, saadaan siinä olevan kiintoaineen määräksi

$$V_s = P/p \quad (8)$$

ja siten

$$e = V / (V_v + (P/p)) \quad (9)$$

eli

$$e = (1 - P/p) / (1 - P/p + P/p) \quad (10)$$

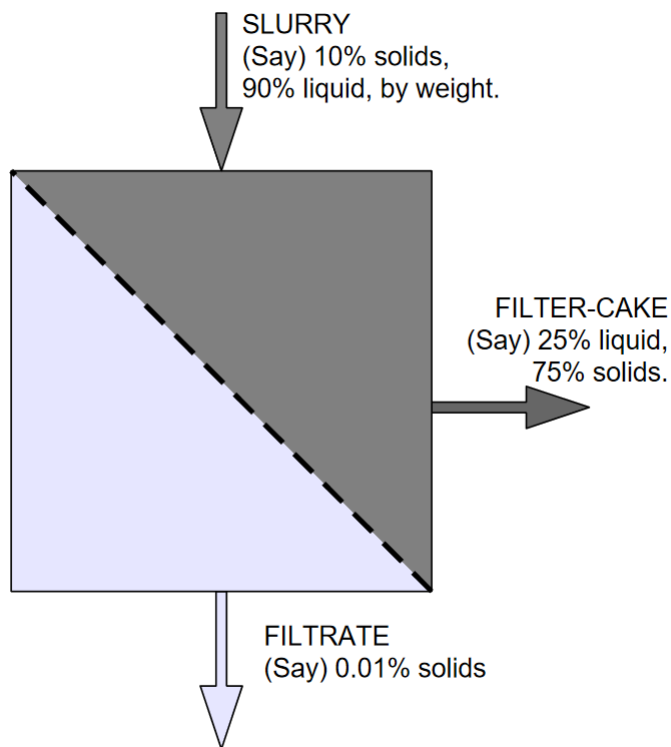
josta tulee

$$e = 1 - P/p. \quad (11)$$

Kun tilavuusyksikössä oleva kiintoaineen osuus P muuttuu, ei myöskään huokoisuus voi pysyä samana, vaan huokoisuus pienenee kiintoainemäärän kasvaessa. (Lukkarinen 1987.)

Teorioita tärkeämpää on pyrkiä mitoittamaan suodatinpinta-ala tehdas-, tai koe-tehdaskokeiden avulla. Jos tähän ei ole mahdollisuuksia, voidaan käyttää niinsanottua Leaf test -laitteistoa. Siinä on suodatinkankaalla päällystetty, tutkittavaan lietteeseen upotettava kehys. Kehys on yhdistetty kokoon puristumattomalla letkulla imupulloon, jonka korkin läpi imetään ilmaa tyhjiöpumpulla. Pullossa on tyhjiömittari. Laitteen avulla selvitetään suodoksen määrä aikayksikössä tietyllä tyhjiöllä ja tästä voidaan laskea virtausnopeus. Kun kehys nostetaan lietteestä määrääjan kuluttua ja imetään sen läpi ilmaa, saadaan simuloitua kakun kuivuminen. Kakku punnitaan, se kuivataan ja punnitaan uudelleen ja voidaan laskea kakun kosteus ilmakuivauksen jälkeen. Näitä kokeita on tehtävä useita ja verrattava tuloksia vastaavanlaisen rikastamon suodatustuloksiin, mikäli mahdollista. Tärkeintä on saada selville, mikä on suodatuskapasiteetti kiintoainetta tonnia tunnissa suodatuspinnan m^2 :ä kohti ja mikä on kakun kosteus tietyllä paine-erolla. (Lukkarinen 1987.)

Yksinkertaisimmillaan jokainen suodatusprosessi voidaan määrittää siihen tulevien ja menevien osien summana (Kuvio 3). Jokainen näistä vaikuttaa suodatusprosessiin. Yksinkertaisimmillaan lietettä syötetään suodattimeen ja ulos saadaan suodatuskakku ja suodinnestettä.

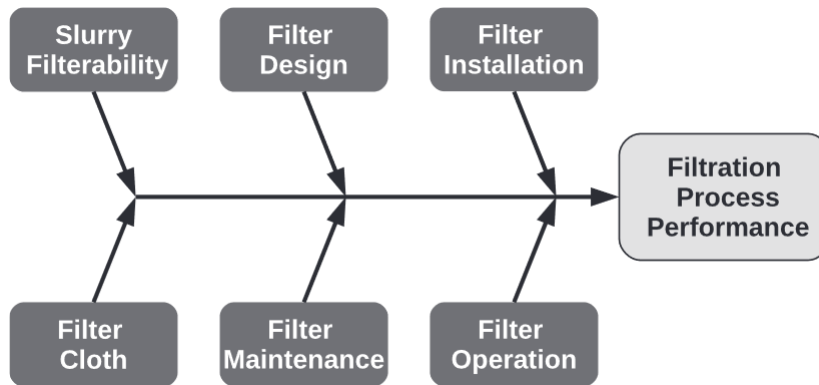


Kuvio 3. Suodatusprosessi yksinkertaistettuna. (Sparks 2012, 5.)

Prosessiin vaikuttavat monet tekijät, kuten sähkönkulutus pumppauksessa, paineilman tuotossa, laitteiston hankintahinta, työvoiman hinta, pesuveden ja muun veden kulutus, kakun kuivaamisen, kuljetuksen, tuotannon ja kulumisen kustannukset, jätteenkäsittelykustannukset ja tuotannon menetykset. (Sparks 2012, 5-6.)

Esimerkkinä kakun kosteudesta on se, että jos mineraalia kuljetetaan pitkiä matkoja, on kannattamatonta ja kustannustehotonta kuljettaa suurta määrää vettä rikasteen mukana. (Sparks 2012, 5.)

Suodatusprosessiin vaikuttaa kuusi erillään olevaa tekijää, joista jokainen vaikuttaa prosessiin, mutta joista yksikin huonosti toimiva tekijä voi pilata prosessin (Kuvio 4). Nämä tekijät ovat lietteen suodatettavuus, suodattimen suunnittelu, suodattimen asennus, suodatuskangas, suodattimen huolto ja suodattimen käyttö. (Sparks 2012, 6.)

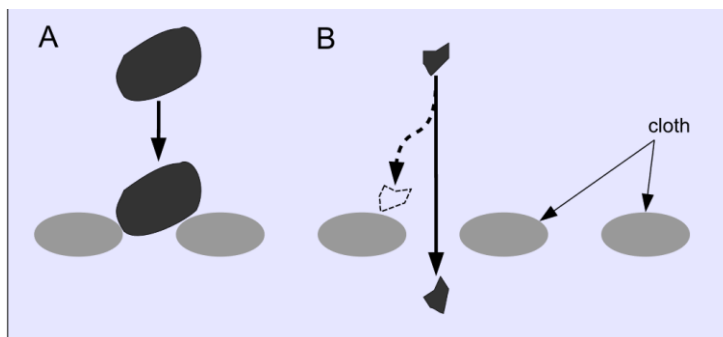


Kuvio 4. Suodatusprosessin tekijät. (Sparks 2012, 6.)

4.1.1 Partikkelit suodatuksessa

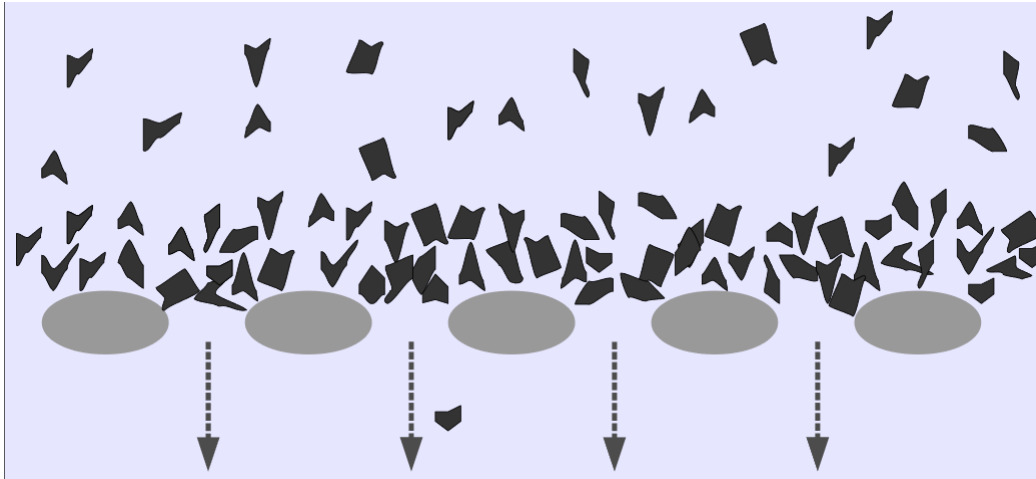
Teollisuuden sovelluksissa lietteessä olevat partikkelit vaikuttavat toisiinsa hyvin löyhästi. Yksittäiset partikkelit saattavat vaikuttaa viereisiin partikkeleihin, mutta eivät juurikaan vaikuta edes muutaman partikkelin päässä oleviin hiukkasiin. Neste, jossa partikkelit ovat kyllä vaikuttaa hiukkasiin ja toimii muutenkin nesteen tavoin.

Hiukkasten koko vaikuttaa suuresti siihen, miten ne vaikuttavat toisiinsa (Kuvio 5). Hiukkasilla voi olla sähköinen varaus ja se vaikuttaa etenkin pienempiin hiukkaskokoihin. Myös nesteen Ph, flokkulantit ja hyydyttimet vaikuttavat hiukkasiin. Yleisesti ottaen nestettä tiheämmät hiukkaset vajoavat ja asettuvat pohjalle minuuteissa, tunneissa, tai päivissä. Vaikuttavan voiman alaisena liete liikkuu kuin neste. (Sparks 2012, 25-26.)



Kuvio 5. Kaksi erikokoista hiukkastyyppeä. Toinen jää kankaan reikään jumiin, toinen kulkee nesteen mukana läpi. (Sparks 2012, 26.)

Jos otetaan pienempi hiukkastyyppe, ja oletetaan niitä olevan valtavasti lietteessä, ne käyttäytyvät eri tavalla (Kuvio 6). Nyt hiukkasten suuri joukko vaikuttaa toisiinsa ja ne törmäilevät ja muodostavat siltamaisia rakenteita kankaan reikien päälle. (Sparks 2012, 27.)

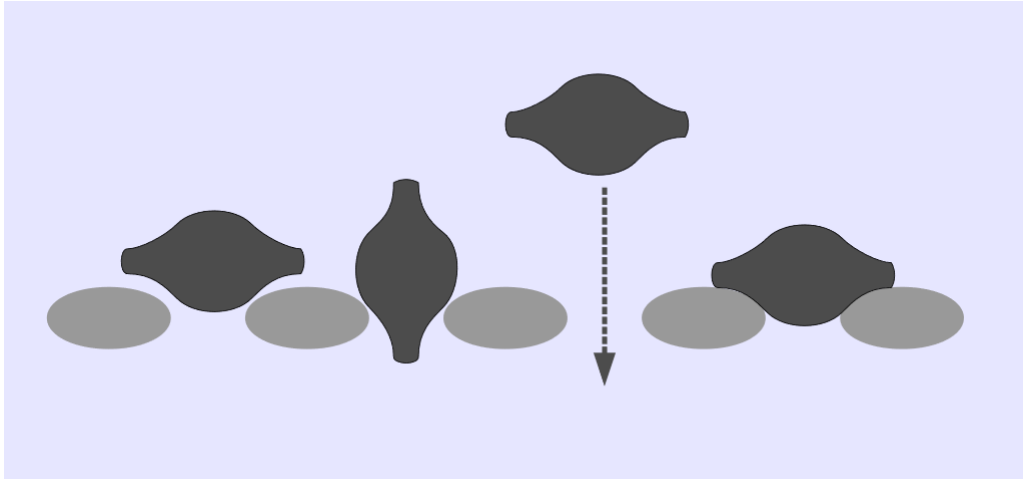


Kuvio 6. Kun pieniä hiukkasia on runsaasti, ne muodostavat siltamaisia rakenteita kankaan reikiin. (Sparks 2012, 27.)

Tästä seuraa, että vaikka yksittäinen hiukkanen kulkeutuisikin lähes aina kankaan reiän läpi, suuressa joukossa niillä on taipumus jäädä vangiksi reikään. Tästä seuraa, että matalammasta nestemäärästä (eli tiheämmästä partikkelimäärästä) saadaan puhtaampaa suodosnestettä. (Sparks 2012, 27.)

Jos hiukkaset ovat teräviä ja/tai kuluttavia, niin jokainen kankaan reiästä läpi menevä hiukkanen voi vahingoittaa kangasta. Liian laiha liete voi siis pienentää kankaan elinikää. (Sparks 2012, 27.)

Isojen partikkeleiden kohdalla voi olla kyse erityisestä käyttäytymisestä suodatinkangasta kohtaan (Kuvio 7). Esimerkiksi partikkeli voi olla sopiva tukkimaan kankaan reiät, tai niillä voi olla vetäviä voimia toisiaan ja kangasta kohtaan. Vaikka isommat partikkelit antavat aiheen olettaa suurempaa suodatustehoa näin ei välttämättä aina ole. (Sparks 2012, 28.)



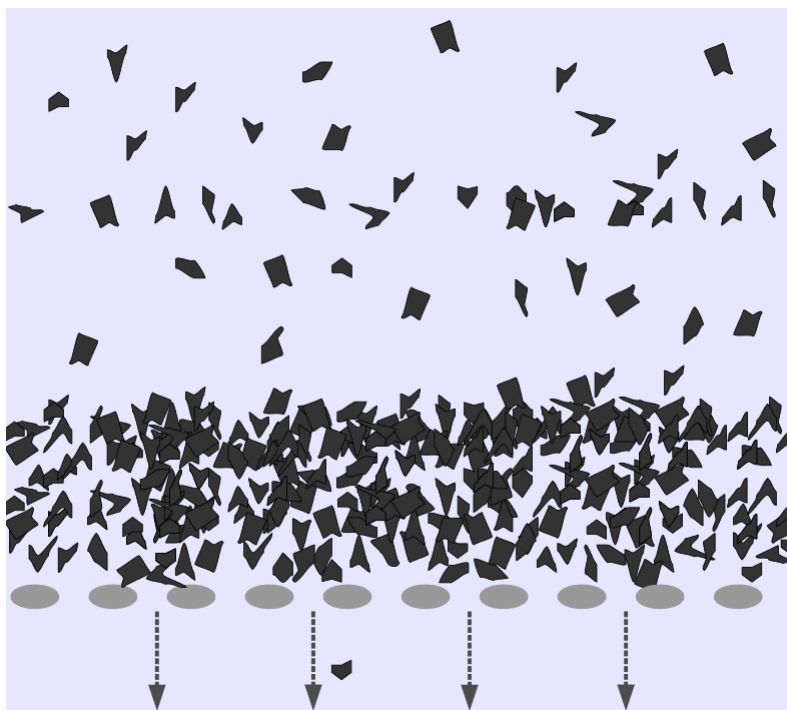
Kuvio 7. Isoja partikkeleja, joilla on kangasta tukkiva erityisominaisuus. (Sparks 2012, 28.)

Muita kakunmuodostuksen alkuvaiheessa vaikuttavia tekijöitä on useampia. Virtausnopeus vaikuttaa niin, että hitaammassa virtausnopeudessa hiukkaset jäävät todennäköisemmin kankaan, tai partikkelimuodostelman vangiksi. Sopivan hellävarainen virtaus kakunmuodostuksen alussa parantaa suodattimen käyttötehokkuutta. (Sparks 2012, 28.)

Nesteen viskositeetti aiheuttaa kitkavoimia hiukkasiin ja jos kitkavoima on suurempi kuin hiukkasta pidättelevät voimat, vetää se hiukkasen kankaan läpi. Nesteen viskositeettiin vaikuttaa suuresti sen lämpötila, joten korkeampi lämpötila voi vaikuttaa positiivisesti suodatukseen. (Sparks 2012, 28.)

Pinnan elektrostaattinen varaus voi vaikuttaa suuresti siihen, miten hiukkaset asettuvat. Hiukkasten muoto vaikuttaa myös siihen, miten hiukkaset asettuvat paikoilleen. (Sparks 2012, 28.)

Suodatusprosessin kakunmuodostuksen alkuvaiheen jälkeen hiukkaset jatkavat asettumista toisten hiukkasten päälle (Kuvio 8). Kakku alkaa nyt toimimaan itse suodatuselementtinä ja onkin siinä erittäin tehokas, koska hiukkasten välit ovat pienempiä kuin kankaan reiät. (Sparks 2012, 29.)

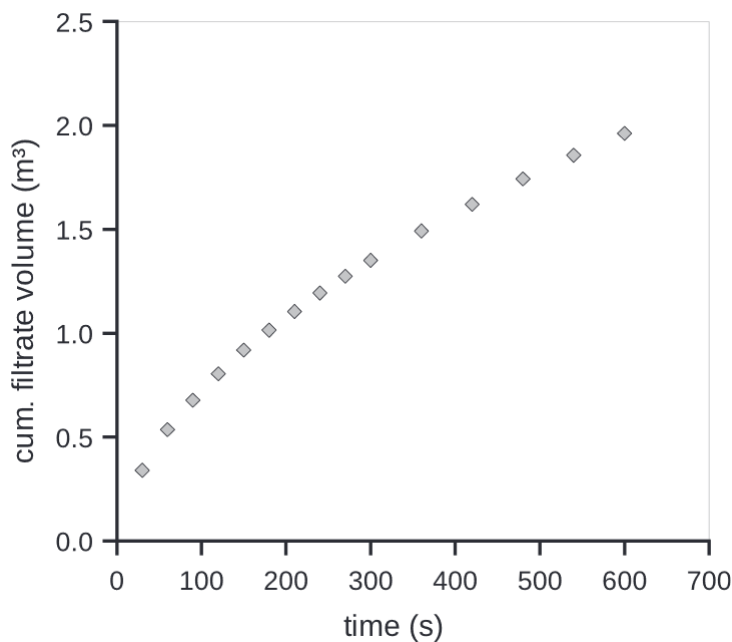


Kuvio 8. Hiukkaset alkavat kasaantua toistensa päälle ja toimivat suodatuskankaan tavoin. (Sparks 2012, 29.)

Hiukkasen joutuessa kakunmuodostukseen on hyvin epätodennäköistä, että se pääsisi enää vapaaksi, varsinkin jos hiukkasia tulee koko ajan lisää. Jotkin, varsinkin erittäin pienet partikkelit voivat kaivaa tiensä suodatinkankaalle asti, mutta kakun paksuuden kasvaessa tämä muuttuu entistä epätodennäköisemmäksi. Suodosvesi voi suodatuksen alussa olla sakeampaa, mutta kirkastuu prosessin jatkuessa. (Sparks 2012, 30.)

Lietteen kiintoainespitoisuudella eli tiheydellä on myös vaikutusta muodostuvaan kakkuun. Suuri määrä kiintoainesta kilpailee kankaan rei`istä ja muodostaa silta-
maisista rakenteita. Täten syntyvä kakku on aukinainen ja läpipäästävämpi ja vaatii vähemmän vedenpoistovoimia. Usein on järkevää esipaksunnaa liete ennen suodattamista. (Sparks 2012, 30-31.)

Suodatusprosessissa nesteen virtaus heikkenee prosessin edetessä ja kakun kasvaessa. Suodatteiden määrä on suhteessa ajan neliöjuureen (Kuvio 9). Toisin sanoen kaksinkertaisen suodosmäärään tarvitaan nelinkertainen määrä aikaa. (Haug 2000.)



Kuvio 9. Suodosmäärän ja ajan suhde. Suodattteen määrä on suhteessa ajan neliöjuureen. (Sparks 2012, 32.)

Suodatuskakku on elintärkeä osa suodatusprosessia, se suojaa kangasta ja puhdistaa suodinnesteen, joten siitä tulisi pitää huolta. Kakunmuodostusvaihe määrittää suurilta osin suodatusprosessin tehokkuuden ja tuoton määrän. (Sparks 2012, 33.)

4.1.2 Kakun peseminen suodosnesteen erottelua varten

Jossain prosesseissa suodosveden ja kiinteiden partikkeleiden erottelu on erittäin tärkeässä osassa, esimerkiksi jos suodosneste sisältää halutun aineksen kuten kallisarvoisen metallin, tai antibioottisen väliaineen. Tällöin käytetään kakun pesua. (Sparks 2012, 33.)

Kakun pesu voi seurata suoraan kakunmuodostusta, jolloin lietesuihku vaihtuu pesunesteeksi, tai muodostunut kakku täytetään pesuvedellä. Parhaassa tapauksessa pesuneste kulkee kakun läpi kauttaaltaan ja korvaa kaiken nesteen ja poistaa kantaneen. Monessa tapauksessa pesuneste ei kykene kulkemaan joka huokoseen ja kantaneesta jää tuotteeseen. (Sparks 2012, 34)

4.1.3 Kakun kuivaus

Muodostunut kakku voidaan kuivata painovoimaisesti, tai yleisemmin ilmakeivillä. Ilmakeivillä kakun sisältämä neste pyritään korvaamaan ilmalla. (Sparks 2012, 38)

Ilmakeivillä alkuvaiheessa nesteen virtaus on suurta helposti poistettavan kosteuden liikkua sekä mahdollisesti putkistoissa ja muissa koloissa olevan nesteen poistua. Alkuvaiheen jälkeen virtaus pienenee huomattavasti ja tarvittava ilmakeivillä kasvaa lisäten kustannuksia. (Sparks 2012, 39.)

Ilmakeivillä neste korvaantuu ilmalla, kosteuskatut katoavat ja lopulta neste poistuu haihtumalla. Lopputulokseen vaikuttavat pintajännitys ja sulkeutuneet huokokset, jotka pitävät kosteutta vankinaan. Ilmakeivillä on kallein kuivausmetodi, mutta, jos ilmakeivilläaika pidetään kohtuullisena on se silti kannattavampaa kuin lämpökuivaus. Ilmakeivilläeseen voidaan käyttää myös kuumaa ilmaa, tai jopa höyryä. Kuuma ilma, tai höyry, lisää nesteen poistumista haihtumisen avulla. (Sparks 2012, 41.)

4.1.4 Kakun erityisominaisuuksia

Ohut kakku päästää helpommin läpi nestettä ja siksi kakun ohuemmat kohdat muodostavat oikoteitä suodinnesteelle ja kuivausilmalle. Paksummat kakun kohdat taas vastustavat ilman ja nesteen virtausta. Kakun epätasaisuus voi johtua monesta seikasta. (Sparks 2012, 41.)

Ensimmäinen syy voi olla huonosti suunniteltu suodinlaite, jossa esimerkiksi lietteen, tai pesunesteen syöttönopeus on liian suuri ja kakku peseytyy pois. Laite voi olla myös suunniteltu eri käyttötarkoitukseen, jolloin esimerkiksi liete on nopeasti suodattavaa ja suodatin on tarkoitettu hitaammalle lietteelle. Muita vaikuttavia syitä ovat kankaan epätasaisuudet, pienet reiät, tai epätasainen sidosaine. Prosessia saatetaan ajaa liian kovaa, tai liian hitaasti. Suodosnopeus voi olla liian suuri. Kakku voi myös kuivuaan halkeilla, jolloin ilma pääsee kulkemaan kakun ohi. (Sparks 2012, 42.)

4.1.5 Lietteän suodatettavuus

Lietteän suodatettavuus ohitetaan helposti itsestään selvänä asiana ja lietteän ajatellaan olevan sellaista, kuin se vaan on, vaikka lietettä voidaan käsitellä helpommin suodatettavaksi. Riippuen prosessin vaatimuksista voidaan harkita voitaisiinko lietteän partikkelikokoa kasvattaa. Tällöin vähennettäisiin suodattamisen kustannuksia, pidennettäisiin kankaan elinikää, pienennettäisiin kakun kosteutta ja saavutettaisiin muita hyötyjä. Jos prosessia ei voi muuttaa, voidaan lietettä silti esikäsitellä. (Sparks 2012, 75.)

Lietteän tiheys eli kiinteän aineen määrä lietteessä on yksi merkittävimmistä tekijöistä suodatuksessa. Tiheämpi liete auttaa luomaan paremman kakun ja suodatusprosessin. Jo 25 kiintoaineprosentin putoaminen 20 kiintoaineprosenttiin muuttaa suodatusprosessia suuresti, tosin vaikutus on vaikeasti ennustettavissa. (Sparks 2012, 77.)

Lietteän tiheydellä on myös suuri vaikutus suodatinkankaan elinkaareen. Jos lietteessä on paljon kiintoainetta ja kiintoainepartikkelit ovat teräviä, tai kuluttavia, on tärkeää, ettei liete pääse liian laihaksi. Lietettä voidaan tihentää prosessin yläpäässä esimerkiksi hydrosykloneilla, sentrifugeilla, tai painovoimaisesti. Myös flokkulantit ja hyydyttimet voivat parantaa lietteän ominaisuuksia. Nämä voivat olla toimivia vaihtoehtoja lisätä kapasiteettia uuden suotimen sijasta. (Sparks 2012, 77.)

Suodatusprosessin lämpötila on myös yksi tekijä. Lietteän korkeampi lämpötila vähentää nesteän viskositeettia ja muuttaa myös hiukkasten käyttäytymistä. Testatessa suodatettavuutta pitäisi lämpötila ottaa huomioon. Lämpimämpi ja matalamman viskositeetin omaava liete vähentää hiukkasiin kohdistuvaa kitkavoimaa ja kakusta muodostuu huokosempi ja läpipäästävämpi. (Sparks 2012, 77.)

Lietteeseen voidaan myös laittaa erilaisia lisäaineita. Kemiallisilla lisäaineilla voidaan vaikuttaa hiukkasten vuorovaikutukseen ja muuttaa niiden muodostamia paukkuja. (Sparks 2012, 78.)

4.2 Tyhjiörumpusuotimen tarkoitus ja rakenne

Tyhjiörumpusuodatin on yleinen ja hyväksi todettu tapa poistaa vettä. Kaikki tyhjiörumpusuotimet toimivat saman periaatteen mukaan. Laitteen ulkopinnan ja sisätilan väliin synnytetään paine-ero tyhjiön avulla. Paine-eron ansiosta neste kulkeutuu suodatinpinnan läpi samalla, kun suodatinmateriaali kerää kiinteät partikkelit ja muodostuu kakku. Suodattimen pyöriessä kakku nousee lietepinnan yläpuolelle ja kakun läpi imetään ilmaa, joka poistaa nestettä. Neste poistuu suotimesta sisäisiä putkistoja pitkin. (Metso 2015.)

Kakun irrotus tapahtuu yleisesti paineilmapuhalluksella. Kakun irrotuksessa on tärkeää, että mahdollisimman vähän kiintoainesta jää tukkimaan suodatinmateriaalia. Paineilmapuhallus voi tapahtua pulsseittain, tai jatkuvana. Kakun irrotus voi tapahtua myös mekaanisesti. Tällöin suodatinmateriaali, yleisesti kangas, kulkee kapean rullan yli niin, että kangas irtoaa rumpusuodattimen pinnasta ja tämä murtaa kakun. Tällaiseen kakun irrotustapaan voidaan myös lisätä paineilma avuksi, kuten niin sanotun ilmaveitsen. (Metso 2015.)

Suodatinrumpuun liitetään myös yleisesti pesuvaihe. Erityisistä pesuputkista suihkutetaan vettä suodinkankaalle, jotta ylimääräinen kiintomateriaali ei häiritse suodatusprosessia. (Metso 2015.)

4.2.1 Tyhjiörumpusuodattimen käytön säätäminen

Rumpusuodattimien säädettävät ajoparametrit ovat pääasiallisesti syöttölaatikon lietepinnan korkeus ja rummun pyörimisnopeus. Muita säädettäviä laitekohtaisia asetuksia ovat venttiilikotelon säädöt (jos mahdollista), tyhjiöpaineen säätö ja paineilmasyökäyksen säätö. (Haug 2000, 5.)

Lietepinnan korkeus määrittää suodatussyklin suhteen. Yleisesti lietepinnan tulisi olla säädettynä maksimitasolle, jolloin saadaan suurin suodatuspinta. Tärkeimmät syyt lietepinnan laskemiseen ovat vaikeasti suodatettavat lietteet, jotka muodostavat ohuen, limaisen, tai geelimäisen kakun ja lietteet, joissa on suuria määriä kiinteitä aineita ja muodostavat todella paksun kakun. (Haug 2000, 5.)

Lietepinnan laskun muutokset voidaan yleistää niin, että pinnan laskeminen:

- pienentää rummun lietteessä olevan pinta-alan määrää
- nostaa kakun muodostumisen ja kuivaamisen välistä aikaa
- pienentää kakun kosteutta
- pienentää kakun paksuutta
- laskee virtausnopeutta per rummun kierros. (Haug 2000, 5.)

Jos lietepinnan korkeutta muutetaan, täytyy venttiilikoppaa säätää. Täytyy huomioida, että Top-feed 2430 suodattimen venttiilijärjestelmässä on reikälevy, jonka asentoa voidaan säätää vain hyvin vähän, jolloin venttiilijärjestelmän säätö vaatii uudelleen koneistetun levyn. Korkea lietepinta antaa siis suurimman mahdollisen suodatuspinta-alan, maksimaalisen kakun muodostuksen per suodatussykli, suurimman kakun paksuuden, korkeimman kakun kosteuspitoisuuden ja suurimman tuoton. (Haug 2000, 6.)

Matala lietepinnan korkeus antaa suurimman kakun kuivausajan, pienimmän kiinteän aineen muodostumisen per suodatussykli, ohuimman suodatuskakun, kuivimman kakun ja pienimmän tuottomäärän. Lietepinnan korkeuden säädöllä muutetaan siis kakun kosteutta, tai kakun paksuutta. Lietepinnan laskeminen vähentää tuottoa. (Haug 2000, 6.)

Toinen säädettävä parametri on rummun pyörimisnopeus. Rummun pyörimisnopeudella voidaan säätää suodattimen tuottoa. (Haug 2000, 5.)

Rummun pyörimisnopeuden nosto:

- lisää suodattimen tuottoa
- pienentää kakun paksuutta
- nostaa kakun kosteuspitoisuutta
- laskee virtausmäärää per suodatussykli. (Haug 2000, 5.)

Suodattimen tuoton kasvattaminen rummun pyörimisnopeutta lisäämällä aiheuttaa kakun kosteuspitoisuuden nousun. Rummun pyörimisnopeutta ja lietepinnan korkeutta säädetään yleensä yhdessä niin, että voidaan optimoida suodattimen tehokkuus. (Haug 2000, 5)

Kakun irrottamiseen käytetyn ilmaiskun säätämisessä on huomioitava, että ilmaiskun tulisi olla mahdollisimman lyhyt, vain sen verran kuin kakun irrotus vaatii, ja että se ei pakota ylimääräistä suodinvettä putkistosta kakun mukaan. Tällöin minimoidaan kankaan kulumisen. (Metso 2013)

4.2.2 Suodattimen käytössä huomioitavaa

Suodattimen operointi vaikuttaa luonnollisesti prosessin lopputulokseen. Se on kuitenkin kaikkein helpoimmin muutettava tekijä. Täytyy silti varoa, ettei käyttämisestä muodostu sellaista, jossa jokaisella operaattorilla ja käyttöinsinöörillä on oma näkemyksensä ja tapansa ajaa laitteita. Vuorojen toiminnan tulisi noudattaa yhtenäistä näkemystä. On mahdotonta seurata suodatusprosessia jos rumpujen nopeuksia vaihdellaan tunnin välein. (Sparks 2012, 153)

Kun tehdään muutoksia prosessiin, tulee ne tehdä yksitellen, jotta muutokset voidaan nähdä ja varmentaa. Jos muutoksia tehdään useampi kerralla, voivat positiiviset vaikutukset peittyä toisten muutosten aiheuttamien haittojen alle. (Sparks 2012, 153.)

Käyttöparametrejä ovat

-imupaine eli tyhjiö

-rummun pyörimisnopeus

-suodatuksen vaiheistusajat (syöttö, pesu, kuivaus, irrotus)

-pesuveden määrä

-lietteen pinnan korkeus. (Sparks 2012, 153-154.)

Jokaisen parametrin vaikutusta voidaan testata ja etsiä optimiparametrejä kokeilemalla. Yksi hyväksi todettu tapa on nimetä tietty henkilö, tai ryhmä, jotka ovat

perehtyneitä suodatusprosessiin ja sen vaikutukseen kokonaisprosessissa. He seuraavat prosessia ja huomaavat poikkeamat prosessissa. (Sparks 2012, 154.)

4.2.3 Usean suodattimen käyttö rikasteen vedenpoistossa

Oletetaan, että käytössä on esimerkiksi kolme rumpusuodatinta, joista kahta ajetaan koko ajan yhden ollessa varalla, ja ne pyörivät 2 kierrosta minuutissa tuottaen 10 mm paksun kakun, joka täyttää tuotannon tarpeen. Herää kysymys kannattaisiko ajaa kolmella rummulla koko ajan, joista yksi aina huollettaisiin tarpeen tullen. Kysymykseen voidaan yrittää vastata matemaattisesti. Rummun kapasiteetti C on suhteessa nopeuden neliöjuureen.

$$C \propto \text{rumpuyksiköiden määrä} * \sqrt{\text{nopeus}} \quad (12)$$

missä

C on rumpujen kapasiteetti. (Sparks 2012, 155.)

Kahden rummun tapauksessa, jotka pyörivät 2 kierrosta minuutissa, se olisi siis

$$C \propto 2 * \sqrt{2} \quad (13)$$

Ja uudessa kolmen rummun tapauksessa

$$C \propto 3 * \sqrt{x} \quad (14)$$

missä

x on uusi pyörimisnopeus.

Jos siis ajetaan samalla kapasiteetilla, saadaan

$$3 * \sqrt{x} = 2 * \sqrt{2} \quad (15)$$

Tästä saadaan uudeksi nopeudeksi

$$x = \left(\left(\frac{2}{3} \right) \sqrt{2} \right)^2 \approx 0.9 Rpm \quad (16)$$

Uusi nopeus on siis huomattavasti pienempi kuin kahdella rummulla ajettaessa. (Sparks 2012, 155)

Lisäksi kakun paksuus on

$$\alpha^* \frac{1}{\sqrt{Nopeus}} \quad (17)$$

eli kolmen rummun järjestelyssä

$$\frac{10 \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{0.9Rpm}} = 15 \text{ mm} \quad (18)$$

(Sparks 2012, 155).

Toisin sanoen koneilla voidaan ajaa hitaampaa ja paksummalla kakulla, jos niitä on kolme kerrallaan ajossa (Taulukko 1). (Sparks 2012, 156.)

Taulukko 1. Laitemäärän vaikutus tarvittavaan pyörimisnopeuteen ja kakun paksuuteen. (Sparks 2012, 156.)

No. of units	Speed (rpm)	Cake thickness (mm)
1	8	5
2	2	10
3	0.9	15
4	0.5	20

Rumpusuotimien pyörimisnopeudella on suora vaikutus suodattimen huollon tarpeeseen. Varsinkin kankaan elinikä on riippuvainen suodatussykliin määrästä ja sitä voidaan käsitellä esimerkiksi kakun irrotuksina per minuutti. Jos aikaisemmin kahdella suotimella ajettaessa irrotuksia tapahtui kaksi kertaa minuutissa per suodin, eli neljästi minuutissa, kolmella suotimella ajaessa irrotuksia tapahtuu vain 3x0.9 kertaa minuutissa, eli 2.7. Voidaankin siis ajatella, että huollon ja varaosien tarve pienenee, vaikka suotimia on ajossa useampi kerrallaan. Kuitenkin

suotimia olisi tyhjiöjärjestelmään kytkettynä yksi enemmän, joten voidaan arvioida, että ilmankulutus kasvaa. Kuitenkin hitaammalla pyörimisnopeudella tarvitaan vähemmän ilmaa paneelien ja putkiston tyhjentämiseen. Ilmaa myös virtaa vähemmän kakun läpi sen ollessa paksumpi. Kakun paksuudesta johtuen kokonaisilmankulutus on luultavasti sama kuin aikaisemmin. (Sparks 2012, 156)

4.3 Suodatinkangas

Suodatinkangas on tärkein yksittäinen osa suodattimessa. Kaikki suodatustoiminta tapahtuu siinä ja väärin valittu tai huonosti hoidettu kangas voi pilata koko prosessin. Kangas on myös suodattimen heikoin osa. Se ei kestä teräviä reunoja, irtokappaleita, tai roskia. Kangas on myös suurimpia kustannuksia suodattimen elinkaaren aikana, joten kankaan valinta kannattaa tehdä huolella. (Sparks 2012, 131.)

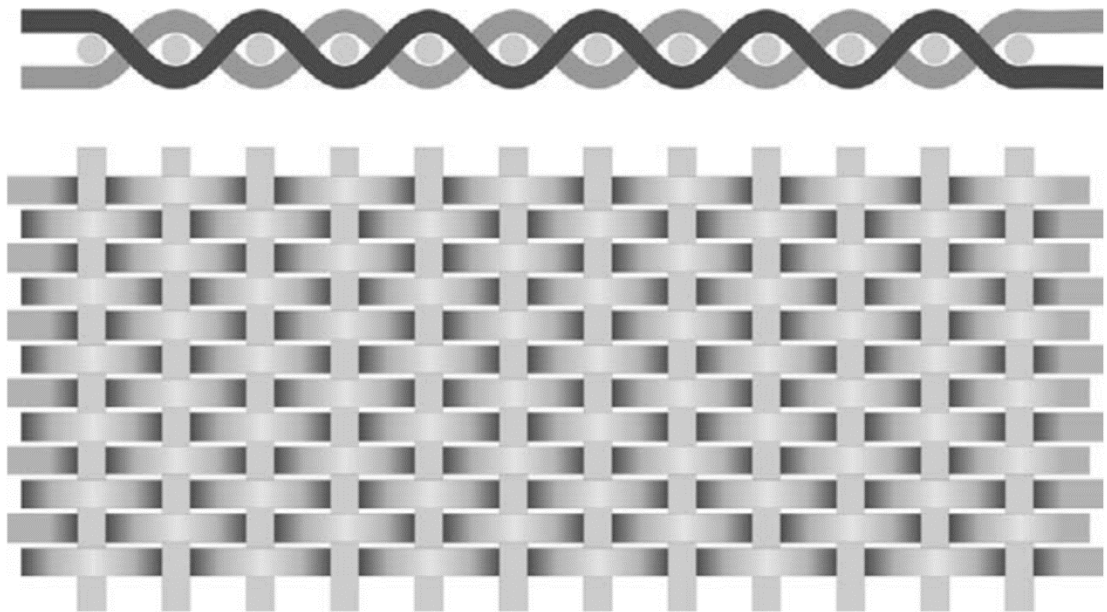
Kangasta valitessa tulisi olla selvillä mitä ominaisuuksia kankaalta halutaan. Suodatusprosessissa ominaisuuksia ovat suodosnesteiden puhtaus, kakun tuotto määrä, kakun kosteus, pesutulos ja kokonaiskustannus. Kangas vaikuttaa myös kakun irrotukseen ja eri kankailla on eri puhdistettavuus ja tukkeutumistaipumus. Kankailla on myös eripituiset elinkaaret, toiset ovat kestävämpiä. (Sparks 2012, 132.)

4.3.1 Kankaan rakenne

Suurin osa suodatuskankaista on eri tavoin kudottuja polymeerikankaita, kuten polyesteri, polypropyleeni ja polyamidi. Harvemmin käytössä olevia kankaita ovat PVDF, tai luonnonkuitu. Myös kutomattomia kankaita, kuten huopakankaita ja papereita on käytössä. (Sparks 2012, 134.)

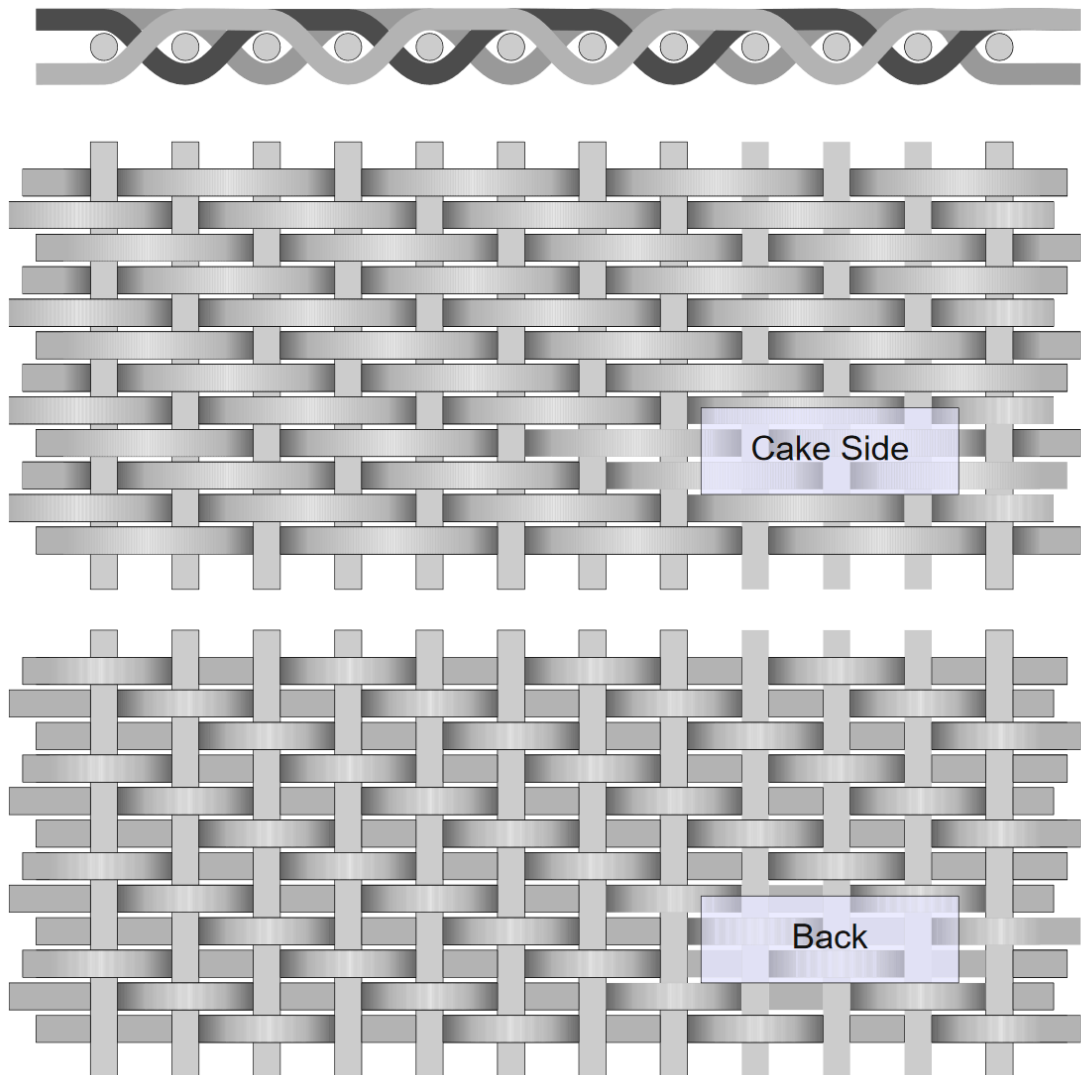
Kankaat on kudottu joko yksittäisistä lankakuiduista (monofilamentti), tai yhteen kiedotuista lankakuiduista (multifilamentti). Monofilamenttilangan ominaisuuksiin kuuluu, että nestettä ei kulje itse kuidun läpi ollenkaan, vain kankaan huokosista. Monofilamenttikuituinen kangas voidaan kutoa tiheämmäksi, mutta se saattaa olla heikompi kemikaaleille. Multifilamenttilankaisen kankaan langat voivat päästää vettä läpi ja niillä on parempia mekaanisia ominaisuuksia, kuten joustavuutta, tai kulutuksen kestävyttä. (Sparks 2012, 135.)

Kankaiden kutomistapoja on erilaisia. Yksinkertaisin kudonta on sellainen, jossa kuteet menevät yli ja ali loimilangan (Kuvio 11). Tällainen kangas on yleensä jäykkä ja elastisempi kuin muut kuteet. Tällä kudetyypillä on paras hiukkasten pitokyky. Kudelma on myös samanlainen kummaltakin puolelta, joten sen asentaminen voidaan tehdä kumpi tahansa puoli ulospäin. (Sparks 2012, 136.)



Kuvio 10. Yksinkertainen kudelmatyyppe, jossa loimilangat ovat pystyssä ja kuteet kulkevat vuorotellen yli ja ali loimilankojen. (Sparks 2012, 136.)

Toimikassidos on toisen tyyppinen kangas, jossa loimilanka kulkee kahden kudelangon yli, ja sitten toinen loimilanka yhden ali (Kuvio 12). Tällainen kangas on erilainen toiselta puolelta. Yläpuoli on sileämpi, näkyvillä on vähemmän kudelan-koja. Kankaan huokokset ovat myös hieman isompia kuin yksinkertaisella kudella. (Sparks 2012, 137.)

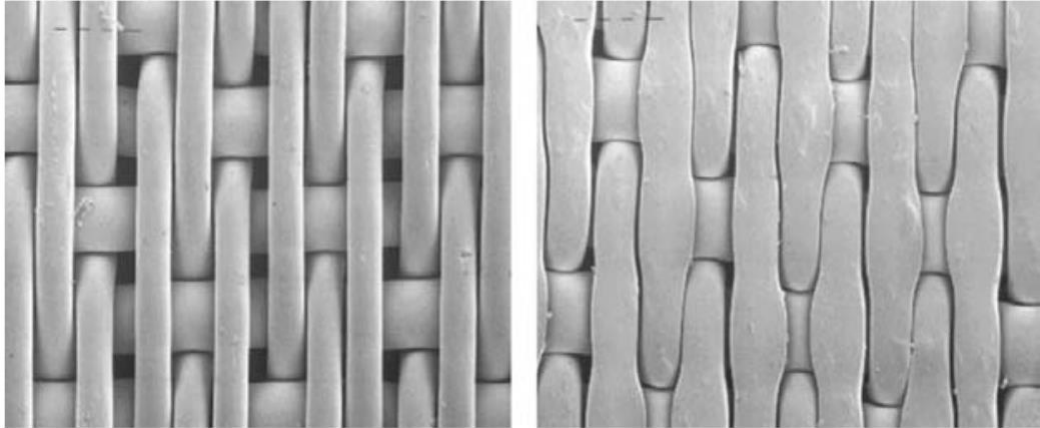


Kuvio 11. Toimikassidos. (Sparks 2012, 137.)

Muita kudelmatyyppejä ovat satiinisidos ja monikerrossidos. Satiinisidos on todella sileä ja omaa hyvät kakun irrotusominaisuudet. Monikerrossidoksessa on erityyppisiä sidoksia yhdisteltynä, kun halutaan yhdistellä ominaisuuksia, toki tällainen kangas on kallis. (Sparks 2012, 137-138.)

4.3.2 Kankaan esikäsitely

Kankaita voidaan myös käsitellä eri tavoin ennen käyttöä. Kalenteroimalla (kuumapainalluksella) saadaan huokoskokoa pienennettyä ja pinta sileämmäksi (Kuvio 13). (Sparks 2012, 138-139.)



Kuvio 12. Kalenteroimalla toimikassidoksen huokokset ovat pienentyneet. (Sparks 2012, 140.)

Kankaita voidaan myös päällystää eri tavoin. Päällysteillä voidaan lisätä kulutuksen kestävyttä ja parantaa suodinnesteen kirkkautta. Osa kankaista myös esi-venytetään, jolloin lämpimissä, tai vetoa aiheuttavissa prosesseissa kangas ei kutistu ennalta-arvaamattomasti. Kankaiden viimeistelyssä tulee huolehtia siitä, että kankaan liittämiseen käytetty tapa ei pilaa kankaan ominaisuuksia. (Sparks 2012, 140-141.)

4.3.3 Kankaan tukirakenne

Kaikkien suodinlaitteiden tulee antaa suodinnesteelle hyvät virtausmahdollisuudet. Suurimmassa osassa suodattimia kangas makaa jonkinlaisen tukiristikon päällä. Ristikko tukee kangasta ja sallii suodinnesteen vapaan virtauksen. Ristikot ovat yleensä valettuja muoviosia ja täytyykin olla tarkkana, että niissä ei ole teräviä valujälkiä, tai muita kangasta vahingoittavia särmiä. Ristikon tulee myös olla tarpeeksi tiheä, jotta se tukee kangasta tarpeeksi, eikä muodosta venyttäviä kohtia kankaalle. (Sparks 2012, 141-142)

4.3.4 Kankaan käyttö

Kun kangas on valittu, hankittu ja asennettu, kannattaa siitä pitää hyvää huolta. Kangas on suodattimen elinkaaren aikana suurimpia kustannuseriä ja on välttämätön osa suodatusprosessia.

Kangas on kaikkein haavoittuvaisin, kun siinä ei vielä ole kakkua päällä, eli vaiheessa, jossa puhdas kangas saapuu lietteen syöttöalueelle. Kakku suojaa kangasta huokosten läpi kulkevilta partikkeleilta. (Sparks 2012, 142-143.)

Kankaan vaihtotarve syntyy silloin, kun kangas alkaa repeilemään saumoistaan, siinä on reikiä (myös hyvin pieniä), tai kangas on tukossa eikä enää aukea pesemällä. Repeily ja reikien syntymiseen vaikuttaa yleensä myös kankaan tukirakenne, sen tulee olla sopiva tiheydeltään ja ilman teräviä särmiä, tai kohtia. (Sparks 2012, 143.)

Kankaita voidaan paikata esimerkiksi liimaamalla ja ompelemalla. Paikkaus kannattaa tehdä kankaan elinkaaren alussa, mutta jos kangas on jo vanha kannattaa se vaihtaa. (Sparks 2012, 144-145.)

5 ALIPAINELAITTEET, IMUKONE

Imusuodattimia käytettäessä tarvitaan aina alipaineen kehittävä laite, imupumppu. Imupumput tarvitsevat vielä suojaksi veteen karkaavaa kiintoainetta vastaan vedenerotuslaitteet. Imukoneet eivät kestä kiintoainetta veden seassa. (Lukkarinen 1987.)

Yleisimpiä imupumppuja on kahta eri lajia, vesirengaspumppu ja Nash-pumppu. Tavallisessa vesirengaspumpussa siipipyörä pyörii osittain vedellä täytetyssä pyöreässä kammiossa. Epäkeskisyyden ansiosta vesipatjan rajaama alue siipien välissä on koneen pyöriessä eri puolilla erikokoinen. Kun alue laajenee se saa aikaan imun ja kuristuessaan paineen. (Lukkarinen 1987.)

Nash-pumppu eroaa siten, että sen pesä on ellipsin muotoinen. Kun vesi johdetaan pesään, seinämille muodostuu vesikerros, joka on kahdella puolella väljempi ja kahdella muulla ahtaampi. Koneen eri puolet yhdistetään koneen päädyissä olevien onteloiden avulla imu- ja painepuolille ja kone pystyy imemään ilmaa ja toimittamaan sen paineen alaisena ulos. Koneita voidaan siis käyttää sekä imukoneina, että kompressoreina. Kun kone saa osan suodosvedestä, liika vesi täytyy poistaa vedenerotin-äänenvaimentimessa koneen painepuolella. (Lukkarinen 1987.)

Imukoneet ovat hyvin käyttövarmoja, kunhan huolehditaan siitä, että kiintoainetta ei pääse koneisiin. Tämä vaatii huolellisuutta rikkoutuneiden suodatinkankaiden kanssa, ne täytyy vaihtaa välittömästi. (Lukkarinen 1987.)

Rumpusuodattimessa imuilman tarve on $0,9\text{m}^3/\text{min per m}^2$ ja kiekkosuotimessa $0,75\text{m}^3/\text{min per m}^2$, kun työpaine on noin $0,7\text{bar}$. (Lukkarinen 1987.)

6 NYKYTILANTEEN KARTOITUS

6.1 Imusuodattimet

Kemin rikastamolla on 3 rumpusuodinta (Kuvio 14). Rumpusuodattimet ovat tyypiltään TF2430 Top feed -rumpusuodattimia. Kaksi vanhempaa suodatinta on valmistanut entinen Boliden-allis Sala international ja uudemman Metso minerals. Top feed -rumpu sopii erityisesti karkeille kiintoaineille.



Kuvio 13. Rumpusuodattimet.

Suotimien tekniset tiedot ovat kahdelle vanhemmalle eli 4110 ja 4120 rummulle: malli TFF-2430-22, käyttöönottovuosi 1989, massa 8450 kg, rummun halkaisija 2400 mm, rummun pituus 3000 mm, suodatuspinta-ala 10,5 m². Suodatuskan-kaan tyypiksi on alun perin määritelty ”tamfelt type tamvent”. Uudemmalle suoti-melle annetut tekniset tiedot ovat : Halkaisija 2400 mm, pituus 3000 mm, tehollinen suodatuspinta-ala 11,5 m². Vanhempien rumpujen käytön välityssuhteeksi on annettu i:1771 ja uudemmalle rummulle i:904:1.

Top feed -rumpusuodattimeen syötetään lietettä hydrosyklooneilla, jotka syöttävät lietteen syöttölaatikkoon suodattimen yläosassa (Kuvio 15). Raskaimmat partikkelit sedimentoituvat nopeasti syöttölaatikkoon ja muodostavat eräänlaisen esipinnoituksen. Tämä edistää veden poistamista sillä se estää kangasta tukkeutumasta. Kapasiteetti neliometriä kohden paranee huomattavasti. (Metso 2013.)



Kuvio 14. Suotimen hydrosyklonit.

Kun rumpu pyörii hitaasti, erityiselle kakunmuodostumisalueelle, joka on noin 10% rummun pinta-alasta, muodostuu nopeasti suodatuskakku (Kuvio 16). Vesi poistuu vedenpoistovyöhykkeellä, joka on noin 30% rummun pinta-alasta, kun ensin neste ja sen jälkeen ilmaa imetään suodatusaineen läpi. Teho määräytyy kakun huokoisuuden ja tyhjiöpumpun koon mukaan. Alipaine loppuu poistumisalueella, joka on noin 10% rummun pinta-alasta, joten kakku putoaa, tai kaavi-taan irti. Paineilmaisku parantaa kakun irtoamista. (Metso 2013.)



Kuvio 15. Muodostunut kakku suodattimen pinnalla.

Itse suodinrumpu koostuu akselista, kahdesta rummun haarukasta, rummun pyyhkimestä ja nesteenpoistoputkesta. Suodinrumpu on kokonaan hitsattu. Rummun haarukat on lukittu akseliin kiristysosan avulla. Rummun ulkopinnassa on nesteenpoistolokeroita, jotka on yhdistetty suodinrummun sisäosan imuputkijärjestelmään. Lokeroita on 24 kappaletta. Jokaisesta nesteenpoistolokerosta kulkee erillinen nesteenpoistoputki venttiilirunkoon. Nesteenpoistoputket ovat kierreahvistettua kumilettoa. Nesteenpoistojärjestelmä on suunniteltu ilman nopeudelle, joka on maksimissaan 18m/s. (Metso, 2013.)

Suodatuslokerossa on suodatussegmentit (Kuvio 17), jotka on valmistettu polypropeenista. Ne kannattavat suodatuskangasta. Ne on kiinnitettävä lämmittämällä ne ensin 70 °C asteeseen ja painamalla sitten paikalleen.



Kuvio 16. Suodatussegmentit.

Kemin rikastamolla on tällä hetkellä suodatinkankaana huopakangas. Huopakangas on melko tiheää, joten se ei päästä kiintoaineita putkistoon. Kankaan ongelma on sen runsas tukkeentuminen. Suodatinkangas vaihtoehtoja on monia, mutta aikaisemmat kokeet eri kangastyypeillä eivät ole vakuuttaneet.

Kemissä suodatinkangas kiinnitetään käämittämällä se teräslangalla (Kuvio 18). Langanajo tapahtuu itsevalmistetulla koneella. Käämitys tapahtuu niin, että lanka kiinnitetään suodattimeen, suodatin laitetaan pyörimään ja sitten langanajolaitteella voidaan säätää käämityksen tiukkuus. Lankaa ajettaessa on otettava huomioon, että suodattimen kumpikin pääty vaatii useamman kierroksen lankaa, jotta

estetään kankaan hiertyminen syöttökaukalon tiivisteitä vasten. Langanajolaitteita on saatavilla Metsolta, mutta ne eivät juurikaan eroa jo käytössä olevasta siirrettävästä laitteistosta. (Metso 2013.)



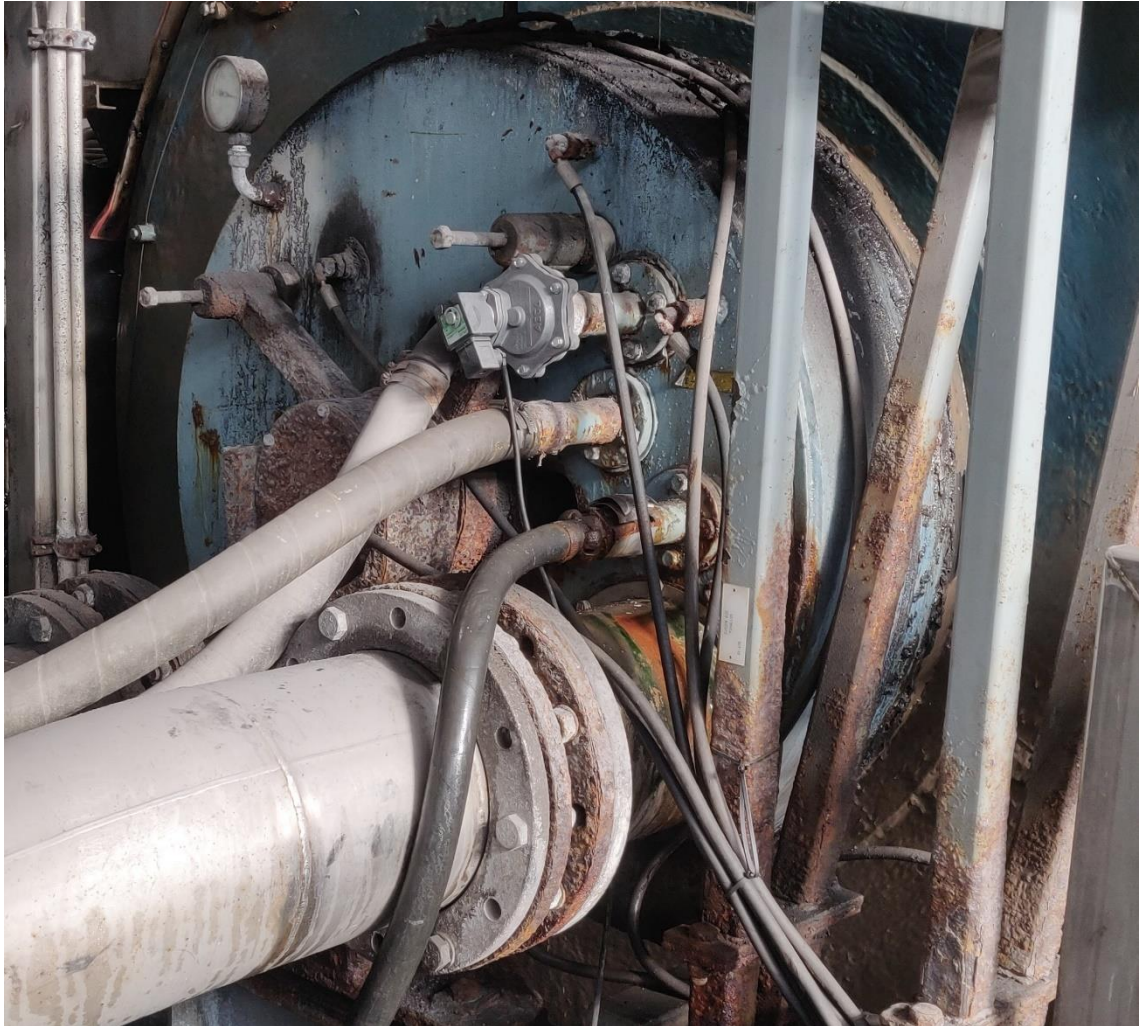
Kuvio 17. Käytetty kangas ja käämityslanka.

Käyttö tapahtuu sähkömoottorilla ja vaihteistolla (Kuvio 19). Kahdessa suodattimessa on käytössä kiilahihnat ja yhdessä on suora käyttö vaihdelaatikonle. Käyttölaiteessa tulisi olla suuri kierrosluvun pienennysuhde, jotta lähtävä vääntömomentti olisi suuri ja tuleva vääntömomentti pieni. Kierrosnopeutta voidaan säätää taajuusmuuttajalla. 4130 Suotimessa on 2.2 kW 50 Hz 1450 Rpm sähkömoottori. Imurummun pyörimisnopeus on 0,86 Rpm. 4120 suotimessa on 3 kW 50 Hz sähkömoottori kierrosluvulla 1445 r/min. 4110 rummussa on myös 3 kW 50 Hz sähkömoottori, jonka pyörimisnopeus on 1445 r/min. Vaihteiston ja tukirungon välissä on kumityyny, joka ottaa vastaan äkkinäiset kuormitukset rummun ajon, tai käynnistyksen aikana.



Kuvio 18. Suotimen 4110 käyttö. Sähkömoottori ja vaihdelaatikko.

Rummun imuputket on yhdistetty tyhjiöyksikköön venttiilirungon avulla (Kuva 20). Venttiilirunko on kiinnitetty suodinrumpuun kulutuslevyllä. Säädetävät jouset painavat venttiilirunkoa kulutuslevyä vasten. Kulutuslevyn ja venttiilirungon väliä voidellaan rasvalla keskusyksikön avulla. Venttiilirungossa on kaikki tyhjiön ja paineletkujen putkiliitokset. (Metso 2013.)



Kuvio 19. Venttiilirunko.

Venttiilirungon ja rummun välissä on kulutusrenkas, joka on kiinni itse rummassa. Levy on tarpeeksi paksu, jotta sen voi koneistaa uudelleen useampaan kertaan. (Metso 2013.)

Suodatuskehys koostuu jalkalevystä ja siihen kiinnitetyistä laakeriholkeista ja suodatusaltaasta. Kehyksen alla on roiskelaatikko. (Metso 2013.)

Suodattimen syöttölaatikko on Top-Feed tyyppinen ja siinä on kuluva kumitiiviste. Syöttölaatikko kulkee kiskoilla, jotta se voidaan kangasta vaihtaessa irrottaa ja säädön helpottamiseksi. Kiskot ja rullat ovat kuitenkin huonokuntoisia ja syöttölaatikon liikuttaminen vaatii paljon voimaa. Materiaalia tulisi syöttää tasaisesti koko pituudelta. Kumitiivisteen kunto on tärkeä tarkistaa, jotta laatikko ei vuoda. Suodattimen rasvaus on hoidettu automaattisella rasvajärjestelmällä. Rasvaa syötetään venttiilirunkoon ja akselin laakereihin. (Metso 2013.)

Kakun irrotus tapahtuu paineilmasyöksin, jotka menevät rummun nesteentoistokeroihin, kun ne siirtyvät poistovyöhykkeelle. Kun poistetaan vettä karkeasta ja keskikarkeasta aineksesta on käytettävä aina puhallusmenetelmää ja erityistä erotinta. Suodatinrummuista on puhalluslaite, jonka tuottama lyhyt paineilmaimpulssi tehostaa kakun irrotusta. Jos kakun kosteuspitoisuutta halutaan alentaa on käytettävä vähemmän paineilmaa. Voimakkaampi puhallus jälki kosteuttaa suodatettavaa kakkua enemmän. Tavallisesti suositellaan 0,2–1,5 Bar:n työpainetta. Tietyissä tilanteissa saatetaan vaatia suurempaa puhallusvoimaa, kuten esimerkiksi kankaan tukkeutumisen estämiseksi. Poistettaessa vettä hienosta, tai erittäin hienosta aineksesta kannattaa käyttää kaavinta. (Metso 2013.)

Suodattimeen kuuluu myös tyhjiötankki. Tyhjiötankista kulkee putket venttiilirunkoon ja näiden putkien liitännöissä on joustava kumiputki, joka estää teräspankien repeämisen värinästä ja muista voimista. Putkien läpimitan täytyy olla minimissään 150 mm, jotta estetään tukokset. Tyhjiötankin tilavuus on 3.5 m³. Tyhjiösäiliössä on hälytysjärjestelmä, joka tarkkailee säiliön pinnan korkeutta. Hälytyksen voi aiheuttaa viallinen takaiskuventtiili, suodinpumpun kulunut juoksupyörä, tiivistepesän kuluneet nauhat (tiivistenauhat), tukkeutunut barometrinen jalka, tai muut vahingot suodatin, tai tyhjiöjärjestelmään. (Metso 2013.)

6.2 Imukoneet, niiden tyypit ja tekniset tiedot

Kemin rikastamolla on kolme imukonetta (Kuvio 21). Kaksi niistä on vanhempia 1989 tulleita ja yksi uudempi [vuodelta 2012](#). Imukoneet 411 ja 421 ovat malliltaan 2BE 1355-1BY3-z, ja ne ovat Siemensin valmistamia Elmo[®]-F tyhjiöpumppuja. Uusin imukone on Nash Denverin pumppu tyypiltään 2BE1-1355/356. Pumppuille

annetaan teknisiksi tiedoiksi: massa 2500 kg, koneen teho 100 m³/min, 35 kpa, teho 160 kW, nopeus 590 r/min. (Siemens 1987.)



Kuvio 20. Imukone ja sähkömoottori.

Elmo-F pumppu on suunniteltu kestävään imupuolella 0,4 bar:ia ja päästöpainetta 1,1 bar:iin asti. Akseli on tiivistetty tiivistenaupoilla ja kulutusholkeilla. Käyttöpuolella on NU-tyyppin rullalaakeri vapaana ja toisella puolella NUP-kartiolaakeri ohjaavana. (Siemens 1987.)

Työneste eli vesi purkaantuu samalla kuin puristettu ilma. Nesterengasta täytyy siis ylläpitää jatkuvasti uudella viileällä nesteellä. Työneste toimii myös jäähdyttävänä elementtinä, sekä tiivistää juoksupyörän raot ja päätylevyt. Nesteen lämpötila vaikuttaa pumpun kapasiteettiin ja suositellaan, että neste olisi mahdollisimman viileää, normaalisti noin 15 °C asteista. Työnesteessä ei saa olla yhtään kiinteitä partikkeleita esimerkiksi hiekkaa, tai muuten kuori kuluu nopeasti. (Siemens 1987.)

Imupuolella tulisi olla vähävastuksinen yksisuuntaventtiili, jotta kaasua, tai nestettä ei virtaa takaisin pumppuun toiminnan keskeytyessä. Nesteen syöttöputkessa tulisi olla virtausmittari ja lämpömittari. Tehtaalla tulisi varmistaa, että vika-tilassa paine pumppussa ei nouse liian suureksi. (Siemens 1987.)

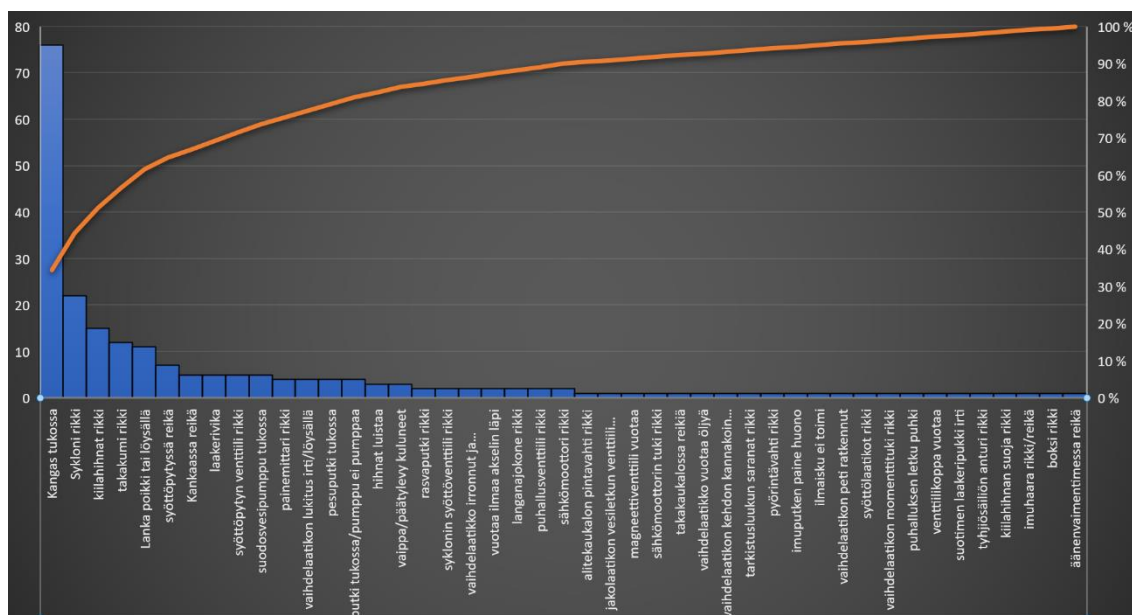
Pumppua huuhdeltaessa on mahdollista käyttämättömien liitoskohtien suojele-
vyihin liittää purkuventtiilit ja mieluiten tarkkailla poistettavaa nestettä likaisuuden
varalta. Tiivisteveettä tulisi syöttää 0,5–2 l/min per tiivistepesä 1,2 bar:n(absoluut-
tinen paine) paineella. Boksista kuuluu tulla hieman vettä ulos. (Siemens 1987.)

7 KÄYTETTÄVYYTTÄ HAITTAAVAT TEKIJÄT

7.1 Vika ja häiriöhistorian analysointi vuodesta 2018 vuoteen 2020

Jotta saataisiin selville käytettävyyteen eniten vaikuttavat viat ja häiriöt, täytyi aloittaa käytönohjausjärjestelmään kirjattujen ilmoitusten analysointi. Apuna oli Kuti-järjestelmä joka on siis tehtaan oma kunnossapidon tietojärjestelmä. Järjestelmään kirjataan kunnossapidon työtilaukset ja muut kunnossapitoon liittyvät asiat, kuten vikailmoitukset. Kuti-järjestelmästä tulostettiin kaikki historiatapahtumat vuodesta 2017 vuoteen 2020 vedenpoiston kriittisille laitteille. Näitä laitteita ovat imukoneet 4111, 4121, 4131, sekä imusuotimet 4110, 4120, 4130 ja suodosvesipumput 4112, 4122, 4132. Suotimien syklonit rajattiin pois, koska niiden vaihto tapahtuu yleensä muun seisonnan aikana. Myös niiden historia ja vikatiетоjen kirjaus oli puutteellista ja syklonien rikkoontumisia oli kirjattu suotimille josta ne kirjattiin suotimen vikatilana. Syklonien vikatiетodot otettiin huomioon siltä osin kuin ne oli kirjattu muiden laitteiden alle. Historiatietojen käsittelyssä ja kirjaamisessa Exceliin täytyi käyttää harkintaa ja käydä jokainen työ erikseen läpi, jotta saman vian erilaiset kirjaustavat sekä turhat ilmoitukset saatiin tilastoitua oikein.

Vikailmoituksista tehtiin erilliset taulukot jokaiselle laitteelle sekä viimeiseksi vedenpoiston yhteinen vikatilasto (Liite 1). Lopulta vikatiloja tuli 45 erilaista kohtaa, yhteensä 221 työtä. Jokaiselle laitteelle tehtiin oma Pareto-diagrammi ja vedenpoiston yhteinen Pareto-diagrammi (Kuvio 22).



Kuvio 21. Vedenpoiston yhteinen vikahistoria 2018-2020 Pareto-diagrammi.

Diagrammista nähtiin, että kankaan tukkeutuminen on selvästi yleisin vikatila. Se on yksistään melkein 40% kaikista vikailmoituksista kahden vuoden ajalta. Täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että kankaanvaihdon aikana saatetaan korjata muita vikoja ja suotimen seisautuessa saatetaan kangas vaihtaa "varmuuden vuoksi". Suodattimia on myös käytössä kolme, joista kahdella voidaan ajaa tuotantoa silloin, kun kangas on yhdestä suodattimesta vaihdettavana. Kankaan vaihto vie kunnossapitohenkilöstön arvion mukaan yhden työpäivän eli kahdeksan tuntia. Laskennallisesti 76 kankaan vaihtoa vie siis 606 tuntia käyttöaikaa kahden vuoden ajalta eli 304 tuntia vuodessa. Kankaan tukkeutumissyitä ei ole saatu selville eikä sitä aikarajoitteista johtuen voitu ottaa tämän opinnäytetyön tavoitteeksi.

Toiseksi eniten vikailmoituksia on sykloneista, mutta niiden kohdalla vaihto voidaan suorittaa ilman laitteen seisauttamista. Syklonin rikkoutuminen aiheuttaa suodattimen tuotantokyvyn alentumisen, koska syötettävän lietteen määrä pienee.

Kolmanneksi suurin vikatila oli kiilahihnakäyttöisten laitteiden kiilahihnojen katkeaminen. Vuodesta 2018 vuoteen 2020 tapauksia oli 15 kappaletta. Käytännössä kyse on imukoneista. Tämä vikatila on vakava, koska se aiheuttaa suodattimen alasajon ja kiilahihnojen kuntoa ei voida seurata samalla ennustettavuus-

della, kuin suodatinkankaan hidasta tukkeutumista. Kiilahihnojen vaihto vei aikaisemmin enemmän aikaa, koska hihnakiristys tapahtui ruosteisten kierretankojen avulla. Imukoneiden kiilahihnakäyttö saatiin kuitenkin muutettua niin, että hihnojen löysääminen ja kiristäminen onnistuu gemex-hydraulijärjestelmällä

Suodattimen lietekaukalon takakumin rikkoutuminen ilmenee neljäntenä. Näitä ilmoituksia oli 12 kappaletta vuosina 2018-2020. Tämä vika ei aina johda suodattimen pysäytykseen, mutta haittaa kyllä ajoa lietteen karatessa kaukalosta. Takakumin rikkoutuminen johtuu useimmiten väärin kiristetyistä takakaukalosta, jolloin kumi painautuu liikaa pyörivää rumpua vasten. Takakumi tarkistetaan ja vaihdetaan usein kankaan vaihdon yhteydessä.

Viidennelle sijalla nousee lanka poikki, tai löysällä. Tämä on vakava vika, jossa suodatinkankaan päälle käämitty lanka irtoaa joko löystymällä pulttikiristyksestä, tai menemällä poikki. Poikki mennyt lanka sotkeutuu vaihdelaatikkoon ja pyörintävahtiin ja on aikaa vievää poistaa ja voi aiheuttaa lisävaurioita. Löystynyt lanka aiheuttaa myös välittömän pysäytyksen. Kummassakin tapauksessa kangas ja lanka joudutaan uusimaan ja aikaa kuluu vähintään kuusi tuntia. Näitä vikailmoituksia oli 11 kappaletta vuosille 2018-2020.

Hieman harvemmin tapahtuviin vikoihin kuului syöttöpytyssä reikä (seitsemän kappaletta 2018-2020), kankaassa reikä (viisi kappaletta 2018-2020), laakeriviat (viisi kappaletta), syöttöpytyn venttiili rikki (viisi kappaletta) ja suodosvesipumppu tukossa (viisi kappaletta). Syöttöpytyssä oleva reikä aiheuttaa suodinten alasajon ja paikkaus, tai mahdollisesti kannen vaihto vie usean tunnin. Kankaassa oleva reikä on lähes aina syy vaihtaa kangas, jotta kiintoainetta ei pääse suodattimen imuputkistoihin ja muualle vedenpoistojärjestelmään. Laakerivikoja ilmeni imukoneilla, joista suurin osa kohdistui 4131 imukoneeseen. Suuri vesikuorma rasittaa laakereita suunniteltua enemmän. Syöttöpytyn venttiilit ovat pneumaattisia letkuventtiilejä ja niiden toimimattomuus aiheuttaa suodattimen pysähdymisen. Tukkeutunut suodosvesipumppu tarkoittaa sitä, ettei suodosvettä saada pumpattua kaivolle. Pumppujen linjoja on aukaistu, mutta vika ei ole poistunut.

Vaihdelaatikon lukituksen vika ilmenee neljä kertaa 2018-2020 ja ne kohdistuvat kaikki 4110 suodattimeen. Suodattimen käytössä on vika, joka aiheuttaa liian

suurta vääntöä vaihdelaatikolle, ja vaihdelaatikon lukituksen pultti ei pysy kiinni. Lukitus on helppo kiristää, myös ajon aikana, mutta vika ei varsinaisesti poistu.

Opinnäytetyön ollessa jo lähes valmis tehtiin suodattimelle korjaustoimenpide. Vika johtui akselin kiilauran kulumisesta ja vika korjattiin väliaikaisesti valmistamalla kaksitasoinen kiila.

Rikkinäisistä painemittareista on neljä vikailmoitusta ja ne kohdistuvat imukoneille. Imukoneiden painemittarit ovat muutenkin väärin asennettuja eivätkä näytä painetta oikeasta kohtaa prosessia. Pesuputki tukossa ilmenee neljä kertaa. Vikatila ei aiheuta suodattimen pysäytystä, mutta heikentää suodattimen kankaan puhdistusta. Putki tukossa/pumppu ei pumpkaa koskee suodosvesipumppuja 4112 ja 4122. Ilmoituksia on 4 kappaletta.

Harvinaisempi ja uniikkeja vikatiloja on lukuisia. Näistä huomionarvoisia ovat imukoneiden kuluneet vaipat ja päätylevyt(joista vaippoja ei ole vielä kukaan vaihdettu uusiin), 4110 irronnut sekä ympäripyörähtänyt vaihdelaatikko ja suotimen irtonainen laakeripukki.

7.2 Vikatilojen analyysi

Kankaan tukkeutumisesta on 76 ilmoitusta kahden vuoden ajalta. Kankaan vaihto vie yleensä yhden työpäivän ja pidempäänkin jos samalla suoritetaan muita huoltotoimenpiteitä, kuten takakumin vaihto. Jos keskiarvona käytetään 8 tunnin vaihtoaikaa, kului kahdessa vuodessa pelkkiin kankaiden vaihtoihin 608 tuntia. Tämä on noin 3.5% kaikista kahden vuoden tunneista, eli, kun otetaan huoltoseisakit ja muu suodatinrumpuja seisottavat tekijät mukaan luku nousee pelkästään seisakien jälkeen 5%. Luvut eivät ole valtavan suuria ja suodatinkankaat ovat kulutus tavaraa, on siis huomioitava, ettei kankaan tukkeutuminen ole normaalioloissa suuresti tuotantoa heikentävä seikka. Ongelmat syntyvät, kun kankaiden vaihtoväli pienenee huomattavasti, tai kankaita tukkeutuu eri suotimista yhtä aikaa, jolloin tuotantoprosessi katkeaa. Kankaat myös maksavat eli nostavat suodatuskustannuksia. Esimerkiksi 2020 maaliskuussa tapahtui 13 lähes perättäistä kankaan vaihtoa ja 18 maaliskuuta kahdella suotimella yhtäaikaan kankaan tukkeutuminen. Tällöin prosessissa on tapahtunut jotain, joko lietteelle, tai prosessivesille, joka on aiheuttanut kankaiden tukkeutumisen. Itse kankaat, tai kankaiden

asennustapa ei ole muuttunut mitenkään. Kankaiden tukkeutumista ja vaihtotarvetta olisi hyvä seurata aktiivisesti, jotta voitaisiin luoda kuva siitä minkälainen prosessimuutos saa aikaan ongelmia suodatinkankailla.

On myös ollut tutkinnassa kankaiden vaihtaminen huopakankaasta muuhun materiaaliin. Täytyy silti huomioida tärkeitä tekijöitä ennen kankaan materiaalin vaihtoa. Nykyisillä kankailla saavutetaan hyvä tuottavuus, kankaat hyvin harvoin reikiintyvät ja suotimien nykyinen rakenne ei toimi kaikkien kangasmateriaalien kiinnittämiseen ilman muutoksia. Olisi siis tärkeämpää keskittyä seuraamaan prosessimuutoksia, jotka aiheuttavat kankaiden tukkeutumisen.

Suodatinrumpuihin lietettä syöttävät syklonit ovat toisena vikatilastossa, mutta syklonin hajoaminen ei aiheuta suodattimen välitöntä alasajoa ja vaihtokin on yksinkertainen toimenpide. Kuitenkin kunnossapitohenkilöstön ja käyttöhenkilöstön haastatteluissa käy ilmi, että syklonit koetaan vanhentuneiksi ja toimimattomiksi laitteiksi. Kunnossapitohenkilöstöllä kuluu usein runsaasti aikaa syklonin kunnostukseen ja syklonien runkojen kunto on huono. Laitteet eivät seiso syklonien kunnostuksen aikana, mutta niiden korjaus ei ole parasta kunnossapitoresurssien käyttöä. Käyttöhenkilöstö kertoi myös, että syklonien korjaus ei aina ole oikein suoritettu. Joskus syklonien segmenttien kohdistus on pielessä ja sykloni ei toimi. Syklonien säätäminen on myös vaikeaa, ja jos suodatinrumpujen syötettä haluttaisiin tiheämmäksi aiheuttaisi se rikasteen karkaamista ylitteeseen. Yleisesti käytetyissä suodatinrummuissa ei ole top-feed syöttöä, joten ne eivät tarvitse sykloneja. Olisi ehkä syytä tarkistaa onko muita tapoja syöttää suodattimille lietettä, jolloin säätö voitaisiin toteuttaa ilman tavaran karkaamista ylitteeseen. Ilman syklonisyöttöä täytyisi liete esipaksuntaa muulla prosessilla.

Kolmanneksi yleisin vikatila oli kiilahihnojen katkeaminen. Tämä tarkoittaa imukoneiden kiilahihnoja, ja aiheuttaa suodattimen pysähtymisen. Imukoneiden kiilahihnojen vaihto oli aikaisemmin aikaa vievä toimenpide, koska sähkömoottorin petiä liikutettiin kierretankojen avulla, ja olosuhteet imukoneiden luona aiheuttivat kierretankojen voimakasta ruostumista ja rikasteen kerrostumista kierteisiin. Kiilahihnoja ei aina saatu edes kiristettyä sopivalle kireydelle. Tilanne on nykyään eri, sillä moottorit on asennettu gemex-hydraulipedeille, jolloin kiilahihnojen löy-

sääminen ja kiristäminen vie vain hetken. Kuitenkin syy kiilahihnojen katkeamiselle ei ole poistunut. Imukoneiden vesikuorma on valtava, tämä ilmenee jo siitä, että koneita täytyy ajaa tyhjennysventtiili auki. Normaalisti imukoneessa on prosessiveden muodostama vesipatja jonka avulla saadaan tyhjiö aikaan. Nyt koneet ovat täynnä vettä ja suuri kuorma rasittaa kiilahihnoja, sekä imukoneiden laakereita. Käyttöhenkilöiden haastattelussa käy ilmi, että ennen kaivoksen F3-projektia imukoneita ajettiin vielä normaalisti, eli tyhjennysventtiili kiinni. Projektin jälkeen tuotanto tuplaantui ja vesikuormaa tulee yli koneiden kapasiteetin.

Vesi, joka imukoneille tulee, on ensiksi normaali vesipatjaan tarvittava käyttövesi ja toiseksi suodattimilta imuilman mukana tuleva vesi. Suodinvesi täyttää suodinvesisäiliön ja kulkeutuu imukoneeseen. Täytyisi selvittää tarkemmin mistä ja kuinka paljon vettä tulee imukoneisiin ja voiko syynä olla suodosvesisäiliön vääränlainen toiminta.

Takakumin rikkoontuminen tarkoittaa rumpusuotimen syöttölaatikon, niin sanotun takakaukalon, tiivisteenä olevaa kumia. Kumi on u-kirjaimen mallinen, laatikon laitoja ja pohjaa pitkin kulkeva noin 15 senttiä leveästä linatex-kumista valmistettu osa. Kumin tehtävä on tiivistää laatikko niin, että liete pysyy laatikossa suodatettavana. Rikkinainen kumi aiheuttaa lietteen ja rikasteen valumista hukkaan, mutta ei itsessään yleensä tarkoita suodattimen pysäyttämistä. Kumin vaihtoa voidaan yleensä venyttää kankaan tukkeutumiseen asti. Kumin vaihto vaatii suodattimen pysäyttämisen. Kumi on kulutusosa, mutta kumin kulumiseen voidaan vaikuttaa syöttölaatikon oikealla kireydellä. Syöttölaatikko liikkuu kiskoja pitkin, jotta se voidaan siirtää kauemmaksi suotimesta huoltotoimia varten. Syöttölaatikon ja sitä kautta takakumin kiristys suodinta vasten tapahtuu neljällä kierretangolla, joissa on mutterit. Jos laatikkoa kiristetään, vaikka kankaanvaihdon jälkeen liikaa, painaa se kumin suodatinkangasta vasten ja tämä kuluttaa takakumin hyvin nopeasti. Syöttölaatikon kiristys tapahtuu silmämääräisesti ja olisi hyvä tarkentaa kunnossapitohenkilöstön kanssa, kuinka kireälle syöttölaatikko tulee asentaa. Käyttöhenkilöstö taas saattaa kiristää takakaukaloa liikaa varsinkin, jos kumi on jo vaurioitunut ja päästää hieman vettä läpi. Lisähuomiona takakaukaloiden liikuttaminen kiskoja pitkin on raskasta ja vaikeaa, useimmiten syöttölaatikko tippuu kiskoilta useamman kerran siirron aikana.

Langan katkeaminen, tai löysääminen tarkoittaa rumpusuodattimen suodatuskankaan käämityslangan katkeamista, tai löysäämistä. Tämä on vakava vika ja aiheuttaa suodattimen pysäytyksen, kankaan vaihdon ja uuden langan ajon sekä voi aiheuttaa lisävahinkoa, kuten pyörintävahdin hajoamisen, takakumin repeämisen jne. Jos lanka on poikki, kuluu ylimääräistä aikaa lankasykkyröiden irrottamiseen. Langan katkeamisen syy ei ole selvä, sillä lanka kyllä kuluu rikasteen vaikutuksesta, mutta kulumisen on hidasta ja kangas menee tukkoon ennen kuin kulumista on juurikaan näkyvissä.

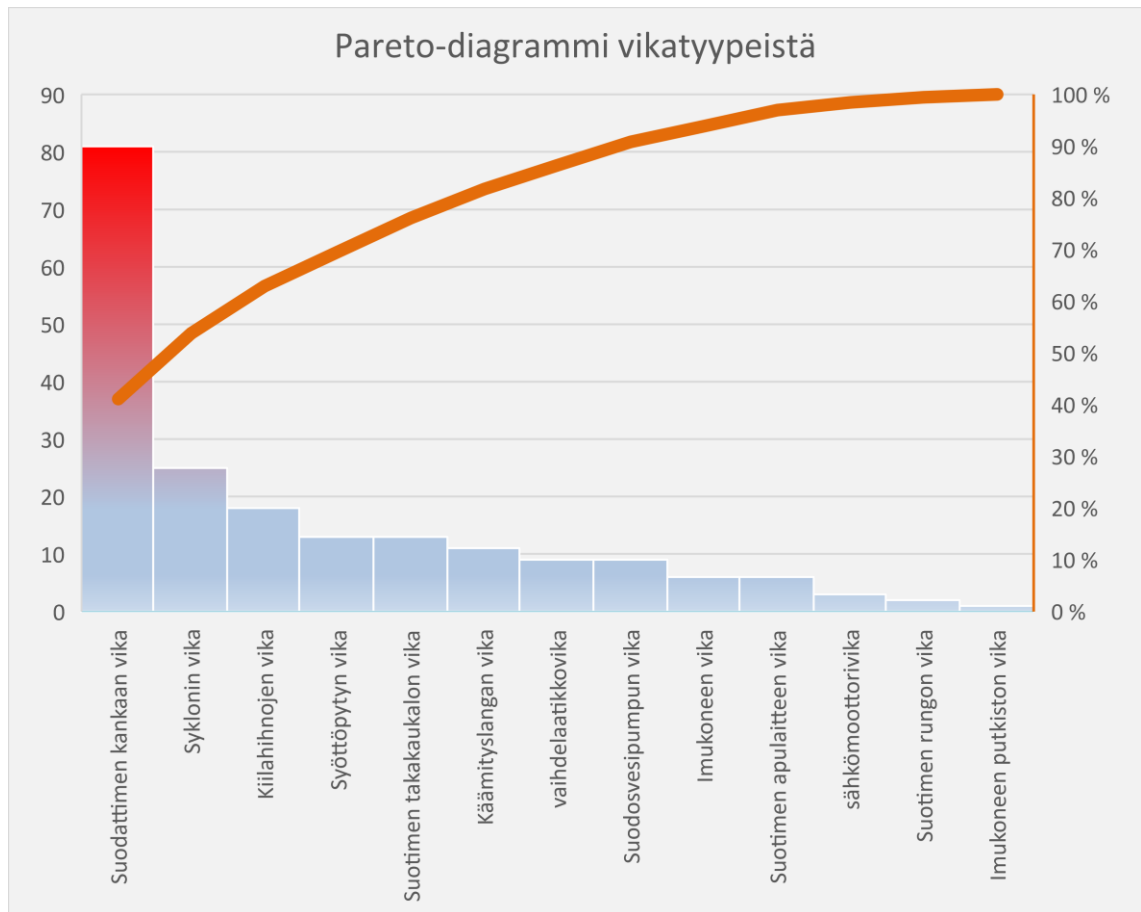
Lanka kiristetään käämittäessä siten, että lanka työnnetään lyhyen tapin läpi ja tapin läpi kiristetään pultti. Jos pultti ei ole tarpeeksi kireällä voi lanka päästä löysäksi. Kuitenkin kiinnitystapa ei ole kaikkein varmin ja olisi ehkä syytä suunnitella varmempi kiristys langalle. Erittäin tärkeää on huomioida, että lähes jokainen langan katkeaminen, ja/tai löysääminen on tapahtunut 4110 suotimelle, ja vain kolme 4130. 4120 suotimella tätä vikaa ei ole ollut ollenkaan.

Erikseen huomiota herättää vielä 4110 suotimen vaihdelaatikkoa koskevat via. Vaihdelaatikon lukitus on irronnut neljä kertaa, vaihdelaatikko pyörähtänyt ympäri kaksi kertaa, vaihdelaatikon kehdon kannakointi hajonnut ja vaihdelaatikko vuotaa öljyä. Nämä vaihdelaatikon ongelmat ovat 4110 suotimen omia ja onkin syytä vaihtaa sen käyttö vastaamaan toisia suodattimia. Myös rumpusuodattimen akseli ja laakerointi olisi hyvä tarkistaa.

8 VIKATILOJEN KATEGORISOINTI JA PARETOANALYYSI

Vikatilojen lukuisa määrä ja varsinkin yksittäisten vikojen määrä vaikeuttaa vikatiedon lukua ja käsittelyä. Luettavuuden ja tehokkaan vika-analyysin vuoksi vikatilat jouduttiin kategorisoimaan (Liite 2) ja näin vähentämään erillisten vikojen määrää, sekä kohdennettiin epämääräiset vikatilat tarkemmin vastaamaan laitteita, tai laitteiden osia.

Ensiksi vikatilastoista karsittiin vikatilat, jotka eivät aiheuta äkillistä korjaustarvetta, tai vaaraa laitteistolle, vaan ovat enemmän huomioita laitteiston väärästä toiminnasta, tai huonosta kunnosta. Myös viat, jotka eivät vaikuta laitteen toimintaan, mutta vaativat korjauksen sopivana ajankohtana karsittiin pois. Tällaisia vikoja olivat muun muassa rikkinäinen painemittari, imukoneen kulunut vaippa, tarkistusluukun rikkinäiset saranat ja rikkinäinen langanajokone. Jäljelle jääneet vikatilat järjestettiin laitteiden osien mukaan, ja saman osan eri viat yhtenäistettiin laitteen osan viaksi. Esimerkiksi kiilahihnan luistaminen ja kiilahihnan katkeaminen yhdistettiin kiilahihnojen viaksi. Suodattimen kankaan tukkeutuminen ja reikeytyminen pidettiin erillään suodatinkankaan käämityslangan katkeamisesta, sillä niiden vikaantumistapa on aivan erityyppinen. Uudelleen käsitellyistä ja kategorisoiduista vikatiloista tehtiin uusi Pareto-diagrammi (Kuvio 23), jonka luettavuus on parempi, sekä kohdistaa vikaantuvuuden selkeämmin muutamaan pääkohteeseen.



Kuvio 22. Pareto-diagrammi vikojen kohdistumisesta eri laitteisiin, tai laitteiden osiin.

Pareto-diagrammin analyysistä nähtiin, että 80% vikatiloista paikantui kuuteen eri laiteosaan ja että noin puolet vikatiloista johtui suodattimen kankaan vikaantumista. Prosenttiosuudeltaan muut vikatilat kuin suodatuskankaan viat laskevat tasaisesti ja verrattuna kategorisoimattomaan Pareto-diagrammiin huomataan joidenkin vikatilojen vaihtaneen paikkaa suurimpina ongelmina. Esimerkiksi käämityslangan katkeaminen on yhden pykälän jäljessä kategorisoiduissa vioissa. Tämä johtuu häntäpäin vikatilojen yhdistymisestä joihinkin korkeamman ilmaantuvuuden omaaviin vikoihin laitekategorian sisällä. Suurin hyöty käytettävyydelle voitaisiin siis saada tutkimalla kuutta eniten vikaantuvaa vedenpoistoprosessin laitetta/laitteen osaa. Eniten vikaantuvat siis suotimien kankaat, syklonit, imukoneiden kiilahihnat, suotimien jakopytyt, suotimien takakaukalot ja suotimien käämityslanka. Näille vikaantuville osille kannattaa siis tehdä juurisyyanalyysi.

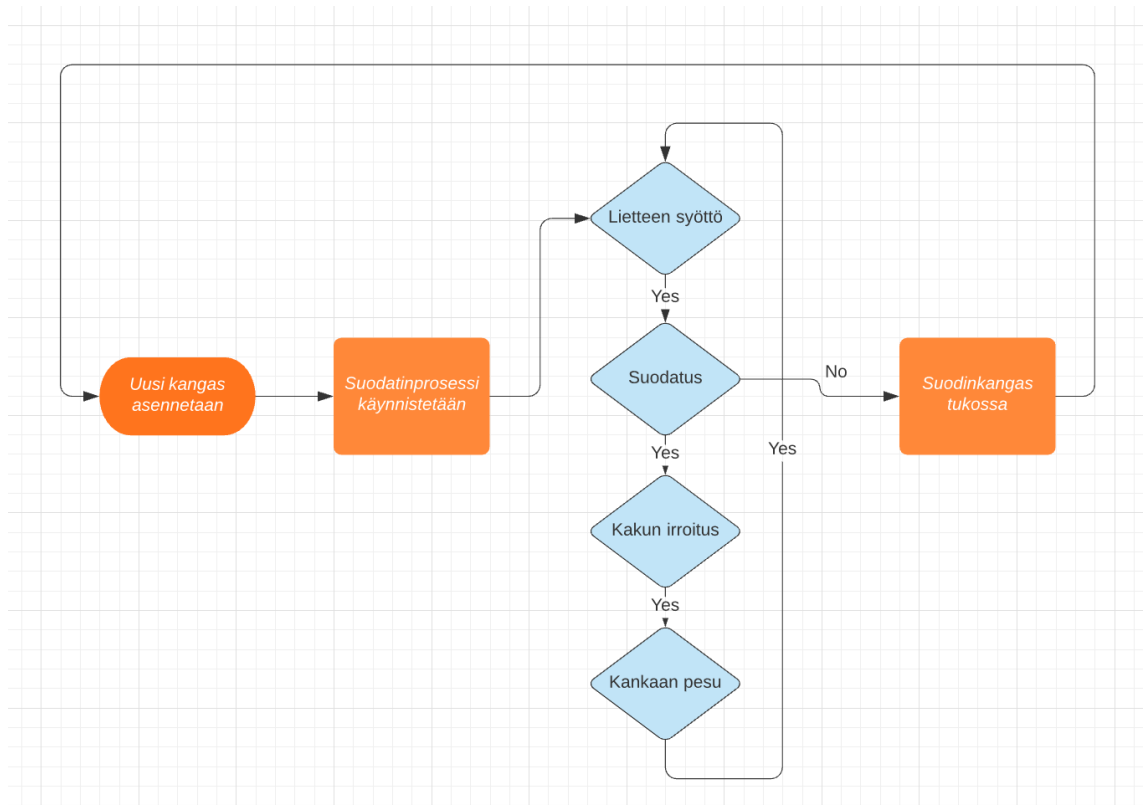
8.1 Kuuden suurimman vikatilän juurisyysanalyysit

Jotta voitaisiin suunnata korjaustoimenpiteet oikeaan paikkaan ja saada suurin hyöty kehitystoimista, täytyi vikatiloille tehdä juurisyysanalyysit, joista käy ilmi vikatilän todellinen aiheuttaja.

Ensimmäisenä analysoitiin suodattimen kankaiden vikaantumista. Kyseessä on vikatila, joka johtaa kankaan vaihdon tarpeeseen. Kankaan vikoja olivat kankaan tukkeutuminen, tai kankaan reikiintyminen. Näistä vioista kankaan tukkeutuminen vastaa 76 kertaa ja kankaan reikiintyminen viittä vikaantumiskertaa. Jakauma suodinten kesken oli kankaiden tukkeutumisen kannalta melko tasainen, 4130 suotimella 29 tukkeutumista, 4120 suotimella 22 tukkeutumista, 4110 suotimella 25 tukkeutumista.

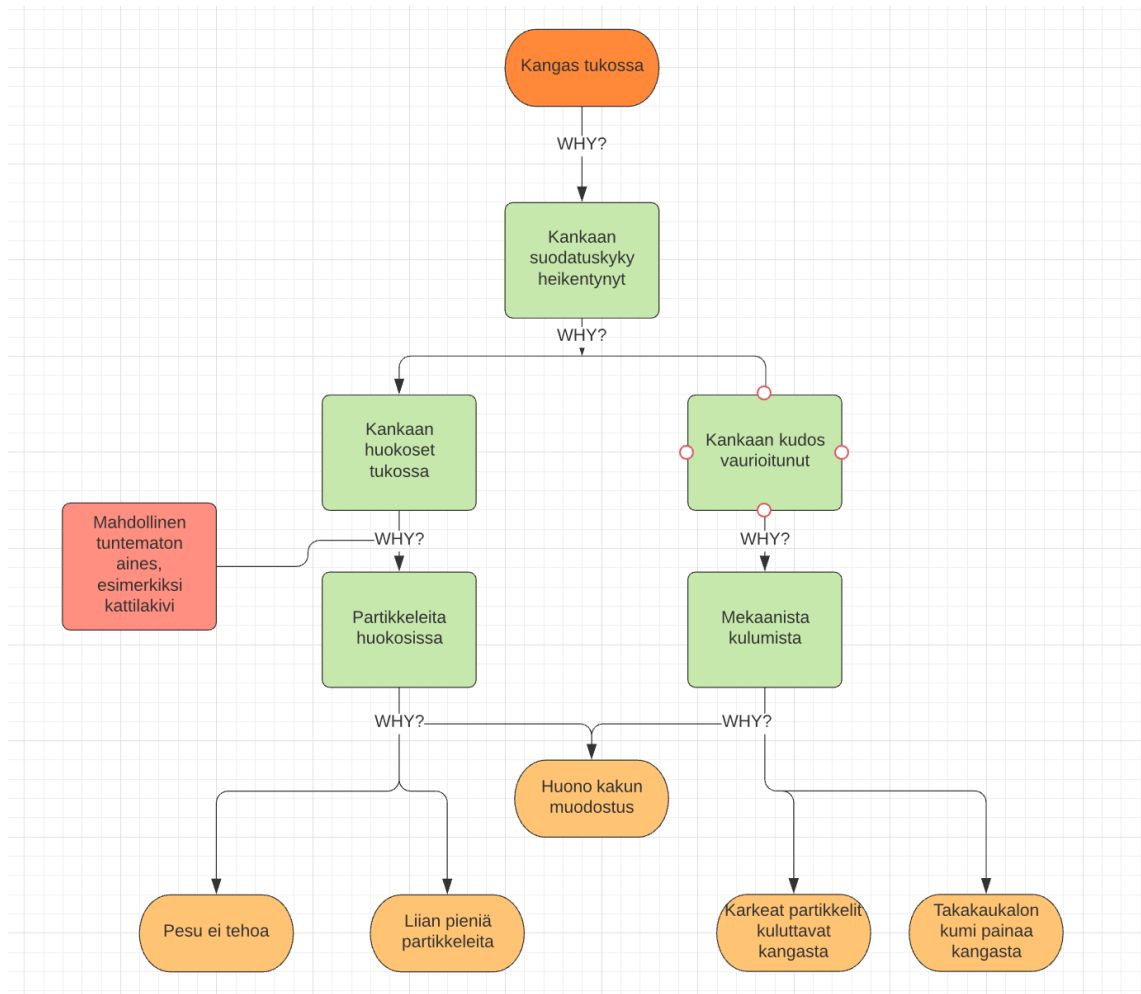
8.2 Kankaan tukkeutumisen juurisyysanalyysi

Kankaan tukkeutuminen on vikatila, mutta se on myös odotettavissa, sillä kangas on kulutusosa, jolla on oma elinkaari (Kuvio 24). Juurisyysanalyysissä halutaan siis selvittää kankaan normaalia lyhyempään elinkaareen johtavat tekijät. Kankaan normaali elinkaaren selvityksessä ongelman muodosti kankaan vaihtoon johtavat syyt, kuten langan katkeaminen, jotka johtivat kankaan vaihtoon ennen sen varsinaista tukkeutumista. Elinkaarien laskemissa täytyy huomioida vaihtoväliin vaikuttavat viat ja jättää ne laskuista pois. Monessa kohtaa kankaiden tukkeutuminen ei ehdi toteutua, vaan välissä oli langan katkeamaa, tai muita vikoja joiden korjauksien yhteydessä kangas oli vaihdettu. Kankaiden keskimääräiseksi elinkaareksi saatiin 31,5 päivää ja vaihtelu suotimia kohti oli seuraavanlainen: 4110 suotimella keskiarvo oli 26,5 päivää, 4120 suotimella 36,2 päivää ja 4130 suotimella 31,8 päivää. Pisimpään kankaat kestivät 60 päivästä 102 päivään. Juurisyysanalyysissä täytyy siis tarkastella mikä aiheuttaa kankaan normaalia aikaisemman tukkeutumisen. Tällaisia tapahtumia oli useita, ja kankaita vaihdettiin jopa alle viikossa. Juurisyysanalyysin ongelma oli siis kankaan nopea tukkeutuminen rumpusuodattimilla 2018 vuodesta nykyaikaan. Kankaat kestävät vähiten aikaa 4110 ja 4130 suotimella. Kaikilla suotimilla voitaisiin pidentää kankaan minimielinkaarta.



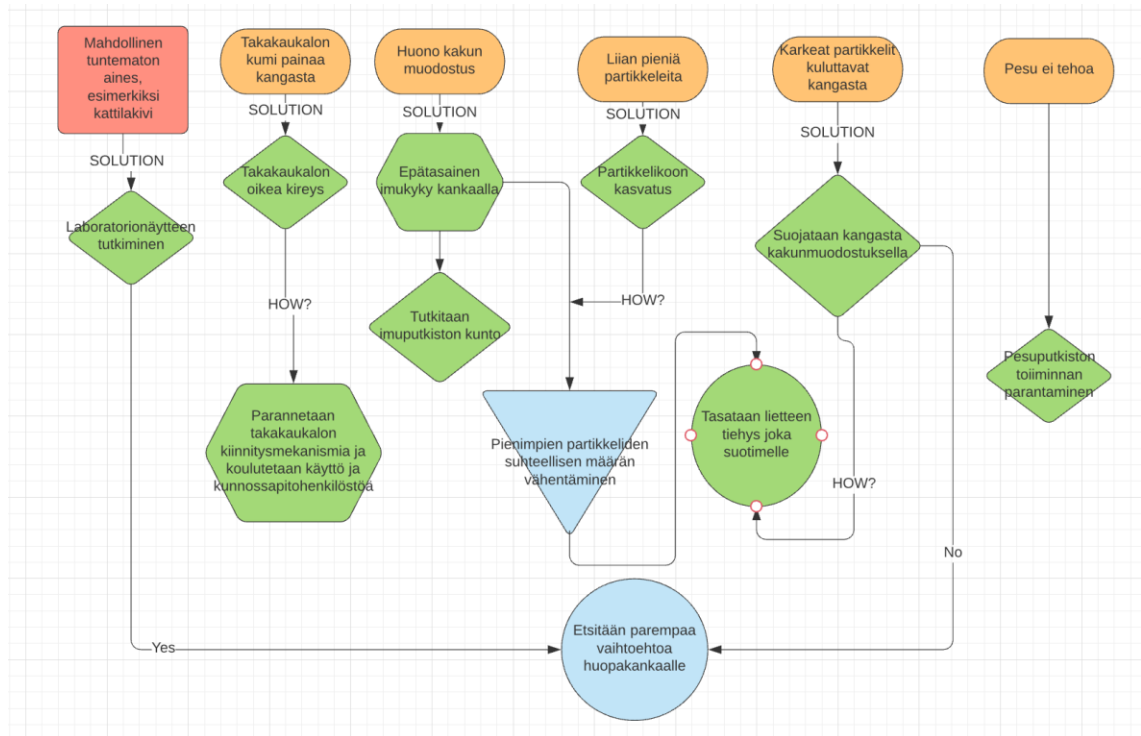
Kuvio 23. Kankaan yksinkertaistettu elinkaari.

Tutkittaessa kankaan tukkeutumista tehtiin sitä varten logiikkapuu (Kuvio 25).



Kuvio 24. Logiikkapuu kankaan tukkeutumisen syistä.

Kankaan tukkeutumisen syyt olivat pintapuolisesti selvillä, mutta joitain tuntemattomia tekijöitä oli olemassa, kuten epäily prosessissa olevista aineista, jotka voisivat tukkia kankaan. Näitä ei kuitenkaan voitu selvittää ilman suodatinkankaan laboratorio testausta, mikä olisikin suositeltavaa. Muita puuttuvia analyysia helpottavia tilastoja olisivat lietteiden tiheydet ja partikkelikoot niinä päivinä, kun kankaan elinkaari on ollut poikkeuksellisen lyhyt. Analyysi joudutaan tekemään yleisesti rumpusuodattimiin liittyvien teorialähteiden sekä asiantuntija lausuntojen perusteella. Osa ratkaisuisista vaatii jatkotutkimuksia ja testausta prosessissa (Kuvio 26).



Kuvio 25. Kankaan tukkoisuuden ratkaisukeinojen vuokaavio.

Kankaan tukkoisuuden aiheuttaviin ongelmiin haettiin ratkaisuvaihtoehtoja kiinteä-neste suodatuksen teorialähteistä. Osa ratkaisuista perustui myös kunnossapidon käytännön kokemuksiin. Yksi ratkaisuvaihtoehto on suodatinkankaan näytenäytteen tutkiminen laboratoriossa, jossa pyrittäisiin selvittämään kangasta tukkiva aines. Se voi olla myös odottamaton ainespartikkeli, jonka löytäminen vaatisi jatkotutkimuksia. Laboratoriotutkimus auttaisi myös rajaamaan ja valitsemaan uutta suodatinkangasta koekäyttöön.

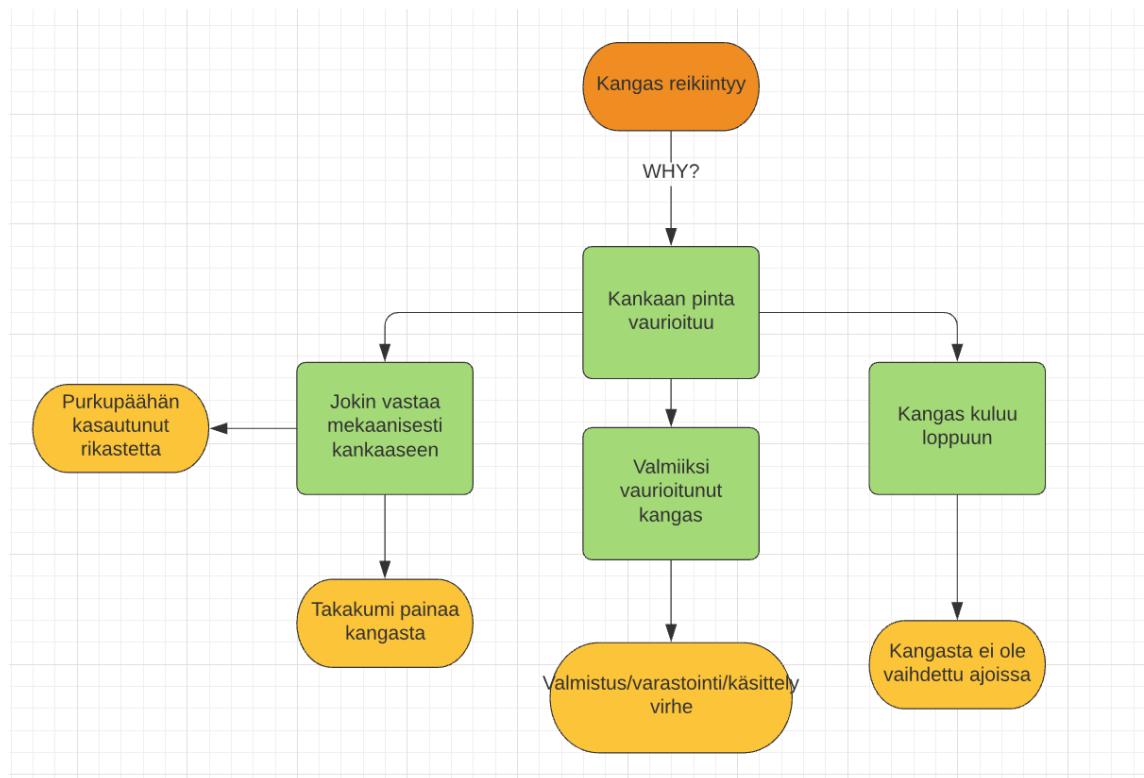
Takakaukalon kumi tiivistää syöttölaatikon ja on oleellista, että se on tarpeeksi kireällä, jotta neste ei pääse vuotamaan ulos syöttölaatikosta. Takakaukalo kuitenkin kiristetään käsin neljän kierretangon avulla ja se on mahdollista ja helppoa kiristää liian kireälle, jolloin takakumi painaa ja kuluttaa suodatinkangasta sekä käämityslankaa. Ratkaisuna olisi kehittää takakaukalon kiristystä niin, että takakaukalo liikkuu vaivattomammin ja kiristys olisi helpommin hallittavissa, jolloin käyttö ja kunnossapitohenkilökunnan olisi helpompi asentaa takakaukalo oikealle kireydelle. Olisi hyvä myös selvittää takakaukalolle oikea kireys ja mahdollisesti asentaa kiinteitä indikaattoreita kiristuksen määrälle. Olisi myös hyvä käydä läpi sekä käyttö, että kunnossapitohenkilöstön kanssa takakaukalon oikean kireyden tärkeys.

Kakunmuodostus on tärkein suoja kankaalle, sillä nopeasti muodostuva suodakakku toimii suojana ja lisäsuodattimena kasvavalle kerrokselle. Huono ja epätasainen kakku jättää suodinkankaasta paljaaksi kohtia, joihin kohdistuu suurempi mahdollisuus tukkeutua ja repeytyä. Kakun muodostus riippuu useista eri tekijöistä ja vaadittaisiin jatkotutkimuksia, jotta kakunmuodostusongelmat selvitettäisiin. Ratkaisuvaihtoehtoja löydettiin silti. Kakun muodostus alkaa hyvin, mutta nopeasti kankaaseen alkaa ilmestymään kaljuja kohtia. Nämä kohdat ovat joko tukkoisia, tai omaavat huonomman imukyvyn. Suodatinrumpujen imuputkistot olisi syytä tutkia ja etsiä vuotoja, tai tukoksia putkistosta. Kakun muodostus liittyy myös prosessikokonaisuuteen siten, että hienoimmat partikkelit kulkevat huokosten läpi rikkoen kankaan kudosta ja voivat myös jäädä kankaan sisälle tukkimaan kangasta. Koska kokonaispartikkelikokoa ei prosessissa voida lähteä säätämään olisi oleellista, että suodattimien keskinäinen lietteen jako olisi tasainen, jolloin pienimmät partikkelit jakautuisivat tasaisesti suodinten kesken pienentäen niiden osuutta yhden kankaan kakunmuodostuksessa. Lietteiden syötön tasaaminen helpottaisi myös osaltaan tilannetta karkeiden partikkeleiden kohdalla. Karkeiden partikkeleiden osalta saattaisi myös löytyä kangasvaihtoehtoja, jotka kestäisivät paremmin kuluttavaa materiaalia. Suodatinkankaita on valtava määrä ja on kiinnostavaa, että Eljävällä käytössä on harvinaisemmin käytetty huopakangas.

Viimeinen juurisyy kankaan tukkeutumiseen on pesun riittämättömyys. Pesu tapahtuu kakun irrotuksen jälkeen ja hieman ennen syöttölaatikkoa kahdella pesuputkella. Pesuputket ovat rummun pitkittäissuunnassa olevia ruostumattomasta teräksestä valmistettuja putkia, joihin on porattu reikiä tasavälein. Pesuputken ongelmana on epätasainen pesuveden virtaus ja reikien tukkeutuminen. Reikien tukkeutumisen ehkäisemiseksi on tehty jo kehitystyötä, jossa havaittiin prosessi- ja raakaveden vaikuttavan eri tavoin. Pesun parantamiseen voitaisiin etsiä valmiita ratkaisuja pesuputken osalta, toivottavaa olisi tasaisempi ja voimakkaampi vesisuihku. Nykyinen vesisuihku ei riitä irrottamaan kaikkea rikastetta kankaasta ja partikkelit jäävät kankaan sisään ja voivat aiheuttaa kankaan nopeampaa tukkeutumista.

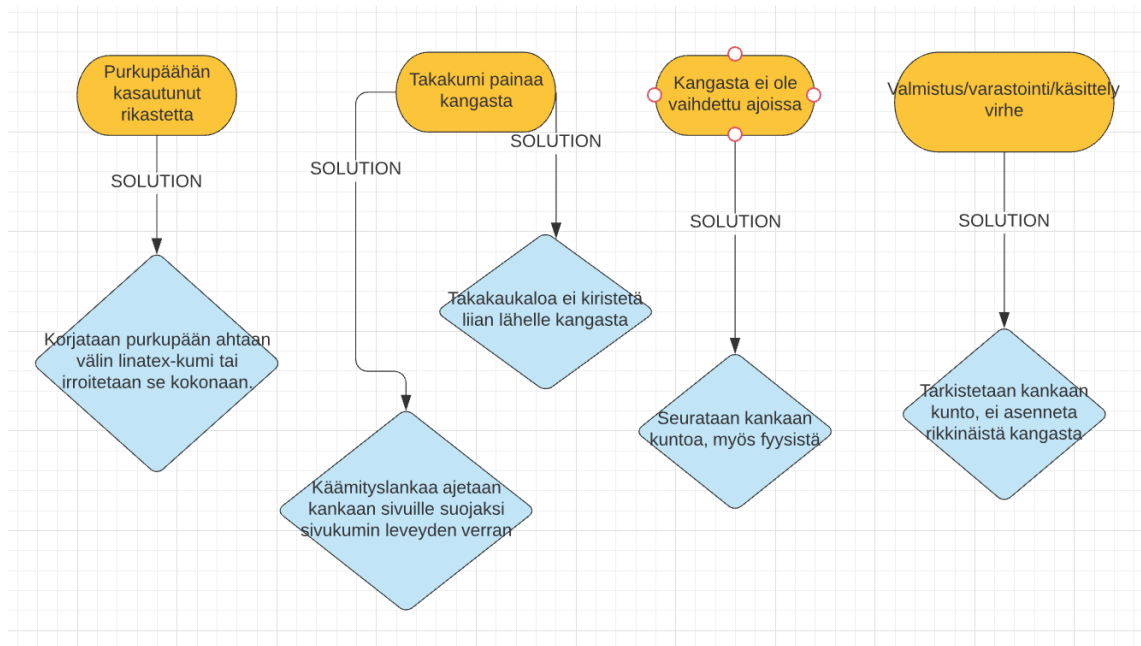
8.3 Kankaan reikiintymisen juurisyyanalyysi

Kankaan reikiintyminen oli harvinainen tapahtuma, mutta sille tehtiin myös juurisyyanalyysi (Kuvio 27). Kankaan reikiintymisen erityispiirre on, että reikiintynyt kangas päästää kiintoainetta suodattimen imuputkistoon ja imukoneeseen ja voi vaurioittaa niitä.



Kuvio 26. Kankaan reikiintymisen syyt.

Reikiintymisen syitä etsittäessä pyrittiin pysymään kaivoksen nykyprosessin tasolla. Kankaita reikiintyy ja mikrovaurioituu muun muassa kemikaalien vaikutuksesta, mutta Elijärven rikastusprosessissa ei käytetä kemikaaleja ja reikiintyneet kankaat on tutkittaessa havaittu lähes aina reikiintyneen joko takakaukalon kumin kohdilta, tai tasaisesti koko kankaan pituudelta niin, että kankaan käämityksen aiheuttamat kohonneet alueet ovat mekaanisesti hieroutuneet rikki.



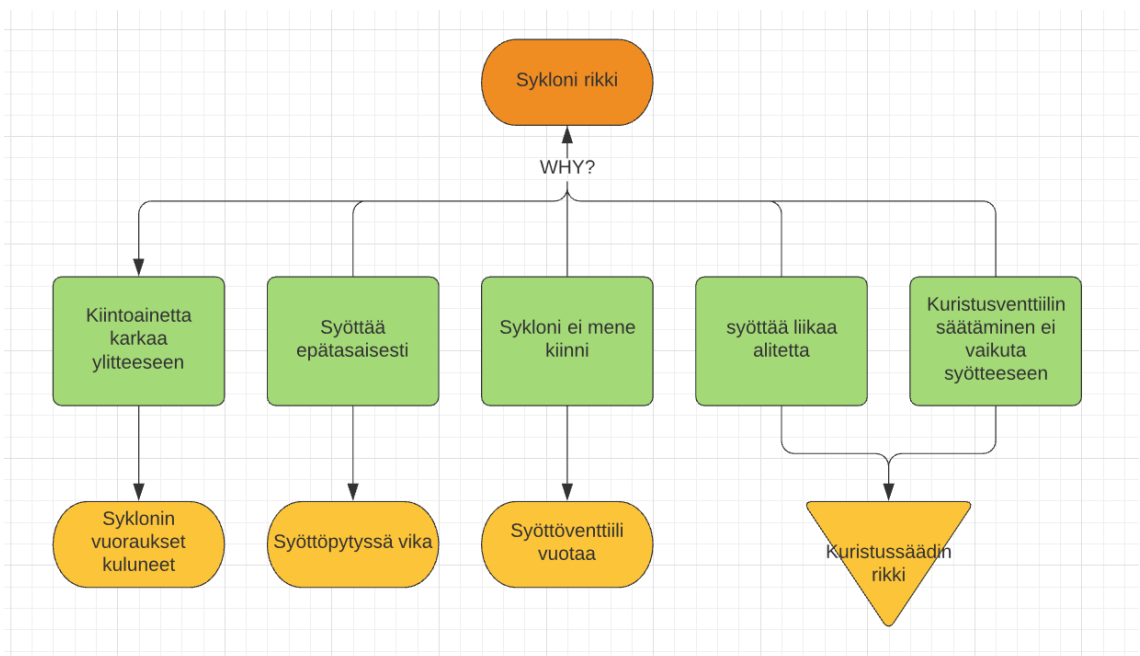
Kuvio 27. Kankaan reikiintymisen estämisen ratkaisut.

Kankaan reikiintymisongelmien ratkaisut löytyivät kunnossapitoasentajilta ja kokemuksesta, ja osa ratkaisuista, kuten käämityslankan ajo kankaan suojaksi on jo käytössä (Kuvio 29). Syöttimen purkupäässä on rummun ja purkusuppilon välissä ahdas väli ja sinne kertyy rikastetta. Rikaste jää vuorauskumin väliin ja tällöin hankaa suodatinkangasta. Yhdestä suotimesta tämä kumi puuttuu ja se on vähentänyt kankaan kulumista. Ongelma ei ole suuri, mutta se voidaan poistaa vähin kustannuksin irrottamalla vuorauskumi. Takakumi painaa myös suodinta, ja varsinkin takakaukalon kumin sivuosat. Kun takakaukalo on oikealla etäisyydellä, saadaan kumin aiheuttama painetta vähennettyä. Myös käämityslankan tiheämpi ajaminen sivukumin vaikutusalueelle vähentää reikiintymistä.

Reikiintyminen voi olla myös seurausta siitä, että kankaalla on ajettu liian pitkään. Tätä tulisi välttää, jotta ei aiheuteta lisävahinko suotimen ja imukoneen osille, koska reikiintynyt kangas päästää kiintoainesta suotimen imuputkiin ja niistä eteenpäin. Kankaan kulumista tulee siis seurata myös silmämääräisesti, kangas voi olla loppuun kulunut ilman, että se on tukossa. Reikiintyminen voi johtua myös valmiiksi huonokuntoisena toimitetusta kankaasta, tai kankaan kunto voi kärsiä säilytyksen ja käsittelyn aikana. Kankaan kunto tulee siis tarkastaa pintapuolisesti ennen asennusta, ja vaihtaa kangas. Kankaan kunnan poikkeamat näkyvät myös kangasta asentaessa, kun kangas ajetaan rullalta suotimen päälle.

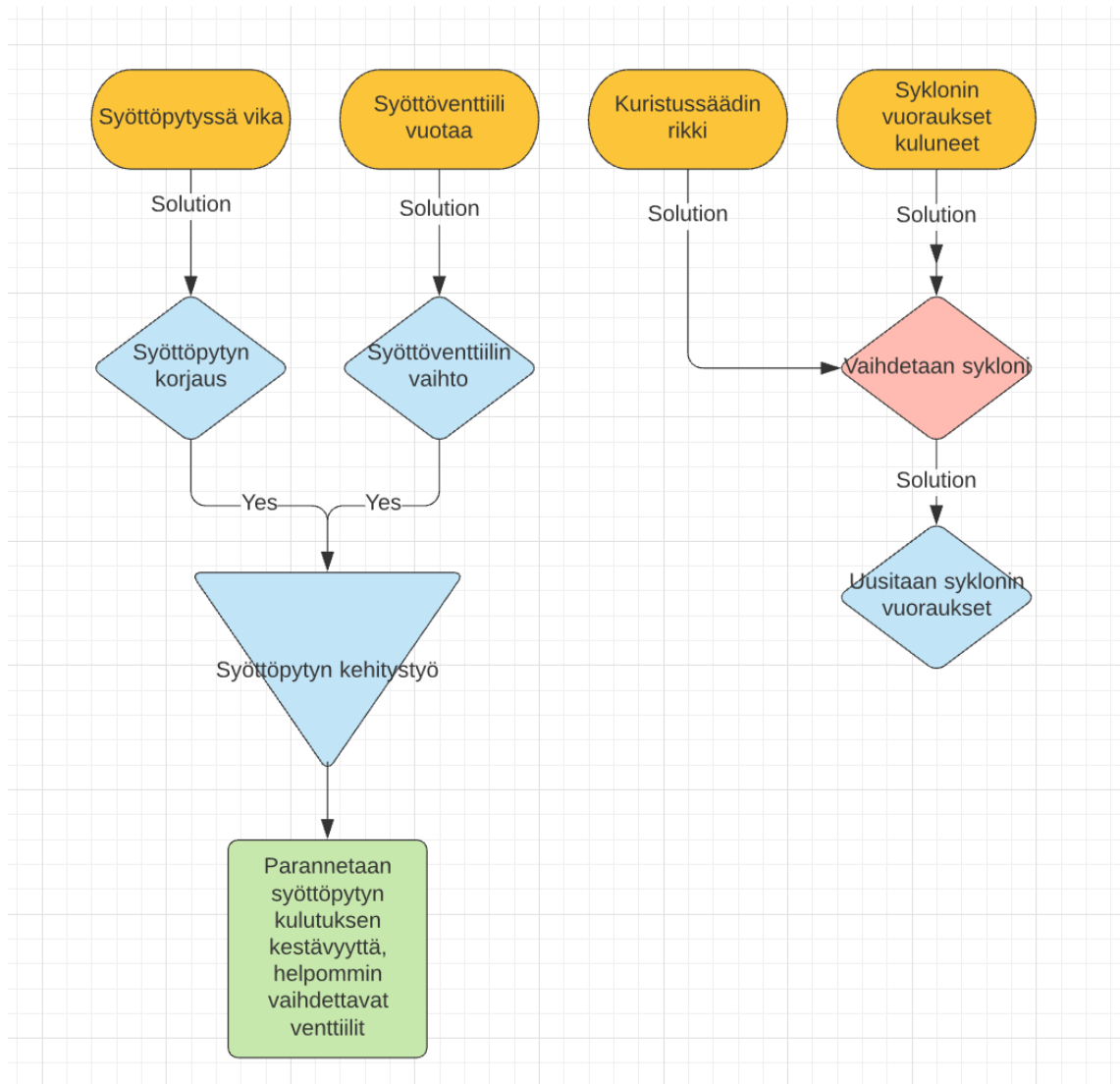
8.4 Sykloneiden vikojen juurisyysanalyysi

Toinen juurisyysanalyysin tarpeessa oleva vikakohde oli syklonit (Kuvio 29). Syklonit ovat kartioluokittimia, jotka syöttävät lietteen tyhjiörumpusuodattimelle. Sykloneiden vikatilojen ja vikaantumismäärien tutkimista vaikeutti se, että niiden vikoja oli ilmoitettu välillä pelkästään suotimien, tai muiden laitteiden alle ja välillä oman sykloni nimikkeen alle. Syklonien vikailmoitukset olivat myös turhan ytimekkäästi kirjoitettu, jolloin vian syyt jäivät hämärän peittoon. Syklonien vikaantuessa on ne kuitenkin helposti ja nopeasti vaihdettavissa, jolloin prosessin keskeytyminen ei kestä pitkään.



Kuvio 28. Syklonien vikailmoitusten syyt.

Syklonien vikoja on suhteellisen helppo löytää sillä itse syklonissa ei ole liikkuvia osia. Syklonin toimintaperiaate perustuu keskipakoisvoimaan ja syklonin ainoa säätö tapahtuu alitteen kuristamisella, joka tapahtuu paineilmalla. Useimmiten syklonin vikaantuminen johtuu yksinkertaisesti vuorausten kulumisesta, mutta myös muita vikaantumismekanismeja ilmeni.



Kuvio 29. Syklonien vikatilojen ratkaisukaavio.

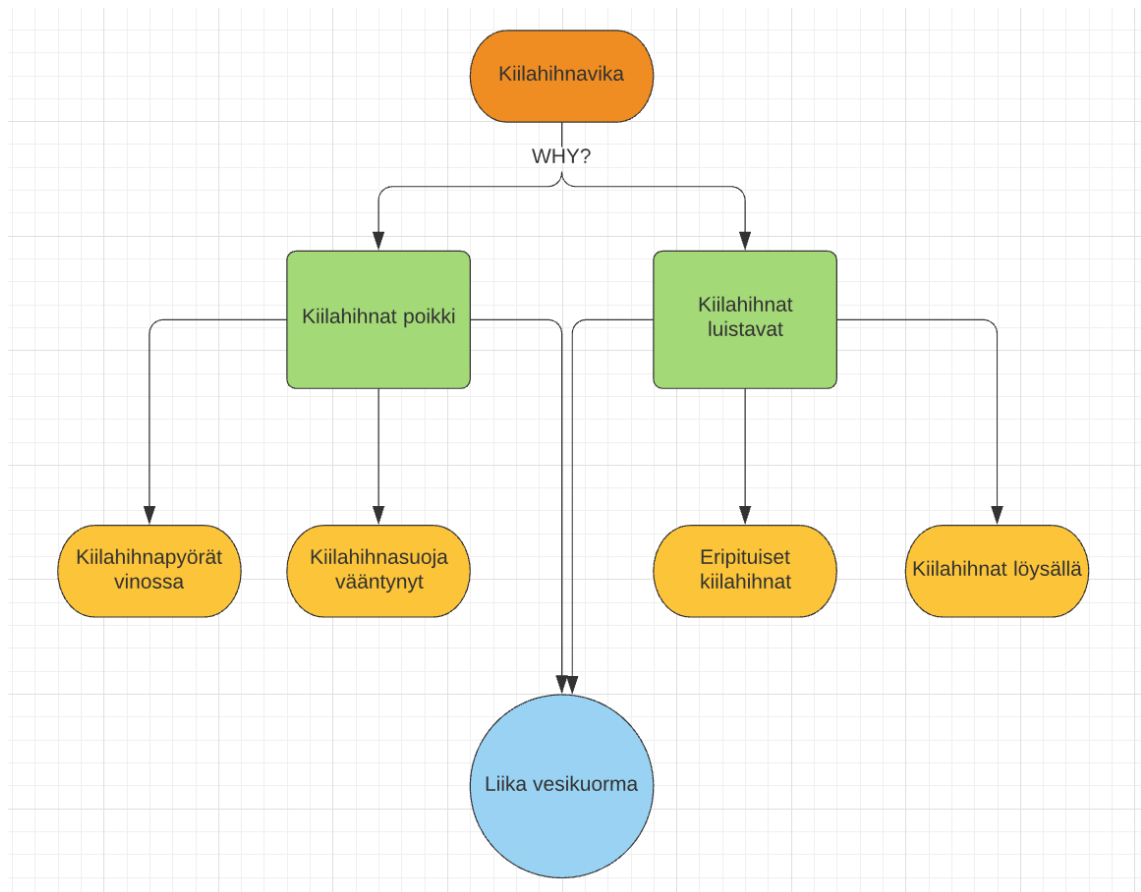
Syklonien vikatilat ovat yksinkertaisia korjata (Kuvio 30). Useimmiten rikkinäinen sykloni ensimmäisenä vaihdetaan kunnostettuun sykloniin. Tällöin voidaan rikkinäinen sykloni kunnostaa ja prosessi kulkee lähes keskeytyksettä eteenpäin. Täytyy kuitenkin varmistua, että kunnostettuja sykloneita on tarpeeksi suuri puskuri, jolloin ei tule tilannetta, jossa vaihto ei olisi mahdollinen. Tämä olisi vaikea tilanne sillä syklonin kunnostaminen vie muutamia tunteja. Huomionarvoinen seikka on myös kunnostettujen syklonien elinkaari, sillä sykloneiden runko alkaa olemaan jo vanha ja kunnostaminen ei tule onnistumaan ikuisesti.

Toinen vikatilojen juurisyy liittyy syklonien jakopytyyn. Jos syklonien syöttöpyty vikaantuu esimerkiksi reikiintymällä, tai sen venttiili hajoaa, vaatii korjaaminen imusuodattimen pysäytyksen. Tietyissä tilanteissa voi yksi suodattimista olla kor-

jauksessa, jolloin syklonin syöttöpytyn vikatila pysäyttää koko prosessin. Syöttöpytystä voidaan joutua vaihtamaan kansi, jos venttiiliyhteen juuri on pahasti vaurioitunut. Myös venttiilejä on jouduttu vaihtamaan. Näiden kaikkien vikojen korjaus vie runsaasti aikaa sillä syöttöpytty on vaikeassa paikassa ja sen venttiiliyhteet ja venttiilit ovat ahtaasti paikoitettuja ja painavia. Olisikin syytä kehitellä ratkaisua, jossa ensimmäiseksi mietittäisiin syöttöpytyn ja erityisesti venttiiliyhteiden juurien kulutuksensuojauksen parantamista ja toiseksi etsittäisiin keinoa helpottamaan venttiilien vaihtamista.

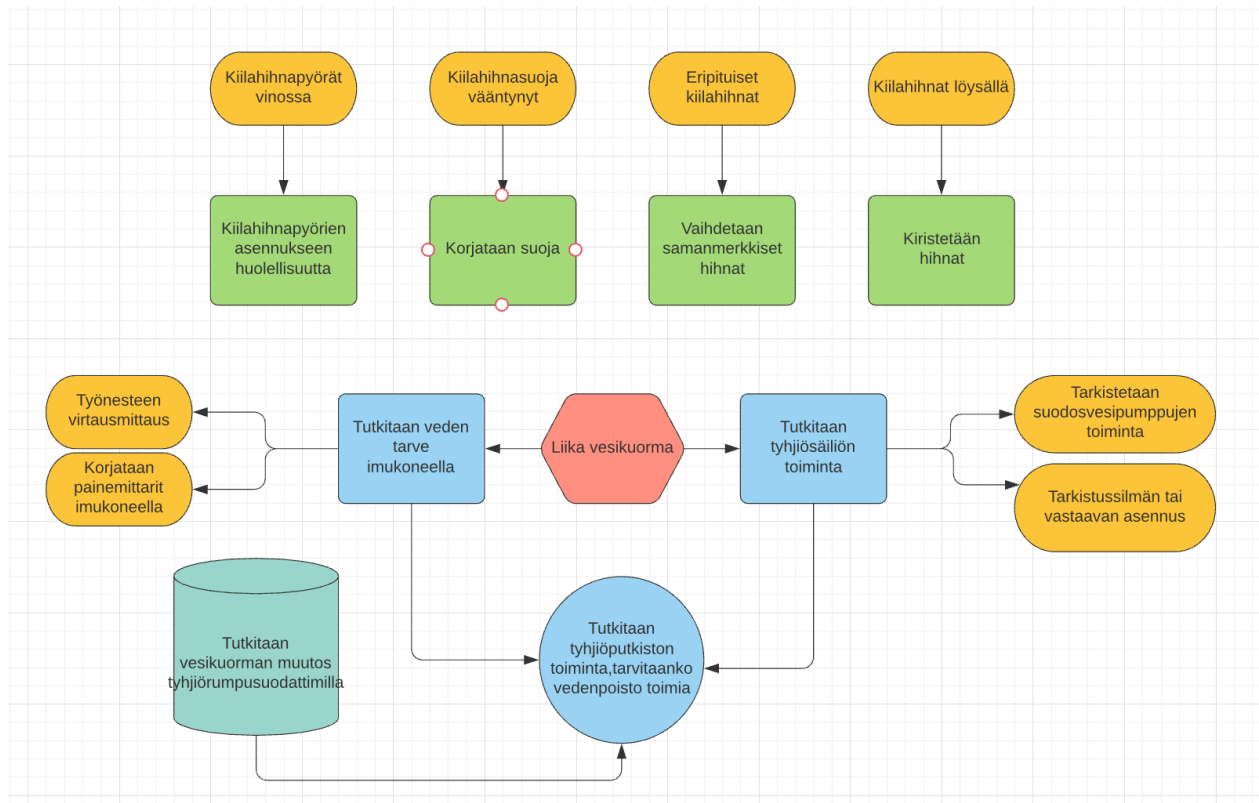
8.5 Imukoneiden kiilahihnojen vikojen juurisyyanalyysi

Kolmas suurimmista vikakategorioista oli imukoneiden kiilahihnojen ongelmat. Tämä tarkoitti kaikissa paitsi yhdessä vikakohtassa kiilahihnojen katkeamista, yksi vika oli kiilahihnojen luistamisesta. Kiilahihnojen katkeaminen, tai toimimattomuus tarkoittaa, että imukone ei voi pyöriä ja tuottaa imua suodinrummulle. Tällöin suodatin on toimintakyvytön. Pahimmassa tapauksessa yhdessä suodattimessa on jokin vika, ja toisen suodattimen imukoneeseen tulee kiilahihnavika, jolloin prosessi keskeytyy. Tähän on tarjolla ratkaisu, josta myöhemmin enemmän. Kiilahihnavikoihin ja kiilahihnojen vaihtamiseen on tehty kehitystoimenpiteenä kiilahihnakiristyksen muutos, jossa vanha kierretankoihin perustuva kiristysmekanismi on korjattu toimintavarmemmalla ja nopeammalla hydraulisella gemex-järjestelmällä. Erilaisia vikatilojen aiheuttajia löytyi, osa yksittäisiä poikkeamia, kuten vääntynyt kiilahihnasuojus, mutta taustalla vaikuttaa koko ajan myös liika vesikuormitus (Kuvio 31). Vesikuormituksen syy vaatii jatkotutkimuksia, sen selvittäminen ei onnistunut opinnäytetyön aikana, joskin vesikuorman syihin otetaan kantaa muualla opinnäytetyössä.



Kuvio 30. Kiilahihnavikojen syyt.

Syyt vikatiloille löytyivät vikailmoitusten ja kunnossapito henkilöstön kautta. Liian suuri vesikuormitus tuli ilmi omista huomioistani sekä käyttöhenkilökunnan haastatteluista ja myös työpaikalla käynnissä olevasta juurisyytutkimuksesta. Kiilahihnapyörien ns. vinous voi johtua kiilahihnapyörien asennuksesta, tai ennen hihnan kiristys muutosta saattoi sähkömoottori jäädä vinoon sitä liikuteltaessa. Kiilahihnasuoja, joka kolhun saaneena katkoi kiilahihnoja, oli yksittäistapaus eikä siinänsä vaadi suurempia kehitystoimia. Eripituiset kiilahihnat ovat mahdollisia silloin, jos varastosta haetut kiilahihnat ovat erimerkkisiä. Tällöin osa hihnoista kiristyy ennen muista ja loput jäävät löysälle ja alkavat luistamaan. Muutoin kiilahihnojen löysälle jääminen johtui enimmäkseen vanhan kiristysmekanismin ruostumisesta jumiin, jolloin hihnoja ei saatu kiristettyä enne kuin kierretangot ja muut pultit leikattiin pois ja vaihdettiin uusiin. Tämä toimenpide vaati paljon aikaa, sillä sähkömoottori jouduttiin nostamaan pediltä pois. Nykyinen hihnan kiristysmekanismi ei aiheuta kiristysongelmia.



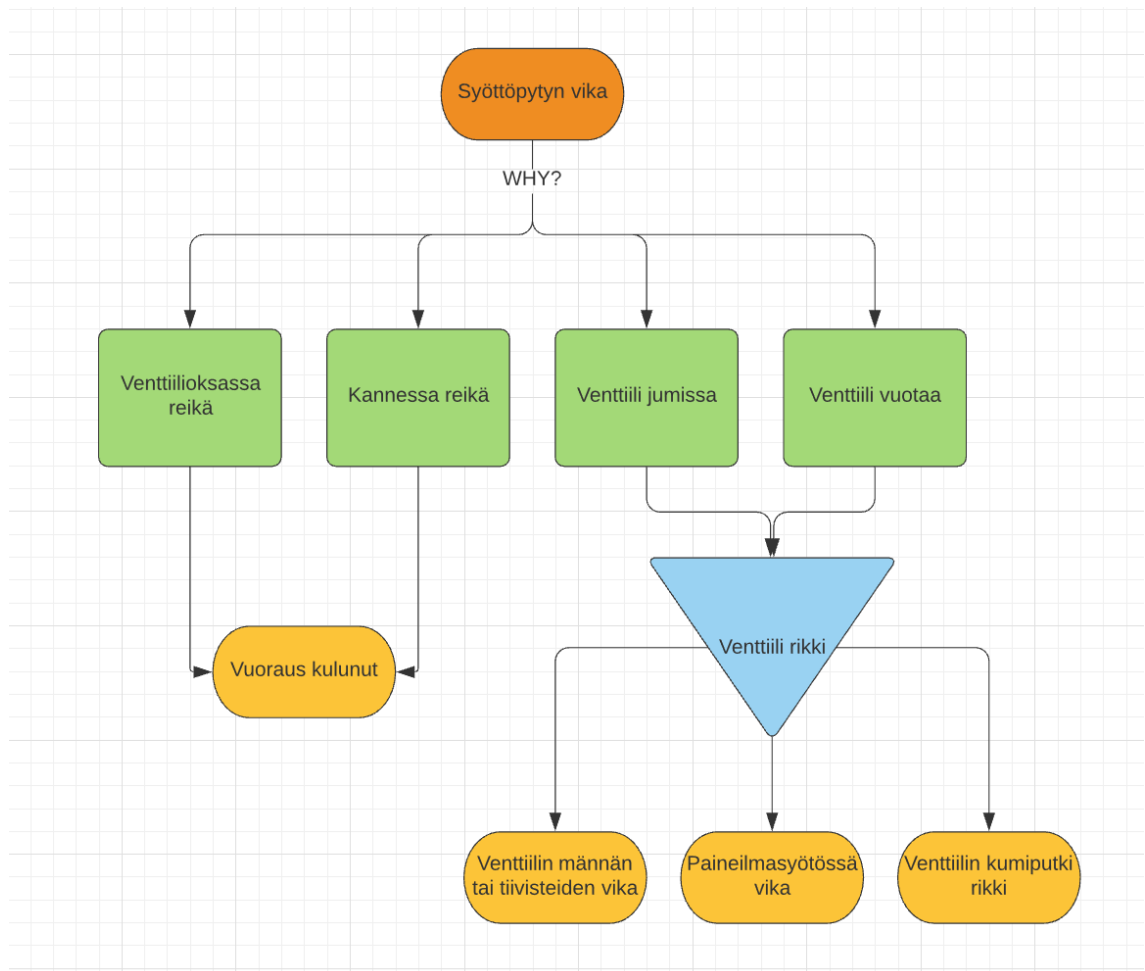
Kuvio 31. Kiilahihnojen vikatilojen ratkaisukaavio.

Kiilahihnojen vikatiloihin oli löydettävissä yksinkertaiset ratkaisut lukuun ottamatta prosessia häiritsevää suurta vesikuormitusta (Kuvio 32). Imukoneiden vesikuormitus vaikuttaa kiilahihnojen lisäksi imukoneiden laakeristoon ja esimerkiksi Tyhjiösäiliön toimivuuteen. Opinnäytetyötä tehdessä yritettiin ottaa yhteyttä imukoneita valmistavaan Nash-Denver Gardner:iin ja saatiinkin yhteyshenkilö, mutta he eivät halunneet lopulta osallistua ratkaisun etsimiseen. Vesikuormituksen kohdalla täytyy tehdä jatkotutkimusta ja verrata nykyistä vesikuormaa f3-projektia edeltäneeseen. Imukoneita ei kyetä ajamaan ilman, että niiden tyhjennysventtiilit ovat auki. Yksi tekijä vesikuorman huonoon kestävykseen on imukoneiden vaipan ja pyörän väljyys sekä huono kunto. Imukoneilla on liian suuri huoltovelka, ne täytyisi huoltaa täydellisesti mahdollisimman pian.

8.6 Syöttö eli jakopytyn vikatilat

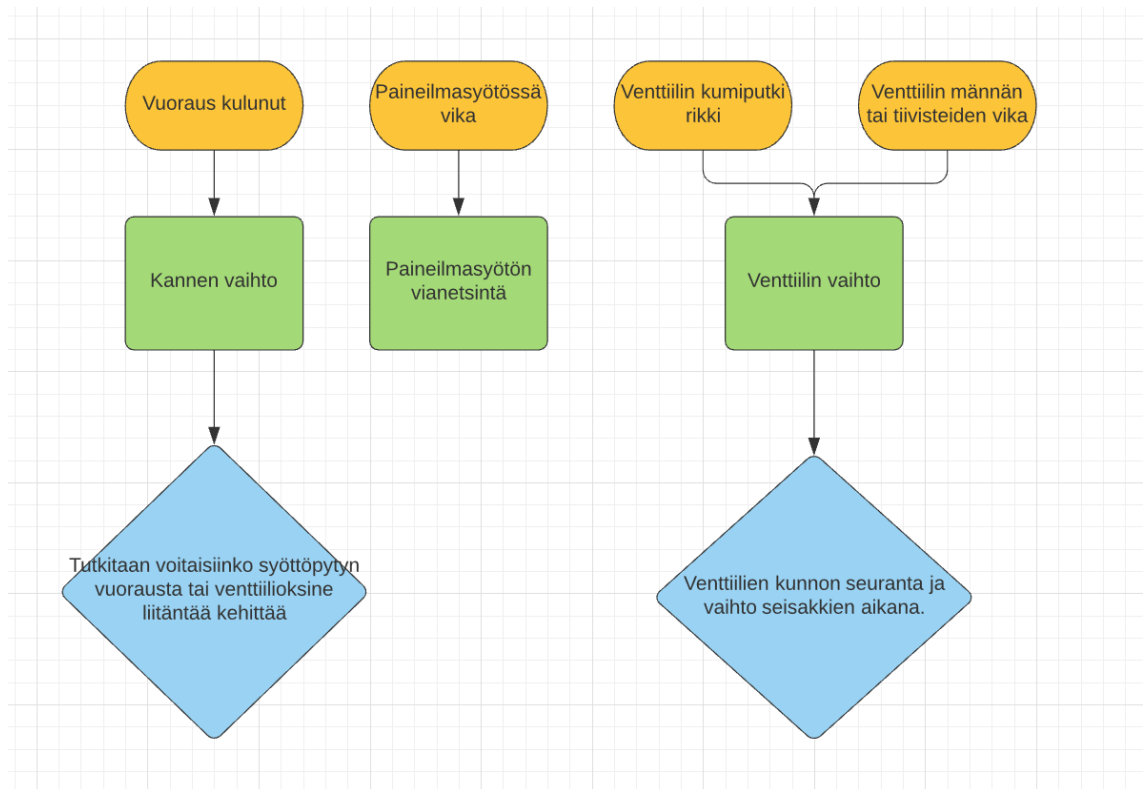
Syöttöpytty tarkoittaa säiliötä, josta venttiilien avulla jaetaan suodattimille tuleva liete. Syöttöpytyn avulla voidaan säätää mille suotimille lietettä ajetaan. Syöttöpytyn vikaantuminen pysäyttää rumpusuodattimen ajon ja voi pahimmillaan pysäyttää prosessin kokonaan, jos joku toisista suodattimista on samaan aikaan rikki.

Syöttöpytty on yksinkertainen, mutta siihen liittyy useita venttiileitä. Kulutus on kohtuullisen suurta ja tämä aiheuttaakin venttiilioksien kohdalla usein reikiintymistä (Kuvio 33). Reikien korjaaminen on ongelmallista sillä useimmiten kohtaa ei kyetä hitsaamaan ja joudutaan vaihtamaan koko syöttöpytyn kansi. Kannen vaihtoon kuluu useita tunteja, sillä kannessa on lukuisia pultteja ja venttiilejä ja ne ovat ahtaasti paikoitettu.



Kuvio 32. Syöttöpytyn vikaantumiskaavio.

Useimmiten vikana oli reikä syöttöpytyn kannen venttiilioksassa. Tämä kohta kuluu nopeasti, koska lietteen virtaus kulkee kapeaan venttiiliputkeen ja virtausnopeus sekä paine on kova. Vika on ongelmallinen, sillä pienikin reikä vaatii useimmiten koko syöttöpytyn kannen vaihtamisen ja jokaisen venttiilin irrotuksen. Venttiileillä oli myös omia vikoja, mutta ne eivät aiheuta niin suurta haittaa, koska venttiili voidaan vaihtaa ja korjata rikkiäinen venttiili korjaamalla. Vain instrumentti-ilman ongelmat eivät korjaannu venttiilin vaihtamisella, mutta tällainen vika on harvinainen.



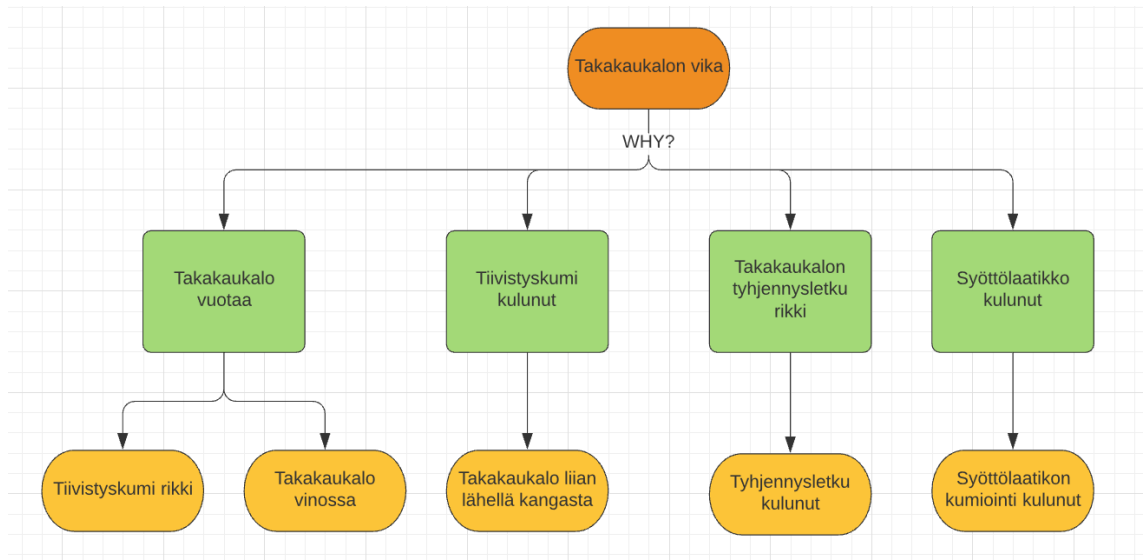
Kuvio 33. Syöttöpytyn vikojen ratkaisukaavio.

Vikojen ratkaisut ovat yksinkertaisia ja selvillä, mutta vikojen ennaltaehkäisyyn ja vähentämiseen olisi syytä keskittyä (Kuvio 34). Kehitysehdotuksena tulisi tutkia syöttöpytyn kannen vuorausta ja venttiilioksien liitää kehittää ja pyrkiä parantamaan venttiilioksien juurien kulutuksen kestävyttä. Venttiilien osalta voitaisiin välttyä turhilta pysähdyksiltä, jos venttiilien toimintaa seurattaisiin paremmin ja testattaisiin venttiilien toimivuutta sekä kumiosan kuluneisuutta. Tällöin voitaisiin seisakkiin ajoittaa venttiilin vaihto, jolloin siitä ei aiheutuisi ylimääräistä haittaa.

8.7 Suotimen takakaukalon viat

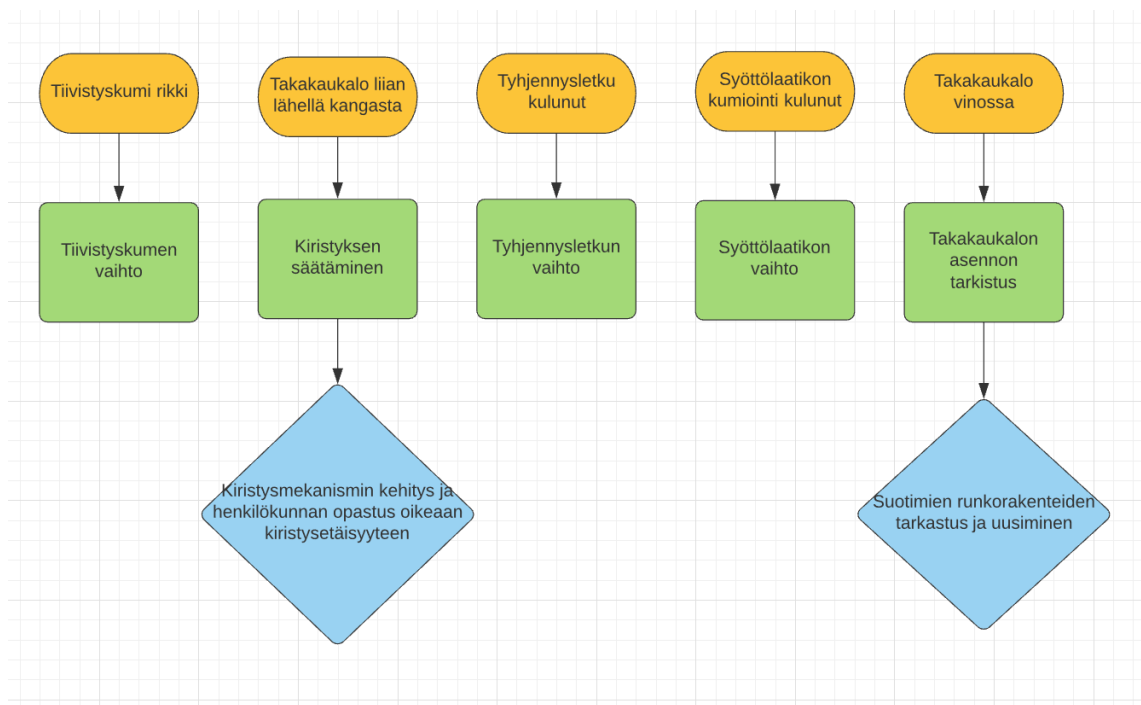
Suotimen takakaukalo on olennainen osa tyhjiörumpusuodatinta. Takakaukalo on Top feed -suodatintyyppin ominaisuus, eli kaukalo johon liete syötetään, sijaitsee rumpun kylkeä vasten. Kaukalo liikkuu rullilla kiskoja pitkin, jolloin se voidaan huoltotoimenpiteiden ajaksi irrottaa rummusta. Kaukalo myös kiristetään rumpua vasten liikuttamalla sitä kiskoilla ja sen jälkeen säätämällä oikeaan kireyteen kierretankojen avulla. Kaukalo tiivistyy rumpua vasten kumitiivisteiden avulla. Kauka-

lossa on myös yläosassa syöttölaatikot, jotka auttavat levittämään syötteen tasaisemmin rummulle ja estävät syötteen liiallisen kohdistumisen kankaaseen. Takakaukalon vikaantuminen tarkoittaa lähes yksinomaan tiivistekumin rikkoutumista ja lietteen karkaamista ulos suodattimelta.



Kuvio 34. Takakaukalon vikaantumiskaavio.

Takakaukalon vikaantumismekanismit liittyvät kulumiseen (Kuvio 35). Takakaukalon tiivistyskumi ja syöttölaatikot ovatkin kulutustavaraa ja vaihdettavissa. Takakaukalon kumi tarkastetaan ja vaihdetaan useimmiten kankaanvaihdon yhteydessä. Syöttölaatikon vaihto on myös helppo toimenpide, mutta täytyisi huolehtia, että vaihtolaatikoita on saatavilla. Takakaukalon tyhjennysletkun rikkoutuminen on yksittäistapaus, mutta tyhjennysletkuja voitaisiin kehittää paremmaksi. Takakaukalo voi vuotaa myös vaikka tiivistyskumi olisi ehjä, olisi syytä tutkia suodattimien runkorakenteiden kunto, sillä käyttöhenkilökunnalla oli epäilyksiä rungon vääntymisestä. Takakaukalon liikuttaminen kiskoilla on myös kehityksen tarpeessa sillä jokaisen kankaan vaihdon yhteydessä ja muulloinkin liikuttaessa takakaukalo putoaa kiskoilta niin, että toisen puolen renkaat jäävät kiskojen ulkopuolelle. Takakaukalon kiristys vaatii myös kehittelyä, sillä osassa suotimia takakaukalon kiristuksen kierretangot täytyy asetella oikeaan asentoon kaukaloa takaisin liikuttaessa, jotta ne eivät jäisi omien hahlojensa ulkopuolelle. Kiristyksessä olisi myös hyvä olla tapa mitata oikea etäisyys rummusta, mutta tämä etäisyys tulisi ensin määritellä kokeellisesti.

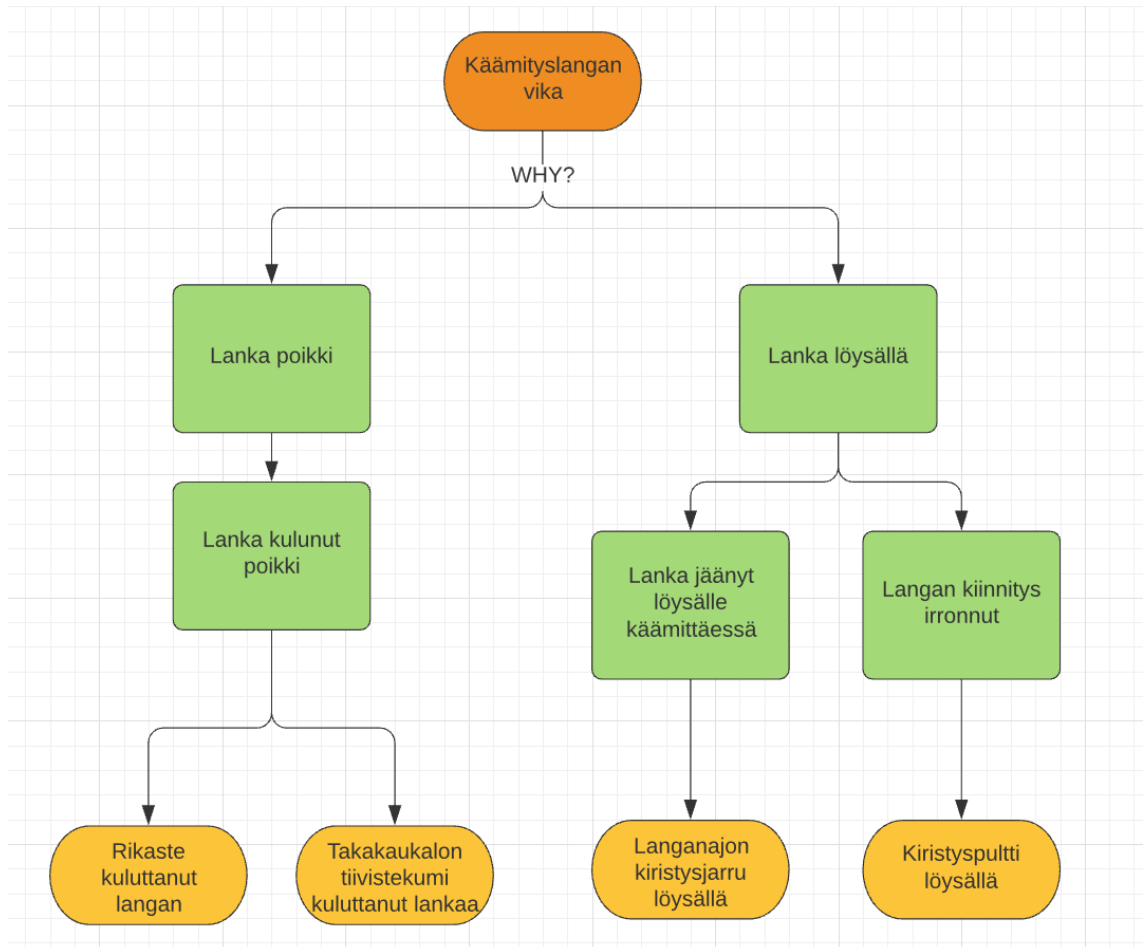


Kuvio 35. Takakaukalon vikatilojen ratkaisukaavio.

Takakaukalon vikojen suurin tekijä on tiivistyskumen liiallinen kireys suodinrumpua vasten. Olisi hyvä selvittää sopiva kireys ja opastaa käyttö- ja kunnossapitohenkilöstöä. Muut viat ovat normaalia kulumista ja niitä voidaan kehittää esimerkiksi syöttölaatikoiden keraamipinnoituksella (Kuvio 36). Käyttöhenkilökunnan mielestä voisi olla mahdollista, että suotimien runkorakenteet olisivat vääntyneet ja aiheuttaisivat takakaukalon vinon asennon. Tämä on syytä tutkia sillä runkorakenteet ovat vanhat ja kärsineet runsaasta korroosiosta.

8.8 Kankaan käämityslangan viat

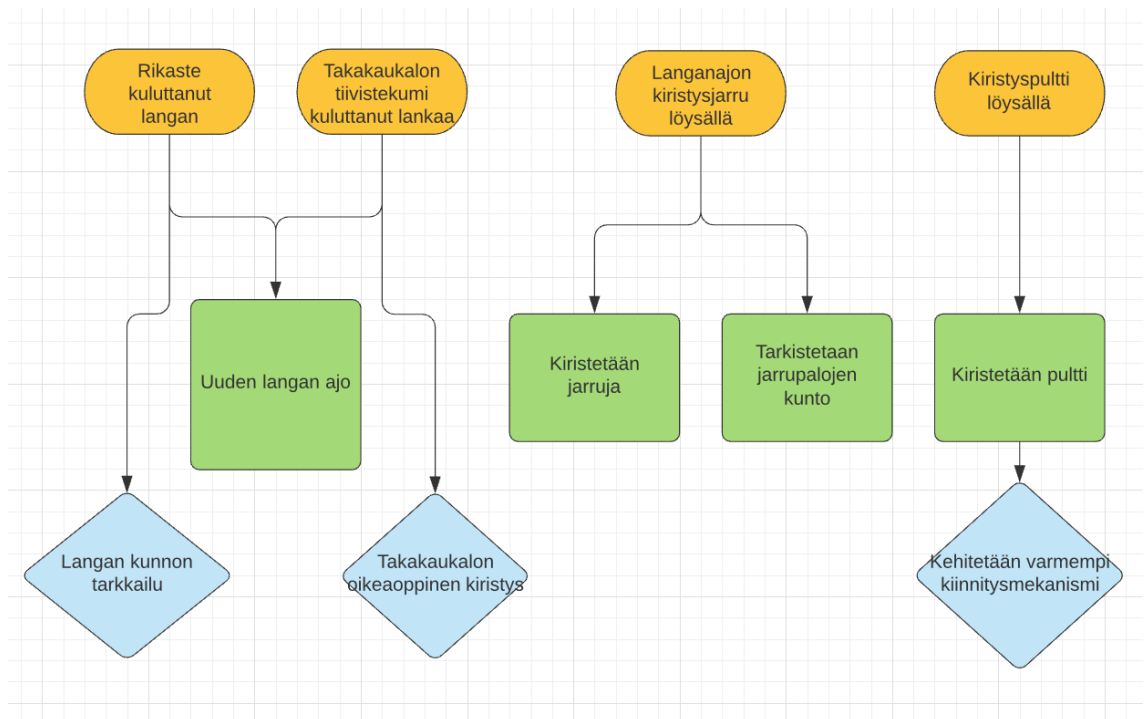
Suodattimen suodinkangas kiinnitetään suodatinrumpuun teräslangalla. Lanka kierretään suodatinkankaan päälle langanajokoneen avulla. Tätä kutsutaan käämitsemiseksi. Langanajo tapahtuu kiinnittämällä teräslangan pää suodinrumpuun ja pyörittämällä suodinrumpua sekä samalla ajaen langanajolaitteen syöttöä rumpun pitkäikäisyyden mukaisesti.



Kuvio 36. Käämityslangan vikakaavio.

Suodattimen langan katkeaminen on vakava vikatila. Se aiheuttaa suodattimen pysähdyksen ja langanajo vie useamman tunnin. Usein kannattaakin suorittaa kankaan ja muiden osien tarkastus ja kunnostus samassa korjauksessa.

Suurin haittatekijä langan katkeamisessa, tai löysäämisessä on irtonaisen langan aiheuttamat lisävahingot. Lanka kiertyy rummun akselin ympärille ja sen irrottaminen vaatii leikkaamista ja selvittämistä. Lanka voi myös tarttua esimerkiksi pyörintävahtiin kiinni ja repiä sekä vahdin, että sen kannakkeen hajalle.



Kuvio 37. Käämityslangan vikojen ratkaisukaavio.

Käämityslangan vikatilat johtuvat langan irtoamisesta kiinnityksestä, tai katkeamisesta (Kuvio 37). Langan katkeaminen johtuu kulumisesta. Kuluminen on normaalia, mutta langan katkeamiseen asti se ei saisi koskaan mennä. Langan kuntoa täytyy tarkkailla, etenkin suodatinrummun päissä missä takakaukalon tiiviste hankaa käämityslankaa vasten (Kuvio 38). Lanka kuluu myös muualta normaalisti rikastesyötteen vaikutuksesta. Takakaukalon kiristyksellä on osansa myös tässä vikaantumismekanismissa, liian kireä takakaukalo kuluttaa käämityslankaa nopeammin. Useimmiten langan kulumisen on hitaampaa kuin kankaan tukkeutuminen, mutta jos kankaan elinikä saadaan pidennettyä, on käämityslangan kunnon tarkkailu entistä tärkeämpää. Lanka saattaa myös löysätä kiristyksestä, jolloin vikaseuraamukset ovat samat, tai jopa pahemmat kuin langan katketessa. Uuden langan asennuksessa on tärkeä varmistaa kiristyspulttien riittävä kireys sekä mielellään vaihtaa kiristyspultit uusiin joka langanajokerta. Langan kiinnitysmekanismia olisi syytä kehittää varmemmaksi, nykyisellään se on epävarma. Lanka voi myös jäädä löysälle käämittäessä, jos lankaa ajettaessa ei huolehdita langanajojarrun sopivasta kireydestä, tai jarrupalat ovat kuluneet loppuun. Löysä lanka vaatii uuden langanajon ja mahdollisesti kankaan vaihdon.

9 AIEMPIEN TOTEUTETTujen KEHITYSTOIMIEN VAIKUTUS VIKAANTUMISIIN

Rikastamolla on myös käynnissä suotimiin ja imukoneisiin liittyvä kehitysprojekti, jossa on suoritettu juurisyyanalyysiä imukoneiden vesikuormituksen ja suotimien kankaiden osalta. Juurisyyanalyysissä on todettu, että kiilahihnoja kuluu tasaisesti kaikilla imukoneilla. Suodosvesipumpuista 4122 ja 4112 ottavat paljon enemmän virtaa verrattuna 4132 pumppuun ja 4132 pumppaa paljon enemmän suodosvettä kaivolle. Imukone 4121 vesisäiliö yläraja hälyttää koko ajan ja täyttyy vedestä. Rumpusuotimista 4120 ja 4110 imupaine on alle normaalin toiminta-alueen. Kankaiden ja kiilahihnojen kulutus on kasvanut paljon kevään 2019 jälkeen. Suotimille tuleva rikaste eli liete ei ole tasaista. Kankaiden tukkeutumiseen on yritetty vaikuttaa pesuputkistojen aukaisulla. Raakaveden on havaittu tukkivan pesuputket. On myös havaittu, että suotimiin on asennettu huuhtelujärjestelmä, jossa vettä syötetään imuputkistoihin ja tämä järjestelmä ei ole metson, vaan Outo-kummun oma.

Juurisyyanalyysin pohjalta on toteutettu toimenpiteitä. Suodosvesipumppujen paineputket aukaistiin ja myyrättiin, jolloin 4120 suotimelta saatiin enemmän suodosvettä tulos. Suunnitelmissa on myös muuttaa suodosvesipumpun moottorin välityksiä. Rumpusuotimien pesuputkistot aukaistiin ja suunnitelmissa on muuttaa myös takapesu raakavedeksi. Imukoneiden kiilahihnat on vaihdettu vahvempiin hihnoin. Imukoneiden hihnakiristys muutettiin gemex-pohjaiseksi. Suunnitelmissa on myös muuttaa kiilahihnakoteloita niin, että hihnojen vaihto olisi helpompaa. Suotimesta 4110 on otettu vastavirtapesuri kokonaan pois, mutta tällä ei ole havaittu vaikutusta kankaiden kulutukseen. Suotimilla testattiin myös uudenlaista suodatuskangasta, kangas ei toiminut. Vesisäiliöille on suunniteltu tehtävän automaattinen säiliön tyhjennys. Suunnitelmissa on myös muuttaa 4110 ja 4120 suotimien puhallusyhdde suuremmaksi, jotta niiden irrotuspuhallus vastaisi 4130 suodinta. Juurisyyanalyysissä on myös havaittu, että syöttöpytyn sijainnista johtuen rikastetta menee enemmän 4120 suotimelle ja vähemmän 4110 suotimelle. Suunnitelmissa on kuristusventtiilin korjaus ja mahdollisesti kuristuksen hoitaminen syöttöputken halkaisijaa pienentämällä. Suunnitelmissa on myös järjestää koulutusta imukoneista sekä hankkia imukoneisiin varaosia.

10 KÄYTTÖHENKILÖSTÖN HAASTATTELUT

Käyttöhenkilöstöä eli jokaista käytön vuoroa haastateltiin vedenpoistoprosessiin liittyen. Haastattelutilanteessa oli paikalla aina vuoron prosessinhoitaja ja vuoromiehet. Haastateltavia vuoroja oli neljä ja henkilöitä vuoroa kohden kuudesta kymmeneen. Pääosa kysymyksistä osoitettiin prosessinhoitajalle ja muut henkilöt täydensivät vastauksia. Haastattelussa käytettiin valmista pohjaa ja haastattelu pidettiin anonyyminä niin, että vuorot, tai nimet eivät käy ilmi eivätkä ole yhdistettävissä vastauksiin. Tavoitteena oli saada lisää tietoa prosessista, kerätä käyttöhenkilöstön mielipiteitä laitteistosta ja prosessista, kerätä vikatietoa ja tarkastaa onko vuoroilla yhtenevä ajotapa sekä tietotaito.

Käyttöhenkilökunta otti haastattelun innokkaasti vastaan, ja myös kommentoivat vedenpoistolaitteiston tilaa ja suunnittelua. Osalla vuoroista oli selkeä kuva ongelmista, toiset vuorot ajattelivat prosessin vain olevan sellainen kuin se on. Kaikki vuorot olivat kuitenkin perillä imukoneiden ja suotimien toimintaperiaatteista. Haastattelu eteni väljästi haastattelupohjan mukaan. Kaikki kysymykset käytiin läpi, mutta suurimman annin sai, kun käyttöhenkilöiden annettiin kertoa prosessista omin sanoin.

Ensimmäinen kysymys oli, kuinka vedenpoistoprosessi startataan. Kaikki vuorot vastasivat starttauksen olevan automaattinen sekvenssi, eikä sitä voitaisi käynnistää väärin. Muutama vuoro tarkensi, että starttiin kuuluu käyttömiesten suorittamat tarkastukset, kuten syklonit, takakaukalon pinta, puhallukset, vaihdelaatikoiden toiminta, kankaiden kunto jne. Starttaus on siis melko yhtenäinen prosessi, jossa vuorojen välillä ei juuri ole eroa.

Toinen kysymys koski parametrien seurantaan, kuten imukoneiden imutehoa, käyttöveden määrää ja rumpusuodattimen parametrejä. Tämän kysymyksen kohdalla suurin osa vuoroista ei osannut vastata kovin tarkkaan, ehkä asia oli liian itsestään selvä. Imukoneen kohdalla vedelle ei ole virtausmittausta, vaan konetta ajetaan ns. Täynnä vettä ja tyhjennysventtiili auki. Tyhjennysventtiili on ollut kiinni ennen F3-projektia, jonka jälkeen imukoneilla on aina ollut liikaa vettä. Syyksi arveltiin tuotannon tuplaantuminen ja alimitoitettut pumpput. Imukoneista seura-

taan myös virranottoa. Suotimien kohdalla seurattavia parametrejä olivat alipaineen eli imun määrä, syklonien syöttö, takakaukalon pinnan korkeus ja hienoriikasteen määrä. Kakun eli rikastepatjan muodostusta ei talvisin voi seurata, koska suotimien päällä on höyryhuuvat ja kameran kautta rikastepatjan paksuutta on vaikea arvioida. Kakkua voidaan kyllä käydä tarkastelemassa paikan päällä.

Imupaineen noustessa 0,6 bar:iin katsotaan suodatinkankaan olevan vaihdon tarpeessa. Yksi vuoro mainitsi tarkkailevansa suodinrikastekaivon pumppujen virranottoa, se paljastaa takakaukalon viat.

Kolmannessa kysymyksessä selvitettiin prosessin säätömahdollisuuksia ja kuinka paljon vuorot prosessia säätävät. Valitettavasti tässä oli isoja poikkeamia vuorojen välillä. Vain yksi vuoroista liitti spiraalien säätämisen tähän prosessiin. Jokainen vuoroista mainitsi syklonien kuristuksien säätämisen tiheyden muuttamiseksi, ja mainitsivat, että syklonien kuristus on varsin rajallinen säätömahdollisuus sillä kuristusta lisätessä rikastetta alkaa karkaamaan ylitteeseen. Rumpujen pyörimisnopeutta pyritään säätämään niin, että saataisiin kakun irrotus tapahtumaan samanaikaisesti. Osa vuoroista mainitsi, että syklonien säätämistä pitäisi tehdä tiheämpään.

Neljännessä kohdassa kysyttiin rumpusuodattimien eroista ja tuotantokapasiteetistä. Jokainen vuoro kertoi suodattimien eroavan toisistaan paljonkin. Painotettiin jakopytyn epätasaista rikasteen jakoa niin, että 4130 suodin saa vähiten rikastetta. Osa vuoroista kertoi 4120 saavan eniten rikastetta, osa 4110. 4130 suodattimen paineiskua sanottiin parhaimmaksi, mutta tälle suodattimelle myös luokituu pienintä raekokoa.

Viidentenä haluttiin tietää käyttöhenkilökunnan arviota prosessin ongelmista ja parannusehdotuksia niihin. Kysymykseen vastattiin innokkaasti ja myös kyseenalaistettiin vedenerotusjärjestelmän suunnittelua. Suurimpia ongelmia olivat lietteen syötön epätasainen jakautuminen suotimille, imukoneiden ja suotimien kapasiteetin riittämättömyys ja lietteen syöttäminen syklonien kautta. Suodattimien rungot ovat kuluneita ja vääntyneitä, takakaukaloita ei saa enää tiiviisti kiristettyä. Paineenkorotuspumpulle kaivattaisiin hälytys, jotta se muistetaan laittaa päälle. Syklonisyötöstä haluttaisiin eroon, tai mahdollisesti muuttaa sitä niin, että suoti-

mien syötön säätäminen olisi mahdollista ilman hukkaan menevää rikastetta. Yhdellä vuoroista oli ajatuksena, että suodosvesipumppuja ei tarvittaisi, vaan suodosvesi voitaisiin valuttaa painovoimaisesti lattialle. Mielenkiintoisin parannusehdotus oli, että mahdollistettaisiin suotimien ja imukoneiden ristiin käyttö. Tällöin ehjä imukone ei olisi sidottu rikkinäiseen kankaaseen, tai ehjä suodin rikkinäiseen imukoneeseen.

Kuudes kysymys koski laitteiston historiatietoja ja seisakkিতietoja. Laitteista ei ole saatavilla seisonta-aikoja, tai muita historiatietoja kuin käyttötunnit. Käyttötunteja ei aina muisteta nollata huollon jälkeen.

Seitsemäs kysymys koski imukoneiden ajotapaa ja ajoparametrejä. Imukoneille ei ole säädeltäviä parametrejä. Vuorot seuraavat vain virranottoa ja kiilahihnoja. Ehdotuksena oli asentaa tarkkailusilmä suodosvesisäiliöön, jotta veden pinta voitaisiin varmentaa.

Kahdeksas kysymys oli imukoneiden ongelmat ja erityisesti miksi tyhjennysventtiili on auki. Jokainen vuoro ilmoitti imukoneiden vesikuormat olevan liian suuri ja kiilahihnaremmit eivät sitä kestä. Tyhjennysventtiiliin on pakko olla auki, jotta imukone toimii, vesikuorma on niin suuri.

Yhdeksäntenä haluttiin tietää vedenpoistoprosessin alasajo sekä mitä mieltä kankaiden kuivumisesta seisakin aikana oltiin. Alasajo tapahtuu automaattisen sekvenssin avulla. Kankaiden kuivumisen esimerkiksi seisakinaikana uskottiin tukkivan kankaat. Kankaiden märkänä pitoon täytyisi käyttää raakavettä, koska prosessivesi voi tukkia kankaat, jos flokkulaatio on pielessä.

Kymmenes kysymys koski lietteen tiheyttä, mikä siihen vaikuttaa ja voidaanko tiheyttä nostaa, sekä mikä on lietteen partikkelikoko. Vuorot kertoivat, että tiheyttä ei varsinaisesti suotimelta näe, vaan se tulee prosessin mukaan. Sykloneja säätämällä voidaan nostaa syötteen tiheyttä, mutta tämä saa aikaan rikasteen karkaamista ylitteeseen. Kaikkiin piireihin ja pumppauksiin on myös ohjeavot joita tavoitellaan, mutta prosessissa tiheys ei ole suunnitellun mukainen. Rikaste kuitenkin ajetaan käyttömiesten mukaan hyvin tiheänä, huonon malmin kohdalla vettä täytyy lisätä. Osa vuoroista kertoi, että sykloneja ei säädellä kovin tiheästi.

Viimeinen kysymys oli, voitaisiinko lietteen partikkelikokoa kasvattaa. Tähän ei osattu vastata, eikä se varmasti ole prosessin kannalta kustannustehokasta.

Lopuksi vedenpoistoprosessiin liittyviä asioita kerrottiin omin sanoin. Yksi idea oli erottaa hienoin tavara omaan liejupiiriin ja hankkia hienolla tavaralle oma suodin, tällöin pienet partikkelikoot eivät pilaisi kankaita ja pienipartikkelinen rikaste saataisiin talteen. Rikastamolla on käynnissä jokin liejupiiriin liittyvä kehitystyö. Ilmeni myös kunnossapitoa koskeva asia. 4110 suotimen pyörintävahti ei aina anna signaalia puhallukselle, koska vaihdelaatikko liikkuu niin paljon, että pyörintävahdin anturi ei anna signaalia. Sykloneiden korjauksessa tapahtuu myös joskus virhe, jolloin syklonin sisävuoraukset eivät ole oikein kohdistuneita ja syklonin virtaus on huono. Sykloneita koskien ilmeni myös mielipiteitä niiden huonosta sopivuudesta suotimen syöttölaitteeksi sekä tarvetta päivittää syklonit nykyaikaan.

11 HAVAITUT PUUTTEET LAITTEISTOSSA

Opinnäytetyötä varten laitteiston tilaa tutkittiin kentällä. Osasta laitteistosta puuttui tarvittavia mittareita, tai ne olivat rikki. Nämä puutteet kirjattiin tähän ja niiden aiheuttamat ongelmat arvioitiin.

Silmiinpistävin ero on puuttuvat, tai rikkiinäiset mittaristot. Suodattimien venttiilirungoissa on paikallaan painemittarit, mutta ne ovat kaikki rikki. Tämä vaikeuttaa suodattimen toiminnan seuraamista kentällä. Imukoneiden tiivisteveden painemittarit ovat rikki, tai asennettuna väärin niin, että niiden ilmoittamat lukemat ovat todella korkeita. Tiivisteveden ja prosessiveden painemittarit näyttivät koneiden käydessä normaalisti vastaavaa: imukone 4111, prosessivesi 7,9 bar, tiivistevesi 9,7bar. Imukone 4121 prosessivesi 7,8 bar, tiivistevesi 4,2 bar. Myös imukoneiden prosessiveden painemittarit näyttivät liian isoja painemääriä, jopa yli 8 baria. Kaikista imukoneista puuttuu myös virtausmittarit, joilla pitäisi kyetä seuraamaan oikeaa vesimäärää imukoneessa. Ei ole tietoa onko tiivisteveden virtaus riittävä, tai saako imukone oikean määrän prosessivettä. Imukoneista puuttuu myös automaattinen purkuventtiili, jota käytetään, kun käynnistetään imukonetta jonka päästöputki on asennettu ylöspäin. Venttiilin liittimessä on kyllä manuaalinen palloventtiili. Imukoneiden työveden lämpötilaa tulisi myös kyetä seuraamaan, mutta laitteistoon ei ole asennettu sopivia mittareita. Imukoneita myös ajetaan niin, että niiden varsinainen tyhjennysventtiili on koko ajan auki, vaikka tämä venttiili on tarkoitettu imukoneen tyhjennystä varten esimerkiksi pysäytyksessä, tai puhdistuksessa. Tyhjiösäiliöstä imukoneelle menevässä linjastossa ei ole kosteusansaa, tai vedenerotusmekanismia. Tämä voi olla osasyynä imukoneiden liian suurelle vesikuormitukselle. Suodinnesteen tulisi poistua tyhjiösäiliöstä säiliön alaosan putkiliitoksesta, mutta imukoneen aiheuttama alipaine voi imeä vettä liian täynnä olevasta tyhjiösäiliöstä.

12 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen edetessä pääpaino siirtyi käytettävyyden osalta vikatilojen analysointiin ja laitteiston puutteisiin. Pelkästään tuotantoa katsoen rumpusuodattimet pystyvät riittävään tulokseen eli valmistajan lupaamaan 40 tonniin tunnissa. Kuitenkin laitteiston toiminnassa ja käyttämisessä löydettiin paljon puutteita ja mahdollisuuksia kehittää toimintaa. Tutkimuksessa tuli ilmi myös joitain kehitysideoita joiden implementointi parantaisi käyttövarmuutta. Tutkittaessa vedenpoistolaitteiston vikahistoriaa vuodesta 2018 vuoteen 2020 tuli ilmi, että kaikista vikatiloista 45% liittyi suodatinkankaan vikaantumiseen, eli tukkeutumiseen, tai repeämiseen. Muita suuria vikaantujia olivat rumpusuotimen hydrosyklonit, imukoneiden kiilahihnat, syöttöpytyt, suodattimen takakaukalo ja suodattimen käämityslanka. Näille vioille suoritettiin juurisyyanalyysi ja löydettiin vikaantumismekanismit ja ratkaisutoimenpiteet.

12.1 Vikatilojen tutkimuksen tulokset

Suodatinkankaille tulisi jatkaa paremman suodatinkankaan etsintää. Tämä vaatii lisätutkimuksia ja kankaasta onkin lähetetty näyte laboratorioon. Teoriassa suurin vaikutus suodatinkankaan toimintaan olisi jakopyttyjen jakaman lietteen tiheyden tasaaminen suodattimien kesken. Laiha liete aiheuttaa kankaan elinkaaren lyhenemistä. Jakopytyn toiminnan parantaminen vaatii jatkotutkimuksia. Kankaan pinnan kulumisen ja lähes jokaisen repeämisen syynä on liian tiukkaan kiristetty takakaukalo. Tämän vian poisto vaatii henkilöstön valistamista takakaukalon oikeasta kiristysmäärästä. Olisi myös mahdollista parantaa takakaukalon kiristysmekanismia niin, että huoltotoimenpiteet sekä kiristäminen helpottuisivat. Pesu-putkisto on myös alkeellinen ja sen vesisuihku kohdistuu pistemäisille alueille ja vesimäärä ei riitä huuhtomaan suodatinkankaan kudoksissa olevia partikkeleita pois. Vesiputkisto vaatisi kehittämistä niin, että vesimäärä kasvaisi ja vesisuihku kohdistuisi koko kankaan leveydelle.

Syklonien viat johtuivat joko itse syklonista, tai sykloneille syöttävästä syöttöpytystä. Syklonien vuoraukset kuluvat ja tämä on normaalia, mutta syklonien rungot vaativat jo uusimista. Käyttöhenkilökunnan mukaan syklonien huoltamisessa tapahtuu myös virheitä, joten kunnossapitohenkilöstöä tulisi kouluttaa syklonien

huoltoon. Syöttöpytty vikaantuu reikiintymällä, tai venttiilin hajoamisella. Käyttövarmuutta voitaisiin parantaa kehittämällä syöttöpytyn kulutuksenkestävyyttä. Nykyisellään syöttöpytyn kansi reikiintyy venttiilioksan juuresta, joten tämän alueen vuorausta voitaisiin kasvattaa, tai tarkistaa, että se ei ole puutteellinen.

Imukoneiden kiilahihnojen tilanne on jo parantunut huollettavuuden osalta. Imukoneiden kiilahihnat kiristettiin aiemmin sähkömoottorin pedin kierretangoilla ja tämä mekanismi oli korroosion ja rikastepiteen vuoksi lähes toimimaton. Nyt kiilahihnojen kiristys tapahtuu hydraulisesti gemex-pedeillä, mikä nopeuttaa sekä kiilahihnojen vaihtoa, että kiristystä jopa tunneilla. Kiilahihnojen ongelmana oli myös erimerkkisten kiilahihnojen sekakäyttö, joka johti epätasaiseen hihnakireyteen ja tässäkin on menty eteenpäin. Suurin jäljellä oleva ongelma on imukoneiden liian suuri vesikuorma. Vesikuorman syytä ei saatu opinnäytetyön aikarajoista johtuen selville ja se vaatii lisätutkimuksia. Imukoneille tarvitaan virtausmittaus työnesteelle ja painemittarit täytyy korjata sekä tarkastaa niiden oikea paikka linjastossa. Nykyiset painemittarit antavat hälyttävän suuria lukemia sekä tiiviste-, että käyttövedelle. Tyhjiösäiliön pinnanvahti hälyttää usein ja on syytä olettaa tyhjiösäiliön olevan täynnä vettä. Säiliöstä vesi kulkeutuu myös imukoneille. Tyhjiösäiliöön tulisi asentaa tarkistussilmä, jotta pinnan korkeus voitaisiin todentaa. Tyhjiösäiliön linjastosta puuttuu myös kosteusansa, tai muu vedenerotukseen tarkoitettu osa, joka vähentäisi suoraan imukoneelle imeytyvän suodosnesteen määrää. Tyhjiösäiliön ja imukoneen välinen linjasto vaatisi lisäselvitystä. Suodosvesipumppujen toiminta tulisi tutkia ja selvittää myös estääkö imukoneen toiminta veden kulkeutumisen suodosvesipumpuille.

Suotimien jako- eli syöttöpyttyjen (myös syklonien syöttöpyttyjen) lähes jokainen vika liittyy kannen reikiintymiseen, tai venttiilin rikkoutumiseen. Kannen reikiintyminen esiintyi aina venttiilioksan juurella ja olisi syytä tutkia vuorauksen rakenne venttiilioksien kohdalla. Aikaisemmin on havaittu linatex-vuorauksen puutteellista asennusta putkien tms. Liitäntäkohdissa. Jos rakenne on hyvä voitaisiin harkita vuorauksen parantamista venttiilioksien juurien kohdalla esimerkiksi keraamisella pinnoituksella, kuten keraamitahnalla. Syöttöpyttyjen venttiilien vikaantumiset kohdistuivat joko venttiilin kumiputkeen, tai männän toimintaan. Näiden ennaltaehkäisyyn ei ole juurikaan keinoja, mutta käytettävyyttä parannettaisiin hel-

posti seuraamalla venttiilien kuntoa ja ajoittamalla venttiilien vaihdot huolto-
seisakkeihin. Käyttöhenkilökunnan haastatteluissa ilmeni myös, että venttiileitä
saatetaan "kuristaa", jolloin venttiin kumiputkeen aiheutuu suurempaa kulu-
mista.

Takakaukalon viat olivat enimmäkseen kaukalon vuotoa joko rikkinäisen tiivistekumin, tai väärän asennon vuoksi. Olisi suositeltavaa tarkastella kiristysmekanismeja uudelleen niin, että sen säätö olisi helpompaa ja oikean kireyden tietäisi helpommin. Suotimien runkorakenteet pitäisi tarkistaa ja uusia. On mahdollista, että rungot ovat vääntyneet kiertoon niin, että kaukalo voi jäädä vinoon asentoon. Samalla olisi mahdollista kehittää takakaukalon kiskorakennetta niin, että kaukaloa liikuttaminen olisi nopeampaa eikä vaatisi työkaluja, kuten rautakankia. Takakaukaloon liittyvät syklonien syöttölaatikot voisi myös päällystää keraamisella pinnoitteella, jolloin vähennettäisiin syöttölaatikoiden vaihdon tarvetta.

Käämityslangan viat olivat langan katkeamista, tai löysäämistä. Löysääminen voi johtua asennusvaiheesta, tai kiristyspultin pettämisestä. Olisi suositeltavaa kehittää langan kiinnitysmekanismia varmemmaksi, vähintäänkin isontaa pulttikokoa, jolloin vältetään katkenneilta kiristyspulteilta. Langan katkeamiseen vaikuttavia tekijöitä olivat rikasteen aiheuttama normaali kuluminen, sekä takakaukalon tiivistekumin aiheuttama kuluminen. Normaaliin kulumiseen ei voida vaikuttaa, mutta langan kuntoa tulisi seurata kenttäkierroksin, jolloin vältetään isoilta vahingoilta. Tiivistekumin aiheuttamaan kulumiseen voidaan vaikuttaa taas takakaukalon oikealla kiristysasetäisyydellä, jolloin kumi ei paina liikaa lankaa vasten. Asennuksessa eli käämitysvaiheessa täytyy varmistua jarrujen toimivuudesta ja oikeasta kiristyksestä, jotta lanka ei jää löysälle.

12.2 Haastattelujen tulokset

Tutkimuksessa suoritettiin myös käyttö- ja kunnossapitohenkilöstön haastatteluja. Haastatteluissa pyrittiin selvittämään ajoparametrien yhtenäisyys ja tietotaso käyttöhenkilöstöllä. Haastattelussa etsittiin myös piileviä ongelmia sekä kehitysideoita ja ratkaisuehdotuksia.

Haastatteluissa ilmeni, että vuorojen tietomäärässä ja prosessin hallinnassa on eroja. Osa vuoroista ei tiedä mitä säätöjä voidaan tehdä ja osa vuoroista on myös

haluton tekemään säätöjä tarpeeksi tiheästi. Osa vuoroista oli erittäin selvillä vedenpoistoprosessin ongelmista, mutta osa vuoroista piti prosessin nykytilaa normaalina. Vuorot seuraavat ohjearvoja, mutta prosessin tiheys on eri kuin ohjearvojen mukaan. Vain yksi vuoroista osasi kertoa spiraalien säätöjen vaikuttavan vedenpoistoprosessiin ja vain yksi vuoro kertoi seuraavansa suodinrikastekaivojen pumppujen virranottoa takakaukalon kuntoon liittyen. Vain osa vuoroista korosti kentällä tapahtuvien tarkkailujen tärkeyttä, kuten kankaiden kunnan ja rikastekakun muodostuksen tarkkailua. Olisi syytä käydä vedenpoistoprosessi läpi vuorojen kanssa ja luoda yhtenäinen tapa prosessin säätämiseen.

Vedenpoistoprosessin tiheyden kerrottiin olevan riippuvainen muusta prosessista. Tiheyden muuttamista ei pidetty mahdollisena, mutta ei myöskään tarpeellisenä sillä lietteen kerrottiin olevan jo hyvin tiheää. Tiheyden ja partikkelikoon kerrottiin jakaantuvan epätasaisesti jakopytyltä suotimille. 4130 saa pienimmät partikkelit ja laihimman lietteen. Tiheyteen voitaisiin teoriassa vaikuttaa hydrosyklonien säätämällä, mutta käytännössä säätäminen lisää vain rikasteen karkaamista ylitteeseen. Olisi erittäin tärkeää tasata lietteen jakaantuminen suotimien kesken, jolloin kankaiden elinikä pitenee. Hydrosyklonisyötön tilalle kannattaisi harkita eri syöttötapaa, tai kehittää tapoja saada ylitteeseen menevä tavara talteen. Tämä vaatii kuitenkin jatkotutkimuksia. Imukoneiden osalta vuorot olivat samaa mieltä liian suuresta vesikuormasta. Vesikuorman kerrottiin kasvaneen liian isoksi F3 projektin yhteydessä. Imukoneiden seurattavia parametreja olivat virranotto sekä kiilahihnat. Yksikään vuoro ei tiennyt työnesteen, tiivistenesteen määrästä, tai seurannasta mitään. Imukoneiden mittaristot olisi korjattava ja tarkistettava niiden paikka linjastossa. Työnesteen ja tiivistenesteen virtausmäärästä voitaisiin tehdä päätelmiä ylimääräisen veden määrästä ja tulosuunnasta.

Jokainen vuoro oli innokas kertomaan kehitysideoita. Suodosvesipumppujen toimintaa kyseenalaistettiin ja pohdittiin mahdollisuutta valuttaa suodosneste lattialle suoraan säiliöstä. Paineenkorotuspumpuille kaivattiin hälytystä, jotta ne eivät jäisi laittamatta päälle. Kankaita voitaisiin pitää märkänä seisakkien aikana, jolloin ne saattaisivat säilyä parempikuntoisina. Hienolle tavaralle kaivattaisiin omaa piiriä ja suodatusta, jolloin ne eivät tukkisi nykyistä piiriä. Parhaana ehdotuksena kaivattiin ristiin käyttö mahdollisuutta suotimien ja imukoneiden kesken. Tällöin tilanteessa, jossa suodin A ja imukone B on rikki voitaisiin silti ajaa imukoneella

A ja suotimella B sekä Imukoneella C ja suotimella C. Tämä nostaisi vedenpoistoprosessin käyttövarmuutta laiterikkojen aikana.

12.3 Laitteiston nykytilan tutkimuksen tulokset.

Tutkimuksessa käytiin pintapuolisesti läpi myös laitteiston nykykuntoa kenttäkierroksin ja teoria-aineistoon nojaten. Laitteistossa havaittiin puutteita sekä mahdollisia lisätutkimuksen kohteita. Laitteistolle on myös mahdollista tehdä käytettävyyttä parantavia kehitystoimia, mutta kehitystoimien vaikutusten arviointi vaatii lisätutkimuksia.

Rumpusuodattimien osalta on havaittavissa korjausvelkaa ja puutteita rakenteissa. Rumpusuodattimien alipaine mittaristot ovat rikki ja ne tulisi uusida. Takakaukaloiden kiristysmekanismit (kierretankokiristys) poikkeavat toisistaan ja menevät helposti jumiin rikasteen ja korroosion vaikutuksesta. Takakaukalot eivät pysy kiskoillaan, koska kiskot, tai takakaukalot ovat vääntyneet. Syklonitasot ovat 4110 ja 4120 suodattimilla pahasti syöpyneet ja vaaralliset. 4110 suodattimen akselin kiilaura on kulunut väljäksi ja aiheuttaa epätasaisen käynnin.

Venttiilikopan putkien liitännöiden pultit ja kiristimet ovat syöpyneitä ja jumissa ja aiheuttavat kunnossapitotoimien hidastumista. Pesuputkistot toimivat liian pienellä vesimäärällä ja epätasaisella suihkulla eivätkä riitä puhdistamaan kangasta. 4110 ja 4120 rumpusuodattimesta puuttuu venttiilikannen huoltoon auttava kannatuskoukku. Rumpusuodattimille tulisi suorittaa kuntotarkastus ja käydä läpi myös sisäinen putkisto sekä venttiilikansi. 4110 ja 4120 suodattimille tulisi asentaa venttiilikannen huoltoon avustava kannatinkoukku, kuten 4130 suodattimella on.

Imukoneiden osalta havaittiin mittaristoissa puutteita sekä mahdollinen puute putkilinjastossa, joka vaatii lisätutkimuksia. Imukoneilla on painemittarit tiiviste- ja työnesteelle. Mittarit antavat kuitenkin hälyttävän suuria lukemia ja onkin todennäköistä, että ne mittaavat imukoneen sisältä tulevaa painetta. Mittareiden paikoitus tulisi tarkistaa ja uusida mittarit. Imukoneen imulinja tulee tyhjiösäiliön yläosasta. Linjassa ei ole kuitenkaan kosteusansaa, tai muuta vedenerotinta, joka auttaisi vähentämään imukoneelle tulevan suodinnesteen määrää. Tämä vaatii

lisätutkimuksia, joissa selvitettäisiin linjaston toimivuus. On mahdollista, että imukoneen tuottama alipaine aiheuttaa liian suodinnesteen imeytymisen imukoneille, vaikka nesteen tulisi päätyä suodinnestepumpuille.

12.4 Suositeltavat toimenpiteet käytettävyyden parantamiseksi

Suurimpia hyötyjä käytettävyydelle saavutettaisiin vähentämällä vikatilojen korjauksiin kuluva aikaa sekä vähentämällä koko prosessin seisauttavien tapahtumien todennäköisyyksiä. Näiden toimien tehokkuutta ei laskettu opinnäytetyöhön johtuen laitteiston seisontatietojen puutteellisuudesta sekä aikarajotteista. Jokaisen muutoksen kohdalla tulee myös huomioida, että rumpusuotimien säätäminen on käytännössä kokeellista toimintaa ja muutostoimenpiteitä tehdessä tulisi valitun henkilön seurata vaikutuksia prosessiin. Käytettävyyteen vaikuttaa myös suodatettavuus, mutta rumpusuodinten tuoton ollessa jo nimellistuotantokapasiteetissä ja jopa yli, ei suodatettavuudella ole merkitystä muulle kuin kankaan elinkaarelle.

12.4.1 Kankaan elinkaaren parantaminen

Vikatiloista suurimman eli kankaan tukkeutumisen estäminen on vaikeaa ja vaatii lisätutkimuksia ja käytännön kokeita. Paremmen toimivan kankaan etsintää tulisi jatkaa ja ottaa kankaan valinnassa huomioon kankaalta vaaditut kriteerit eli tuotavuus, kakun kosteus, peseytyvyys, kustannukset ja elinkaari. Uutta kangasta valittaessa tulisi myös huomioida sen asennusmahdollisuus suotimille. Jotta kankaan valinta olisi helpompaa täytyy nykyisestä huopakankaasta tehdä laboratoriotutkimuksia mahdollisen tukkeutumissyyn selvittämiseksi. Kankaan tukkeutumisen hidastamiseksi täytyy myös suodattimien jakopyttyjen lietteen jakauma saada tasattua. Lietteiden raekoon jakauman ollessa tasainen saadaan kakunmuodostuksesta parempi ja vähennetään kankaan kudoksiin tunkeutuvien hiukkasten määrää. Nykyisellään osa suodattimista saa laihempaa ja/tai pienempirakeista lietettä, jolloin kankaan elinkaari lyhenee. Tämä vaatii lisätutkimuksia, jotta epätasaisen jakauman syy saadaan selville. Suodattimen pesuputkistoa voitaisiin kehittää paremmin puhdistavaksi muuttamalla putkistoa niin, että sen vesisuihkusta saataisiin leveämpi ja veden virtausmäärää nostettua. Nykyisellään pistemäiset

suihkut eivät riitä puhdistamaan kankaan huokosia. Seisakkien aikana suodattimen kangasta voitaisiin kokeilla pitää kosteana ja pyörittää jos mahdollista, jolloin estettäisiin huokosten mahdollinen tukkeutuminen kankaaseen jääneiden aineisten kuivuessa. Suodatinkankaiden säilytykseen ja käsittelyyn voitaisiin kiinnittää enemmän huomiota, jolloin kankaaseen syntyvät painaumat ja kohoumat voitaisiin välttää. Kankaan epämuodostumat kuluvat helposti muuta kangasta nopeammin ja kangas voi reikiintyä.

Yksi kankaan elinkaareen vaikuttava tekijä on takakaukalon kiristys rumpua vasten, sekä mahdollisesti lietteen paine takakaukalon kumia vasten. Takakaukalon tiivistekumi painaa sekä kangasta, että käämityslankaa vasten kuluttaen niitä. Takakaukalon kiristystä tulisi kehittää, jotta takakaukaloa ei asenneta liian lähelle rumpua. Kehitystoimia voisi olla kiristysmekanismin muutos, oikean kiristysetäisyyden etsintä ja merkintä näkyvälle paikalle, sekä henkilöstön koulutus takakaukalon merkityksestä laitteistolle.

Kankaan vaihtotarpeeseen vaikuttaa myös käämityslangan kunto. Langan irrotessa, tai katketessa aiheutuu myös vaaraa muulle laitteistolle, kuten pyörintävahdille ja sähkökaapeloinnille. Lanka tulee siten vaihtaa heti langan kunnan ollessa huono, tai langan löystyessä. Kankaan asennustavasta sekä venymisestä ja muusta käytöksestä johtuen täytyy kangaskin uusia, kun käämityslanka vaihdetaan. Käämityslangan löystymisen estämiseksi tulisi kehittää asennusvarmuutta joko parantamalla langanajolaitteiston jarrumekanismia, tai kouluttamalla henkilöstöä tarkkailemaan jarrumekanismin toimintaa. Käämityslangan kiinnitysmekanismia voitaisiin myös parantaa esimerkiksi suurentamalla kiinnityspulttien kokoa sekä parantamalla rummun sivussa olevan langanohjaus uurteen syvyyttä. Käämityslangan katkeamisen estämiseksi tulisi langan kuntoa tarkkailla kenttäkierroksin. Lanka kuluu normaalissa käytössä, mutta sen kulumisnopeuteen vaikuttaa myös takakaukalon tiivistyskumi eli takakaukalon oikea etäisyys rummulta.

Toteuttamisen kannalta ongelmallisia, tai vähäisen merkityksen omaavia lisätutkimuksen aiheita olisi suodattimen lietteen lämpötilan nosto, joka madaltaisi nesteen viskositeettiä siten vähentäen partikkeleihin kohdistuvaa kitkavoimaa. Tämä saattaisi parantaa kankaan elinkaarta ja suodatustehoa. Toinen tutkimuksen aihe

olisi elektrostaattinen varaus huopakankaassa. Elektrostaattinen varaus vaikuttaa hiukkasten tapaan asettua kankaalle ja täten kankaan elinkaareen ja suodattamiseen.

12.4.2 Imukoneiden kuormitus ja kunto

Vedenpoistoprosessin alipaineesta vastaavat imukoneet, jotka luovat alipaineen suodattimille imemällä ilmaa venttiilikopan liitännästä. Imukoneiden osalta hälyttäviä havaintoja tehtiin sekä laitteiston kunnosta, käytöstä ja kunnossapidosta. Imukoneilla on korjausvelkaa muun muassa kuluneiden vaippojen ja päätylevyn, sekä impellerien osalta. Kunnossapidon osalta tulisi tehdä ratkaisuja joko korjauksen osalta, tai laitteiston uusimisesta. Vähemmän kalliita kunnossapidollisia ratkaisuja olisi korjata ja uusia mittaristot imukoneiden tiivistevesille ja työvedelle. Mittaukseen tulisi lisätä myös virtausmäärä etenkin työnesteen osalta. Kaivoksella on käytettävissä siirrettävä virtausmittari, mutta sen olemassaolo tuli tietoon liian myöhään opinnäytetyötä tehdessä. Uusien tietojen valossa voitaisiin suorittaa lisätutkimuksia oikeasta työnesteen määrästä. Imukoneita kuormittaa pääasiassa liian suuri vesikuorma. Suuri vesikuormitus aiheuttaa muun muassa kiilahihnojen luistamista ja laakerien vaurioitumista. Vesikuormituksen syy ei löytynyt opinnäytetyötä tehdessä, mutta mahdollisia syitä ilmeni muutamia. Liiallinen vesi voi tulla imukoneeseen vain muutamasta suunnasta. Tyhjiösäiliöstä imun mukana, työnesteenä, tai tiivistevetenä. Olisi syytä tutkia tarvittaisiinko tyhjiösäiliöstä imukoneelle menevään linjaan kosteusansaa, tai muuta vedenerotinta. Tämä saattaisi auttaa, jos vesikuorman syy on suodosvesi. Tähän viittaisi muun muassa suodosveden huono virtaus säiliöstä ulos, jolloin imukoneen imu estäisi veden vapaan virtaamisen. Suodosveden pääsy imukoneelle on myös todella suuri kuluttava elementti. Tiivisteveden ja työnesteen osalta virtausmittauksella voidaan selvittää nykyisen vedensaannin määrä ja verrata sitä valmistajan suosittelmiin arvoihin, tai ottaa yhteyttä Denver-Gardnerin tukeen.

12.4.3 Syöttöpyttyjen elinkaaren parantaminen

Syöttöpyttyjen vikatilanteet johtuvat useimmiten vuotamisesta eli reiästä syöttöpytysssä. Reikä muodostuu lähes aina syöttöpytyn kannen putkiliitännään, koska tässä kohtaa ilmenee suurempi virtaus ja mahdollisesti pyörteitä. Reikiintymisen vähentämiseksi tulisi syöttöpyttyjen vuoraus tarkastaa, sillä usein putkiliitännöjen kohdalla on havaittu puutteellisesti asennettuja linatex-vuorauksia. Tämän lisäksi vuoraus tulisi vahvistaa esimerkiksi keraamisella levitteellä putkiliitännän sauma-kohtaan.

Syöttöpyttyjen venttiilien osalta tulisi välttää linjan "kuristamista", jolloin venttiilikumia ei ole ajettu kokonaan auki. Jos venttiilikumi jää ajotavasta, tai huonosta venttiilitoiminnasta johtuen hieman kiinni, kuluu venttiilikumi nopeasti rikki.

12.4.4 Linjastomuutos käyttövarmuuden parantamiseksi

Opinnäytetyötä tehdessä törmättiin myös käyttöhenkilökunnalta lähteneeseen kehitysideaan. Nykyisellään imukone ja rumpusuodin on liitetty toisiinsa niin, että jokaisella suotimella on oma imukone. Tämä tarkoittaa käyttövarmuuden kannalta sitä, että jos kolmesta imukoneesta yksi hajoaa, ja tämän imukoneen parina oleva suodin on kunnossa, mutta kunnossa olevan imukoneen parina oleva suodin hajoaa, prosessi keskeytyy kokonaan sillä käytössä on vain yksi suodin-imukone pari. Jos imukoneiden linjastoa pystyttäisiin muuttamaan siten, että imukoneella voitaisiin ajaa useampaa suodinta, välttyttäisiin edellä kuvatun kaltaisilta seisakeilta kokonaan.

12.4.5 Ajoparametrien säätäminen

Imukoneilla sekä rumpusuotimilla on vain vähän säädettäviä parametrejä. Näitä ovat tyhjiöpaine imukoneella, suotimen rummun pyörimisnopeus, suotimen paineilmaiskun pituus ja voimakkuus, suotimen lietepinnan korkeus ja hydrosyklo-nien säädöt. Osaa parametreistä voitaisiin säätää ja tarkkailla vaikutusta prosessiin.

Paineilmaimpulssi, joka irrottaa kakun kankaasta tulisi olla mahdollisimman lyhytkestoinen. Tällöin ilmaisku ei pakota suodosvettä takaisin kankaaseen päin. Lyhyempi impulssi voisi pidentää kankaan elinkaarta.

Tyhjiöpaineen säätäminen vaikuttaa virtausnopeuteen. Matalammalla paine-erolla saadaan aikaan pienempi virtausnopeus. Pienemmällä virtausnopeudella hiukkaset asettuvat paremmin kankaan, tai kakun pinnalle. Tämä voisi pidentää kankaan elinkaarta.

Suodinrummun pyörimisnopeutta voitaisiin testata nopeutta, jolloin tuoton määrä kasvaa. Tällöin kakku kuitenkin ohenee ja kosteusprosentti nousee. Syklien määrä myös kasvaa, joka voi lyhentää kankaan elinkaarta.

Rummun pyörimisnopeuden hidastaminen taas kasvattaisi kakun paksuutta ja pienetäisi syklien määrää sekä laskisi tuoton määrää.

13 POHDINTA

Opinnäytetyön edetessä tuli selvemmäksi työn jääminen tutkinnan asteelle ilman selviä lopputulemia. Aiheen valinta ja rajaus epäonnistui ja työn laajuus kasvoi suuremmaksi kuin alun perin arvioitiin. Lopputyön suoritusta vaikeutti myös tiukat aikarajoitteet johtuen allekirjoittaneen opinto-oikeuden loppumisesta. Työ eteni silti joutuisasti ja pyrki löytämään ratkaistavia ongelmakohtia, tuoman esille lisätutkinnan kohteita ja selventämään laitteiston sekä prosessin toimintaa.

Suurimmat tutkimuskohteet olivat itse suodattimen toimintaprosessi sekä Elijärven kaivoksen suodatusprosessin vikatilastot. Tärkeimmät löydökset olivat viikaantumisien kohdistuminen pääasiassa suodattimen kankaaseen ja kankaan elinkaaren pidentämisen mahdollisuuksien tutkiminen sekä imukoneiden vesikuormituksen liiallinen määrä. Nämä kaikki vaativat lisää tutkimusta, mutta suositeltavissa toimenpiteissä on annettu tutkimuksessa havaittuja asioita, jotka voisivat kohdistaa tutkimuksia oikeaan osoitteeseen.

Aineiston löytäminen työtä varten oli haasteellista. Kirjallisuuslähteet olivat usein maksullisia jopa opiskelijalle. Manuaalit ja valmistajien aineistot olivat melko rajallisia ja käytössä oleva Top feed -malli sekä huopakangas löytyivät harvemmin kirjallisesta aineistosta. Työtä varten yritettiin haastatella sekä Denver-Gardneria ja Metso:a, mutta lupaavan alun jälkeen kumpikaan yritys ei lopulta osallistunut haastatteluihin.

LÄHTEET

Haug, G. 2000. Aspects of Rotary Vacuum Filter Design & Performance. Fluid/ Particle Separation Journal. Vol. 13. No. 1.

Järviö, J. & Lehtiö, T. 2017. Kunnossapito. Tuotanto-omaisuuden hoitaminen. Kuudes painos. Helsinki: Promaint ry.

Laine, H. 2010. Tehokas kunnossapito. Tuottavuutta käynnissäpidolla. Helsinki: KP-Media.

Lukkarinen, T. 1987. Mineraalitekniikka osa II. Mineraalien rikastus. Helsinki: Insinööritieto oy.

Metso. 2013. Käyttö ja kunnossapitokäsikirja. Top feed -suodatin TFF2430. Sisäinen dokumentti

Okes, D. 2019. Root Cause Analysis. The Core of Problem Solving and Corrective Action. Milwaukee: American society for quality

Outokumpu Chrome Oy. 2016. Kaivosvastuu. Viitattu 2.6.2021. <https://www.kaivosvastuu.fi/yrityskortti/outokumpu-chrome-oy/>

Outokumpu Chrome Oy. 2013. Esittely. Kemin kaivos. Sisäinen dokumentti

Siemens. 1987. ELMO®-F vacuum pumps 2BE1 30. To 2BE1 70, instructions, Order-No. NAM 3318 DE, edition 03.87. Sisäinen dokumentti

Sparks, T. 2011. Solid-liquid filtration. Iso-Britannia: Butterworth-Heinemann.

Särkikoski, T. 2005. Outo malmi, jalo teräs. Outokummun tie ruostumattomaan teräkseen. Helsinki: Outokumpu: Tekniikan historian seura.

LIITTEET

Liite 1 Vedenpoiston viat yhteensä

Liite 2 Vikatilat kategorioissa

Vedenpoiston viat yhteensä

Kangas tukossa	76
Sykloni rikki	22
kiilahihnat rikki	15
takakumi rikki	12
Lanka poikki tai löysällä	11
syöttöpytyssä reikä	7
Kankaassa reikä	5
laakerivika	5
syöttöpytyn venttiili rikki	5
suodosvesipumppu tukossa	5
painemittari rikki	4
vaihdelaatikon lukitus irti/lö	4
pesuputki tukossa	4
putki tukossa/pumppu ei pu	4
hihnat luistaa	3
vaippa/päätylevy kuluneet	3
rasvaputki rikki	2
syklonin syöttöventtiili rikki	2
vaihdelaatikko irronnut ja p	2
vuotaa ilmaa akselin läpi	2
langanajokone rikki	2
puhallusventtiili rikki	2
sähkömoottori rikki	2
alitekaukalon pintavahti rik	1
jakolaatikon vesiletkun veni	1
magneettiventtiili vuotaa	1
sähkömoottorin tuki rikki	1
takakaukalossa reikiä	1
vaihdelaatikko vuotaa öljyä	1
vaihdelaatikon kehdon kanr	1
tarkistusluukun saranat rikk	1
pyörintävahti rikki	1
imuputken paine huono	1
ilmaisku ei toimi	1
vaihdelaatikon peti ratkenn	1
syöttölaatikot rikki	1
vaihdelaatikon momenttitu	1
puhalluksen letku puhki	1
venttiilikoppa vuotaa	1
suotimen laakeripukki irti	1
tyhjiösäiliön anturi rikki	1
kiilahihnan suoja rikki	1
imuhaara rikki/reikä	1
boksi rikki	1
äänenvaimentimessa reikä	1
YHTEENSÄ	221

Kategorisoidut vikatilat

Suodattimen kankaan vika	81	Vähäiset viat	-
Kiilahihnojen vika	18	painemittä	4
vaihdelaatikkovika	9	pesuputki	4
Käämityslangan vika	11	vaippa/pä	3
Syöttöpytyn vika	13	rasvaputki	2
Syklonin vika	25	vuotaa ilm	2
sähkömoottorivika	3	langanajo	2
Suodosvesipumpun vika	9	tarkistuslu	1
Imukoneen vika	6	imuputker	1
Suotimen apulaitteen vika	6	kiilahihnar	1
Suotimen rungon vika	2	vaihdelaat	1
Suotimen takakaukalon vika	13	venttiilikol	1
Imukoneen putkiston vika	1	tyhjiösäiliö	1
Yhteensä	197	alitekauka	1
		Yhteensä	24