

Sami Hämäläinen

KRIITTISEN TYHJIÖTASON SÄILYTTÄMINEN MOORE-
OSASTOLLA SÄHKÖKATKON AIKANA

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
2018

KRIITTISEN TYHJIÖTASON SÄILYTTÄMINEN MOORE-OSASTOLLA SÄHKÖKATKON AIKANA

Hämäläinen, Sami
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Marraskuu 2018
Ohjaaja: Kivi, Karri
Sivumäärä: 36
Liitteitä: 0

Asiasanat: tyhjiö, paine, titaanidioksidi, suodatus, nesterengastyhjiöpumppu

Opinnäytetyön tilaajana toimi Venator P&A Finland Oy. Opinnäytetyön alkuperäisenä tavoitteena oli selvittää, kuinka suuri tyhjiön kulutus moorella on, millaisessa kunnossa tyhjiöverkosto on ja montako dieselillä toimivaa tyhjiöpumppua vaadittaisiin tarvittavan tyhjiötason ylläpitämiseen sähkökatkon aikana.

Porin toimipaikkaa kohdanneen laajan tulipalon vuoksi työn tavoitteita muutettiin enemmän teoriapainotteisimmiksi. Lopulta työssä päädyttiin selvittämään tyhjiön käyttöä ja valmistuksen taustaa Porin toimipaikalla, tyhjiön valmistukseen ja ylläpitoon käytetyn nesterengaspumpun toimintaa sekä mitä tyhjiön laskennassa tulisi ottaa huomioon juuri Porin toimipaikalla.

Työssä tarkasteltiin myös mitä asioita tyhjiöpumppuyksiköiden sijoittelussa tulisi ottaa huomioon. Koska kyse oli investoinnista, laskettiin myös karkeasti investoinnin takaisinmaksuaika, jonka perusteella voitiin todeta investoinnin olevan todella kannattava.

Työssä pohdittiin myös, olisiko tarjouskyselyiden perusteella hankittujen tyhjiöpumppujen vasteaika ollut tarpeeksi nopea. Valitettavasti tästä ei koskaan saatu varmuutta, sillä pumppuja ei koskaan tulla asentamaan ja ottamaan käyttöön toimipaikan lopetuspäätöksen vuoksi.

THE MAINTAINING OF CRITICAL VACUUM LEVEL IN MOORE DEPARTMENT DURING A POWER FAILURE

Hämäläinen, Sami

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

November 2018

Supervisor: Kivi, Karri

Number of pages: 36

Appendices: 0

Keywords: vacuum, pressure, titan dioxide, filtration, liquid ring vacuum pump

This thesis was made for Venator P&A Finland Oy. The original purpose of this thesis was to find out the volume of the vacuum consumption in the moore department, the condition of the vacuum network and how many diesel powered vacuum pumps would be needed to maintain the required vacuum level during a power failure.

Because of the vast fire in Pori site the purposes of the thesis needed to be changed more theory orientated. Finally in the thesis was ended up to find out the vacuum production and the background of it in Pori site, the function of a liquid ring vacuum pump and what should be taken account of in vacuum calculation specifically in Pori site.

In the thesis was also treated things that needed to be account of when placing the vacuum pump units. Because it was an investment, the estimated repayment period was calculated, and based on this calculation, could be found that an investment was extremely profitable.

It was also debated in the thesis that would the response time of the vacuum pumps procured based on the offer requests be sufficient. Unfortunately this could never be found out because system will never be test-run because of the closure decision of the site.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	YRITYSESITTELY	7
2.1	Konserni.....	7
2.2	Porin titaanidioksiditehdas.....	7
2.3	Porin toimipaikan tulipalo.....	8
2.4	Tehtaan jälleenrakennustilanne syksyllä 2018.....	9
3	TITAANIDIOKSIDIN VALMISTUS	10
3.1	Mitä titaanidioksidi on?	10
3.2	Titaanidioksidin valmistusprosessi	11
3.2.1	Raaka-aineen vastaanotto ja jauhatus	11
3.2.2	Reaktio	11
3.2.3	Pelkistys	12
3.2.4	Liuoksen puhdistus	13
3.2.5	Saostus	13
3.2.6	Esi- ja jälkipesu moorella	14
3.2.7	Valmennus, uunisuotimet ja kalsinointi	16
3.2.8	Jauhatus, käsittely ja moorella tapahtuva käsittelypesu	17
3.2.9	Kuivaus, jauhatus ja pakkaus	17
4	TEORIAA PAINEESTA.....	18
4.1	Paineen määritelmä.....	18
4.2	Absoluuttinen paine	19
4.3	Alipaine.....	19
4.4	Tyhjiö.....	20
4.5	Tyhjiöpumppu.....	21
4.6	Nesterengaspumppu	22
4.7	Tyhjiöpumpun ominaiskäyrä	25
4.8	Porissa käytetyt tyhjiöpumput.....	25
5	TYHJIÖN LASKENNASSA HUOMIOITAVAA	26
5.1	Tyhjiöpumpun suorituskyky	26
5.2	Tyhjiön kulutus	27
5.3	Vaadittu tyhjiötaso	27
5.4	Järjestelmän häviöt ja vuodot.....	28
5.5	Hydrostaattinen paine	29
6	MUUTA HUOMIOITAVAA.....	29

6.1	Dieselsäiliöt, savukaasut ja jäähdytysilma.....	29
6.1.1	Polttoainesäiliöt	29
6.1.2	Savukaasut	30
6.1.3	Dieselmoottorien jäähdytys	30
6.2	Tiivisteveden saatavuus	30
6.3	Vasteaika.....	30
6.4	Ennakkohuolto	31
6.5	Takaisinmaksuaika.....	31
7	YHTEENVETO JA POHDINTAA.....	33
	LÄHTEET.....	35

1 JOHDANTO

Kesällä 2016 Huntsman P&A Finland Oy:n Porin toimipaikalla oli kaksi laajamittaista, koko tehtaan käsittänyttä sähkökatkoa, jotka johtivat luonnollisesti myös tuotannon katkoksiin. Tuotannon ja valmistettavan tuotteen tasalaatuisuuden palautuminen laajasta, koko tehtaan kattavasta sähkökatkosta voi viedä jopa useita päiviä. Näin pitkät tuotantokatkokset ovat pois joka kuukaudelle asetetuista tiukoista tuotantotavoitteista.

Erityisen työlästä ja aikaa vievää lyhyestäkin sähkökatkosta toipuminen on aina ollut tehtaan moore-osastolla, jossa hyödynnetään sähkökäyttöisten tyhjiöpumppujen jatkuvasti tuottamaa alipainetta. Sähkönsyötön katketessa, vaikka vain lyhytaikaisesti, alipaineverkon tyhjiötaso tietenkin katoaa.

Tästä syystä toimipaikalla lähdettiin ajamaan investointiohjelmaa, jonka myötä tehtaalle oli tarkoitus hankkia vähintään yksi dieselillä toimiva, sähkönsyötöstä riippumaton tyhjiöpumppu. Lopulta päädyttiin kahden diesel-moottorilla varustetun Nash-tyhjiöpumpun hankintaan.

Tässä työssä käsitellään tyhjiötekniikan teoriaa, toimipaikalle valitun nesterengastyhjiöpumpun toimintaa yleisesti, tyhjiölaskennan teoriaa, sekä kerrotaan miten tyhjiötä hyödynnetään tuotantoprosessissa moorella. Tarkoitus on myös pohtia mitä järjestelmän sijoittelussa ja suunnittelussa tulisi ottaa huomioon.

2 YRITYSESITTELY

2.1 Konserni

Venator P&A Finland Oy on osa kansainvälistä Venator-konsernia, joka syntyi kun amerikkalainen kemian alan jättiyritys Huntsman Corporation eriytti erikoispigmenttiliiketoimintansa omaksi yhtiökseen. Liiketoiminnan eriyttäminen alkoi jo vuonna 2016. New Yorkin pörssiin Venator listautui omana yhtiönään elokuussa 2017, ja Porin toimipaikan uusi virallinen nimi Venator P&A Finland Oy astui voimaan maaliskuussa 2018.

Toimipaikkoja Venatorilla on Porin lisäksi 24, ja yritys työllistää n. 4500 ihmistä ympäri maailman (Venatorin www-sivut 2018). Suomessa tämänhetkinen henkilöstömäärä on n. 450.

Yhtiön pääkonttori sijaitsee Iso-Britanniassa, ja toimitusjohtajana toimii Simon Turner.

2.2 Porin titaanidioksiditehdas

Porin Kaanaassa sijaitsevan, titaanidioksidia (TiO₂) valmistavan tehtaan rakennustyöt aloitettiin 1957. Tehtaan tuotanto käynnistyi vuonna 1961, ja alkuun tehdas tunnettiin nimellä Vuorikemia Oy, myöhemmin Kemirana.

Tehdasta laajennettiin useaan otteeseen 1960- ja 70-luvuilla, ja parhaimmillaan tehdas työllisti yli 1000 henkilöä 1990-luvun alussa. 1980-luvulla tehtaan kapasiteetista jo 85% meni vientiin, ja se oli pohjoismaiden suurin titaanidioksidin valmistaja. Myöhemmin vientiprosentti vain kasvoi.

2000-luvulle tultaessa tehdas tunnettiin Kemira Pigments Oy:n nimellä. Muun muassa lisääntyneen automaation vuoksi tehtaan henkilöstömäärä väheni vuosituhannen taitteen kieppeillä voimakkaasti, mutta tehdas tunnettiin yhä hyvänä ja vakaana työnantajana Porin seudulla.

Vuonna 2008 tehdas siirtyi osaksi amerikkalaisen Rockwood Holdings -yhtiön omistamaa saksalaista Sachtleben Chemietä. Omistajanvaihdoksen myötä tehtaalla nimeksi tuli Sachtleben Pigments Oy. Sachtleben omisti myös kaksi muuta titaanidioksidipigmenttitehdasta, jotka sijaitsivat Saksassa.

Vuonna 2014 amerikkalainen kemianalan jätti Huntsman Corporation osti Rockwoodilta sekä Porin että Saksan pigmenttitehtaat. Yrityksen nimi vaihtui jälleen; Porin tehdas tunnettiin yrityskaupan jälkeen nimellä Huntsman P&A Finland Oy. Vain pari vuotta kaupan toteutumisen jälkeen Huntsman kertoi pyrkivänsä eriyttämään erikoispigmenttiliiketoimintansa, johon Porinkin yksikkö kuului, omaksi tytäryhtiökseen.

Tämä eriyttäminen astui voimaan 2018, jonka jälkeen yritys on kulkenut nimellä Venator P&A Finland Oy. Kirjaimet P&A nimessä tarkoittavat ”Pigments & Additives”.

2.3 Porin toimipaikan tulipalo

Porin toimipaikalla syttyi voimakas tulipalo aikaisin maanantaiaamuna 30.1.2017. Tuolloin tehdas tunnettiin vielä Huntsmanin nimellä. Tulipalo ei vaatinut kuolonuhreja, ja loukkaantuneiltakin vältyttiin yhtä nilkkansa nyrjäyttäneestä palomiestä lukuun ottamatta, mutta tulipalon myötä esille nousi vakava huoli toimipaikan tulevaisuudesta. Porin tehtaalla on koettu useita pienempiä tulipaloja vuosikymmenien varrella, mutta mikään aiemmista ei ole ollut tämän kaltainen. (Hammarberg 2017, 1.) Tehtaan tuotanto pysähtyi täysin, ja tuhojen laajuus paljastui myöhemmin valtavaksi. Tulipaloa ja sen syytä on myöhemmin tutkittu niin kotimaisin kuin ulkomaisinkin voimin, mutta palon todellisesta aiheuttajasta ei ole varmuutta, tai ainakaan sitä ei ole kerrottu julkisuuteen.

Omistajayhtiö Huntsman Corporation ilmoitti pörssitiedotteessa jo paloa seuraavana päivänä 31.1.2017 ”korjaavansa tehtaalla niin nopeasti kuin mahdollista” (Huntsmanin pörssitiedote 2017).



Kuva 1. Tulipalon aiheuttama savunmuodostus kuvattuna 30.1.2017 Kaanaan vesitornista (Hanna Laasanen 2017, 1)

2.4 Tehtaan jälleenrakennustilanne syksyllä 2018

Tehtaan jälleenrakennus on tätä kirjoitettaessa yhä pahasti kesken. Paloa edeltäneestä 130 000 tonnin vuosikapasiteetista on tällä hetkellä ajossa vain n. 20%, eikä kapasiteetin odoteta nousevan kuin aikaisintaan vuoden 2019 puolella, jälleenrakennuksen edetessä. (Venator 2018.)

Venator tiedotti heinäkuussa 2018 pyrkivänsä ostamaan ison TiO_2 -tehtaan Ashtabulasta, Yhdysvalloista, ja sen johdosta ”harkitsevansa uudelleen Porin toimipaikan lähiajan täyttä jälleenrakentamistarvetta” (Venator 2018).

Venatorin toimitusjohtaja Simon Turner ilmoitti 31.7.2018 osakkeenomistajille järjestetyssä kysymys-vastaus-paneelissa että ”mitään vaihtoehtoa Porin toimipaikan osalta ei tällä hetkellä suljeta pois” (Turner 2018).

12.9.2018 Venator julkaisi pörssitiedotteen, jonka mukaan Porin tuotantolaitos suljetaan vuoden 2021 loppuun mennessä pidentyneen jälleenrakennusaikataulun ja huomattaviksi kohonneiden korjauskustannusten takia. Tuotantoa on tarkoitus ajaa nykyisellä n. 20% kapasiteetilla tuohon saakka. (Venator 2018.)

3 TITAANIDIOKSIDIN VALMISTUS

3.1 Mitä titaanidioksidi on?

Titaanidioksidi (ns. "titaanivalkea", TiO_2) on myrkytön, puhtaan valkoinen, hyvin kestävä ja käyttötarkoituksiltaan monipuolinen yhdiste (Pihkala 2011, 204).

Titaanidioksidia käytetään laajasti maaleissa, muoveissa ja papereissa lisäämään niiden peittokykyä. Lisäksi TiO_2 on hyvin yleisesti käytetty väri- ja peittoaine esimerkiksi hammastahnoissa, lääkkeissä sekä kosmetiikassa (aurinkovoiteet, huulipunat), että elintarviketeollisuudessa muun muassa purukumin ja makeisten valmistuksessa. Titaanidioksidia on hyvin todennäköisesti käytetty myös älypuhelimien valmistuksessa. Sen hyödyntämistä on kokeiltu myös mm. huurtumisenestoon pinnoilta sekä itsepuhdistuviin pintoihin. Titaanidioksidin E-koodi on E171. (Pihkala 2011, 204.)

Titaanidioksidi voi esiintyä kolmessa eri kidemuodossa; erittäin harvinaisena brookiittina, sekä teollisuuden valmistamissa muodoissa anataasina ja rutiilina. Porin toimipaikalla valmistetaan sekä rutiili- että anataasipohjaisia tuotteita. Anataasin valmistus on kokonaisprosessiltaan rutiilin valmistusta lyhyempi. Lisäksi Porissa valmistetaan ns. UV-tuotteita, jotka ovat erikoistuotteita. (Vähäsavo 2014, 7.)

Titaanidioksidia voidaan valmistaa kahdella eri menetelmällä: joko kloridiprosessilla, joka on uudempi ja vähemmän ympäristöä kuormittava, tai sulfaattiprosessilla, joka on käytössä myös Porin toimipaikalla. Sulfaattiprosessin sivutuotteena syntyy mm. huomattava määrä ferrosulfaattia, jota käytetään esimerkiksi juomaveden valmistukseen, jäteveden puhdistukseen eläinten rehuihin sekä lannoitteisiin (Penttilä 1999, 41).

Porin toimipaikan kokonaiskapasiteetti ennen tulipaloa oli n. 130 000 t/a, joka vastaa n. 5 % koko maailman ja 15 % Venator-konsernin TiO_2 -tuotannosta (Venator Power Point-materiaali).

3.2 Titaanidioksidin valmistusprosessi

Titaanidioksidin valmistusprosessi raaka-aineen vastaanotosta lopputuotteen säkkiin pakkaamiseen vie kaksi viikkoa.

3.2.1 Raaka-aineen vastaanotto ja jauhatus

Tehtaalle tuodaan raaka-aineena mustaa hienojakoista rautatitaanoksidia eli ilmeniittiä FeTiO_3 . Koostumus vaihtelee riippuen raaka-ainetoimittajasta. Ilmeniitti sisältää titaanidioksidia $\text{TiO}_2 > 43\%$, rauta(III)oksidia $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 14,5\%$ sekä rauta(II)oksidia $\text{FeO } 32 \pm 1\%$. (Vähäsavo 2014, 7.) Ilmeniitti sisältää lisäksi pieniä määriä muitakin aineita, kuten kromia, vanadiinia ja fosforia. Tehtaalle voidaan tuoda myös slagia, joka on vaikeammin saatavaa ilmeniittiä. Slagin TiO_2 -pitoisuus tulee olla vähintään 73% sekä rautapitoisuus korkeintaan 7,5%. (Penttilä 1999, 5.)

Ilmeniittiä on kuivattava ennen jauhatusta rumpukuivauksella sekä Flashkuivauksella. Jauhatus tapahtuu kuulamylyissä ja luokittimien avulla varmistetaan jauhetun tuotteen koko. (Vähäsavo 2014, 7.)

3.2.2 Reaktio

Seuraava prosessivaihe on reaktio, jota joskus myös panostukseksi kutsutaan. Panostuksessa reaktoriin annostellaan edellisessä prosessivaiheessa jauhattua ilmeniittiä, 70 % rikkihappoa sekä ns. väkevää, 96% rikkihappoa (Vähäsavo 2014, 7). Aineet sekoitetaan reaktorissa paineilmalla. ”Prosessivaiheen tarkoituksena on saattaa liukenematon titaanioksidi liukenevaan titaanisulfaattimuotoon” (Vähäsavo 2014, 7). Tavoite on saada ilmeniittiin sitoutunut titaani erotettua mahdollisimman hyvin ja puhtaana.

Rikkihapon ja ilmeniitin seokseen tarvitaan lisäksi vettä, jolla saadaan aikaiseksi eksotermisen reaktion päätyttyä aloitusnesteinä käytetty vesi on haihtunut, ja jäljelle jää kiinteä reaktiomassa, ns. kakku (Penttilä 1999, 3).

Reaktion jälkeen reaktiopanos jätetään kypsymään, jolla pyritään oksidien täydelliseen sulfatoitumiseen. Kypsytysvaiheessa on tärkeää, ettei reaktiokakkuun pääse enää vettä missään muodossa, jolloin titaani alkaisi hydrolysoitua eli palata takaisin lähtöaineikseen. (Vähäsavo 2014, 8.)

”Kypsytyksen jälkeen reaktiopanos liuotetaan” (Vähäsavo 2014, 8). Liuotus tapahtuu panoskokoon suhteutetulla rikkihappo- ja vesimäärällä. Liuotuksen tarkoituksena on liuottaa panoksessa olevat sulfaatit mahdollisimman nopeasti ja täydellisesti. Liuotuksen aikana lämpötila ei kuitenkaan saa nousta liikaa, sillä myös se edistää titaanin hydrolysoitumista. (Vähäsavo 2014, 8.)

3.2.3 Pelkistys

Seuraava prosessivaihe on pelkistys. Kaikki prosessiliuoksessa oleva kolmiarvoinen rauta Fe^{3+} on pelkistettävä kaksiarvoiseksi raudaksi Fe^{2+} . Kolmiarvoinen rauta ei peseydy myöhemmässä prosessivaiheessa moorella, ja aiheuttaisi voimakkaan kirkkaus- ja sävyhäiriön prosessin kalsinointivaiheessa. (Vähäsavo 2014, 8.)

Pelkistyksessä muutetaan osa liuoksessa olevasta neliarvoisesta titaanista Ti^{4+} kolmiarvoiseksi titaaniksi Ti^{3+} , sillä liuoksessa ei voi olla samaan aikaan kolmiarvoista rautaa ja kolmiarvoista titaania. Tällöin kolmiarvoinen titaani pelkistää kolmiarvoisen raudan kaksiarvoiseksi, hapettuen itse neliarvoiseksi. (Vähäsavo 2014, 8.)

Pelkistys tapahtuu romuraudan avulla. Romurauta on ns. pelkistuskoreissa, joiden läpi prosessiliuosta ajetaan. Romurautaa on lisättävä ajoittain, sillä se liukenee vähitellen prosessiliuokseen. Prosessiliuoksen lämpötilaa taas säädellään lämmönvaihtimien avulla, jottei titaani alkaisi hydrolysoitua liian korkean lämpötilan vuoksi. (Vähäsavo 2014, 8.)

3.2.4 Liuoksen puhdistus

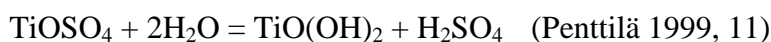
Pelkistyksestä liuos ohjataan selkeytykseen. Liuokseen lisätään selkeytysapuainetta, jonka avulla liuoksessa oleva kiintoaine laskeutuu pohjalle. Tämä ns. alite ohjataan alitemudan suodatukseen, jonka suodos otetaan talteen selkeytyksen ylitteen sekaan. Selkeytyksen ylite ohjataan seuraavaan prosessivaiheeseen, kiteytykseen. (Vähäsavo 2014, 8-9.) Suodatuksesta jäljelle jäänyt alitemuta käsitellään tehtaalla erikseen.

Selkeytyksen ylite annostellaan kiteyttimiin panoksittain. Kiteyttimissä jäähdyttämällä liuosta osa raudasta kiteytyy ferrosulfaattina. Kiteyttimien kideliete tyhjennetään sakeuttimille. Ylite on kiteetöntä liuosta, kun taas alite ohjataan lingoille, jotka erottavat toisistaan prosessiliuoksen ja ferrosulfaatin. (Vähäsavo 2014, 9.)

Ylite sekä lingon erottama liuos johdetaan lämmityssäiliöön, josta taas ylivuotona seuraavaan säiliöön, jossa liuokseen lisätään suodatusapuainetta. Prosessiliuos pumpataan kirkastussuotimien läpi, jonka seurauksena liuoksesta poistuu kaikki kiintoaine. Ennen seuraavaa prosessivaihetta, saostusta, liuosta vielä väkevöidään haihduttamalla siitä vettä. (Vähäsavo 2014, 9.)

3.2.5 Saostus

Saostus on vedellä hajottamiseen eli hydrolysoitumiseen perustuvaa titaanin erotusta (Penttilä 1999, 11). Ideana on erottaa väkevän liuoksen sisältämä titaani titaanioksidihydraattina mahdollisimman tehokkaasti ja täydellisesti. Saostusolosuhteet pyritään vakioimaan kaikille tuotteille samaksi, sen sijaan ytimien lisäysmäärää (ns. ydin%) muutetaan tapauskohtaisesti. Nämä yhdessä vaikuttavat saostetun tuotteen rakentamiseen ja laatuun. Saostuksella saadaan saaliiksi n. 95% titaanidioksidista TiO_2 . (Vähäsavo 2014, 9.) Tarkka reaktioyhtälö on tuntematon, mutta se on suurin piirtein seuraava:



Saostuksen jälkeen saostettu liuos pumpataan seuraavaan prosessivaiheeseen moorelle.

3.2.6 Esi- ja jälkipesu moorella

Molempien pesuvaiheiden tarkoituksena on poistaa saostetusta titaanihydroksidimas-
sasta sen sisältämät epäpuhtaudet, kuten kaksiarvoinen rauta sekä rikkihappo. Liuos
pumpataan suodatusaltaaseen, johon lisätään suodatusapuainetta. Suodatusaltaaseen
lasketaan siltanosturilla kehikko, ja kehikkoon suodatetaan kakut, suodatuksen kes-
ton ollessa n. 3,5 h. (Vähäsavo 2014, 9-10.)

Suodatus tapahtuu tyhjiöpumppujen tuottaman alipaineen avulla. Altaassa ollessaan
kehikko on kiintoimun perässä, kun taas kehikkoa altaasta toiseen siirrellessä siihen
kiinnitetään ns. siirtoimuletku, jonka avulla kakut saadaan pysymään kiinni kehikos-
sa siirron ajan.

Kun 3,5 tunnin suodatusaika on kulunut ja suodatettu kakku on riittävän paksuinen,
kehikko kakkuineen siirretään vettä täynnä olevaan pesualtaaseen, jossa kakkuja pes-
tään n. 4-5 tuntia.

Myös pesu tapahtuu alipaineen avulla; alipaine imee pesuvettä kakun läpi. Pesun
edistymistä seurataan pesusta tulevan suodoksen tiheyttä mittaamalla; kun suodoksen
tiheys on laskenut ohjearvoon, kakut ovat peseytyneet (Vähäsavo 2014, 10). Suoda-
tus- ja esipesuvaiheessa muodostuvaa väkevämpää suodosta (20% rikkihappo) ohja-
taan jätehapon talteenottolaitokselle väkevöitäväksi (20% → 70%) ja uudelleen-
käytettäväksi prosessissa. Laimeammat suodokset (2% ja 10% rikkihappo) käytetään
reaktion liuotukseen, eli myös ne palautetaan valmistusprosessissa taaksepäin (Pen-
tilä 1999, 3).

Esipesun ollessa valmis, kehikko siirretään siltanosturilla pudotusaltaan päälle, jossa
kehikkoon tuleva, kakut kiinni pitävä alipaine suljetaan. Kehikossa on aina kaksi kä-
sikäyttöistä läppäventtiiliä, toinen kiintoimua ja toinen siirtoimua varten. Alipaineen

kadotessa suurimman osan kakuista pitäisi normaalitilanteessa pudota pudotussäiliöön. Irtoamatta jääneet kakut pudotetaan vesiletkun avulla käsityönä.

Valkaisuvaiheessa esipestyn lietteen sekaan annostellaan titanyylisulfaattia, sekä kaltsinointikaasujen pesutornissa väkevöityä jälkipesun suodosta, joiden avulla loppujenkin epäpuhtauksien pitäisi peseytyä pois jälkipesussa (Penttilä 1999, 6). Valkaistu liete ohjautuu jälkipesun suodatussäiliöön, josta se pumpataan jälkipesun suodatusaltaalle. Altaaseen lasketaan jälleen kehikko, johon suodatetaan alipaineen avulla sopivan kokoiset kakut. (Vähäsavo 2014, 10.) Sopiva tarkoittaa tässä tilanteessa mahdollisimman paksuja, muttei kuitenkaan niin paksuja että kakkujen välit umpeutuisivat, jolloin panos ei peseydy. Suodatusaika voi vaihdella keskimäärin 30 – 45 minuutin välillä, ja sitä arvioidaankin yleensä edellisten suodatusaikojen perusteella.

Suodatuksen jälkeen kehikko kakkuineen siirretään pesualtaaseen, jossa panosta pestään vielä VKE-vedellä (puhdas vesi) n. 5 tuntia. Jälkipesun tavoitteena on saada pestyä lietteessä jäljellä oleva rauta ohjearvoonsa, jotta myöhemmässä vaiheessa uuninpoiston Fe-ohjearvo ei ylittyisi. (Vähäsavo 2014, 10.)

Jälkipesun jälkeen kehikko siirretään jälkipesun pudotusaltaalle, jossa kehikosta pudotetaan kakut samalla tavoin kuin esipesupuolella. Raudan varmistetaan olevan ohjearvossaan testillä, jonka jälkeen panos on valmis pumpattavaksi seuraavaan prosessivaiheeseen.



Kuva 2. Moore-kehikko, johon on alipaineen avulla suodatettu kakut: 1. imuputki 2. kakku 3. suodinlehti 4. kehikko 5. siltanosturi 6. suodatusallas (Venator Powerpoint - materiaali)

3.2.7 Valmennus, uunisuotimet ja kalsinointi

Valmennusvaiheessa tapahtuu kemikaalien lisäys joko titaanilietteen tai suodatetun titaanimassan sekaan. Kemikaalit vaikuttavat tuotteen ominaisuuksiin kalsinoinnin jälkeen. (Vähäsavo 2014, 10.)

Ennen kalsinointia titaaniliete suodatetaan niin kuivaksi kuin mahdollista, muussa tapauksessa kalsinointiuuneilla kuluu turhaa energiaa tuotteen seassa olevan nesteen haihduttamiseen (Vähäsavo 2014, 10).

Kalsinointiuunit ovat pitkiä, leveitä, ja pyöriviä putkia. Kalsinoinnin aikana tuotteesta haihtuu pois sekä jäljellä oleva vesi, että myöhemmin rikkihappo. Näin tuote saavuttaa lopullisen kidekokonsa ja -muotonsa (anataasi tai rutiili) uunin viimeisten metrien aikana n. 1000 Celsius-asteessa. (Vähäsavo 2014, 10.)

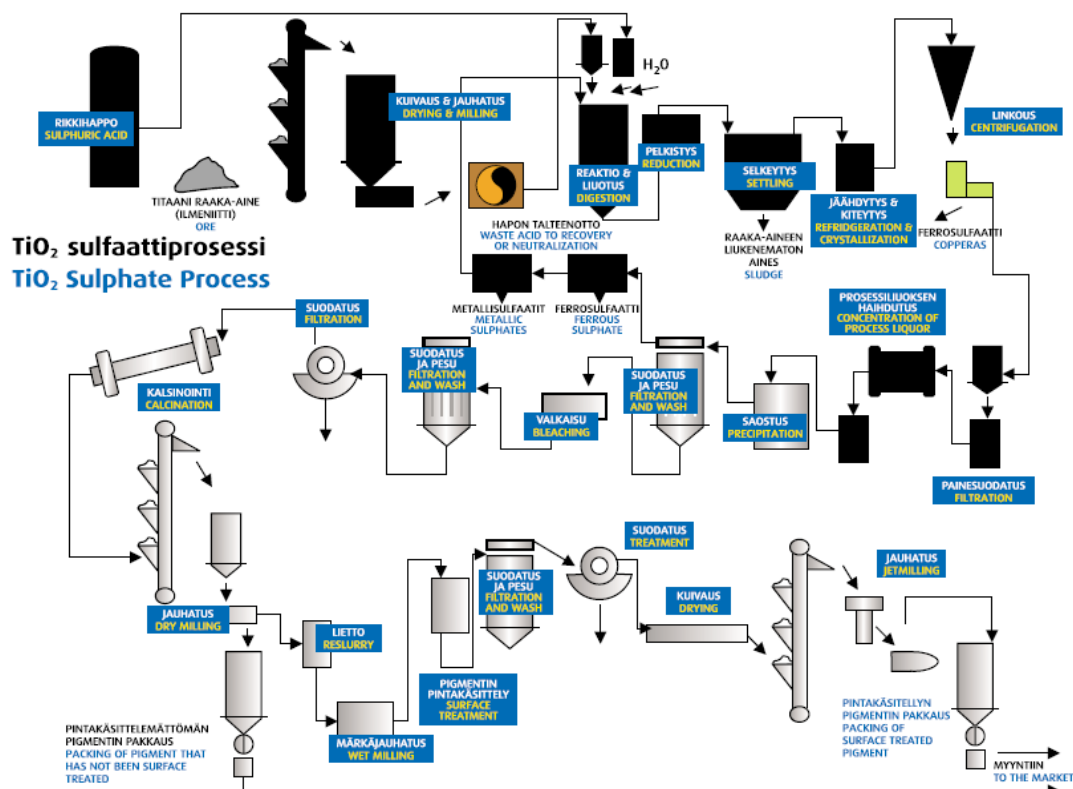
3.2.8 Jauhatus, käsittely ja moorella tapahtuva käsittelypesu

Kalsinoitu tuote jauhetaan linjasta riippuen märkä- tai kuivajauhatuksena. Anataasi on valmista pakattavaksi heti jauhatuksen jälkeen, rutiilituotteet sen sijaan menevät vielä käsittelyyn. Käsittelyssä rutiilipigmenteille tehdään mm. niiden pintaominaisuudet erilaisten kemikaalien avulla. (Vähäsavo 2014, 11.)

Käsittelystä rutiilituote pumpataan takaisin moorelle käsittelypesuun. Sen toimintaperiaate on sama kuin esipesussa, mutta suodatusaika on n. 0,5 – 1 h, ja pesuaika n. 3 h. Käsittelypesun tarkoituksena on saada pestyä pois käsittelyvaiheessa lienneet titaanisuolet, jotka saattaisivat aiheuttaa ongelmia lopputuotteessa. (Vähäsavo 2014, 11.)

3.2.9 Kuivaus, jauhatus ja pakkaus

Käsittelypesty liete pumpataan kuivaamolle kuivattavaksi, jonka jälkeen tuote jauhetaan vielä suihkujauhatuksella. Jauhettu tuote on laadunvarmistuksen jälkeen valmis säkkeihin pakattavaksi ja toimitettavaksi asiakkaille ympäri maailman. (Vähäsavo 2014, 11.)



Kuvio 1. TiO₂ sulfaattiprosessin lohkokkaavio Porin toimipaikalta (Venator Power-point – materiaali)

4 TEORIAA PAINEESTA

4.1 Paineen määritelmä

Paine on fysiikan suure, joka määritellään voimana, joka kohdistuu tiettyä pinta-alayksikköä kohti. Paine voi esiintyä sekä ali- että ylipaineena.

Paine määritellään matemaattisesti kaavalla:

$$p = F / A \quad (1)$$

, missä:

p = paine [Pa]

F = voima [N]

A = pinta-ala, johon voima vaikuttaa [m²]

Kuten kaavasta (1) nähdään, paineen yksiköksi tulee N / m^2 , jonka tunnus SI-järjestelmässä on *pascal*, Pa. Paineella on useita mittayksiköitä, kuten elohopeamilimetri mmHg, mutta muihin yksiköihin ei perehdytä tarkemmin tässä opinnäytetyössä.

Koska esiintyvät paineet ovat yleensä 100 000 pascalin luokkaa, käytetään paineesta puhuttaessa yleensä perusyksikön epästandardia kerrannaista *baari*, bar. Käytännössä muunnos menee seuraavasti:

$$100\,000\text{ Pa} = 100\text{ kPa} = 0,1\text{ MPa} = 1\text{ bar. (Pihkala 2004, 18.)}$$

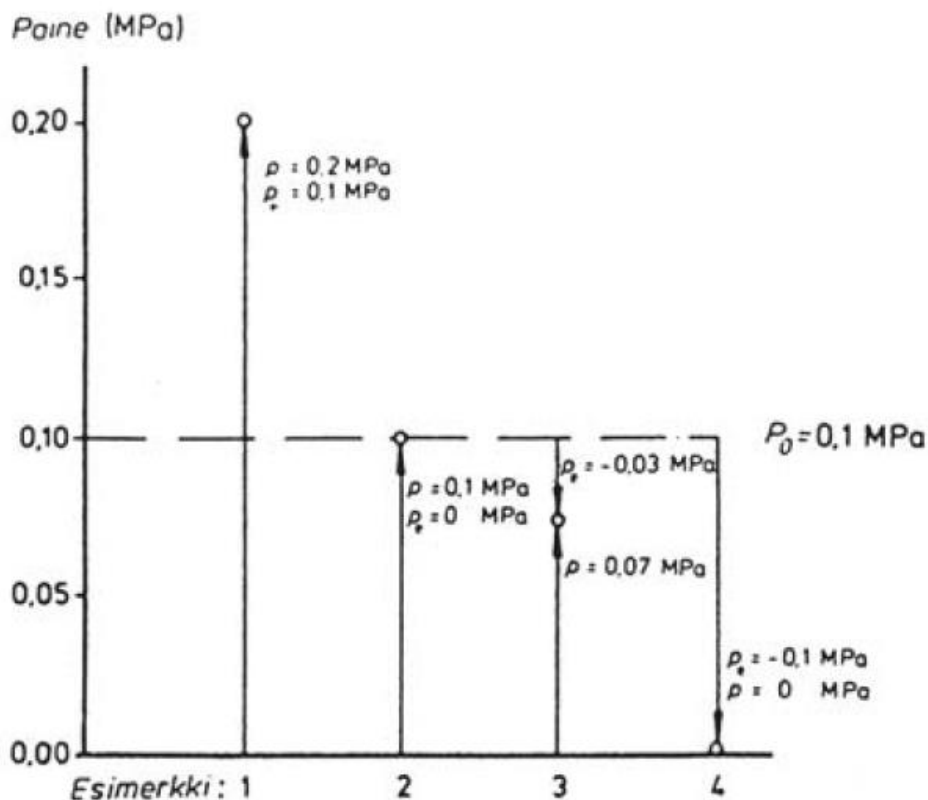
4.2 Absoluuttinen paine

Kun puhutaan absoluuttisesta paineesta, tarkoitetaan painetta jossa on huomioitu ilmakehän aiheuttama normaali ilmanpaine. Normaali ilmanpaine on n. 1,013 bar eli 101 300 Pa (Pihkala 2004, 19).

Esimerkiksi sopii mm. huoltoaseman rengaspainemittari. Mittari näyttää ns. suhteellisen paineen, eli paljonko renkaassa on painetta yli normaalin ilmanpaineen. Mittarin näyttäessä esimerkiksi 2,2 bar, tarkoittaa tämä siis suhteellista painetta, mutta absoluuttista painetta renkaassa on 2,2 bar + 1,013 bar. Absoluuttinen paine merkitään monesti lyhenteellä abs.

4.3 Alipaine

Tyhjiön paine voidaan ilmoittaa joko absoluuttisena - tai alipaineena. Alipaineen eteen laitetaan jälkimmäisessä tapauksessa miinusmerkki (Hulkkonen 2005, 3).



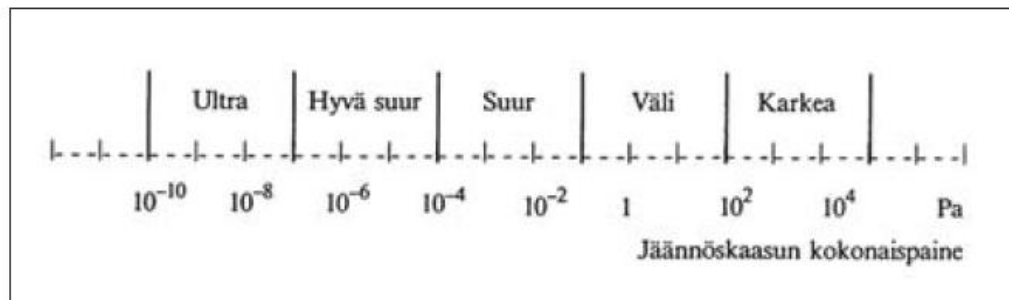
Kuvio 2. Esimerkkejä paineen ilmoittamisesta joko absoluuttipaineena p tai yli- tai alipaineena p_e . Kuviossa p_0 on normaali ilmanpaine (Fluid Finland 2/2005)

4.4 Tyhjiö

Tyhjiöllä tarkoitetaan siis tilavuutta, josta on poistettu kaasua tai höyryä. Tyhjän aikaansaaminen tapahtuu poistamalla ilmatiiviistä kammiosta väliainetta tyhjiöpumpulla. Tyhjiöstä käytetään yleisesti myös synonyymejä *tyhjö* ja *vakuumi* (englanniksi *vacuum*). Kaasujen ja höyryjen poistaminen tyhjiökammiosta on aluksi suhteellisen helppoa ja taloudellista, mutta mitä vähemmän niitä on jäljellä, sitä kalliimmaksi ja vaikeammaksi jäännöserän pumppaaminen muodostuu. Jäännöserä tunnetaan paremmin nimellä *jäännöskaasu*. (Fontell ym. 1986, 15.)

Vaikka miinusmerkkiä voidaan siis käyttää alipaineen ilmaisemiseen, absoluuttinen paine ei kuitenkaan koskaan voi olla negatiivista. Ehdoton alaraja paineelle on nolla (ns. absoluuttinen tyhjiö), jossa ei ole väliainetta lainkaan ja jonka on nykytekniikalla mahdollista esiintyä vain avaruudessa (Fontell ym. 1986, 15). Käytännössä siis par-

hainkin maan pinnalla koneellisesti valmistettu tyhjiö (n. 10^{-10} Pa) sisältää hieman jäännöskaasua.



Kuvio 3. Tyhjiöalueet (Fluid Finland 2/2005)

4.5 Tyhjiöpumppu

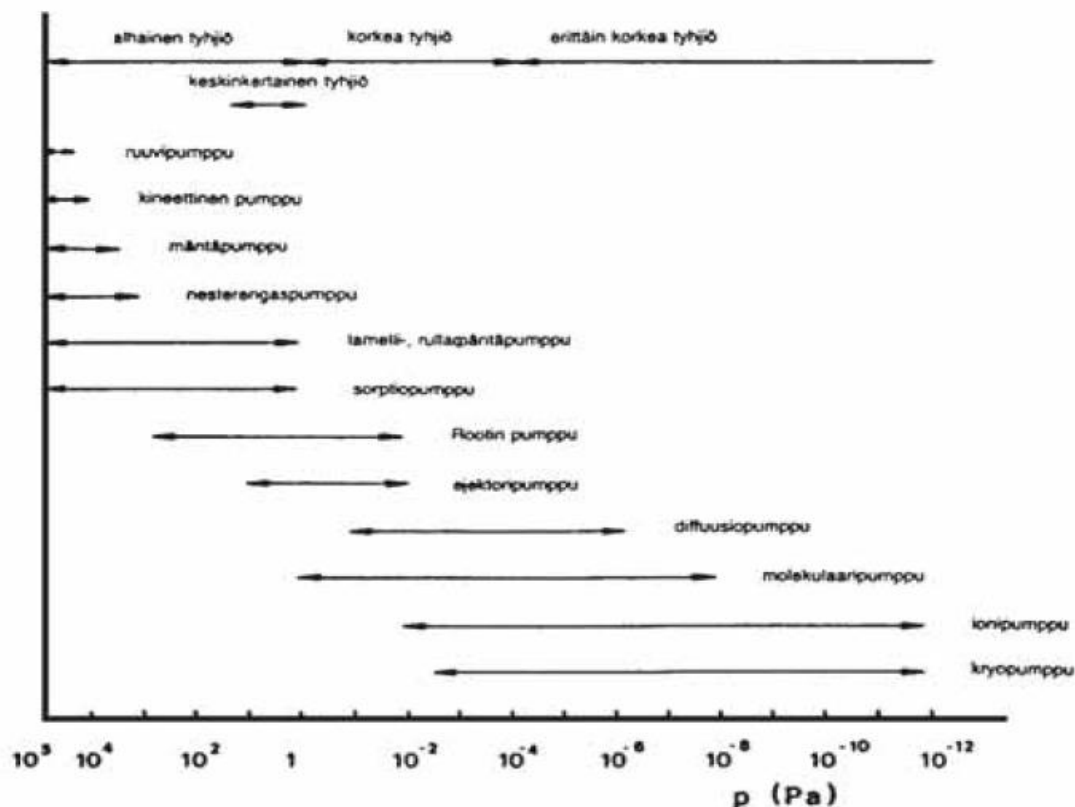
Tyhjiöpumppu on koko tyhjiöjärjestelmän tärkein komponentti (Fontell ym. 1986, 106). Pumpun tehtävänä on sekä tyhjiön kehittäminen että riittävän tyhjiötason ylläpitäminen. Tarvittava pumppausnopeus [m^3/s] ja vaadittu loppupaine määrittelevät käytettävän pumpputyypin.

Vaadittua pumppausnopeutta ja loppupainetta ei tarvitse välttämättä saavuttaa yhdellä pumpulla. Kaksi tai useampi saman- tai eri tyyppinen pumppu sarjassa tai rinnan mahdollistavat halutut arvot.

Myös Porin toimipaikalla käytetyt sähkötoimiset nesterengastyhjiöpumput oli kytketty rinnan, jolloin saavutettiin tarvittava pumppausnopeus ja moore-osastoa ajatellen kakun peseytymisen ja kehikossa kiinnipysymisen kannalta riittävä tyhjiötaso. Tyhjiötaso normaalitilanteessa oli runkolinjassa n. - 80 kPa eli - 0,8 bar (jälkimmäinen on toiminnanohjausjärjestelmä Damatic XD:n näyttämä lukema), eli absoluuttiseksi paineeksi muutettuna tämä tarkoittaa n. 20 kPa eli 0,2 bar.

Eri tyhjiöpumppujen rakenne ja toiminta saattavat erota toisistaan huomattavastikin. Kuten kuviosta 4 voi huomata, vaadittu loppupaine määrittelee käytettävän pumpputyypin. On syytä huomata, että kaikkien pumpputyypien painealue ei ala normaalis-

ta ilmanpaineesta (10^5 Pa), jolloin kyseinen pumpputyyppejä vaatii esipumpun (Fluid Finland 2006, 2).



Kuvio 4. Eri pumpputyyppejä painealueet (Airila, Hallikainen, Kääpä & Laurila 1983, 191)

Porin toimipaikan prosessissa liikutaan alhaisen tyhjiön eli karkeatyhjiön alueella (kuvio 3). Muun muassa tämän vuoksi tehtaalla on käytetty nesterengastyhjiöpumppuja vaaditun tyhjiötason valmistamiseen ja ylläpitämiseen. Siksi tässä työssä keskitytään tarkemmin vain nesterengastyyppejä tyhjiöpumppuun ja sen toimintaan.

4.6 Nesterengaspumppu

Nesterengaspumppuja käytetään yleisesti kemianteollisuudessa. Pumppupesässä pyörii epäkeskisesti laakeroitu siipipyörä, ja pesä on osittain täytetty nesteellä (työneste). Porin toimipaikalla pumppujen työnesteenä toimii kemiallisesti puhdistettu vesi, VKE. Työnesteenä kemianteollisuudessa saatetaan käyttää myös rikkihappoa ja kloroformia. Pumpputyypin etuna onkin, että pumppausprosessi on puhdas; öljy tai

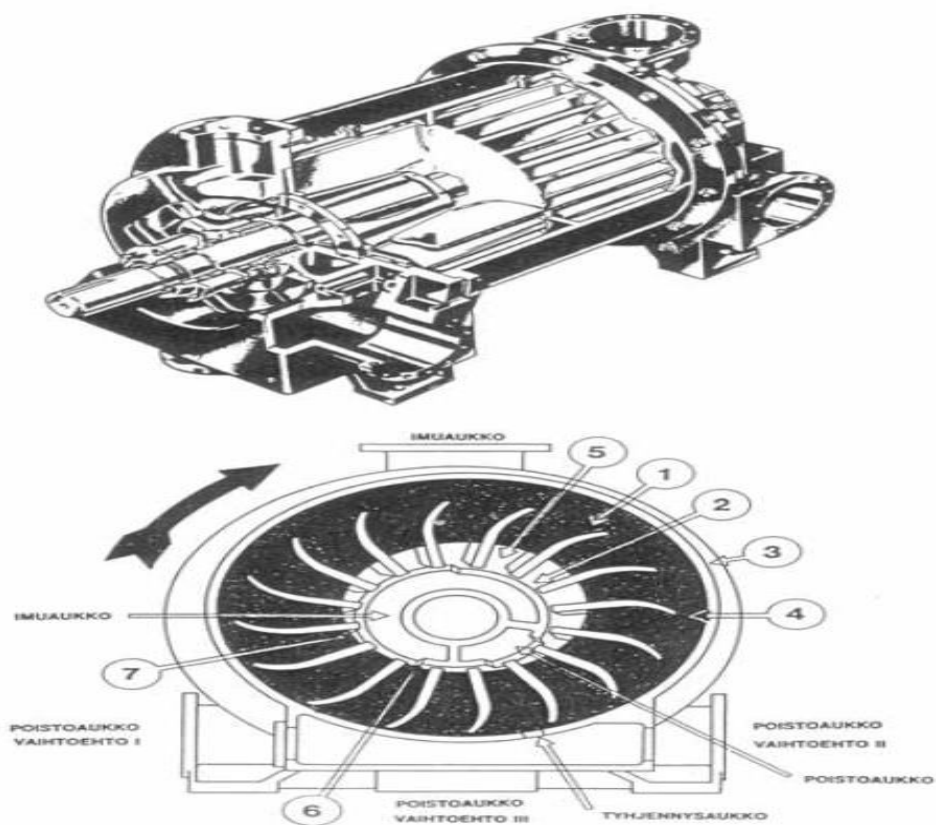
muut pumpun materiaalit eivät pääse kontaminoimaan pumpattavaa tilavuutta, sillä pumpussa käytettävä työneste sekä valmistusmateriaalit pumpussa voidaan valita kulloisenkin tarpeen mukaan. Nesteen tehtävänä on estää virtaus siipien väliin jäävien eri tilojen välillä, sekä toimia jäähdytysaineena. Hyvän loppupaineen aikaansaaminen vaatii pumppuun jatkuvasti syötettävää kylmää nestettä, sillä nesteen lämpötilan noustessa myös nesteen höyrynpaine kasvaa. Työnestettä on mahdollista kierrättää myös suljetussa piirissä. (Fontell ym. 1986, 112.)

Siipipyörän pyöriessä neste muodostaa pyörivän renkaan pumpun pesän seinämälle keskipakovoiman vaikutuksesta. Tällöin pumpun työtilasta muodostuu puolikuun muotoinen, lokeroihin jakautunut kennosto. Kunkin kennon tilavuus vaihtelee jaksollisesti siipipyörän pyöriessä. Imuaukon puolella siipien väliset tilat suurenevat, ja vastaavasti painepuolella pienenevät. Pumpattavaa kaasua suurenevaan osaan ohjattaessa, puristuu kaasu pyörimisliikkeen aikana ohjautuen lopulta pumpun poistoaukkoon. (Fontell ym. 1986, 111.)

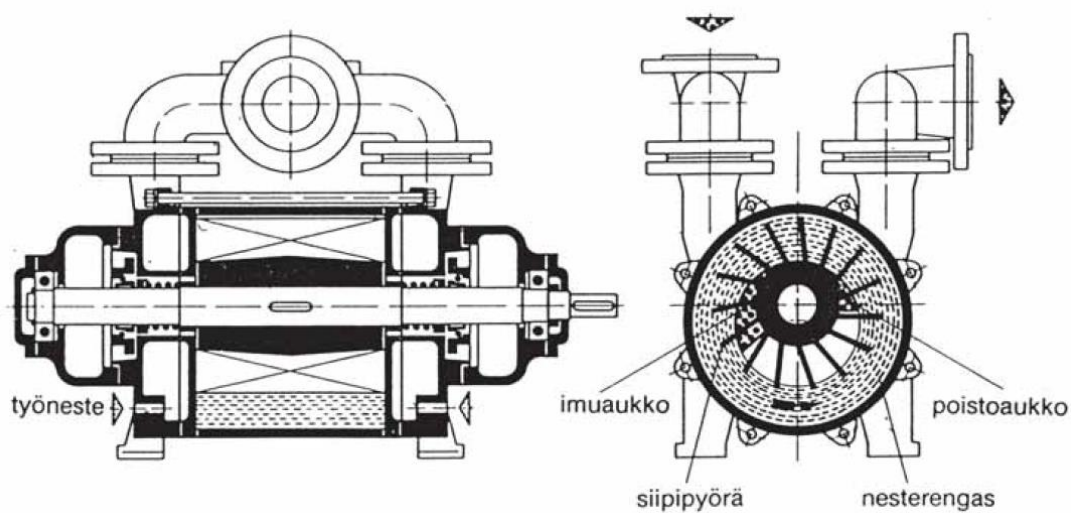
Saavutettava loppupaine riippuu käytettävästä työnesteestä; vettä käytettäessä voidaan saavuttaa jopa n. 5 kPa paine. Nesterengaspumpun pumppausnopeus voi vaihdella suurissa rajoissa, 10 – 25 000 m³ / h. Tähän vaikuttavat mm. pumpun koko ja pyörimisnopeus. (Fontell ym. 1986, 111-112.) Porissa käytettyjen sähkökäyttöisten Nash - nesterengaspumppujen tilavuusvirta on 6000 m³/h / pumppu.

Nesterengaspumpun käyttöaluetta voidaan laajentaa huomattavasti asentamalla sen yhteyteen ns. esipumppu. Esipumpuksi käy esimerkiksi nesterengaspumpun imuaukkoon asennettava suihkupumppu. Tällöin on mahdollista saavuttaa 100 pascalin loppupaine. Suihkupumpun jatkeeksi on vielä mahdollista kytkeä vaikkapa vierintäpumppu (Rootin pumppu), jolloin saavutettava loppupaine putoaa jopa 0,1 pascaliin. Kaikkien lueteltujen kolmen pumpputyypin etuna on, että ne pystyvät säilyttämään pumpattavan tilavuuden puhtaana. (Fontell ym. 1986, 113.) Nesterengaspumpun rakenne ja toiminta on havainnollistettu kuvissa 3 ja 4.

Porin toimipaikalla nesterengaspumput eivät kuitenkaan ole vaatineet esipumppuja, sillä 0,1 – 100 Pa tyhjiötasolle ei prosessissa ole tarvetta.



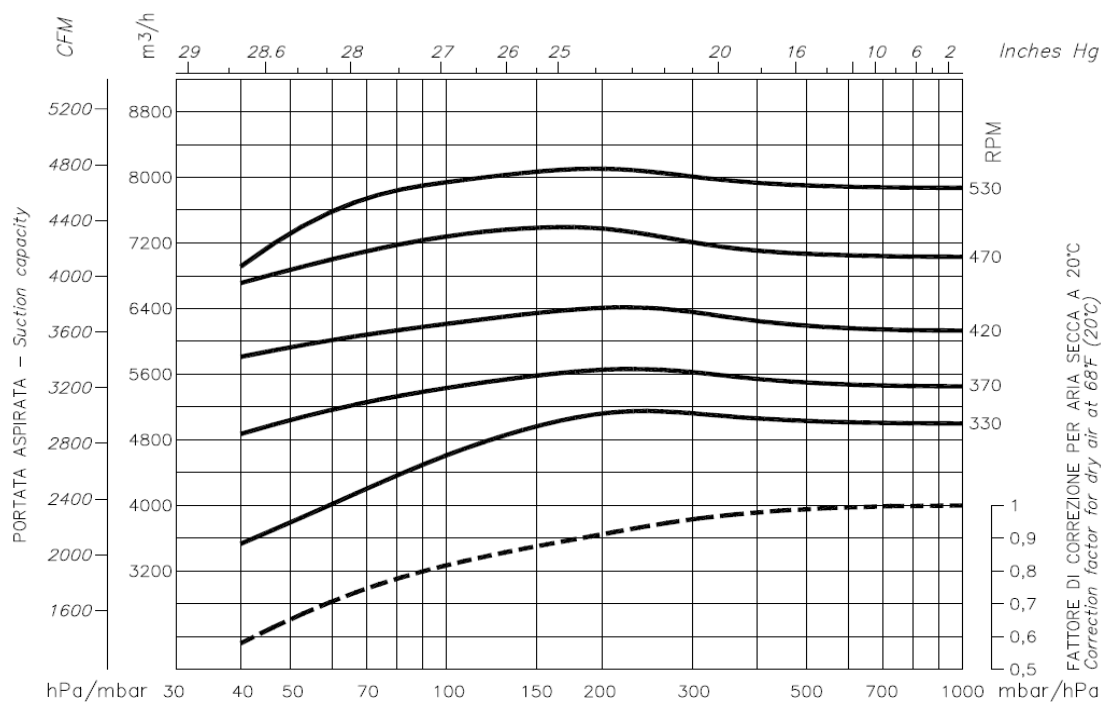
Kuva 3. Nesterengaspumppu: 1. työneste 2. päätykartio 3. pesä 4. siipipyörä 5. poistovaiheen alku 6. imuvaiheen alku 7. imuvaihe (Fluid Finland 2/2006)



Kuva 4. Nesterengaspumpun rakenne (Fontell ym. 1986, 112)

4.7 Tyhjiöpumpun ominaiskäyrä

Tyhjiöpumpun valmistaja määrittelee jokaiselle pumpulle ns. ominaiskäyrän. Käyrästä voidaan havaita pumpun saavuttama tilavuusvirta, loppupaine ja esimerkiksi moottoriteho eri kierrosnopeuksilla.



Kuvio 5. Nash CL 3003 - nesterengastyhjiöpumpun ominaiskäyrä, jossa tilavuusvirta on ilmaistu imupaineen funktiona. Parametrina toimii pumpun pyörimisnopeus (NASH Europe)

4.8 Porissa käytetyt tyhjiöpumput

Porin toimipaikalle päädyttiin tilaamaan tarjouskyselyiden perusteella samanlaiset tyhjiöpumput kuin aiemminkin on ollut käytössä, ainoastaan voimanlähde on luonnollisesti eri eli tässä tapauksessa sähkömoottorin sijaan pumppua pyörittäisi 190 kW dieselmoottori (Hiitelä sähköposti 18.1.2017).

Valintaa puolsi hinnan lisäksi pumppumallin todennettu sopivuus toimipaikan käyttöön, hyvät kokemukset toimivuudesta, sekä tarvittaessa varaosien hyväksi koettu saatavuus ja yhteensopivuus. Valitun ja jo käytössä olleen Nash CL 3003 -pumppumallin ominaiskäyrä löytyy kuviosta 5.

Porin toimipaikalla jokainen säiliö, toimilaite, toimielin tai muu laite on varustettu yksilöllisellä flowsheet-tunnuksella. Tyhjiöpumppujen flowsheet-tunnus on 984.xx , uusien dieselmallien flowsheet-tunnuksiksi valittiin 984.44 & 984.45.

5 TYHJIÖN LASKENNASSA HUOMIOITAVAA

5.1 Tyhjiöpumpun suorituskyky

Tyhjiöpumpun pumppausnopeus S ilmaisee pumpun läpi kulkevan tilavuusvirran voimakkuuden. Tämä on olennainen tieto vaadittua kapasiteettia laskettaessa tai arvioitaessa. Se tarkoittaa sitä kaasutilavuutta dV , jonka tyhjiöpumppu poistaa kaasujärjestelmästä pumpun imuaukon paineessa ajassa dt . (Fontell ym. 1986, 67.) Pumppausnopeus määritellään siis matemaattisesti kaavalla:

$$S = dV / dt \quad (2)$$

, missä:

dV = virtauskanavan poikkileikkauspinnan läpi ajassa dt kulkeman kaasumäärän tilavuus [m^3]

dt = mittausaika [s]

Kaavasta nähdään, että pumppausnopeuden yksiköksi tulee [m^3/s]. Pumpun valmistaja ilmoittaa pumppausnopeuden eli tilavuusvirran voimakkuuden yleensä yksikössä [m^3/h], jolloin tunnit on muutettava sekunneiksi:

$$1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 60 * 60 \text{ s} = 3600 \text{ s}. \quad (3)$$

Porin toimipaikalle tilattujen dieselkäyttöisten Nash-tyhjiöpumppujen pumppausnopeus $6000 \text{ m}^3/h$ / pumppu. Näin ollen niiden yhdessä tuottama pumppausnopeus [m^3/s] saadaan laskettua kaavojen (2) ja (3) avulla:

$$2 * 6000 \text{ m}^3/\text{h} / 3600 \text{ s} = 3,3333 \text{ m}^3/\text{s}.$$

5.2 Tyhjiön kulutus

Tyhjiöpumppujen tuotto siis selviää pumpun valmistajan antamista teknisistä tiedoista, mutta tarvittavan tyhjiön laskemiseen olisi selvitettävä verkoston tilavuus ja tyhjiön kulutus normaalitilanteessa. Tämän jälkeen voitaisiin käyttää esimerkiksi painerojen antamaa tilavuuden muutosta ja verrata sitä aiemmin kaavoilla (2) ja (3) laskettuun pumppausnopeuteen S . Tuhoutunut tyhjiöverkosto tehtaalla oli kuitenkin laaja ja monimutkainen, joten vaadittavan tilavuuden ja kulutuksen laskeminen vajailla tiedoilla tällä aikataululla osoittautui mahdottomaksi.

Paine-eron vaikutus, kun mennään normaalista ilmanpaineesta tyhjiöön normaalin ilmanpaineen ja putkistossa olevan tyhjiön vaikutuksena, voidaan laskea kaavasta:

$$Q_1 = Q_2 * (p / p_0) \quad (4)$$

, missä:

Q_1 = tilavuusvirta tyhjiössä [m^3/s]

Q_2 = tilavuusvirta normaalissa ilmanpaineessa [m^3/s]

p = normaali ilmanpaine [Pa]

p_0 = putkiston tyhjiön paine [Pa]

5.3 Vaadittu tyhjiötaso

On määriteltävä myös vaadittu tyhjiötaso, joka pumppujen on siis tuotettava ja pidettävä yllä. Toimeksiantajan taholta määriteltiin, että 0,5 bar (abs.) runkolinjasta mitattuna on riittävä alipaine pitämään kakut kiinni kehikossa sähkökatkon ajan. Sähkökatkon aikana ei siis tarvita suurempaa alipainetta esimerkiksi kakun suodattumista tai peseytymistä varten, sillä suodatus- ja pesuultaiden täyttöpumput luonnollisesti

myös pysähtyvät sähkönsyötön katkettua. Tällöin pesuvettä tai suodatettavaa liuosta ei edes riittäisi, vaan altaan pinta alkaisi laskea ja kakut paljastua yläosastaan alkaen.

Porin toimipaikalla sähkökäyttöisten tyhjiöpumppujen tuottamaa alipainetta jaettiin normaalitilanteessa tehtaan verkostossa muuhunkin käyttöön kuin moorelle. Esimerkiksi uunisuoitimet käyttivät alipainetta. Toimeksiantajan taholta kuitenkin määriteltiin, että juuri esi-, jälki-, ja käsittelypesu moorella on tyhjiön katoamisen kannalta tuotannon kriittisin osa-alue. Näin ollen sähkönsyötön katketessa mooren tyhjiöverkosto olisi ollut tarkoitus rajata omaksi alueekseen sulkuventtiilein. Venttiilien olisi sulkeuduttava tarvittaessa nopeasti ja automaattisesti. Magneettiventtiilit oikeisiin kohtiin sijoitettuna olisivat voineet olla sopiva ratkaisu. Sähkönsyötön katketessa, venttiili sulkeutuu automaattisesti rajaten dieselpumpuilla tuotettavan tyhjiön vain mooren alueelle.

5.4 Järjestelmän häviöt ja vuodot

Tyhjiösystemi on aina kokonaisuus, joka koostuu mm. pumppuista, putkistoista, säiliöistä, venttiileistä ja liitoksista. Systemin osista aiheutuu kaasuvirtaukselle vastusta ja vuotoja tyhjiösystemiin. (Airila ym. 1983, 185.) Porin toimipaikan tyhjiöverkosto oli ennen tulipaloa paikoin huonossa kunnossa, ja työn yhtenä alkuperäisenä tavoitteena olikin kartoittaa tyhjiöjärjestelmän tilaa ja mahdollisia tyhjiövuotoja. Tirlattujen pumppujen kapasiteetti mitoitettiin riittämään siten, ettei suuria vuotoja olisi. Koska vanha tyhjiöverkosto tuhoutui tulipalossa täysin, oli tilalle tarkoitus rakentaa kokonaan uusi runkoverkosto. Tällöin kuluneesta verkostosta aiheutuneet suurimmat tyhjiöhäviöt olisivat olleet lähes kokonaan poissa, sillä isoja vuotoja uudessa putkistossa ei luonnollisesti olisi.

Yleisimmät vuotokohteet alipaineverkostossa ovat yleensä:

- putkiliitokset, etenkin laippaliitokset
- venttiilit ja pikaliittimet
- lauhteenpoistimet
- syöpynyt verkko
- auki ”unohtuneet” venttiilit (Fontell ym. 1986, 103.)

5.5 Hydrostaattinen paine

Kun mooren suodatuskehikko oli käytössä, sen jokaiseen suodatinlehteen johdettiin alipaine. Kehikko kakkuineen oli siis koko ajan joko pesuvedessä tai suodatettavassa prosessiliuoksessa, jolloin sen jokaiseen lehteen kohdistui ulkopuolelta myös hydrostaattista painetta. Kehikko kakkuineen oli pois nesteestä korkeintaan muutaman minuutin, kun sitä siirrettiin siltanosturilla joko suodatuksesta pesuun tai pesusta putousvaiheeseen. Tällöin kehikon alipaine säilytettiin siirtoimuletkulla. Kuva 2 havainnollistaa miltä kehikko näyttää kun siihen on suodatettu kakut.

Hydrostaattinen paine määritellään matemaattisesti kaavalla:

$$p_h = \rho * g * h \quad (5)$$

, missä:

p_h = hydrostaattinen paine

ρ = nesteen tiheys [kg/m^3]

g = maapallon keskimääräinen putoamiskiihtyvyyys $9,81 \text{ m/s}^2$

h = nestepatsaan korkeus, tarkasteltavan pisteen etäisyys pintaan [m]

Hydrostaattisen paineen yksiköksi tulee myös N / m^2 eli pascal.

6 MUUTA HUOMIOITAVAA

6.1 Dieselsäiliöt, savukaasut ja jäähdytysilma

6.1.1 Polttoainesäiliöt

Pumppujen moottorien yhteyteen oli tarkoitus asentaa 400 l polttoainesäiliö. Laskennallisesti polttoaine olisi riittänyt jopa 8h yhtäjaksoiseen käyttöön. Näin pitkän säh-

kökatkon toteutuminen on kuitenkin äärimmäisen epätodennäköistä, ja pitkän katkon aikana tehtaan muukin prosessi alkaa kärsiä huomattavasti jolloin aiheutunut tuotantokatkos pitkittyy tyhjiötason mahdollisesta säilymisestä huolimatta.

6.1.2 Savukaasut

Dieselmoottorien savukaasujen johtaminen ulkotiloihin olisi järjestynyt suhteellisen helposti, sillä pumput moottoreineen oli tarkoitus sijoittaa lähelle ulkoseinää.

6.1.3 Dieselmoottorien jäähdytys

Dieselmoottorien takaosaan oli suunniteltu jäähdytin, johon oli tarkoitus kanavoida tarvittava jäähdytysilma ulkoilmasta.

6.2 Tiivisteveden saatavuus

Nesterengaspumppujen toiminnan kannalta elintärkeä tiivistevesi suunniteltiin otettavaksi tehtaan palovesijärjestelmästä, joka myös on dieselvarmennettu. Valmistajan antamien tietojen mukaan vaadittu vesimäärä on 250 l / min, ja vedenpaine maksimissaan n. 1 bar, sillä isompi paine saattaa pidempiaikaisessa käytössä vaurioittaa pumppua.

Koska tyhjiöpumput oli tarkoitus sijoittaa 1. kerrokseen, poisteveden putkittaminen olisi ollut tehtävä kohti tehtaan 0-tasolla sijaitsevaa kanaalijärjestelmää eli jätevesien keräilyjärjestelmää.

6.3 Vasteaika

Valmistajan antamien tietojen mukaan dieselmoottori käynnistyy sähköjen katkettua tarvittaessa heti, mutta nesterenkaan muodostuminen pumppuun ja sen myötä tyhjiön muodostaminen kestää n. 30-60 s. Tämä vasteaika on koko järjestelmän toiminnan kannalta kriittisin piste; kiireellisintä tyhjiön saaminen on jälki- ja käsittelypesussa,

joissa kakku irtoaa kehikosta helpoimmin tyhjiön kadotessa. Esipesun suodatusvaihe kestää tyhjiötason heittelyt kokemusperäisesti parhaiten.

6.4 Ennakkohuolto

Tyhjiöpumput moottoreineen oli tarkoitus sisällyttää tehtaan ennakkohuolto-ohjelman piiriin. Säännöllisellä ennakkohuollolla varmistetaan laitteiston toimivuus ja pidennetään sen käyttöikä. Pumppuyksikön koekäynnistystä aina silloin tällöin olisi ollut harkittava, sillä laitteet olisivat olleet käyttämättöminä ylivoimaisesti suurimman osan vuodesta.

6.5 Takaisinmaksuaika

Investointi on mitä tahansa rahan käyttöä, jolla pyritään lisäämään tai varmistamaan yrityksen tuottoa ja hankkimaan kustannussäästöjä (Alhola & Lauslahti 2009, 162). Huntsman P&A Finland Oy päätti 2016 toteuttaa dieselvarmennettujen tyhjiöpumpujen hankinnan, sillä laajat sähkökatkokset lyhyellä aikavälillä aiheuttivat merkittäviä tuotannonmenetyksiä ja ns. tuotannonsiirtymiä, kun kuukausittaiset tuotantotavoitteet eivät täytyneet ja niiden kiinni saaminen myöhemmin oli haastavaa. Tuotannon menetysten ja siirtymien taloudellista arvoa oli toimeksiantajan mukaan haasteellista laskea yksiselitteisesti, mutta karkeana yhden päivän tuotannonmenetyksen arvona voitiin pitää n. 600 000 euroa.

Yksinkertaisin takaisinmaksuajan (TA) laskentakaava on menetelmä, joka ilmoittaa vuosina ajan, jolloin investointi maksaa itsensä takaisin:

$$TA [a] = \text{investointimenot [€]} / \text{vuotuiset nettotuotot [€]} \quad (6)$$

Yhden pumppuyksikön (pumppu + moottori) hinta tarjouskilpailun voittaneen Ax-Flow Oy:n tarjouksen perusteella on 156 500 €. Lisäksi tarjoukseen oli pyynnöstä hinnoiteltu erikseen kuljetus kohteeseen, käyttöönotto- ja käyttö- opastus. Näiden yhteishinta oli 4000 €. (Hiitelä sähköposti 18.1.2017.) Kahden tilatun pumppuyksikön yhteishinnaksi muodostui näin ollen $(156\,500 + 4000) \text{ €} * 2 = 321\,000 \text{ €}$.

Näillä tiedoilla saadaan laskettua investoinnin takaisinmaksuaika kaavalla (6):

$$TA = (321\ 000\ \text{€}) / (600\ 000\ \text{€} / \text{a}) = 0,535\ \text{a}$$

,eli investointi maksaisi yhdelläkin vuotuisella sähkökatkolla itsensä takaisin (0,535 a) * (12 kk / a) = 6,42 kk eli hieman vajaassa 6,5 kuukaudessa. Kuten kaavasta (6) voi nähdä, investoinnin takaisinmaksu nopeutuu entisestään mitä enemmän tässä tapauksessa sähkökatkoja vuodessa tulee. Esimerkiksi kaksi sähkökatkoa vuodessa pudottaisi takaisinmaksuajan vain reiluun 3 kuukauteen.

Vaikka kaava (6) on takaisinmaksun arvioimista koskevista kaavoista yksinkertaisin, eikä se huomioi esimerkiksi järjestelmän vaatimia vuotuisia ylläpitokustannuksia tai jossain muussa tapauksessa investointia varten mahdollisesti otetun lainan vuotuista korkoa, voidaan tässä tapauksessa hyvin todeta, että investointi olisi ollut tehtaalle erittäin kannattava lyhyestä takaisinmaksuajasta johtuen.

7 YHTEENVETO JA POHDINTAA

Opinnäytetyön alkuperäisenä tavoitteena oli selvittää laskennallisesti, kuinka suuri on Venator P&A Finland Oy Porin toimipaikan tyhjiöverkoston tilavuus moorella ja paljonko kyseinen osasto tyhjiötä käyttää. Näiden pohjalta oli tarkoitus selvittää, kuinka tehokas diesel-käyttöinen varajärjestelmä tarvitaan, vai tarvitaanko pumppuja useita. Toimipaikkaa kohdanneen valtavan tulipalon ja lopulta myös toimipaikan lakkauttamispäätöksen aiheuttaman kireän aikataulun myötä työn tavoitteita oli pakko muuttaa teoriapainotteisiksi.

Opinnäytetyössä sivuttiin myös titaanidioksidin (TiO_2) pitkää ja haastavaa valmistusprosessia, ja miten tyhjiötä hyödynnettiin tuotannossa suodatus- ja pesuvaiheessa moorella. Työssä kerrottiin myös, millaisia vaikeuksia tyhjiötason katoaminen moorella aiheutti.

Toimeksiantajan aikoinaan tekemien omien laskelmien perusteella hankitut kaksi dieselkäyttöistä tyhjiöpumppua riittävät pitämään sähkökatkon aikana vaaditun tyhjiötason mooren tyhjiöverkostossa, kunhan isoja vuotoja ei esiinny. Tässä työssä käytiin läpi asioita, joita laskennassa olisi otettava huomioon.

Opinnäytetyössä mietittiin myös, mitä kaikkia asioita tällaista investointia toteutettaessa pitäisi huomioida; Porin toimipaikalla diesel-varmennettuja tyhjiöpumppuja ei ennen ollut joten niiden toimivuudestaan tuotantoprosessissa sähkökatkon sattuesssa ei voitu olla varmoja. Valitettavasti koeajoja todellisissa olosuhteissa ei koskaan päästy tekemään.

Yksi eniten askarruttanut asia oli järjestelmälle luvattu vasteaika puolesta minuutista minuuttiin, jonka kuluessa tyhjiön luvattiin muodostuvan sähköjen katkettua; olisiko se ollut riittävä aika, sillä mikäli kakku ehtii hajota ja pudota kehikon suodatinlehdessä altaan pohjalle edes osittain, on koko panos käytännössä menetetty. Tyhjiötaso ei verkostossa häviä välittömästi, mutta puolikin minuuttia tuntuu silti pitkältä ajalta. Tätä pohtiessa mietin omia käytännön kokemuksiani useiden vuosien ajalta kesätöis-

tä moore-osastolla. Valitettavasti vasteajan riittävyyttä on vaikea todentaa teoriassa, vasta koeajo todellisissa olosuhteissa olisi varmistanut asian.

Aiheena tyhjiötekniikka ja siihen liittyvät asiat olivat haastavia, sillä kunnollista lähdemateriaalia oli yllättävän hankala löytää. Lisäksi monet uudemmiiksi luulemani lähteet olivatkin siteeranneet tässäkin työssä lähteinä käytettyjä, 1980-luvulta peräisin olevia teoksia. Lisäksi työn tekeminen järjestelmästä, joka tuhoutui tulipalossa täysin, oli haastavaa ja vaati miettimistä, miten aiheesta saadaan vielä opinnäytetyö kasattua.

Parannettavaa löytyy eritoten opinnäytetyön toteuttamisen aikataulusta.

LÄHTEET

- Airila, M., Hallikainen, K., Käätä, J. & Laurila, T. 1983. Kompressorikirja. Vantaa: Hydor
- Alhola, K. & Lauslahti, S. 2009. Laskentatoimi ja kannattavuuden hallinta. Helsinki: WSOYPro Oy
- Fontell, A., Maula, J., Nieminen R., Söderlund C., Valli, K., Vehanen, A., Vulli M. & Ylilampi, M. 1986. Tyhjiötekniikka. Helsinki: Suomen tyhjiöseura.
- Hammarberg, V. 2017. Pelottavien pilvien aamu Porissa. Satakunnan Kansa 30.1.2017, Enemmän, 1. Viitattu 5.9.2018. <http://www.satakunnankansa.fi>
- Hiitelä, K. Tarjous dieselkäyttöisestä tyhjöpumpusta. Vastaanottaja: Kasvinen, S. Lähetetty 18.1.2017. Viitattu 8.10.2018.
- Hulkkonen, V. 2005. Fluid-klinikka 2/2005: Tyhjiötekniikan perusteet. Viitattu 1.10.2018.
<https://asiakas.kotisivukone.com/files/fluidfinland.kotisivukone.com/FluidKlinikat/15.tyhjiotekniikan-perusteet.pdf>
- Hulkkonen, V. 2006. Fluid-klinikka 2/2006: Tyhjiötekniikka – pumput. Viitattu 1.10.2018.
<https://asiakas.kotisivukone.com/files/fluidfinland.kotisivukone.com/FluidKlinikat/14.tyhjiotekniikka-pumput.pdf>
- Huntsman Corporation. 2017. Huntsman's Pori, Finland Facility Experiences Fire. Viitattu 5.9.2018. <https://www.huntsman.com/corporate/a/Home>
- Laasanen, H. 2017. Pelottavien pilvien aamu Porissa. Satakunnan Kansa 30.1.2017, Enemmän, 1. Viitattu 5.9.2018. <http://www.satakunnankansa.fi>
- Penttilä, K. 1999. TiO₂ – sulfaattiprosessin kuvaus. Lähdeos koulutuspakettiin. Kemiran koulutusmateriaali.
- Pihkala, J. 2004. Prosessisuureiden mittaustekniikka. 2. uud. p. Vantaa: Dark Oy.
- Pihkala, J. 2011. Prosessitekniikka. Tampere: Juvenes Print.
- Turner, S. 2018. Venator Material's Q2 2018 Earnings Conference Call 31.7.2018. <https://seekingalpha.com/article/4192724-venator-materials-vntr-ceVeo-simon-turner-q2-2018-results-earnings-call-transcript>
- Venator Corporation. 2018. Venator to Acquire European Paper Laminates Business and Negotiate Exclusively with Tronox to purchase other assets. Viitattu 5.9.2018. <http://www.venatorcorp.com/>

Venator, 2018. TiO₂ – production. Venatorin sisäinen koulutusmateriaali.

Venatorin www-sivut. 2018. Viitattu 3.9.2018. <http://www.venatorcorp.com/>

Venator. 2018. Venator to Close Pori, Finland TiO₂ facility, Transfer Technology to Other Sites and Strengthen Existing Network. Viitattu 17.9.2018.

<https://www.venatorcorp.com/investor-relations/financial-news/2018/09-12-2018-110252682>

Vähäsavo, T. 2014. Apuaineen korvaaminen titaanihydraattimassan esipesussa.

AMK-opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Viitattu 5.9.2018.

<http://www.theseus.fi/handle/10024/73876>