

Opinnäytetyö (YAMK)

Teknologiaosaamisen johtaminen

2019

Ossi Lindstedt

KALSIUMKARBONAATTI- TUOTTEEN VALMISTUSPROSESSIN KEHITTÄMINEN

OPINNÄYTETYÖ (YAMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Teknologiaosaamisen johtaminen

2019| 68 sivua

Ossi Lindstedt

KALSIUMKARBONAATTITUOTTEEN VALMISTUSPROSESSIN KEHITTÄMINEN

[Click here to enter text.](#)

Opinnäytetyössä tarkastellaan Nordkalkin kalkkituotteen valmistusprosessin kehittämistä. Valmistuslinjalla on ongelmia, jotka hidastavat tuotantoa ja rajoittavat tuotannon kapasiteettia.

Työssä hyödynnettiin Demingin kehittämää PDSA-kehää, joka on systemaattisen kehitystyön työkalu. Kehää kierrettiin työssä kaksi kertaa: Ensimmäisellä kierroksella vaihdettiin prosessia rajoittava vedenpoistotekniikka toiseen. Uuden layoutin, teknisten ratkaisujen ja asennustöiden haasteet ratkaistiin aivoriihityöpajassa, johon osallistui koko henkilökunta. Työssä edettiin järjestelmällisesti vaiheittain: suunnittele, toteuta, opi tuloksista ja säädä. Toisella kierroksella selvitettiin tuotantolinjan loput pullonkaulat ja hukat sekä laadittiin kehityssuunnitelma kapasiteetin nostamiseksi kolminkertaiseksi. Työssä käytettiin Lean Six Sigma työkaluja: prosessista piirrettiin prosessikartat ja vaatimuspuu. Prosessin ongelmia etsittiin tilastollisella tarkastelulla, henkilökuntaa haastatteleamalla ja prosessiin tutustumalla. Ongelmien ratkaisuun käytettiin 5 x miksi kysymyksiä ja syy/seurausdiagrammia.

Vedenpoistotekniikan vaihtaminen onnistui hyvin. Koko henkilökunta osallistui työhön ja työssä edettiin aikataulun mukaan. Tuotelaatu ja laitteen kapasiteetti vastasivat odotuksia. Oikeita työkaluja käyttämällä ratkaistiin syyt tuotantolinjan muihin ongelmiin ja laadittiin kehityssuunnitelma kapasiteetin nostamiseksi. Työaikajärjestelyillä, yksikköprosesseja monistamalla ja prosessiyksiköiden kokoa kasvattamalla voidaan saavuttaa valmistuslinjalle kolminkertainen kapasiteetti.

ASIASANAT:

Jatkuva parantaminen, hukka, pullonkaula, layout, suotopuristin, Lean, Six Sigma

MASTER'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Master's Degree Programme in Technological Competence Management

2019 | 68

Ossi Lindstedt

DEVELOPMENT OF THE MANUFACTURING PROCESS FOR A CALCIUM CARBONATE PRODUCT

[Click here to enter text.](#)

The aim of the present Master's thesis is to study the development of a production line of the Nordkalk company. The production line has problems that are slowing down the production and restricting the capacity of the production.

The tool for systematic development work, the PDSA-circle developed by Deming, was utilized in conducting the study. The circle was executed twice. During the first circle the old dewatering technology restricting the capacity was replaced with another technology. The challenges related to the layout, technical issues and assembling were solved in the brainstorming workshops in which the whole personnel participated. The work was done systematically in following stages: plan, do, study and adjust. During the second circle all other bottle necks and wastes of the production line were identified and the development plan to triple the capacity was written. The Lean Six Sigma tools were utilized: the process maps and the requirement tree of the process were drawn up. Problems in the process line were studied by statistical analysis, interviewing the personnel and observing the process. The 5 x why and the cause/effect diagram was utilized to solve the problems.

The replacing of the dewatering technology was a success. The whole personnel participated in the project and the project proceeded on schedule. The product quality and the capacity met the expectations. The problems of the production line were solved and the development plan to increase the capacity was compiled by utilizing the right tools. The capacity of the production line can be tripled by managing the work in shifts, multiplying the process units and increasing the size of the process units.

KEYWORDS:

Continuous improvement, waste, bottle neck, layout, filter press, Lean, Six Sigma

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET	8
1 JOHDANTO	1
1.1 Nordkalk	1
1.2 Kalkkikivi, kalsiumkarbonaatti	3
1.3 Nordkalkin tuotekehitys	5
1.4 Lähtötilanne, prosessit, työn tavoitteet ja tehtävän rajaaminen	6
1.5 Tutkimusongelma ja tutkimuskysymykset	6
2 TUOTTAVUUDEN PERUSTEET JA KEHITTÄMINEN	8
2.1 Prosessin mittaukset	8
2.2 Jatkuva parantaminen	10
2.3 Six Sigma	13
2.4 Lean Six Sigma	16
2.5 Lean	19
2.5.1 Hukka	20
2.5.2 Virtaus ja pullonkaulat	21
2.5.3 Just in time	22
2.6 Layout	22
2.7 Prosessit	23
2.8 Pilotointi, PDP- tuotanto ja tuotannon ylösajovaihe	24
3 TUOTANTOPROSESSIN LÄHTÖTILANTEEN KARTOITTAMINEN	26
3.1 Prosessi A: Poltetun kalkin sammutus	27
3.2 Prosessi B: sammutetun kalkin karbonointi hiilidioksilla.	28
3.3 Prosessi C: veden poistaminen dekanterilingolla	28
3.4 Prosessilinjan ongelmat	29
4 TUOTANTOLINJAN KEHITTÄMINEN	30
4.1 Dekanterilingon korvaminen suotopuristimella	30
4.2 Suunnittelu ja hankinnat	33
4.3 Uuden prosessin layout	35
4.4 Prosessikuvaus ja prosessin laitteet	37
4.4.1 Suotopuristin	38

4.4.2 Suotopuristinprosessin apulaitteet	40
4.5 Prosessin rakentaminen	42
4.5.1 Purkutyöt	42
4.5.2 Valmistelevat työt	44
4.5.3 Kokoonpano	44
4.5.4 Kytkenät	45
4.6 Koeajot ja testaus	45
4.6.1 Kokonaisprosessin koeajot	46
4.6.2 Tuotantokoeajot	46
4.6.3 Pesumenetelmien kehittäminen	47
4.7 Automatisointi	48
4.8 Yhteenveto suotopuristimen käyttöönottamisesta	49
4.8.1 Suotopuristinprosessin jatkokehitys	51
4.9 Tuotantolinjan kapasiteetin moninkertaistaminen	53
4.9.1 Kapasiteetin nostoprojektin tarkoitus ja kehityskohteet	53
4.9.2 Prosessin analysoiminen	57
4.9.3 Prosessin kehityssuunnitelma	63
5 POHDINTA	64
LÄHTEET	66

KAAVAT

Kaava 1. Kalsiumkarbonaatin polttaminen kalsiumoksidiksi	4
Kaava 2. Kalsiumoksidin sammuttaminen kalsiumhydroksidiksi	4
Kaava 3. Kalsiumhydroksidin karbonointi kalsiumkarbonaatiksi.	4
Kaava 4. KNL-tunnusluvun laskentakaava.	9
Kaava 5. Käytettävyyden laskentakaava.	9
Kaava 6. Käyttösuhteen laskentakaava.	10
Kaava 7. Prosessin käyttöasteen laskukaava.	10
Kaava 8. Prosessin kyvykkyyden C_p laskukaava.	15
Kaava 9. Littlen lain alkuperäinen matemaattinen kaava	21

Kaava 10. Littlen lain uudempi matemaattinen kaava.	21
---	----

KUVAT

Kuva 1. Kalkkikiven murskausta Nordkalkin Gotlannin avolouhoksessa.	2
Kuva 2. Suomen teollisuusmineraalipotentialiset alueet (GTK 2019).	3
Kuva 3. Dekanterilingon toimintaperiaate (Flottweg 2019).	29
Kuva 4. Täryseulan toimintaperiaate (Pihkala J. 2019).	40
Kuva 5. Spiraaliruuvin kotelointi (7) ja suodoskakun pudotuskaukalo (20).	42
Kuva 6. Liettomikseriaseman käyttötaso purkutöiden jälkeen.	43
Kuva 7. Materiaalin seulonta ennen suotopuristinta.	44

KUVIOT

Kuvio 1. Nordkalk tuotteiden myynti asiakassegmenteittäin (Nordkalk 2018).	2
Kuvio 2. Kalkin kemialliset reaktiot (The Building Limes Forum 2019).	5
Kuvio 3. Edwards Demingin kehä eli PDSA-kehä. (Moen 2009)	12
Kuvio 4. Normaaliajakautuma ja havaintojen %-osuudet eri sigman arvoilla (Lean Manufacturing and Six Sigma Definitions).	15
Kuvio 5. DMAIC-tiekartta (Nordkalk Lean Six Sigma Yellow Belt Training).	17
Kuvio 6. Lean Six Sigma-työkalut eri prosessivaiheille. (Nordkalk Lean Six Sigma Yellow Belt Training)	18
Kuvio 7. Kalkkituotteen tuotantolinja.	26
Kuvio 8. Projektin työvaiheet suotopuristinprosessin rakentamiseksi (1. PDSA -sykli).	33
Kuvio 9. Suotopuristinprojektin suunnitteluvaiheet.	35
Kuvio 10. Layout-vaihtoehto 1.	36
Kuvio 11. Layout-vaihtoehto 2 eli toteutunut layout.	37
Kuvio 12. Nordkalkin suotopuristinprosessin koko materiaalivirta.	39
Kuvio 13. Prosessipumpun ajokäyrä ja prosessipaine ajossa.	47
Kuvio 14. Suunnitelma automaation toteuttamisesta moduleissa.	49
Kuvio 15. Projektin vaatimuspuu.	54
Kuvio 16. SIPOC-prosessikartta.	55
Kuvio 17. Projektin Business case-kaavake.	55
Kuvio 18. Kokonaisprosessin prosessikaavio.	58
Kuvio 19. Sammutusprosessin työvaiheet.	59
Kuvio 20. Karbonointiprosessin työvaiheet.	60
Kuvio 21. Viskositeetti-arvot vuoden 2017 tuotteille.	61
Kuvio 22. Syy-seurausdiagrammi hydroksidipartikkelien hävittämiseksi tuotteesta.	62

TAULUKOT

Taulukko 1. Prosessiin kyvykkyys. DPMO tarkoittaa vikoja per miljoona mahdollisuutta (Nordkalk Lean Six Sigma Yellow Belt Training).	16
Taulukko 2. Tuotantolinjan ongelmat.	29

Taulukko 3. Dekanterilinkojen ja suotopuristimen vertailua testilaitteilla (KAP=kuiva-
ainepitoisuus).

31

Taulukko 4. Aivoriihityöpajan kokoonpano.

32

KÄYTETYT LYHENTEET

Cp	Prosessin kyvykkyys Six Sigma -menetelmässä (Karjalainen & Karjalainen, 145)
DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve and Control, Six Sigman toimintamalli, suom. määrittele, analysoi, paranna ja kontrolloi (Nordkalk Lean Six Sigma yellow belt training)
DPMO	Defects Per Million Units, Six Sigman käsite, suom. vikoja miljoona yksikköä kohti (Nordkalk Lean Six Sigma yellow belt training)
KAP	Kuiva-ainepitoisuus, lietteestä tai nesteestä mitattu kiintoainepartikkelien määrä prosentteina
KNL	Käytettävyys, nopeus ja laatu, tehokkuuden tunnusluku (Juuti 2015, 32-35)
LSL	Lower Specification Limit, toleranssin alaraja (Karjalainen & Karjalainen 2002, 145)
OEE	Overall Equipment Effectivines, suom. KNL (Juuti 2015, 32-35)
PDP	Piloting and Demonstrating Processes, uuden teknologian kehittämis- ja kokeilutyökaluja, suom. pilotointi- ja demonstrointiprosessit (Helsmark ym. 2016, 1-2)
PDSA	Plan, Do, Study ja Adjust, Edward Demingin kehittämä työkalu prosessien kehittämiseksi, suom. suunnittele, toteuta, arvioi ja säädä (Moen 2009)
SIPOC	Supplier, Input, Process, Output and Customer, Six Sigman työkalu prosessin kartoittamiseksi, suom. toimittaja, syöte, prosessi, tuotos ja asiakas (Nordkalk Lean Six Sigma yellow belt training)
USL	Upper Specification Limit, toleranssin yläraja (Karjalainen & Karjalainen 2002, 145)

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena oli tehostaa Nordkalkin demomittakaavan tuotantoprosessin virtaustehokkuutta ja kapasiteettia sekä vähentää sen valmistamien tuotteiden laatuvaihtelua. Opinnäytetyön käytännön osuus koostuu kahdesta osa-alueesta: Tuotantoprosessin vedenpoistolaitte vaihdettiin dekanterilingosta suotopuristimeen. Toisessa osassa tuotantoprosessin muita työvaiheita varten laadittiin kehityssuunnitelma.

Tutkimus on luonteeltaan toimintatutkimusta. Opinnäytetyön tutkimusmateriaali koostuu tuotannon ajopöytäkirjoista, suotopuristinprojektin suunnitteluvaiheen muistiinpanoista ja koeajodatasta sekä tuotantoprosessin henkilökunnan haastatteluista. Laittevalmistajien ja -maahantuojien osaamista on myös hyödynnetty.

Tuotantolinja käynnistettiin 2014. Sen jälkeen tavoitteena on ollut saavuttaa oikea kapasiteetti ja tuotelaatu sekä täyttää tuotteiden kaupalliset tavoitteet. Toisaalta sen tarkoitus on toimia myös pilotointilaitteistona tuotantotekniikan kehittämisen ja oppimisen työkaluna.

Tavoitteena on kehittää ylösajovaiheessa olevaa tuotantolinjaa niin, että sen kokonaisprosessin pohjalta olisi mahdollista rakentaa täyden tuotantomittakaavan tehdas.

Kokonaisprosessi koostuu neljästä osaprosessista, jotka olisi saatava toimimaan yhdessä ilman pullonkauloja.

1.1 Nordkalk

Nordkalk on pohjoisen Euroopan suurin kalkkikivipohjaisten tuotteiden ja ratkaisujen tuottaja ja myyjä. Yhtiöllä on toimintaa kuudessa eri maassa ja kaivostoimintaa viidessä eri maassa. Suurin osa kaivoksista on avolouhoksia kuten Gotlannin Klinthagenin avolouhos kuvassa 1. Kalkkikivituotteita käytetään lukuisiin eri tarkoituksiin teollisuudessa, ympäristönhoidossa, maanviljelyksessä, tuotantoeläinten kasvatuksessa sekä rakennustuotteissa ja rakentamisessa.



Kuva 1. Kalkkikiven murskausta Nordkalkin Gotlannin avolouhoksessa.

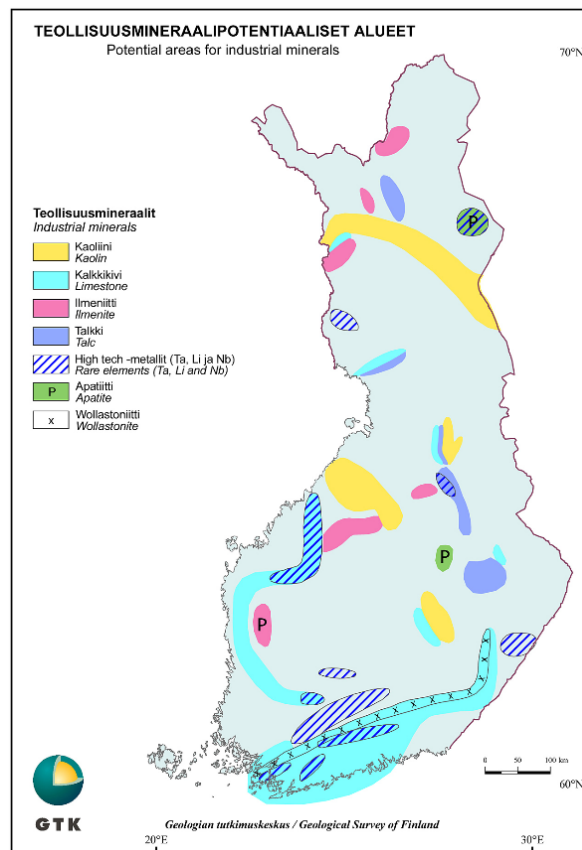
Kalkkipohjaisia tuotteita tarvitaan monien hyvin arkipäiväisten asioiden tuottamiseen ja se on korvaamaton aine. Kalkkipohjaisia tuotteita ovat erilaiset mekaanisesti käsitellyt jauheet ja rouheet, korkeassa lämpötilassa (1000 C°) kalkkiuunissa poltettu kalkki eli kalsiumoksidi sekä poltetusta kalkista vedellä sammutettu kalkki eli kalsiumhydroksidi. Lisäksi Nordkalk valmistaa monissa eri sovelluksissa täyteaineina käytettäviä erikoistuotteita, kuten hyvin hienoksi jauhettua kalkkikiveä eli hienokalsiittia ja kalsiumsilikaattia eli wollastoniittia. Suurin asiakassegmentti on paperi- ja selluteollisuus, kuten kuviosta 1 voidaan huomata. (Nordkalk 2018)



Kuvio 1. Nordkalk tuotteiden myynti asiakassegmenteittäin (Nordkalk 2018).

1.2 Kalkkikivi, kalsiumkarbonaatti

Maankuoressa on valtavia määriä kalsiumkarbonaattia sedimentoituneena kivenä. Se on muodostunut sedimentoitumalla muinoin kuolleiden merieläinten fossiloituneista jäännöksistä. Yleisin stabiili kalsiumkarbonaatin muoto on kalsiittimineraali, jolla on yli 300 erilaista kidemuotoa. Kalsiittimineraalista käytetään myös nimeä kalkkikivi. Kalkkikiveä on maapallon kallioperästä noin 4 %. Nordkalk louhii kalkkikiveä Suomessa mm. Paraisilla, Vampulassa, Lohjalla ja Lappeenrannassa. Suomen kalkkikivialueet ovat esitettyinä kuvassa 2 turkoosilla värillä.



Kuva 2. Suomen teollisuusmineraalipotentialiset alueet (GTK 2019).

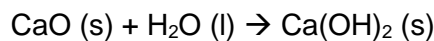
Kalsiittia harvinaisempi kalsiumkarbonaatin olomuoto on aragoniitti. Se on kalsiittia epästabiilimpi ja muuttuu ajan kuluessa kalsiitiksi. Synteettistä aragoniittia voidaan valmistaa poltetusta kalkista vedellä sammuttamalla ja sen jälkeen hiilidioksidilla karbonoimalla. Kaavassa 1 on esitettyinä reaktioyhtälönä kalkin polttaminen kalkkiuunissa

lämpötilassa 1000 °C kalsiumoksidiksi eli poltetuksi kalkiksi. Kaavassa esitetyt aineen olomuodot ovat: s = kiinteä ja g = kaasu.



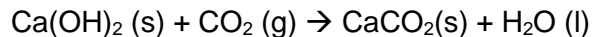
Kaava 1. Kalsiumkarbonaatin polttaminen kalsiumoksidiksi

Kaavassa 2 on esitettyä reaktioyhtälönä poltetun kalkin eli kalsiumoksidin sammuttaminen vedellä kalsiumhydroksidiksi. Kaavassa esitetyt aineen olomuodot ovat s = kiinteä ja l = neste.



Kaava 2. Kalsiumoksidin sammuttaminen kalsiumhydroksidiksi

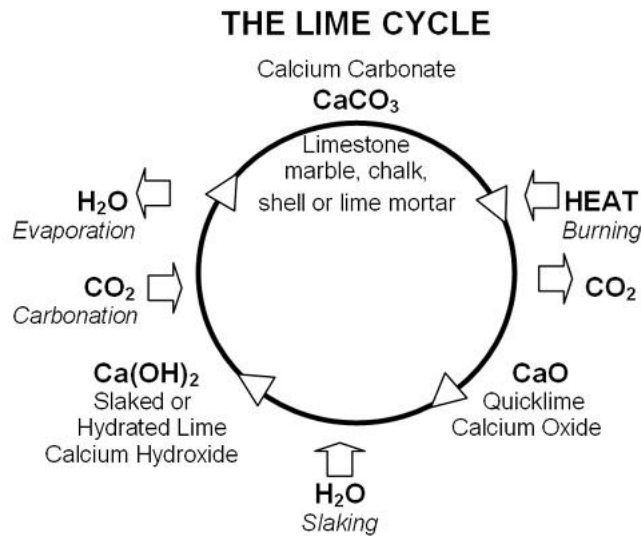
Kaavassa 3 on esitettyä reaktioyhtälönä sammutetun kalkin eli kalsiumhydroksidin karbonointi hiilidioksidilla kalsiumkarbonaatiksi. Kaavassa esitetyt aineen olomuodot ovat: s = kiinteä, g = kaasu ja l = neste.



Kaava 3. Kalsiumhydroksidin karbonointi kalsiumkarbonaatiksi.

Karbonointivaiheen prosessiolosuhteet, kuten lämpötila ja kaasunsyötön nopeus vaikuttavat lopputuotteen ominaisuuksiin. Valmis tuote on kalsiumkarbonaatin vesiliete.

Kalkin kemiallinen koostumus on siis eri riippuen siitä puhutaanko kalkista, poltetusta kalkista tai sammutetusta kalkista. Kuviossa 2 on esitetty kalsiumkarbonaatin kemiallinen kierto polton, sammutuksen ja uudelleen karbonatisoitumisen kautta takaisin kalsiumkarbonaatiksi.



Kuvio 2. Kalkin kemialliset reaktiot (The Building Limes Forum 2019).

Synteettistä aragoniittia käytetään täyteaineena esimerkiksi paperiteollisuudessa, koska se on tasalaatuista, hyvin valkoista ja huokoista. Kalkkipohjaisilla täyteaineilla voidaan eri tuotteiden valmistuksessa saada merkittäviä kustannussäästöjä ja parantaa loppu-
tuotteiden ominaisuuksia huomattavasti. (Atkins ym. 2006, 282)

1.3 Nordkalkin tuotekehitys

Nordkalkin tuotekehitystoiminnot ovat osa yrityksen myynti- markkinointi- ja tuotekehitysohjelmia. Tuotekehitystiimi tarjoaa asiakkaille tukea oikeiden tuotteiden ja ratkaisujen löytämiseksi erilaisissa teollisuuden, ympäristöhoidon ja rakentamisen haasteissa. Tarkoituksena on myös tuoda uusia tuotteita markkinoille.

Kehitystyön kohteena oleva tuotantolinja toimii pientuotantomittakaavassa ja sen tehtävä on toimia työkaluna uuden tuotteen tuotannossa, tuotannon kehittämisessä ja valmistusprosessiin liittyvien ilmiöiden oppimisessa. Voidaan myös sanoa, että prosessin ylösajo on kesken, koska prosessia ei ole saatu täysin ongelmitta toimimaan. Toisaalta koko prosessin tarkoitus on antaa riittävästi tietoa täyden mittakaavan prosessin rakentamista varten ja se muuttuu ja kehittyy jatkuvasti. Prosessi on käynyt olemassaolonsa aikana läpi jo monta kehitysvaihetta laboratoriomittakaavasta kohti tuotantomittakaavaa.

Tuote on Nordkalkin itse kehittämä ja sen tuotantolinja on rakennettu aikaisempien pienemmän mittakaavan pilotointilaitteistojen pohjalta. Tuotantolinja koostuu neljästä osaprosessista: A, B, C ja D, joita käsitellään luvussa 3.

1.4 Lähtötilanne, prosessit, työn tavoitteet ja tehtävän rajaaminen

Tuotantoprosessi käynnistettiin vuonna 2014. Prosessi toimii, mutta siinä on merkittäviä kehityskohteita. Prosessilla pystytään tuottamaan vaihtelevalla laadulla ja kapasiteetilla tuotetta, mutta karbonointiprosessissa tapahtuvat prosessiparametrien vaihtelut aiheuttavat ongelmia kaikkien kokonaisprosessin vaiheisiin. Kalkin laadun vaihtelulla epäillään olevan merkitystä tuotelaatuun. Erityisesti käytössä oleva dekanterilingolla tehtävä vedenpoistoprosessi reagoi voimakkaasti tuoteominaisuuksien vaihteluun, jolloin sen kapasiteetti ja lopputuotteen ominaisuudet vaihtelevat liikaa. Prosessin kapasiteetti on tarkoitus kolmikertaistaa tuotemyynnin kasvaessa. Dekanterilinko on kokonaisprosessin merkittävin pullonkaula ja se on tarkoitus korvata suotopuristimella. Koeajojen perusteella on todettu, että suotopuristin soveltuu tehtävään paremmin. Suotopuristimella voidaan saavuttaa parempi kapasiteetti, korkeampi kuiva-ainepitoisuus ja se ei reagoi pieniin materiaalin laadunvaihteluihin kovin voimakkaasti. Tämän jälkeen voidaan laatia suunnitelma kokonaisprosessin kapasiteetin kolminkertaistamiseksi. Tässä opinnäytetyössä kokonaisprosessin käsittely on rajattu raaka-aineiden toimituksesta tuotteen pakkaamiseen. Kokonaisprosessin viimeistelyvaihe on jätetty tarkemman tarkastelun ulkopuolelle, koska se on helposti monistettavissa ja sisältää yrityssalaisuuksia.

1.5 Tutkimusongelma ja tutkimuskysymykset

Tuotannossa on haasteita. Näitä kehityskohteita ei kannata viedä eteenpäin, kun tuotantoprosessin mittakaavaa tullaan skaalaamaan suuremmaksi, vaan ne tulisi ratkaista nyt. Nykyistä prosessia tulisi kehittää, jotta tuotantolaitteiston todellinen kapasiteetti ja skaalausmahdollisuudet voidaan määritellä. Prosessin tulisi toimia jatkuvasti ja tuotelaadun tulisi olla oikealla tasolla. Tuotelaadun vaihtelut aiheuttavat ongelmia koko prosessissa. Turha, lisäarvoa tuottamaton työ on poistettava ja käytössä olevat resurssit hyödynnettävä tehokkaammin.

Miten tuotantolinjaa voidaan kehittää niin, että se voitaisiin skaalata suuremmaksi? Mitkä asiat on otettava huomioon, kun tavoitteena on rakentaa toimiva tehdas? Mitä ovat oikeat

tuotantovälineet ja tuotantotavat. Mitä raaka-aineen ja tuotteen käsittelyssä on otettava huomioon?

Nykyisen demotuotannon teoreettinen kapasiteetti on lähtöhetkellä vuonna 2017 ollut riittävä. Tuotannon kapasiteetti haluttaisiin markkinatilanteen kehittyessä lähivuosien aikana nostaa kolminkertaiseksi vuoteen 2022 mennessä. Skaalausta haluttaisiin jatkaa vielä niin, että tuotannon kapasiteetti olisi mahdollista vielä edelleen moninkertaistaa.

2 TUOTTAVUUDEN PERUSTEET JA KEHITTÄMINEN

Yritykset tavoittelevat mahdollisimman hyvää taloudellista tulosta ja voittoa. Yrityksen tulojen tulee pitkällä aikavälillä olla isommat kuin sen menojen. Tämä on edellytys sidosryhmien rahallisten vaatimusten täyttämiseksi. Tärkein tekijä toimintaedellytysten varmistamiseksi on yrityksen kannattavuus. Kannattavuus voidaan jakaa lyhyen aikavälin kannattavuuteen ja pitkän aikavälin kannattavuuteen. Kannattavuuden kaksi tärkeintä tekijää ovat tuottavuus ja laatu. (Haverila ym. 2009, 16-19) Tuottavuus voidaan laskea jakamalla työn tuotos sen aikaansaamiseksi käytettyjen työtuntien määrällä (Tilastokeskus). Kun tuottavuus yrityksessä kasvaa, se tarkoittaa myös hintakilpailukyvyyn parantumista ja hintakilpailukyvyyn parantumista. Tuottavuus on myös kansantaloudelle merkittävä tekijä (Haverila ym. 2009, 20). Laadusta voidaan yleisesti sanoa, että se tarkoittaa asiakkaan tarpeiden täyttämistä mahdollisimman tehokkaalla tavalla. Asiakas saa mitä hän haluaa. Laatu voidaan kuitenkin määritellä myös useasta eri näkökulmasta Tuotteen valmistuksen laatu viittaa valmistusprosessin laatuun ja prosessin kehittämiseen. Tuotelaatu viittaa taas tuotteen suunnittelun laatuun. Arvolaatu viittaa tuotteen tai palvelun kustannus/hyötysuhteeseen eli miten tuote antaa arvoa sijoitetulle pääomalle. Kilpailulaadulla tarkoitetaan tuotteen laatua verrattuna kilpailijan tuotteeseen. Asiakaslaatu tarkoittaa laatua, joka tyydyttää asiakkaan tarpeet (Lecklin 1997, 22-24). Loppujen lopuksi laadun määrittää usein käyttäjä, ei valmistaja (Haverila ym. 2009, 372). Laatu voidaan määritellä myös niin, että sen on oltava yhdenmukaista vaatimusten kanssa (Crosby 1986, 19).

Prosessin tuottavuutta voidaan arvioida erilaisin mittauksin. Laatu on sisäänrakennettuna prosesseihin ja sen kehittäminen toteutetaan prosessia kehittämällä. Prosessin virtauksen toteuttamisessa on tärkeää huomioida prosessin layout (Mäkelin ja Vepsäläinen 1995, 202).

2.1 Prosessin mittaukset

Tuotantoprosessin johtamisen ja kehittämisen edellytyksenä on, että prosessista vastaava on tietoinen prosessissa tapahtuvista asioista. Oikeita asioita reaaliaikaisilla mittareilla mittaamalla on mahdollista saada oikea kuva prosessin suorituskyvystä. Tuotannon tehokkuutta voidaan laskea erilaisia tuotantoparametreja hyödyntäen. Käytettävyys,

käyttöaste ja käyttösuhte ovat tuotantoprosessin avainmittareita. Tuotannon tehokkuutta voidaan laskea erilaisia tuotantoparametreja hyödyntäen. Käytettävyys, käyttöaste ja käyttösuhte ovat matemaattisesti laskettavissa olevia asioita, jotka kertovat prosessin tehokkuudesta. Usein näihin lukuihin keskittymällä voidaan vanhastakin tuotantoprosessista saada lisää tehoja irti.

OEE (Overall Equipment Effectiveness) eli kokonaistehokkuus kehitettiin Japanissa jo 1960-luvulla. OEE-laskenta soveltuu erityisesti prosessinomaiseen tuotantoon. Suomessa OEE lyhennetään KNL, joka tulee sanoista Käytettävyys, Nopeus ja Laatu. KNL on prosenttina esitetty tehokkuutta ilmaiseva tunnusluku ja se on esitettyinä kaavassa 4. Laskennassa huomioidaan suunnittelelemattomat tauot, nopeuden hävikki, laadun hävikki ja tuottavan työn aika. Mitä suurempi luku, sitä tehokkaampi tuotanto. Jos esimerkiksi käytettävyys on 80% (0,8), nopeus 80% (0,8) ja laatu 80% (0,8), saadaan laskettua KNL-luvuksi 51% (0,51).

$$KNL = \text{Käytettävyys} \times \text{Nopeus} \times \text{Laatu}$$

Kaava 4. KNL-tunnusluvun laskentakaava.

Odottamattomat tauot kuten koneiden rikkoutumiset ja käyttäjien virheet näkyvät heti KNL-luvussa. Täydellisessä tuotannossa koneet käyvät tauotta, täydellä nopeudella eikä laatuhäviötä ilmene. Tällöin KNL-luku on 100%.

KNL-laskentaa parempia tuotantokoneen tehokkuutta kuvaavia arvoja ovat käytettävyys, käyttöaste ja käyttösuhte.

Käytettävyys voidaan laskea kaavassa 5 esitetyllä tavalla. Se kuvaa suunnitellun tuotantoajan, josta on vähennetty kaikki odottamattomat tauot ja seisokit tuotannossa, suhdetta todelliseen tuotantoaikaan:

$$\text{Käytettävyys} = \frac{\text{Suunniteltu tuotantoaika} - \text{Odottamattomat seisokit}}{\text{Suunniteltu tuotantoaika}}$$

Kaava 5. Käytettävyyden laskentakaava.

Käyttösuhte kaavassa 6 kuvaa tuottavan työn osuutta suunnitellusta tuotantoajasta.

$$\text{Käyttösuhde} = \frac{\text{Tuottavan työn aika}}{\text{Suunniteltu tuotantoaika}}$$

Kaava 6. Käyttösuhteen laskentakaava.

Käyttöaste kaavassa 7 kuvaa tuotantokoneen käyttöaika kalenteriaikaan, esimerkiksi kokonaiseen vuorokauteen tai kuukauteen suhteutettuna.

$$\text{Käyttöaste} = \frac{\text{Tuottavan työn aika}}{\text{Kokonaisaika}}$$

Kaava 7. Prosessin käyttöasteen laskukaava.

Käytettävyys, käyttösuhte ja käyttöaste ovat avainmittareita, joiden avulla voidaan seurata mm. koneen tuottavaa työaika. Kehitystyössä mittareiden avulla voidaan maksimoida käyttösuhdetta, vähentää tyhjäkäyntiä ja poistaa turhat seisokit. (Juuti 2015, 32-35)

Käyttösuhteen ja käyttöasteen sijaan voidaan puhua myös käsitteistä kuormitusaste ja kuormitussuhde. Prosessin tuotantokykyä mitataan kapasiteetilla, joka tarkoittaa tuotantoprosessin enimmäissuorituskykyä aikayksikössä esimerkiksi tonnia/päivä. Kun tuotantolaitteen tai -laitteiston kapasiteettia ja kuormitusta tarkastellaan yhtenä kokonaisuutena, voidaan puhua kuormitusryhmästä. Laitteisto voidaan jakaa kuormitusryhmiin ohjaustarpeen mukaan. Kuormitusryhmät voivat olla yksittäisiä koneita, tuotelinjoja tai työntekijäryhmiä. Kuormitus kuvaa tuotannon varaaman laitteiston kulloisenkin kapasiteetin määrän. Kuormitussuhteella tarkoitetaan kuormituksen suhdetta kokonaiskapasiteettiin nähden. (Haverila ym. 2009, 399)

2.2 Jatkuva parantaminen

Jatkuvan parantamisen toimintamallin avulla yrityksen toimintaa parannetaan jatkuvasti kohti täydellisyyttä. Kehitys tapahtuu pienin askelin ja koko henkilöstö on toiminnassa mukana. Näin henkilöstö saadaan sitoutumaan ja ottamaan vastuuta työnsä ja toimintonsa kehittämisestä. Henkilöstön suhtautuminen laajoihinkin muutoksiin on näin myönteisempää. Jatkuvaan parantamiseen viittaa myös japaninkielen sana ”Kaizen”, joka

tarkoittaa kehitystä ja on osa Lean-ajattelua (Kuusisto 2017). Kaizen on osittain filosofia, jonka tarkoituksena on luoda yrityskulttuuri, joka kannustaa työntekijöitä osallistumaan kehittämiseen ja osittain toimintasuunnitelma, joka keskittyy toteuttamaan Kaizen-työpajoja yrityksen valittujen toimintojen kehittämiseksi. Oleellinen osa kehitystyötä on saavutettujen parannusten standardointi normaaliksi osaksi työtä. Tyypillisesti Kaizen-työpajat seuraavien vaiheiden kautta (What is Kaizen):

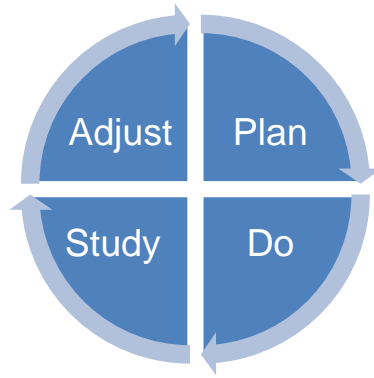
1. vaihe: Määritetään ongelma ja asetetaan sen korjaamiselle tavoitteet. Määritetään ongelman taustatekijät.
2. vaihe: Määritetään nykyisen toiminnan taso ja kehitetään suunnitelma tavoitetasolle pääsemiseksi.
3. vaihe: Toteutaan suunnitelma tekemällä parannukset.
4. vaihe: Tehdään tilannekatsaus ja korjataan ongelmat.
5. vaihe: Raportoidaan tulokset ja laaditaan jatkosuunnitelma.

Laadun ja tuottavuuden konsultti W.Edwards Deming käytti työssään oppi-isänsä Walter A. Shewhartin laatimaa työkalua, josta Deming itse käytti nimeä Shewhartin kehä (Deming 1982, 88).

Deming jatkoi työkalun kehittämistä edelleen. Kuviossa 4 esitetty PDSA- tai Demingin kehä syntyi eri vaiheiden jälkeen vuonna 1993. Deming kutsui itse sitä nimellä ”Shewhartin kehä oppimista ja kehittämistä varten” (Moen 2009).

PDSA- tai Demingin kehä jakaa työn neljään peräkkäiseen vaiheeseen, joiden kautta prosessin jatkuva kehitys etenee systemaattisesti:

1. Plan (P), Suunnitellaan muutos tai koe, jonka tarkoituksena on prosessin parantaminen.
2. Do (D), Toteutaan suunnitelma, kokeillaan ja testataan. Dokumentoidaan muutokset.
3. Study (S), Arvioidaan tuloksia. Mitä opittiin? Mikä meni pieleen?
4. Adjust tai Act (A), Otetaan muutokset käyttöön tai hylätään ne. Aloitetaan kehä uudelleen. Mitä muutoksia tehdään?



Kuvio 3. Edwards Demingin kehä eli PDSA-kehä. (Moen 2009)

Pienet parannukset kumuloituvat merkittäviksi tuloksiksi. Esimerkiksi lukuisat pienet yksittäiset parannukset tuotannossa nopeuttavat kokonaisprosessin läpimenoaikaa merkittävästi (Haverila ym. 2003, 380). Prosessien jatkuva parantaminen perustuu systemaattiseen ongelmien ja haasteiden lähestymiseen ja ratkaisemiseen. Tavoitteena on löytää ne juurisyyt, jotka ovat ongelman tai haasteen takana (Kuusisto 2017).

Jatkuvan parantamisen muutosprosessi edellyttää yksilön ja koko organisaation kykyä oppia uusia ja fiksumpia toimintatapoja tiedon ja ymmärryksen lisääntymisen kautta (Hokkanen ja Strömberg 2003, 97).

Oppivat organisaatiot pystyvät jatkuvasti kehittymään ja oppimaan lisää yhdessä oppimisesta. Ihmiset oppivassa organisaatiossa pystyvät jatkuvasti laajentamaan osaamistaan ja ajattelukykyään ja saavuttavat tuloksia, joilla on todella merkitystä heille itselleen. Oppivat organisaatiot ovat mahdollisia, koska ihmiset ovat luonnostaan oppivia ja rakastavat oppimista. Moni on kokenut olleensa osana loistavaa tiimiä, joka on toiminut erinomaisesti yhdessä ja saavuttanut erinomaisen hyviä tuloksia, koska ihmiset ovat luottaneet toisiinsa, täydentäneet toistensa vahvuuksia, kompensoineet toistensa rajoituksia. Tiimit ovat oppineet saavuttamaan huipputuloksia.

Oppivan organisaation toteuttaminen edellyttää viiden osa-alueen hallitsemista ja osaamista: systeemiajattelu, henkilökohtaisten taitojen hallinta, mentaaliset mallit, yhteisen vision rakentaminen ja tiimissä oppiminen. On tärkeää ymmärtää, että nämä kaikki viisi osa-aluetta liittyvät yhteen ja että niitä tulee kehittää yhdessä. Siksi systeemiajattelu on yksi viidestä. Asiat muodostavat usein monimutkaisia kokonaisuuksia, joissa yksittäiset tekijät ovat yhteyksissä toisiinsa. Nämä yhteydet saattaavat joskus olla vaikeasti

havaittavissa ja siksi on tärkeää tunnistaa kokonaiskuvia yksityiskohtien sijaan. Systemiajattelu muodostaa tiedolle ja osaamiselle rungon. (Senge 1990, 3-7)

Henkilökohtaisten taitojen hallinta on oppivan organisaation kulmakivi, koska organisaation oppimiseen sitoutuminen ja oppimiskapasiteetti ovat riippuvaisia sen jäsenistä. Ihmisiä tulisi kannustaa henkilökohtaiseen kasvuun ja osaamisen kehittämiseen, jotta heidän innostuksensa, sitoutumisensa ja energiansa saadaan säilymään koko työuran ajan. Mentaalisten mallien hallinnalla pyritään vaikuttamaan tiukasti tarttuneisiin oletuksiin ja yleistyksiin, jotka vaikuttavat tapaamme ajatella ja haittaavat uuden oppimista. Tarkoitus on myös mahdollistaa omien ajatusten jakaminen, tehokas ajattelu ja uusien vaikutteiden omaksuminen vapaasti muilta (Senge 1990, 7-9).

Oppivaa organisaatiota ei voi olla ilman jaettua visiota. Täytyy olla yhteinen maali, joka vetää kaikkia puoleensa ja jonka kaikki haluavat saavuttaa. Yhteinen visio ja maali, yhteiset arvot ja missiot innostavat ihmisiä oppimaan oma-aloitteisesti. Jaettu visio edesauttaa myös ajatusten jakamista. (Senge 1990, 195)

Joukkueet ja tiimit voivat oppia: taiteessa, urheilussa, tieteessä ja liike-elämässä on monia esimerkkejä siitä, miten tiimin älykkyys ja osaaminen on ylittänyt yksilöiden älykkyyden ja osaamisen ja sitä kautta on saavutettu erinomaisia tuloksia. Tiimien oppiessa myös yksilöt kasvavat henkisesti nopeammin kuin olisivat muuten pystyneet. Tiimin käymät keskustelut avaavat uusia oivalluksia ja ne mahdollistavat aidon yhdessä ajattelun. Tämä edellyttää niiden syvälle juurtuneiden henkilökohtaisten puolustuskaavojen tunnistamista, jotka estävät aidon keskustelun ja heikentävät tiimin oppimista (Senge 9-10).

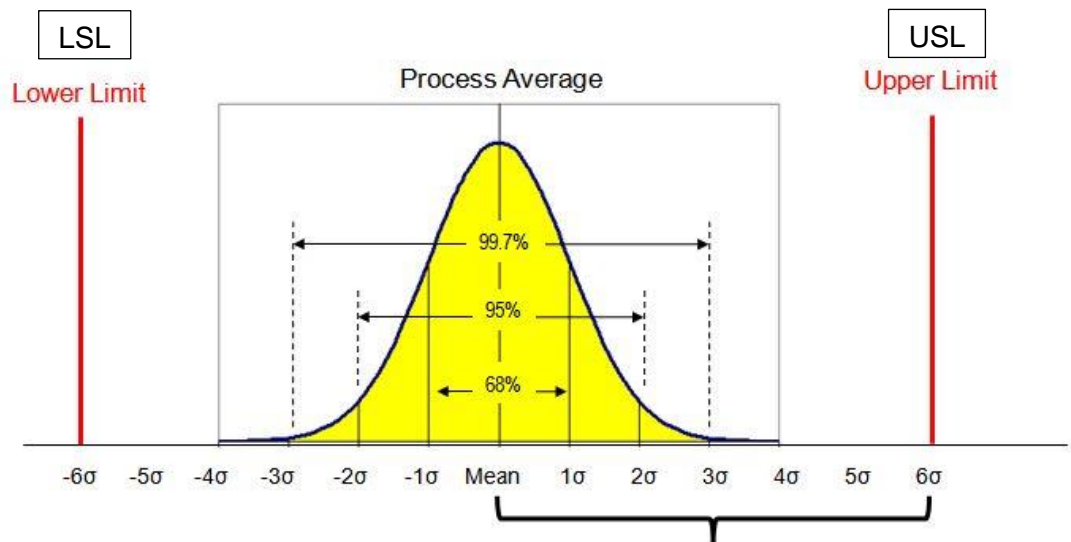
2.3 Six Sigma

Nimi Six Sigma on otettu käyttöön tilastollisen laadunohjauksen käsitteistä. Six Sigma on laadunkehitysohjelma, joka perustuu oman prosessin ja asiakastietojen ymmärtämiseen, tiedon keräämiseen ja hyväksikäyttämiseen sekä tilastollisen analyysin hyödyntämiseen yrityksen liiketoiminnan kehittämiseksi ja menestyksen parantamiseksi. Ohjelmassa korostetaan varmaan tietoon perustuvaa tilastollista laadunohjausta ja laadun tuottokykyä. Yrityksen kilpailukykyä ja kannattavuutta kehitetään laatuajattelun avulla. Six Sigma-tason prosessi tuottaa vain 3,4 virheellistä kappaletta miljoonasta. (Haverila ym. 2003, 389)

Six Sigma tarkoittaa myös yrityksen uutta strategiaa ja huikeaa visiota tuotannon ja muun toiminnan saattamista nollavirhetasolle. Todellinen ajatus on syvemmällä yrityksen toiminnoissa: Se tarkoittaa kokonaisvaltaista johdon sitoutumista, erinomaisuuden tavoittelua, asiakkastarpeisiin keskittymistä ja yrityksen prosessien jatkuvaa parantamista. Six Sigman tarkoitus on tuottaa asiakkaille lähes täydellisiä tuotteita ja palveluita, viat vähenevät, läpimenoaika lyhenee ja asiakastyytyväisyys paranee. Parannukset hyödyttävä asiakkaita, osakkaita ja työntekijöitä. Monet tunnetut yritykset ovat saavuttaneet huikeita tuloksia käyttämällä Six Sigmaa oikein. Kuukausittainen liikevoitto on kasvanut jopa 20%, kun yrityksen sigma -luku on parantunut yhdellä. Six Sigma on myös kestävä kehityksen strategia, koska yrityksen tulosta parannetaan vähemmällä luonnonresursseilla. Parempaa laatua tehdään halvemmallalla ja kyvykkyyttä parantamalla.

Tuotannon parannukset näkyvät vaihtelun mittarissa, joka on tilastomatematiikasta tuttu standardipoikkeama eli keskihajonta. Standardipoikkeama on keskimitta, joka kertoo mittaustuloksen etäisyyden keskiarvosta ja kuinka paljon vaihtelua on mittaustulosten joukossa. Suuri standardipoikkeama kertoo suuresta vaihtelusta. (Karjalainen ja Karjalainen 2002, 17-23)

Reaalimaailman prosessien kaikessa mittausdatassa on vaihtelua ja vaihtelu on yleensä normaalijakautunut. Normaalijakaumakäyrän malli on esitetty kuviossa 4. Monet luonnolliset prosessit noudattavat tätä, matemaattista kuviota. Jakauman muoto kertoo paljon prosessin suorituskyvystä. Riittävällä otoksella voidaan arvioida koko prosessin suorituskykyä. Prosessien vaihtelua aiheuttavat koneet ja laitteet, menetelmät, ympäristö, mittausten menetelmät, ihmiset ja materiaalit. Vaihtelu ilmenee suorituskyvyn vaihteluina ajassa, kustannuksissa, laadussa ja asiakastyytyväisyydessä. Keskihajonta (sigma) on mittari, jolla voidaan arvioida, kuinka hyvä prosessi on. Samassa yhteydessä voidaan puhua myös prosessin suorituskyvystä. (Nordkalk Lean Six Sigma Yellow Belt Training)



Kuvio 4. Normaalijakautuma ja havaintojen %-osuudet eri sigman arvoilla (Lean Manufacturing and Six Sigma Definitions).

Prosessin kyvykkyydellä tarkoitetaan prosessin kykyä tuottaa jatkuvassa tuotannossa määriteltujen spesifikaatioiden eli toleranssirajojen mukaisia tuotteita tai palveluja. Kyvykkyyksiä kuvaa prosessissa tapahtuvan vaihtelun leveyttä suhteessa sille määritettyihin spesifikaatioihin ja sen avulla voidaan ennustaa prosessin suorituskykyä. Suorituskyvyn arviointi mahdollistaa todellisen laatutason ennustamisen ja siitä voidaan johdattaa prosessin sigmataso. Lyhyen aikavälin kyvykkyyksiä kuvaava indeksi C_p tarkoittaa suhdetta prosessin toleranssirajojen (LSL ja USL) ja kuuden standardipoikkeaman välillä. C_p voidaan laskea kaavalla 8. LSL on alempi toleranssiraja ja USL ylempi toleranssiraja.

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_{st}}$$

Kaava 8. Prosessin kyvykkyyden C_p laskukaava.

Kaavan käyttäminen edellyttää, että datan keskiarvo on paikoillaan. Se antaa olettamuksen siitä, mihin prosessi pystyy. (Karjalainen ja Karjalainen 2002, 145)

Taulukko 1. Prosessiin kyvykkyys. DPMO tarkoittaa vikoja per miljoona mahdollisuutta (Nordkalk Lean Six Sigma Yellow Belt Training).

Kyvykkyysindeksi	Prosessin kyvykkyys sigmoina	Vikoja per miljoona mahdolli- suutta tavoite
C_p	σ	DPMO
0,67	2	308537
1,00	3	66807
1,33	4	6210
1,67	5	233
2	6	3,4

2.4 Lean Six Sigma

Järjestelmällisen prosessien parantamisen Lean Six Sigma-menetelmä tarkoittaa periaatteita, työkaluja ja menetelmiä. Se yhdistää Leanin ja Six Sigman, jolloin tuloksena on yksi tehokas yhdistelmä. Leanin avulla vähennetään hukkaa, standardoidaan menetelmiä, parannetaan prosessien virtausta ja saadaan prosessiin asiakkaalta tulevaa imua. Six Sigman avulla vähennetään prosessien vaihtelua, tuotteiden korjausta ja hävitettävien tuotteiden määrää. Lisäksi optimoidaan prosessien muuttujia ja prosessin hallittavuutta. Lean Six Sigma -menetelmät auttavat projektien organisoimisessa ja tulosohjautuvassa prosessiparannuksessa kaikilla yrityksen organisaation tasoilla ja toimialueilla. Edellytyksenä Lean Six Sigma-projektien onnistumiselle on johdon ohjaus ja sitoutuminen. Haluttujen tulosten tulee liittyä yrityksen strategiaan ja KPI-mittareihin.

Yleisellä tasolla Lean-Six Sigman hyödyt näkyvät:

- Prosessin läpimenoajan lyhenemisenä
- Kustannussäästöinä
- Varastojen vähenemisenä

- Tuotannon tehostumisena ja hukan vähenemisenä
- Tuotteen ja palvelun paranemisenä
- Asiakastyytyväisyytenä ja asiakkaiden pysymisenä
- Työntekijättyytyväisyytenä
- Markkinaosuuden kasvamisena
- Yrityskulttuurin kehittymisenä

Lean Six Sigman käyttämä tiekartta perustuu jatkuvan kehittämisen PDSA-kehään. Kar-tasta käytetään nimitystä DMAIC, joka tulee sanoista Define, Measure, Analyze, Improve ja Control. DMAIC-tiekartta ja sen edellyttämät työvaiheet on esitetty kuviossa 5. Tulosten kannalta on tärkeintä seurata DMAIC-tiekarttaa huolellisesti yksi vaihe kerrallaan. Silloin ongelman kannalta oikeat asiat tulee huomioitua ja tuloksilla on oikeasti merkitystä. Lean Six Sigma projektille määritetään yksi prosessin mittari Y, jota erityisesti halutaan kehittää. Seuraavaksi määritetään ne prosessin tekijät eli y:t, joilla on suurin vaikutus Y:n tulokseen. Tämän jälkeen voidaan muodostaa kaava $Y = f(y_1, y_2, y_3, y_4, \dots, y_k)$. Y:n tulos syntyy kaikkien y:den yhteisvaikutuksesta. Lean Six Sigma -projektin tarkoitus on tunnistaa prosessin tulosta heikentävät tekijät eli y:t ja joko optimoida niitä tai poistaa kokonaan (Nordkalk Lean Six Sigma Yellow Belt Training).



Kuvio 5. DMAIC-tiekartta (Nordkalk Lean Six Sigma Yellow Belt Training).

Lean Six Sigma tarjoaa työkalut ja selkeät ohjeet niiden käyttämiseen jokaisessa tiekartan vaiheessa. Yellow belt -tason työkalut eri vaiheelle on esitetty kuviossa 6. Työkaluja käytetään järjestelmällisesti yhdessä tarkoituksena, että kehitettävästä projektista voidaan vaihe vaiheelta oppia mahdollisimman paljon.

Six Sigma-organisaation tehtävät on jaettu koulutuksen mukaan eri tasoihin. Johtoryhmään kuuluva Champion toimii parannusprojektin omistajana ja sponsorina. Champion varmistaa, että projekti on oikeassa suunnassa Black Belt raportoi projektin etenemisestä johtoryhmälle ja toimii työssään kokopäiväisenä ongelmanratkaisijana. Black Belt johtaa ongelmanratkaisuryhmää. Koulutus kestää 4-5 kuukautta. Green Belt tukee Black Belttiä suuremmissa projekteissa ja toimii tiimijohtajana pienissä projekteissa. (Karjalainen ja Karjalainen 2002. 68-77).

Nordkalkilla Green Belt toimii projektipäällikkönä paikallisissa yksikötason projekteissa, joissa tarkoitus on tehostaa prosessien virtausta. Yellow Belt -tason koulutus antaa valmiudet toimia tiimivetäjinä pienemmissä päivittäisiä parannuksia koskevissa projekteissa. (Nordkalk Lean Six Sigma Yellow Belt Training)



Kuvio 6. Lean Six Sigma-työkalut eri prosessivaiheille. (Nordkalk Lean Six Sigma Yellow Belt Training)

2.5 Lean

Lean perustuu japanilaisen autovalmistaja Toyotan tuotantojärjestelmään nimeltä TPS (Toyota production system). Toisen maailmansodan jälkeen Japanissa oli pulaa kaikesta. Maa oli teknologisesti länsimaita jäljessä. Tehdastuotantoa kuitenkin tarvittiin nostamaan maa jaloilleen. Niukkuuden takia ei ollut varaa valmistaa huonoa laatua ja tuhata raaka-aineita ja resursseja. Toyotalla reagoitiin resurssipulaan kehittämällä uusi tapa käsitellä tehokkuutta. Seurauksena oli strategia tai oikeastaan filosofia, joka korosti virtaustehokkuutta resurssitehokkuuden sijaan. Toiminnan virtaus perustui asiakkaan tekemän tilauksen luomaan imuun tuotannossa: asiakas tilaa auton, myynti tilaa auton tuotannosta ja imu etenee tuotannossa lopusta alkuun tuotevirtaa vastaan. Tuotanto alkaa vasta, kun tilaus on tehty. Näin varmistetaan, että asiakas saa auton, jonka hän haluaa. Valmistusprosessiin saadaan tiedot mitä, milloin ja minkäverran auton valmistamiseen tarvitaan. Just in time tarkoitti sitä, että luotiin tuotantoon virtausta karsimalla kaikki varastot ja tuottamalla vain sitä, mitä asiakas halusi. Jokaisen yksittäisen tuotteen tuli virrata tuotannon läpi. Tuotannon tuli välttää kaikenlaisen hukan tuottamista ja resurssien tuhlaamista. Toiminnan piti olla asiakaslähtöistä ja kaikki toiminnot, mitkä eivät tuota arvoa asiakkaalle, piti karsia pois. Tavoitteena ei ole pysyvä, staattinen tila, vaan jatkuva asiakaslähtöinen toiminnan parantaminen ja kehittäminen (Mådig & Åhlström 2016, 70-77).

Lean-tuotannossa prosessia kehitetään virtauttamalla. Tarkoituksena on valmistaa tuotteet valmiiksi nopeasti ilman turhia keskeytyksiä ja varastoja. Tuotteiden on virrattava pysähtymättä. Tehostaminen tuo esiin valmistusprosessin laatuongelmat ja konehäiriöt. Virtauttaminen lisää toiminnan suunnitelmallisuutta ja pakottaa kehittämään prosessin luotettavuutta (Kouri 2009, 20).

Lean-ajattelussa pyritään kohti täydellisyyttä ja tuhlauksen eli hukan täydellistä eliminointia. Ideaalitilanteessa kaikki organisaation toiminta on asiakkaan kokemaa arvoa varten. Prosessin arvovirtaus tulee tunnistaa. Prosessiin tulee toteuttaa virtaus ja imu. (Huhtala & Pulkkinen 2009, 183)

2.5.1 Hukka

Lean ajattelun keskeisimpiä periaatteita on kaiken hukan poistaminen. Hukkaa ovat kaikki ne kustannuksia lisäävät toiminnot, jotka eivät tuota lisäarvoa. Turhat liikkeet, ylimääräinen työ ja turha odottaminen ovat hukkaa. Hukalla tarkoitetaan myös ylituotantoa, turhaa varastointia ja kuljetuksia sekä laaduttoman toiminnan aiheuttamista virhekustannuksista.

Hukkailmiöt ovat tehokkaan työskentelyn esteenä. Systemaattinen työ hukkien poistamiseksi parantaa laatua ja tuottavuutta. Ilkka Kouri (2009, 10) jakaa hukat seitsemään eri luokkaan:

- Ylituotanto, joka tarkoittaa liian suuria eräkokoja tai keskeneräistä tuotantoa, joka johtaa muiden hukkien syntymiseen. Tuotetta tulisi valmistaa vain välitöntä tarvetta varten.
- Odottelu ja viivästykset. Materiaalitoimitusten viivästymiset sekä kone- ja laitehäiriöt aiheuttavat turhaa odottelua ja tuotannon viivästymistä sekä häiritsee toimituksia.
- Tarpeeton kuljettaminen. Raaka-aineiden ja tuotteiden turha siirtely tuotantovaiheiden välillä ei tuo asiakkaan arvostamaa lisäarvoa tuotteelle.
- Laatuvirheet hukkaavat materiaaleja ja tuotantokapasiteettia ja aiheuttavat asiakastytymättömyyttä
- Tarpeettomat varastot aiheuttavat turhia kustannuksia, pidentävät läpimenoaikoja ja pitävät prosessin ongelmat piilossa.
- Ylikäsittely on asiakkaan näkökulmasta tuotteeseen kohdistettua ylimääräistä työtä, joka ei tuota lisäarvoa.
- Tarpeeton liike työskentelyssä ei tuo lisäarvoa tuotteelle.

Hukan vähentämiseksi on tärkeää tunnistaa välitön ja välillinen työ ja vähentää välillistä työtä, koska se ei tuota arvoa. On tärkeää tunnistaa arvoa tuottavat toiminnot (Tuominen 2010, 7-9). Arvoa tuottavat toiminnot ovat niitä toimintoja, joissa prosessissa virtaava yksikkö jalostuu ja saa lisäarvoa (Modig & Åhlström 2016, 23).

2.5.2 Virtaus ja pullonkaulat

Materiaalin eli virtausyksikön virtausta tuotantoprosessin läpi voidaan mitata läpäisyai-
kaa mittaamalla. Virtaustehokkuudella tarkoitetaan, miten virtausyksikkö menee proses-
sin läpi. Virtaustehokkuudessa tärkeä on erottaa arvoa tuottavat toiminnot arvoa tuotta-
mattomista. Arvoa tuottamattomat toiminnot tulee poistaa prosessista. Virtaustehokkuus
muodostuu arvoa tuottavien toimintojen summasta suhteessa läpimenoaikaan (Modig &
Åhlström 2016, 26-27)

Tuotannon koneet ja laitteet on sijoitettava niin, että materiaali virtaa prosessivaiheesta
toiseen selkeästi ja niin, että virtausmatka on mahdollisimman lyhyt (Kouri 2009, 8).

Kokonaisprosessia hidastavat vaiheet ovat pullonkauloja. Pullonkaulojen edellä proses-
sit joutuvat odottamaan ja pullonkaulojen jäljessä on jonoa. Laki pullonkauloista tarkoit-
taa, että pullonkaulat kasvattavat prosessin läpimenoaika (Modig & Åhlström 2016, 37-
39). Prosessin pullonkaula on kokonaisprosessin työvaihe, johon kohdistuu enemmän
työtä kuin mistä se pystyy suoriutumaan, vaikka se työskentelisi suurimmalla kapasitee-
tillaan. Prosessin virtaus häiriintyy ja koko prosessi viivästyy.

Prosesin läpimenoaika voidaan määrittää hyödyntämällä Littlen lakia, jonka alkuperäi-
nen kaava on esitetty kaavassa 9. Kaavassa L tarkoittaa jonossa olevien yksiköiden
määrää, λ tarkoittaa yksikön keskimääräistä saapumisnopeutta jonoon aikayksikköä
kohden ja W keskimääräistä jonotusaikaa (Modig & Åhlström 2016, 34).

$$L = \lambda W$$

Kaava 9. Littlen lain alkuperäinen matemaattinen kaava

Nykyään käytössä oleva kaava on esitettyä kaavassa 10. Se kuvaa riippuvuussuhteita
materiaalin läpivirtausajan, keskeneräisen työn ja läpimenoajan osalta. Kaavassa WIP
(work in process) tarkoittaa keskeneräistä työtä, TH (throughput) läpimenoaika ja CT
(cycle time) jaksoaika (Littlen laki).

$$WIP = TH \times CT$$

Kaava 10. Littlen lain uudempi matemaattinen kaava.

2.5.3 Just in time

Yksi tuottavuuden keskeisistä perusteista on tuotteen läpäisy aika prosessissa. Japanilaisten kehittämä Just in Time-ajattelu (JIT) pitää sisällään kaiken olennaisen nykyaikaisen tuotannon erityispiirteet. Pienellä läpäisyajalla ja joustavalla tuotannolla on mahdollista valmistaa asiakkaalle räätälöityjä erikoistuotteita ja hyvää laatua kohtuullisella hinnalla.

Just in Time -periaatteilla edistetään myyntiä, vähennetään toimitusten myöhästymisiä ja pienennetään varastoja. Edellytyksenä voidaan pitää täysmittaista prosessituotantoa, jossa asetuksia voidaan vaihtaa nopeasti sekä joustavaa, moniosaavaa työvoimaa ja tuotantoon täydellisesti sopivia koneita. Työntekijät ovat monitaitoisia eli he hallitsevat sekä tuotantolaitteet että niiden säädöt ja huollot. Prosessin ongelmat ratkaistaan heti jatkuvan parantamisen periaatteiden avulla (Peltonen 1997, 32).

Rosenlewin puimuritehtaalla Ruotsissa pystyttiin lyhentämään puimurin läpimenoaikaa kuukausista neljään viikkoon siirtymällä Just in Time-tuotantoprosessiin. Aikaisemmin tehtaan toiminnot olivat enimmäkseen varastointia ja materiaalin siirtämistä. Tehtaan uusi layout, Just in Time-pelissäännöt ja tuotannon uusi imuohjausjärjestelmä lyhensivät läpimenoaikaa merkittävästi. (Tuominen 2010, 25-27)

Just in Time -ajattelun mukaan tuotteita ja osia pyritään valmistamaan vain sen verran, kuin on tarpeen. Toiminnan tehokkuuden perusteena on tuotteen nopea läpäisy aika prosessissa ja toiminnan korkea laatu (Haverila ym. 2003, 361).

2.6 Layout

Tehdastilat ja tilojen järjestelyt vaikuttavat merkittävästi tuotannon sujumiseen ja materiaalien virtaukseen. Monikerroksiset rakennukset eivät sovellu järkevään tuotantoon. Monikerroksinen rakennus ei josta tuotannon muutoksissa ja tavaran siirtäminen kerroksesta toiseen aiheuttaa ylimääräistä työtä ja vaivaa. Kuljetusetäisyydet ovat usein pitkät ja ylimääräiset käytävät ja portaikot vievät arvokasta pinta-alaa. Tuotantotilat tuleekin rakentaa yhteen kerrokseen ja avonaiseen tilaan, johon voidaan tuoda materiaalin ja raaka-aineiden kuljetus mille seinälle tahansa. Tila on muunneltavissa tuotannon ja logistiikan tarpeiden mukaan. Lattiapinta-ala saadaan tehokkaaseen käyttöön ja tuotantoa voidaan virtauttaa ja kustannuksia optimoida (Peltonen 1997, 197).

Termillä layout tarkoitetaan tuotannon tilojen, laitteiden ja kulkureittien sijoittelua tehtaassa. Sijoittelun perusteella layoutit voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin tuotantolinjalayout, funktionaalinen layout ja solu-layout (Haverila ym. 2009, 475-477).

Tuotantolinjalayout soveltuu parhaiten suurten volyymien tuotantoprosesseille, joissa valmistetaan paljon ja nopeassa tahdissa yhtä tuotetta. Koneet ja laitteet ovat valmistuksen työnkulun mukaisessa järjestyksessä. Tuotteen vaihtaminen vaatii yleensä aikaa ja siksi tuotantosarjat ovatkin pitkiä. Tuotteen yksikköhinta jää myös alas. Kapasiteetin muuttaminen on vaikeaa sen jälkeen, kun prosessi on kerran rakennettu. Tehokkaimmilla tuotantolinjoilla prosessivaiheiden ohjaus tapahtuu yhtenä kokonaisuutena ja tuotanto on pitkälle automatisoitua.

Funktionaalinen layout kokoaa samanlaiset koneet laitteet ja työkalut omiksi yksiköiksi (esim. porakoneet, hitsauslaitteet ja taivutuskoneet). Tuotteet valmistetaan yksittäin tai pieninä sarjoina. Tuotanto on huomattavasti joustavampaa kuin tuotantolinjalla ja se on helpompi ja halvempi rakentaa. Automaation hyödyntäminen on vähäistä.

Solulayoutissa tuotannossa on useita itsenäisiä soluja, jotka kukin valmistavat tiettyjä osia tai tuotteita erikseen. Solutuotanto on hyvin joustavaa. Tuotantomääriä ja eräkokoja voidaan vaihtaa helposti. (Haverila ym. 2009, 475-477)

2.7 Prosessit

Prosessit ovat sarjassa tapahtuvia tehtäviä, toimintoja ja päätöksiä, jotka tuottavat lisäarvoa prosessin asiakkaalle. Prosessin tehtävä on siis täyttää sisäisen tai ulkoisen asiakkaan tarpeet. Prosessissa on aina input ja output. (Tuominen 2010, 9).

Yritystä johdetaan prosessien kautta. Prosessit ovat yritykselle arvoa lisäävien toimintojen verkko. Prosesseissa ei saa olla asiakkaalle arvoatuottamattomia toimintoja, vaan kaiken toiminnan pitää olla tarkoituksenmukaista ja mahdollisimman vähän yrityksen resursseja sitovaa. Toimintojen parantaminen tapahtuu prosesseissa vaakatasossa tapahtumien virrassa (Peltonen 1997, 16).

Prosessi tarkoittaa jonkin asian eteenpäin viemistä, niin että tämä asia jalostuu. Jalostuvia yksiköitä sanotaan virtausyksiköiksi ja ne voivat olla materiaalia, tietoa tai ihmisiä. Virtaus ja virtauksen tehokkuus syntyy prosesseissa. Jotta virtaustehokkuutta voidaan kehittää, on ymmärrettävä prosessin kulku. (Modig & Åhlström 2016, 19).

Yrityksen menestys rakentuu ydinprosessien varaan. Ne kuvaavat yrityksen ydinosaamista ja tuottavat yritykselle suurimman hyödyn. Ydinprosessit ovat tehtävä- ja asiakaslähtöisiä. Tehtaan tuotantokate on yhteenvedo ydinprosessien tuottamasta arvosta, joka voidaan laskea toimintoperusteisesti. Avainprosessit ovat asiakastyötä tekevien prosesseja (Peltonen 1997, 17).

Teollisen tuotannon valmistusprosesseja ovat prosessiteollisuus ja kappaletavaratuotanto. Prosessiteollisuudessa valmistusprosessi etenee katkeamattomana virtana ja kappaletavartuotannossa valmistetaan yksittäisiä esineitä eri kokoisissa sarjoissa. Prosessit voidaan jakaa myös toimintoperusteisesti ydin- ja avainprosesseihin. Ydinprosessit virtaavat tehtaan rajojen sisäpuolella ja avainprosesseilla eritellään asiakkaiden kustannuksia. (Peltonen 1997, 30).

Valtaosa kaikista virheistä voidaan poistaa organisoimalla prosessit oikein ja poistamalla poikkeamat 0-läpäisyajasta. Tämä tarkoittaa sitä, että prosessissa esiintyvät virheet kirjataan, analysoidaan ja korjataan. Yhtään viollista tuotetta ei päästetä prosessin läpi. Tuotantoketjusta poistetaan kaikki löysät vaiheet, joissa virheet todennäköisesti ovat (Peltonen 1997, 89).

Prosessikuvauksella tarkoitetaan graafista karttaa prosessin virtauksista. Yksityiskohtainen kuvaus sisältää kaikki prosessivaiheet ja siitä voidaan tunnistaa tapahtumien kulku ja virtaus prosessissa. Prosessikuvausta voidaan hyödyntää prosessin parantamisessa ja siitä tulee käydä ilmi ne alueet, joiden parannus on tarpeen (Karjalainen & Karjalainen 2002, 103) Prosessikuvaukset liittyvät yrityksen laatujärjestelmään (Lecklin 1997, 135).

Prosessilla on oltava omistaja, joka vastaa sen toiminnasta ja kehittämisestä. Prosessille on määritettävä kokonaistavoitteet sille, mitä se tuottaa. Tavoitteita ovat laatu eli mitä prosessi saa aikaan, tehokkuus eli kuinka prosessi saa sen aikaan ja sopeutumiskyky eli miten prosessi pystyy mukautumaan tarpeiden muuttuessa (Tuominen 2010, 11)

2.8 Pilotointi, PDP- tuotanto ja tuotannon ylösajovaihe

Pilotointi- ja demonstrointiprosessit (PDP) ovat tärkeitä työkaluja toisaalta uuden teknologian kehittämisessä, kokeilemisessa ja toiminnan varmistamisessa ja toisaalta uuden tuotteen tuomisessa markkinoille ja koetuotannon siirtämisessä kaupalliselle tasolle. Prosessien toimintakuntoon saattaminen on yleensä teknisesti haasteellista, mutta toimivien pilotointi- ja demonstrointiprosessien avulla yritys voi merkittävästi vähentää riskejä ja epävarmuuksia, jotka aina liittyvät uuteen teknologiaan ja uuden tuotteen

valmistuksen aloittamiseen. PDP:t ovat merkittävässä roolissa, kun uutta tuotantoprosessia kehitetään kohti "dominant design" ja teollisen mittakaavan tuotantoa. IEA (International Energy Agency) kuvaa pilotointi- ja demonstrointilaitoksen eroja seuraavasti: Pilotointiprosessi on ajossa vain lyhyitä jaksoja ja sillä pyritään vain todistamaan kehitetyn teknologian soveltuvuus tuotantoon. Demonstrointiprosessia ajetaan jatkuvana ajona tietyn mittaisia ajanjaksoja ja se voidaan katsoa osaksi tuotantoa ja sillä on jo kaupalliset tavoitteet. Sen on tarkoitus havainnollistaa kokonaista tuotantoprosessia (Hellsmark ym. 2016, 1-2).

Tuotannon ylösajovaihe sijoittuu tuotekehityksen loppupään ja tuotannon väliin. Ylösajovaihe sitoo nämä kaksi toimintoa toisiinsa ja edellyttää tiivistä yhteisyyttä. Kaikki valmistetut tuotteet ennen tätä ovat prototyyppejä tai koe-eriä. Tuotannon ylösajon onnistuminen on paljon riippuvainen siitä, kuinka hyvin kehitysvaiheen prosesseissa on onnistuttu.

Tuotannossa ylösajon alkaessa on tuotantotapa lopullinen. Tässä vaiheessa on yleensä hyvin vaikea enää ratkaisevasti vaikuttaa tuotantojakson tehokkuuteen. Ne ongelmat, jotka tässä vaiheessa nousevat esille ovat yleensä niitä, joita ei ole lainkaan huomattu tai joihin ei vain ole kiinnitetty huomiota. Ongelmien ratkaisemiseksi on löydettävä juurisyyt, jos toimintaa halutaan kehittää taloudelliseksi ja tehokkaaksi.

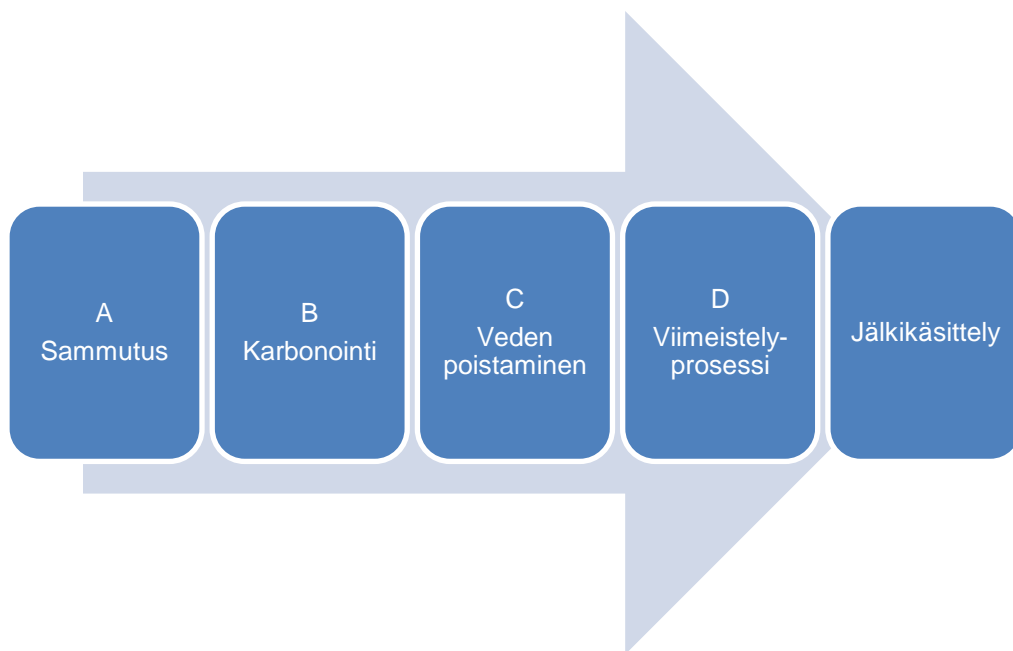
Tuotannon ylösajossa on tunnistettavissa neljä olennaista ongelmaa (Huhtala, & Pulkkinen 2009, 268):

- Tieto projektin tilasta ei välity tarpeeksi tehokkaasti eri toimintojen tai osa-alueiden välillä.
- Ongelmien vaikutusketju jää piiloon; esiintyvien ongelmien vaikutusta kokonaisuuteen ei selvitetä, myös ongelmien perimmäiset syyt jäävät hämärän peittoon.
- Ongelmat ja häiriötekijät havaitaan vasta, kun ne ilmenevät.
- Ongelmien ratkaisut perustuvat ainoastaan työntekijöiden kokemuksiin.

Tuotekehitysprosessin tavoitteena ja lopputulemana syntyy tuote, joka vastaa ominaisuuksiltaan asiakkaan vaatimuksia ja tuotantojärjestelmä, joka pystyy tuottamaan markkinoiden vaatimat tuotteet lukumäärällisesti ja laadullisesti oikeaan hintaan (Huhtala ja Pulkkinen 2009, 266-268).

3 TUOTANTOPROSESSIN LÄHTÖTILANTEEN KARTOITTAMINEN

Tämän opinnäytetyön aloitus sijoittuu syksyyn 2017. Tuotantolinja on käynnistetty vuonna 2014. Ongelmista johtuen tuotannon ylösajovaihe on edelleen kesken. Tuotannossa on törmätty ongelmiin, joista ei ole ollut kokemusta aikaisemmin pienemmässä mittakaavassa. Lisäksi tuotteelle on tuotannon rakennusvaiheen aikana asetettu asiakkaiden osalta uusia vaatimuksia, mikä on tarkoittanut uusien prosessiyksiköiden hankintaa ja monimutkaisempaa kokonaisprosessia. Tuotteen alkuperäistä kuiva-ainepitoisuutta joudutaan asiakasvaatimusten takia nostamaan. Kuiva-ainepitoisuutta nostetaan vettä poistamalla, minkä takia prosessilinjaan on lisätty uusi laite. Tuotantolinja koostuu neljästä prosessivaiheesta, kuten kuviossa 7 on esitetty. Prosessi alkaa poltetun kalkin sammuttamisella.



Kuvio 7. Kalkkituotteen tuotantolinja.

Prosessin ongelmat liittyvät itse tuotteen valmistamiseen. Valmistusprosessi on herkkä häiriöille, jotka aiheuttavat tuotteen laadussa vaihtelua. Tuotelaadun vaihtelu häiritsee sekä vedenpoistoprosessia että viimeistelyprosessia. Valmistuksen olosuhteita on yritetty säätää niin, että tuotantolinja toimisi tarkoituksenmukaisesti ja

kustannustehokkaasti alusta loppuun. Lopullista ratkaisua ei ole löytynyt, vaikka prosessin häiriöitä on yritetty minimoida ja poistaa.

Nykyinen vedenpoistoon käytettävä laite on dekanterilinko. Dekanterilingon on todettu olevan herkkä tuotteen ominaisuuksien vaihtelulle ja sen tuotto on riippuvainen esimerkiksi tuotteen partikkelikoosta ja partikkelien varauksista. Dekanterilinko on saatu hetimitäin toimimaan, kuten on haluttu. Tuotteen lopullinen kuiva-ainepitoisuus on saatu halutulle tasolle. Toisaalta joillakin tuote-erillä linko ei ole toiminut lainkaan. Laite ei ole säädyistä huolimatta pystynyt erottamaan vettä tuotteesta, vaan laitteeseen syötetty materiaali on kokonaisuudessaan virrannut laitteen vedenpoistoaukosta ulos. Tuotannon muistiinpanoista (2014-2017) voidaan huomata, että tuotteen kuiva-ainepitoisuus vedenpoistoprosessin jälkeen on pysynyt enimmäkseen liian alhaisella tasolla. Satunnaisesti on tuotelaatu ylittänyt tavoitteeseen. Osa tuotteesta jää poistoveteen ja menee veden mukana viemäriin. Dekanterilinko on merkittävin pullonkaula prosessilinjassa. Tämä voidaan todeta laskemalla kullekin osaprosessille vuosittainen tuotantokapasiteetti.

3.1 Prosessi A: Poltetun kalkin sammutus

Raaka-aineena käytettävä poltettu kalkki eli kalsiumoksidi (CaO) toimitetaan tuotantolaitokselle suursäkkeihin pakattuna. Säkeistä tyhjennetään poltettua kalkkia käyttösiiloon sammutusprosessissa tarvittava määrä. Poltettua kalkkia annostellaan ruuvilla sopivalla nopeudella sammutusprosessiin. Sammutusprosessi on ohjattu logiikkaohjatulla sekvensillä. Sammutusprosessin kemiallinen kaava on esitetty kaavassa 2.

Sammutusprosessin alussa sekoitetaan sammutusreaktorissa aloituspanos. Sammutusreaktoriin syötetään ensin kuumaa vettä tarvittava määrä, jonka jälkeen käynnistyy sammutusreaktorissa sekoitus ja poltetun kalkin annostelu. Kalkin annetaan sekoittua ja sammua määrätyn ajan kalkin lisäämisen jälkeen. Kalkin ja veden reaktio on eksotermiäinen eli se tuottaa lämpöä. Poltetun kalkin sammutusreaktiivisuus on yksi poltetun kalkin tärkeistä ominaisuuksista, jotka määrittävät poltetun kalkin laadun.

Aloituspanoksen jälkeen aloitetaan jatkuvatoiminen poltetun kalkin sammutus. Kalkkiruuvi käynnistyy ja aloitetaan poltetun kalkin annosteleminen siirtoruuvilla. Poltettua kalkkia ja vettä annostellaan määrättyssä suhteessa. Osa prosessiin lasketusta vedestä johdetaan sammutusreaktoriin ja osa pesuvedeksi seulalle. Liete valuu ylivuotona sammutusreaktorista täryseulalle, josta se valuu välisäiliöön. Välisäiliöstä kalkkiliete pumpataan karbonointireaktoriin. Karkeampi aines poistuu ylitteenä täryseulalta jäteastiaan.

3.2 Prosessi B: sammutetun kalkin karbonointi hiilidioksilla.

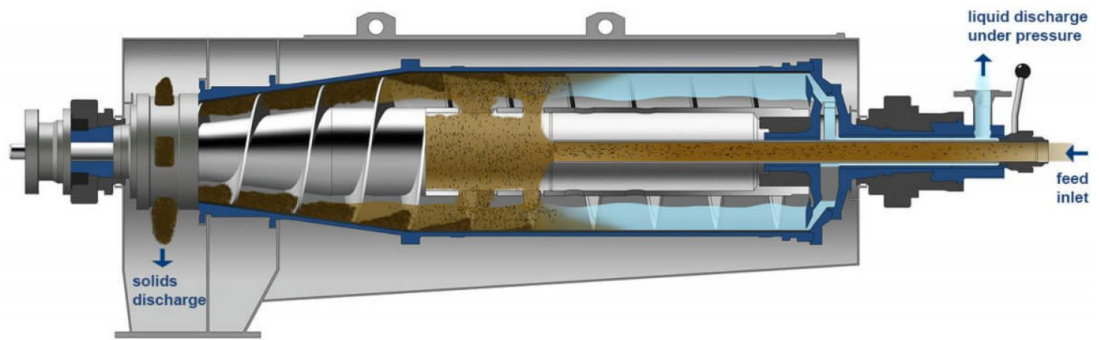
Prosessissa lisätään hiilidioksidikaasua kalsiumhydroksidilietteeseen samalla sekoittaen. Hiilidioksidi liukenee veteen ja reagoi kalsiumhydroksidin kanssa muodostaen kalsiumkarbonaattia. Prosessin kemiallinen kaava on esitetty kaavassa 3.

Prosessia ohjataan lämpötilaa ja hiilidioksidikaasun syöttönopeutta säätämällä. Kalsiumhydroksidiin syötetään tarkkaan laskettu määrä hiilidioksidikaasua oikealla virtauksella. Hiilidioksidi varastoidaan ulkona kaasutoimittajan säiliössä, josta se virtaa tietyllä paineella ja nopeudella reaktoriin. Virtausnopeutta säädetään massavirtaussäätimillä. Perusprosessin uskotaan olevan hyvin tunnettu. Suurimmat ongelmat liittyvät lähinnä prosessin ohjattavuuteen. Prosessin lämpötilaa hallitaan kierrättämällä prosessoitavaa liettä reaktorin vieressä olevan levylämmönvaihtimen läpi. Valmis kalsiumkarbonaattiliete pumpataan prosessin jälkeen varastosäiliöön.

3.3 Prosessi C: veden poistaminen dekanterilingolla

Teollisuudessa ja jätevesien käsittelyssä on käytössä erilaisia menetelmiä veden ja kiintoaineen erottamiseksi toisistaan. Dekanterilinkoa käytetään esimerkiksi veden poistamiseen hienokalsiitista Suomen Karbonaatin paperipigmenttitehtaalla Lappeenrannassa.

Dekanterilinko poistaa vettä tuotteesta keskipakoisvoimia hyödyntämällä. Lingossa on vaakatasossa pyörivä rumpu, jonka toiseen päähän käsiteltävää materiaalia pumpataan. Rummun pyöriessä G-voimat painavat kiintoainepartikkelit rummun reunaa kohden ja vesi jää kiintoainepatjan pinnalle. Rummussa on sisällä ruuvi, joka työntää kiintoainepatjaa rummun toista päätä kohden, josta ne poistuvat laitteen päässä olevan poistoaukon kautta ulos rummusta. Materiaalista erotunut vesi valuu ulos laitteen toisesta päästä. Vedenpinnan korkeutta rummulla voidaan säätää patolevyillä. Mitä korkeammat patolevyt, sitä hitaammin vesi valuu ulos ja sitä paremmin partikkelit erottuvat vedestä (Records and Sutherland 2001, 2-3). Dekanterilingon toimintaperiaate on esitetty kuvassa 3. Nordkalkin prosessissa karbonaattiliettä pumpataan varastosäiliöstä täryseulan kautta linkoon. Prosessissa vesi saadaan erottumaan lietteestä. Lingosta poistuu konsentroitua kalsiumkarbonaattikakku ja kirkas vesi. Kalsiumkarbonaattikakku lietetään juoksevaksi. Osa vedestä pumpataan takaisin seulalle pesuvedeksi, jotta seulaverkko ei tukkeutuisi prosessin aikana. Lingon käynnistys ja sammutusvaiheet vievät 8 tunnin työpäivästä 1,5 tuntia.



Structure of our decanter centrifuges: From feed through separation to the discharge

Kuva 3. Dekanterilingon toimintaperiaate (Flottweg 2019).

3.4 Prosessilinjan ongelmat

Prosessilinjan ongelmat liittyvät tuotelaadun vaihteluun. Dekanterilinko on hyvin herkkä karbonaattiväli tuotteen laadunvaihtelulle ja sen tuottaman kakun kuiva-ainepitoisuus vaihtelee sen karbonointiprosessissa tapahtuvan vaihtelun takia. Vaihtelua tapahtuu poltetun kalkin laadussa ja prosessin ohjauksessa. Haluttua kuiva-ainepitoisuutta ei pystytä kaikilla tuotelaaduilla saavuttamaan. Käytössä olevat analyysimenetelmät eivät suoraan pysty selittämään eroja karbonaattierien välillä, vaan erät näyttävät partikkelikokomitauksessa ja elektronimikroskooppikuivissa lähes samanlaisilta. Lopputuote vaatii jälkikäsittelyä täyttääkseen tuotespesifikaatiot mm. pH ja kuiva-ainepitoisuus (KAP) on säädettävä ennen tuotteen toimittamista asiakkaalle. Tuote-erien viskositeetissa on ollut liikaa vaihtelua. Tuotantolinjan ongelmat ovat taulukossa 2.

Taulukko 2. Tuotantolinjan ongelmat.

Ongelma	Ongelman aiheuttaja
Lopputuotteen matala kuiva-ainepitoisuus	Dekanterilinko
Dekanterilingon huono kapasiteetti	Dekanterilinko
Hävitettävät tuote-erät	Poltetun kalkin laatu, prosessin ohjaus
Korjattavat tuotteet ja läpimenoaikojen venyminen	Poltetun kalkin laatu, prosessin ohjaus
Odottamattomat seisakit ja laiterikot	Viimeistelyprosessi

4 TUOTANTOLINJAN KEHITTÄMINEN

Kalkkituotteen tuotantolinjan prosessissa on muutaman vuoden ylösajovaiheen aikana havaittu ongelmia. Tuotantoprosessia ei ole saatu toimimaan halutulla tasolla. Tuotanto on ollut hidasta ja työssä on tullut vastaan jatkuvasti koko prosessin pysäyttäviä ongelmia, jotka ovat vaatineet koko henkilökunnan huomion. Prosessia ei ole vielä koskaan päästy ajamaan täysin rutiininomaisesti ja siksi esimerkiksi ennakkohuollot ja kokonaisprosessin kehittäminen on jäänyt vähälle huomiolle.

Tuotantolinjan kehittämisen perustyökaluna käytetään tässä työssä aikaisemmin mainittua jatkuvan kehittämisen menetelmää eli PDSA-kehää, jota pyöräytetään kaksi kierrosta¹. Ensimmäisellä kierroksella kehitetään prosessin vedenpoistoa korvaamalla dekanterilinko suotopuristimella. Toisella kierroksella pyritään löytämään prosessista pullonkaulat ja hukat, jotka hidastavat materiaalin virtausta ja vaikuttavat kokonaisprosessin kapasiteettiin. Ongelmat poistamalla voidaan määrittää prosessin todellinen kapasiteetti ja laatia suunnitelma sen kolminkertaistamiseksi.

4.1 Dekanterilingon korvaminen suotopuristimella

Yksi kokonaisprosessin pullonkaloista on dekanterilinko, jonka kapasiteetti ei ole vastannut odotuksia. Ongelmana on myös laitteen suorituskyky. Lingolla ei päästä jatkuvalla ajolla tarpeeksi korkeaan kuiva-ainepitoisuuteen. Laite ei pysty jatkuvasti tuottamaan oikeaa laatua. Asiakkaiden vaatimuksista olisi kuiva-ainepitoisuus saatava pysyvästi oikealle tasolle. Prosessissa käytettävä linko on valmistettu vuonna 1988. Sen ajoparametrien muuttaminen on vanhentuneen tekniikan takia hankalaa, koska se vaatii hihnapyörien ja hihnojen vaihtamista sekä patolevyjen säätämistä käsin. Laitteen ajoparametrejä on yritetty optimoida, mutta prosessin onnistuminen on enemmän riippuvainen kalsiumkarbonaattilietteen ominaisuuksista kuin ajoparametreistä (Tuotannon ajopäiväkirjat).

Dekanterilinko poistaa lietteestä helpoimmin painavimmat ja isoimmat partikkelit, jolloin kevyemmät ja pienimmät partikkelit jäävät rejektiveteen. Leikkauspiste on dekanteriteknikalle matemaattisesti määritelty arvo, jonka avulla voidaan päätellä pienin partikkeli-koko, jonka linko voi erottaa vedestä. Tällöin 50% pienimmistä partikkeleista saadaan

¹ Toisesta kierroksesta vain P-osa (suunnittelu).

erotettua vedestä kiinteään faasiin. Leikkauspiste voidaan lukea myös erilaisista taulukoista ja näin partikkelien ominaisuuksien perusteella arvioida lietteen partikkelien leikkauspiste. Yleisesti voidaan sanoa, että partikkelikoko 2-5 µm on helppo saavuttaa kaikilla lietteillä, mutta 1 µm on jo lähes mahdoton. Laitteen todellinen suorituskyky voidaan päätellä vain kokemuksen kautta (Records & Sutherland 2005, 155-156). E-sarjan tuotteiden vedenpoistoa dekanterilingolla vaikeuttaa siis myös partikkelien erittäin pieni koko.

Dekanterilinko haluttiin korvata varmemmalla tekniikalla. Vedenpoistotekniikan haluttiin toimivan pienistä tuotteen laatuvaihteluista huolimatta. Nordkalkin materiaalia testattiin eri tekniikoilla (taulukko 3) ja koeajojen perusteella päädyttiin suotopuristintekniikkaan. Andritz-suotopuristinlaite oli ollut vuokrattuna syksyllä 2016 Pilot Centerille ja laitteella oli saatu silloin hyviä tuloksia. Kuiva-ainepitoisuus ylitti vaatimukset usealla prosentilla. Lähes kaikki kiintoaine saatiin erotettua tuotteesta poistettavasta vedestä. Vuonna 2016 suoritetuilla dekanterilinkojen koeajoilla ei aikaan saatu vastaavia tuloksia. Lisäksi oli teetetty haihdutusprosessikoeajo laitevalmistajalla, mutta tuote ei kestänyt haihdutusprosessin olosuhteita ja sen viskoottiset ominaisuudet ja koostumus muuttuivat liikaa. Taulukossa 3 on vertailtu dekanterilinkojen ja suotopuristimen suorituskykyä. Testiajot on tehty testausmittakaavan laitteilla. Lyhenne KAP tarkoittaa materiaalin kuiva-ainepitoisuutta.

Taulukko 3. Dekanterilinkojen ja suotopuristimen vertailua testilaitteilla (KAP=kuiva-ainepitoisuus).

	Linko Alfa Laval	Linko GEA	Suotopuristin Andritz SH 500
KAP syöte %	13,0-15,0	13,6-15,0	13,2
KAP suodos %	43-52	47-55	58
KAP rejektivesi %	0,1-11,0	1,7-2,6	0
Syöttönopeus l/h	350	230	122
Saanto l/h	90-120	90	38

Suotopuristinprosessista oli tuotekehitysosastolla vain vähän kokemusta, koska kaikki osaaminen ja kokemus tekniikasta perustuivat vain tähän yhteen koeajoon vuokralaitteella. Suotopuristin tarvitsee toimiakseen apulaitteita ja sen tuottama suodoskakku täytyy poistaa laitteen alta, rikkoa ja liettää pumpattavaan muotoon. Laitteelle täytyy löytää oikea layout koelaitokselta ja se täyttyy yhdistää tuotantolinjaan.

Tehtävää varten perustettiin ryhmä, jonka tehtävä oli aivoriihityöpajassa suunnitella suotopuristimen asennus ja käyttöönotto. Ryhmän kokoonpano ja henkilöiden työtehtävät on mainittu taulukossa 4.

Taulukko 4. Aivoriihityöpajan kokoonpano.

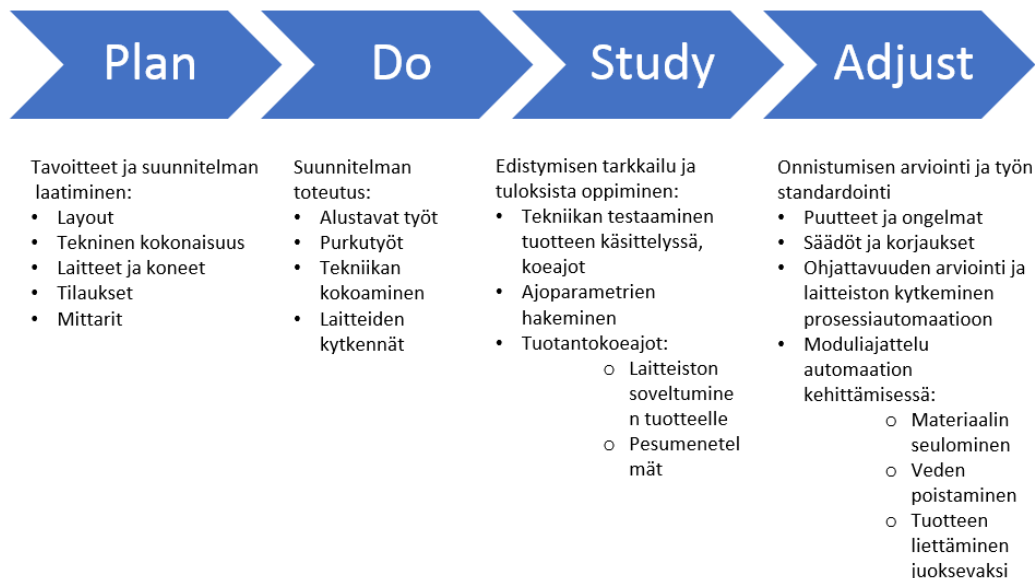
Nimi	Titteli	Tehtävä
M.S.	Tuotekehitysjohtaja	Projektin valvonta
M.L.	E-sarjan tuotepäällikkö	Tuoteasiantuntija, tuotteen valmistuksen asiantuntija
O.L.	Pilot Center manager	Projektipäällikkö
M.N.	Pilot Center technician	Tuotannon tehtävät, asennustyöt
I.H.	Pilot Center technician	Tuotannon tehtävät, asennustyöt
C.E.	Laboratory technician	Laboratoriolaitteistot
T.G.	Engineered solutions	Tekniset ratkaisut

Työpajan tarkoituksena oli hyödyntää koko ryhmän osaamista ja löytää parhaat keinot ja menetelmät suotopuristimen käyttöönottamiseksi. Aivoriihityöpajan vahvuus on tiimityöskentelyssä, uusissa ideoissa ja luovuudessa. Parhaat ideat ja ratkaisut tulevat esiin vapaassa keskustelussa, johon kaikki ryhmän jäsenet osallistuvat. Aluksi määritetään aihe, jota kaikki miettivät ja kommentoivat. Ideat kirjoitetaan ylös. Ideoita tarkastellaan,

selkeytetään ja liitetään toisiinsa. Yhdessä valitaan parhaat ratkaisut. (Karjalainen ja Karjalainen 2002, 114)

Projektille ei varsinaisesti määritelty budjettia, koska investointianomusta ei ollut mahdollista tehdä. Kustannukset päätettiin maksaa osaston vuosikustannusbudjetista, joten laitteiston ja asennuskustannusten ylärajaksi sovittiin alustavasti 50000 €.

Ensimmäisessä palaverissa esiteltiin ryhmälle työn tarkoitus ja työ jaettiin osiin: suunnitteluvaihe, rakennusvaihe, koeajovaihe, automaatio ja koeajoihin perustuvat prosessi-muutokset. Kokonaisuus haluttiin tehdä pala palalta ja edetä ilman liian yksityiskohtaisia kirjallisia suunnitelmia eteenpäin, niin että joka vaiheesta opittaisiin jotakin. Olennainen osa projektia oli oppia tuotteen prosessointia suotopuristinlaitteella. Työn eri vaiheet sijoitetaan sivulla 19 esitettyyn PDSA-sykliin kuviossa 8.



Kuvio 8. Projektin työvaiheet suotopuristinprosessin rakentamiseksi (1. PDSA -sykli).

4.2 Suunnittelu ja hankinnat

Projektitiimin oli löydettävä suotopuristinlaitteistolle ensin oikea layout ja sitten kytkettävä se osaksi tuotantolinjaa. Lisäksi piti löytää oikeat apuprosessit ja laitteet, jotta suotopuristinta voitaisiin ajaa. Projekti rahoitettiin tuotekehitysosaston vuosikustannusbudjetista, joten resurssien niukkuuden takia piti hyödyntää mahdollisimman paljon jo olemassa olevaa kalustoa ja kehittää omia innovaatioita.

Suunnittelutyö ja hankinnat päätettiin toteuttaa suotopuristinlaitteen toimitusajan puitteissa, joten tiimillä ei ollut aikaa etsiä markkinoilta parasta mahdollista kokoonpanoa. Ajansäästön takia lähes kaikki suunnittelutyö tehtiin itse. Jalustan piirustukset teetettiin rakennesuunnittelijalla, jotta työn toteutuksen tilaaminen olisi helpompaa ja rakenteen kantavuus riittävä.

Työ päätettiin toteuttaa vaihe kerrallaan niin, että jokaisesta työvaiheesta opittaisiin mahdollisimman paljon sekä prosessin rakentamisesta että prosessin käyttämisestä. Aikaisemmista projekteista oli opittu se, että ryhmän jäsenet ovat itse parhaita asiantuntijoita oman tuotteen prosessoimisessa. Päätökset layoutista ja laitteista tehtiin ryhmän sisällä olosuhteisiin nähden parasta tietoa käyttäen. asiat selvitettiin itse ja kaikissa päätöksissä otettiin pieni riski epäonnistumisen suhteen. Koska projekti oli melko pieni ja kustannukset matalia, voitiin riski hyvin ottaa. Olennaista prosessissa oli oppiminen ja ymmärrys siitä, miten tuotetta voitaisiin valmistaa tehdasmittakaavassa.

Suotopuristinlaite tilattiin tammikuun alussa 2017 ennen projektiryhmän ensimmäistä palaveria. Suotopuristin on projektin ainoa laite, joka hankittiin investointina. Muut projekti-kustannukset pyrittiin hoitamaan oman osaston kustannusbudjetin puitteissa. Lisäksi päätettiin hyödyntää mahdollisimman paljon olemassa olevaa kalustoa. Tämä hidasti työn etenemistä, mutta pakotti käyttämään luovuutta.

Ryhmän oli suotopuristimen toimitusajan puitteissa suunniteltava laitteen sijoitus, selvittävä ja tilattava suotopuristimen apuprosessit ja lisälaitteet, jotta asennustöihin ja laitteen testiajoihin päästäisiin mahdollisimman pian suotopuristinlaitteen toimituksen jälkeen. Ensimmäiseksi tilattiin prosessille syöttöpumppu. Pumppu tarvittiin jokatapauksessa ja se ei ollut riippuvainen prosessin sijoituspaikasta. Suotopuristinprosessi asettaa pumpulle vaatimuksia, jotka tuli ottaa huomioon. Prosessipaine nousee prosessin edessä 16 baarin asti.

Prosessin layout oli tärkeä määrittää nopeasti, koska se vaikutti prosessissa tarvittavien laitteiden ja koneiden valintaan. Apuprosessien hankkimiseen kuluisi myös aikaa. Eniten epävarmuutta aiheutti suodoskakun siirtäminen ja murskaaminen liettettävään muotoon. Näistä työvaiheista omalla tuotteella ei ollut minkäänlaista kokemusta ja siksi apua ja neuvoja kyseltiin laitetoimittajilta. Lopulta päätettiin kokeilla akselitonta spiraaliruuvia, jonka kotelointi toteutettaisiin niin, että se sopii suoraan suotopuristimen alle kiinnitettäväksi jalustaan. Spiraaliruuvien etuna on yksi yksinkertainen prosessi ja sen käytöstä löytyi esimerkkejä erilaisista karbonaattikakun murskaus- ja siirtoprosesseissa Youtube-

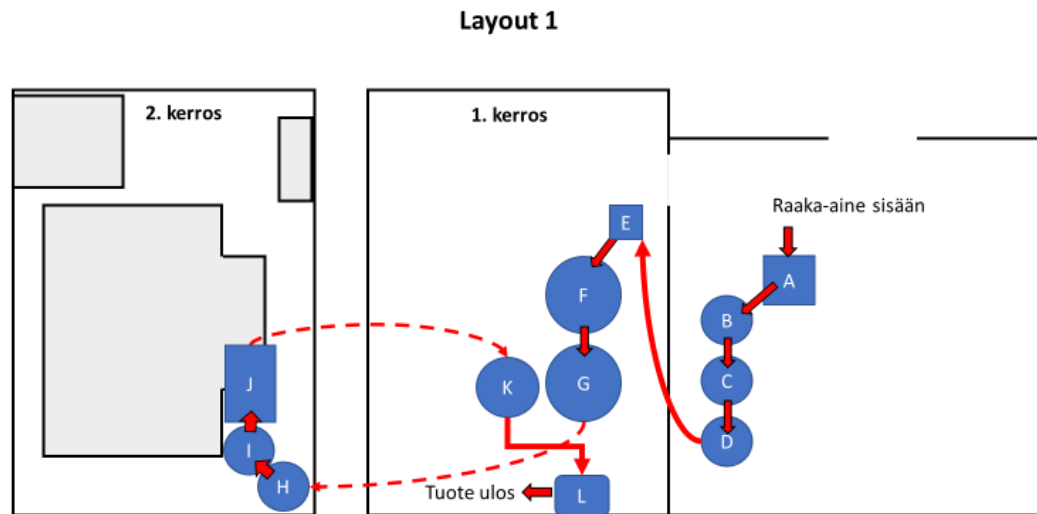
sivustolta (M.W. Watermark 2019). Kuviossa 9 on esitettyä suunnitteluvaiheen työn eteneminen.



Kuvio 9. Suotopuristinprojektin suunnitteluvaiheet.

4.3 Uuden prosessin layout

Ensimmäistä versiota laitteiston layoutista oli suunniteltu jo ennen projektin aloittamista. Suotopuristin haluttiin aluksi samaan tilaan muun tuotantoprosessin kanssa ja sille oli ensin suunniteltu sijoituspaikka linkoprosessin yläpuolelta Pilot Centerin toisesta kerroksesta, jossa oli tyhjää tilaa. Prosessin sijoittaminen toiseen kerrokseen olisi ollut tilankäytön kannalta hyvä suunnitelma. Kokonaisprosessi olisi saatu hyvin pieneen tilaan ja uudet putkilinjat lyhyiksi. Kuviossa 10 esitetystä layout-suunnitelmasta huomataan, että suotopuristinlaitteisto (J) on hyvin lähellä kokonaisprosessin loppupäätä. Kuvion 10 muiden prosessivaiheiden tarkemmat selitykset ovat tämän opinnäytetyön tausta-aineistoa, joka sisältää yrityksen luottamuksellista tietoa.



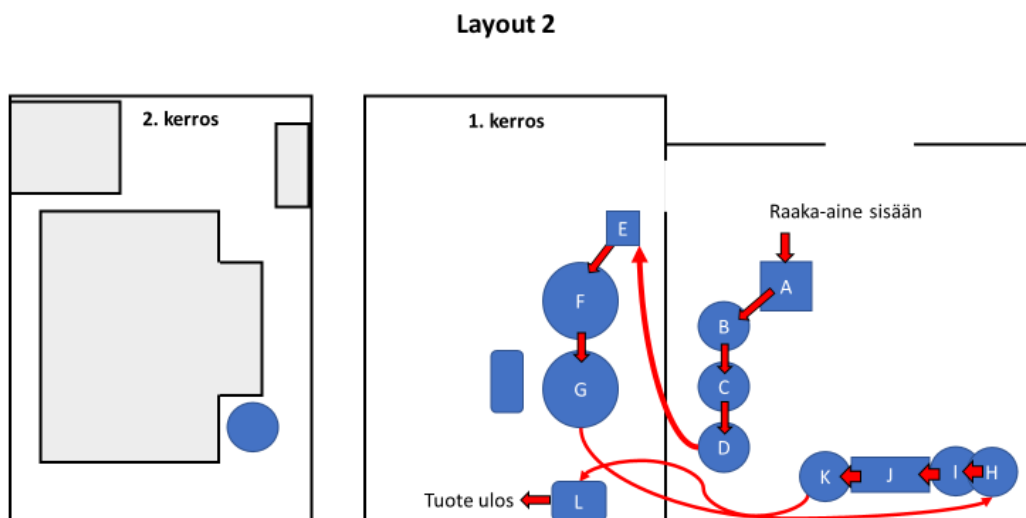
Kuvio 10. Layout-vaihtoehto 1².

Prosessien sijoittaminen kahteen eri kerrokseen olisi kuitenkin ollut vaikeaa ja laitteille varattu tila olisi jäänyt liian pieneksi prosessin käyttämistä ja huoltamista ajatellen. Todennäköisesti olisi tasannetta pitänyt jatkaa teräsrakenteilla, mikä olisi vaatinut ylimääräistä suunnittelutyötä. Ryhmä päätti valita toisen vaihtoehdon ja käyttää jo olemassa olevaa kalustoa ja hyödyntää tilaa toisesta prosessihallista. Jonkin verran olemassa olevaa kalustoa jouduttiin purkamaan pois uuden prosessin tieltä.

Laite päätettiin siis lopulta sijoittaa Pilot Centerin vanhaan kattilahalliin, jossa oli prosessiin sopiva liettomikseri ja sille rakennetut hoitotasot valmiina. Toteutunut layout on esitetty kuviossa 11 ja siinä on esitettyä materiaalin virtaus tuotantoprosessissa. Kuvion 11 prosessivaiheiden tarkemmat selitykset ovat tämän opinnäytetyön tausta-aineistoa, joka sisältää yrityksen luottamuksellista tietoa.

Suotopuristinprosessille tehtiin tilaa purkamalla pois laitteita ja työtasoja. Hoitotason kaikeitä muutettiin. Purku- ja muutostyöt aloitettiin heti, kun päätös lopullisesta layoutista oli tehty. Näin varmistettiin, että päästään heti rakentamaan uutta prosessia, kun laitteet toimitetaan Pilot Centerille.

² Valmistusprosessin lohkot A-L ovat toimeksiantajan IPR:n alaisia ja työn tausta-aineistoa.



Kuvio 11. Layout-vaihtoehto 2 eli toteutunut layout³.

4.4 Prosessikuvaus ja prosessin laitteet

Suunnittelutyön aikana käytiin läpi olemassa olevat vaihtoehdot ja päätettiin laitteiston kokoonpanosta. Prosessille laadittiin alustava prosessikuvaus, jota päivitettiin koeajojen aikana. Tämä prosessikuvaus vastaa sitä tilannetta, johon tämän opinnäytetyön aikana ehdittiin. Suotopuristinprosessin automaatiota ei ehditty viedä loppuun. Itse laitetta ajetaan edelleen käsiohjauksella ja suodoskakun liettäminen ja pumppaaminen tehdään käsin. Materiaalin virtaus suotopuristinprosessissa on esitettyinä kuviossa 12.

Prosessin alussa tarkistetaan suodoskankaiden kunto ja prosessin siisteys. Suodoskakun jäämät suotokennojen reunoilla voivat aiheuttaa prosessiin vuotoja. Kalsiumkarbonaattilietettä pumpataan säiliöstä 1 putkistoa pitkin täryseulalle. Liette valuu seulaverkon läpi säiliöön 2 ja isommat kalsiumkarbonaattipartikkelit ja raaka-aineen mukana tullut hienojakoinen hiekka kulkeutuvat seulaylitteenä jäteastiaan. Liettesäiliön pinnankorkeutta valvotaan automaatiojärjestelmään asennetulla pinta-anturilla, joka myös ohjaa pumppua. Pumppaus lopetetaan, kun säiliö on täynnä. Pumppaus jatkuu, kun säiliö on puolillaan. Säiliössä 2 on sekoituselin, joka pitää lietteen sekoituksessa ja homogeenisena. Sekoituselien ja täryseula käynnistetään manuaalisesti kytkimestä.

³ Valmistusprosessin lohkot A-L ovat toimeksiantajan IPR:n alaisia ja työn tausta-aineistoa.

Suotopuristimen suodatinpakka ajetaan hydraulisesti kiinni ja puristetaan ajoasentoon. Suotopuristimen luukut menevät kiinni. Suotopuristimen syöttöpumppu käynnistetään. Pumpppua käytetään ensin suurella nopeudella, kunnes kennot ovat täynnä ja paine laitteen sisällä alkaa nousta. Suodoskakkua alkaa muodostua. Prosessin aikana seurataan suodatinpakan puristuspainetta ja pumpppauksesta johtuvaa suotopuristinprosessin painetta. Kun prosessipaine nousee lähelle 16 baaria, lopetetaan pumpppaus. Kun paine laskee, käynnistetään pumpppaus vielä hetkeksi, kunnes paine on taas lähellä 16 bar. Laitteelle määritetty suurin prosessipaine on 16 bar ja suodatinpakan suurin paine on 370 bar. Kun prosessipaine on laskenut nolnaan, voidaan suodospakka avata. Prosessipainetta voidaan seurata visuaalisesti mekaanisesta mittarista. Prosessiin on asennettu myös automaatiojärjestelmään kytketty paineanturi, joka ohjaa pumpun toimintaa. Suotopuristimen hydraulijärjestelmään asennettu ja automaatiojärjestelmään kytketty paineanturi mittaa kennoston puristuspainetta ja pysäyttää pumpun, jos hydraulijärjestelmän paine nousee yli 390 bar. Tämä toimii prosessin ohjaamisen ”perälautana” ja suojaa laitetta rikkoutumiselta ja henkilöstöä työtapatuurmilta.

Kun prosessipaine on laskenut nolnaan, voidaan suotopuristimen pakka avata. Alla olevat suojalevyt aukeavat. Siirtoruuvi käynnistyy. Laitteen oma ohjausjärjestelmä avaa pakan ja ravistaa yksitellen suodoskakut irti suodatinkankaista. Suodoskakut putoavat siirtoruuville ja murskautuvat ruuvissa. Liettomikserin sekoitus käynnistyy. Suodoskakkumassa siirretään ruuvilla liettomikseriin, jonne pumpataan myös prosessissa tarvittavat kemikaalit. Suodoskakkumassa lietetään pumpattavaan muotoon ja pumpataan putkistoa pitkin viereiseen prosessihalliin viimeistelyprosessiin.

4.4.1 Suotopuristin

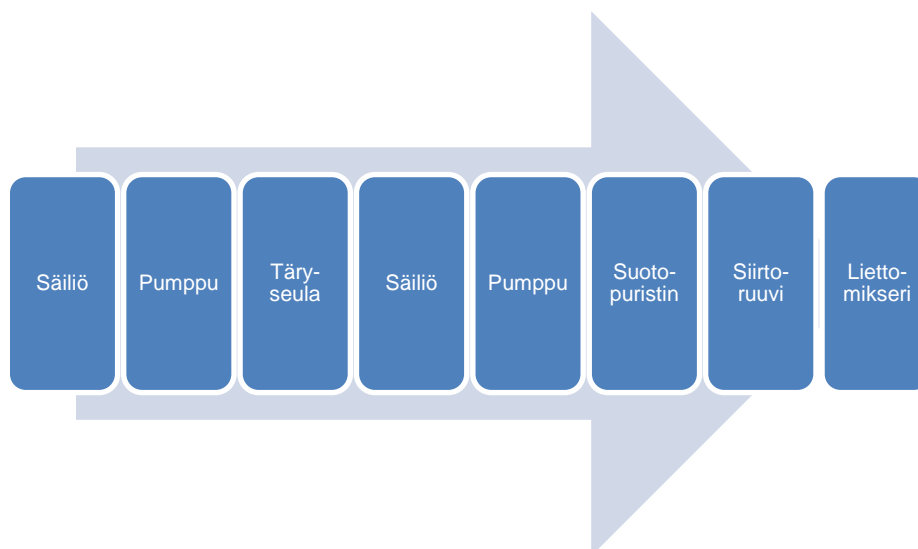
Suotopuristin on hyvin yleinen erilaisten tuotantoprosessien vedenpoistomenetelmä. Se soveltuu joustavuutensa takia moniin hyvin erilaisiin tarkoituksiin. Suotopuristin on halpa, tehokas ja yksinkertainen menetelmä, joka voidaan helposti liittää osaksi hyvin erilaisia tuotantolinjoja. Suotopuristin pystyy erottamaan tehokkaasti vedestä hyvin pienetkin partikkelit (Khron R.A. 2019). Nordkalkilla käytetään suotopuristinta mm. Puolan Miedziankan kaivoksella, jossa pesuseulonnan likainen vesi puhdistetaan takaisin kiertoön suotopuristimilla suodattamalla. Pesuveden mukana poistuva savi ja muu lika puristetaan suodoskakuiksi, jotka siirretään pyöräkuormaajalla pois prosessin alta varastoalueelle.

Suotopuristimen puristinosa koostuu peräkkäisistä kennoista, joiden välissä on suodatinkangas. Liette pumpataan kennojen muodostamiin kammioihin. Kammiot täyttyvät

pumppauksen myötä. Suodatinkankaan läpi pääsee vain vesi ja kiintoaine jää kammioon muodostaen suodoskakkua. Kun kammio on täynnä ja pumppauksen vastapaine on noussut tarpeeksi ylös, voidaan muodostunut kakku prosessista riippuen vielä pestä ja ilma-kuivata. Tämän jälkeen kakut poistetaan avaamalla laite (Vedenpoisto, 2019).

Prosessissa lietteestä voidaan poistaa suuri osa sen sisältämästä vedestä. Käsittävän materiaalin kuiva-ainepitoisuus voidaan nostaa tarvittaessa jopa 60 prosenttiin. Juokseva liete muuttuu prosessissa kiinteiksi suodoskakuiksi. Suodoskakut putoavat laitteen alle, kun suotopuristimen suodatuspakka avataan. Suodoskakku täytyy siirtää laitteen alta pois ja liettää juoksevaksi lietteeksi kemikaaleja ja sekoitusta käyttäen. Lietetty materiaali pumpataan eteenpäin viimeistelyprosessiin.

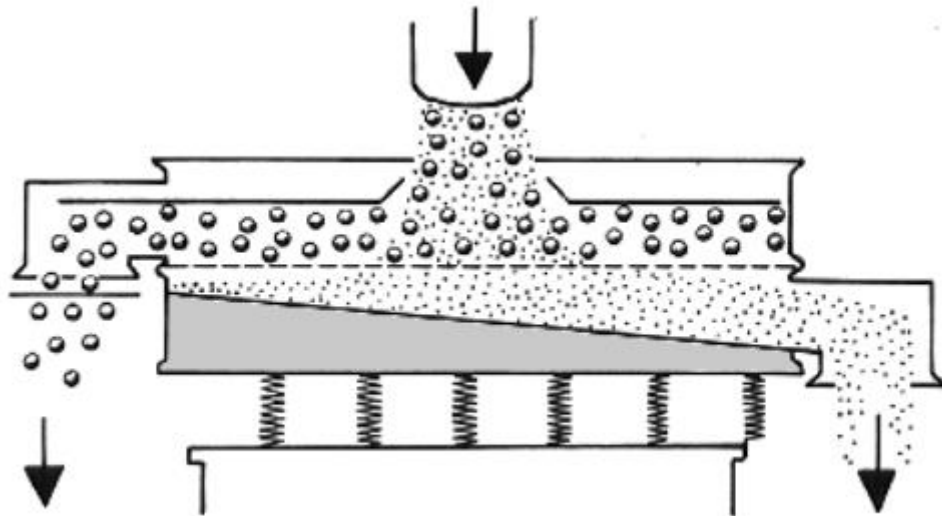
Lietemuodossa oleva materiaali pumpataan suotopuristimen kennoihin, joissa lietteen kiintoainepartikkelit pysähtyvät suodatinkankaaseen ja alkavat muodostaa suodoskakkua. Kakun muodostuessa laitteen suodatusteho paranee, virtauksen vastapaine nousee ja lopulta suodoskakun läpi pääsee vain puhdas vesi. Suodatusprosessin jatkuessa laitteen pumppausvirralle aiheuttama vastapaine nousee niin suureksi, että pumppaus on lopetettava.



Kuvio 12. Nordkalkin suotopuristinprosessin koko materiaalivirta.

4.4.2 Suotopuristinprosessin apulaitteet

Suotopuristinprosessin materiaalivirta ja prosessissa tarvittavat apulaitteet on esitetty kuviossa 12. Prosessissa tarvittava seula on täryseula ja se oli hankittu laitokselle eri tarkoitusta varten. Nyt se varattiin osaksi suotopuristinprosessia. Täryseulan toimintaperiaate on esitetty kuvassa 4. Täryseulalla pystytään erottamaan erikokoisia partikkeleja toisistaan täryliikkeen avulla. Täryliike saadaan aikaiseksi laitteen sisällä olevien painojen epäkeskeisyyttä hyödyntämällä ja laitteen painoja säättämällä voidaan vaikuttaa laitteen seulontakuvioon eli seulottavan materiaalin kulkusuuntaan ja matkaan seulaverkolla. Täryseulaa voidaan käyttää niin kuivien kuin märkien tuotteiden seulomiseen. Täryseula voidaan rakentaa kerroksittain niin, että erotettavia komponentteja voi olla 2-5 eri kokoa. Seulassa on syöttöaukko ja jokaisessa seulakerroksessa poistoaukot eri jakaita varten. Täryseula on esimerkiksi paperiteollisuudessa hyvin yleisesti käytetty laite erilaisten pastojen ja lietteiden seulomisessa. Laitteen tarkoitus on poistaa karkeat epäpuhtaudet, jotka voivat aiheuttaa häiriöitä prosessissa (Kapotek Oy 2019). Laitteen todettiin toimivan prosessissa erinomaisesti.



Kuva 4. Täryseulan toimintaperiaate (Pihkala J. 2019).

Seulan jälkeen prosessissa sijaitseva säiliö oli ollut laitoksella hyödyntämättömänä, joten se otettiin osaksi prosessia. Säiliö on varustettu poistoventtiilillä ja sekoittajalla. Säiliö oli jo asennettu paikoilleen ja se oli helppo ottaa osaksi prosessia. Seulottu materiaali valuu sekoitussäiliöön. Säiliö on valmistettu mineraalilietteiden tilapäistä varastointia varten ja

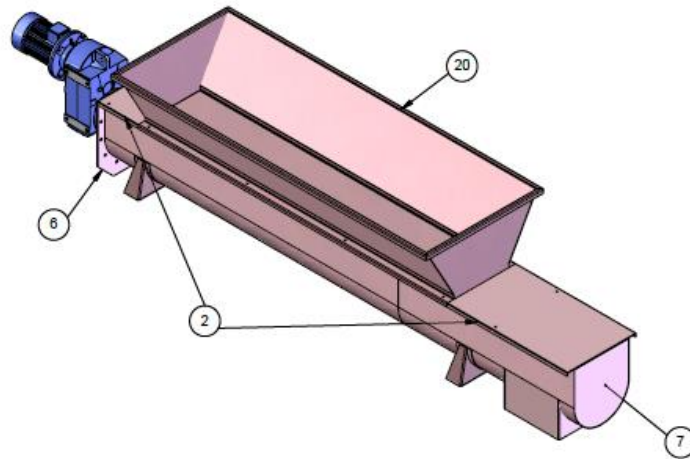
se soveltuu hyvin myös kalsiumkarbonaattilietteen välisäiliöksi suotopuristinprosessia varten.

Suotopuristinlaitteella voidaan käyttää monia erilaisia pumppuja. Pumpulle asetettiin vaatimukseksi kyky pumpata suoropuristimen vastapaineeseen, yksinkertainen rakenne ja riittävä kapasiteetti. Pumpun piti kestää kuluttavia aineita ja pystyä pumppaamaan viskoottisia lietteitä. Vaihtoehtoina olivat epäkeskoruuvipumppu, paineilmatoiminen kalvopumppu ja letkupumppu.

Suotopuristinprosessin syöttöpumpuksi valittiin letkupumppu. Letkupumpun etuina ovat erinomainen kestävyys, kyky pumpata hyvinkin viskoottisia lietteitä ja helppo huollettavuus. Pilot Centerillä on paljon letkupumppuja käytössä kalkkilietteen siirtoihin ja anosteluun. Ne ovat osoittautuneet käytössä luotettaviksi. Letkupumppu on helppo kalibroida ja sillä voidaan pumpata painetta vastaan. Ainoa huono puoli letkupumpussa on virtauksen syke, joka on hankala vaimentaa. Siksi se ei sovellu kaikkiin käyttökohteisiin.

Letkupumpun ainoa pumpattavan nesteen kanssa tekemisissä oleva osa on letku, jota pumpun sisällä pyörivän roottoriin kiinnitetyt puristuskengät puristavat edellään. Tämä vuorotellen tapahtuvat puristus ja puristuksen vapautuminen kuljettavat nestettä letkun sisällä ja aiheuttavat imun pumpun imupuolelle ja virtauksen painepuolelle. Pumpun sisällä on kenkiä ja letkua voitelevaa glyseriiniä. Pumpussa ei ole venttiilejä, tiivistysvesiä eikä tiivisteitä. Letkupumppu soveltuu erinomaisesti mineraalilietteilille, koska siinä ei ole mitään osia, jotka kuivuva liete voisi tukkia tai vaurioittaa.

Suodoskakkua laitteen alta sekoitusmikseriin siirtävä ruuvi tilattiin mittatilaustyönä paikalliselta laitetoimittajalta. Ruuvi on tyypiltään akseliton spiraaliruuvi. Se on mitoitettu sopimaan suotopuristinlaitteen alle niin, että sen etäisyys liettomikseriin on juuri oikea ja suodoskaku putoaa mikserin syöttöaukosta sisään. Spiraaliruuvien mallinnus on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Spiraaliruuvien kotelointi (7) ja suodospuristin (20).

Liettomikseri on käytetty Valmet-Raision valmistama laite, jota on aikaisemmin käytetty laitoksella erilaisten pigmenttien liettämiseen. Syöttöruuvi siirtää suodosmassaa liettosekoittimen säiliöön. Laite on hihnäkäyttöinen, invertterillä ohjattava ja siinä on hydraulinen nosto- ja laskumeکانismi. Säiliössä on virtaushaitat. Laite on varustettu vaakajärjestelmällä.

4.5 Prosessin rakentaminen

Suotopuristimen asennus jaettiin eri työvaiheisiin: purkutyöt, valmistelevat työt, asennustyöt, kytkennät ja muutostyöt. Laitteiston tieltä purettiin pois vanhempaa kalustoa. Valmistelutyöt yritettiin viedä mahdollisimman pitkälle ennen laitteiden toimittamista, jotta asennustöihin päästäisiin nopeasti. Kun koko laitteisto oli paikoillaan, piti laitteet vielä kytkeä toisiinsa niin, että materiaalivirtaus sujuisi esteettömästi. Lisäksi laitteisiin piti kytkeä sähköt ja ohjaus.

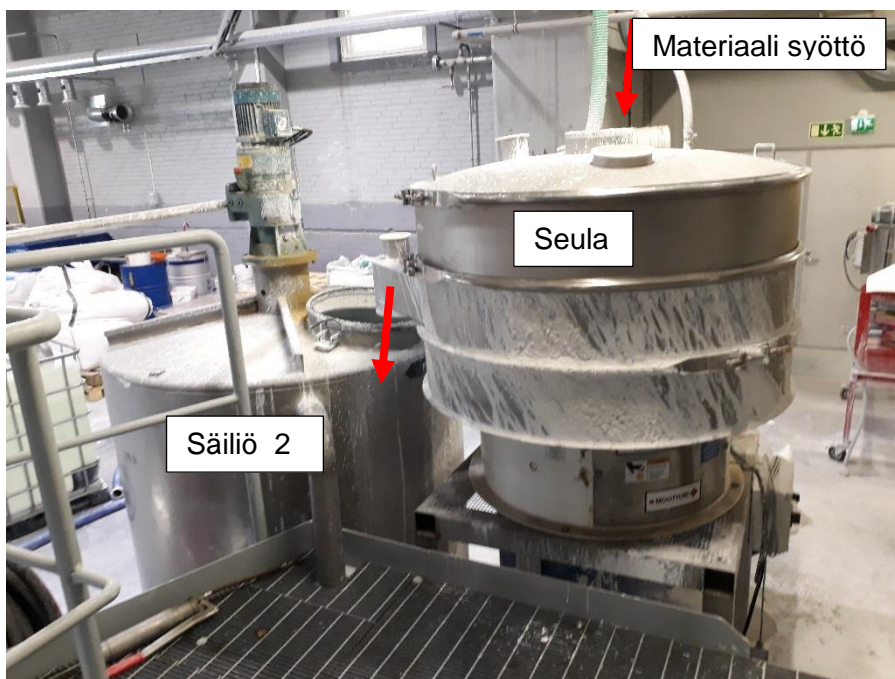
4.5.1 Purkutyöt

Pilot Centerin kahden liettimen mikseriasema on ollut tarpeeton. Isompaa mikseriä päätettiin hyödyntää suotopuristinprosessissa. Suotopuristinprosessia varten päätettiin raivata tilaa Pilot Centerin liettomikseriasemalta heti, kun päätös laitteiston lopullisesta layoutista oli tehty. Mikseriasemalla oli valmiina suotopuristimen käyttöön soveltuva käyttötaso ja liettomikseriä voitaisiin käyttää suodospuristin liettämiseen. Mikseriasemalla oli myös sekoitussäiliö valmiina prosessia varten seulotun materiaalin välivarastointia varten.



Kuva 6. Liettomikseriaseman käyttötaso purkutöiden jälkeen.

Uuden laitteiston tieltä purettiin pois pienempi liettomikseri ja muuta laitteistoa. Kaiteita ja hydraulikoneikkojen käyttövipujen sijaintia muutettiin. Samalla purettiin käytöstä poistettujen laitteiden sähkö- ja lvi-asennukset. Lattialta poistettiin tarpeettomat komponentit. Sekoitussäiliötä siirrettiin hieman ja varastossa ollut käyttämätön täryseula asennettiin sekoitussäiliön viereen, kuten kuvassa 7 on esitetty.



Kuva 7. Materiaalin seulonta ennen suotopuristinta.

4.5.2 Valmistelevat työt

Tuotantolinjan dekanterin putkilinjoja ja syöttöpumppua haluttiin hyödyntää mahdollisimman paljon uudessa vedenpoistoprosessissa. Putkilinjasta haaroitettiin pumpun painepuolelta oma syöttöputki suotopuristimelle. Näin samalla pumpulla voitiin syöttää materiaalia suotopuristinprosessiin tai tarvittaessa edelleen myös dekanterilingolle. Uudet putkilinjat rakennettiin vanhan putkiston mitoituksen mukaan. Työssä päästiin näin eteenpäin nopeasti, eikä laskelmia putkien halkaisijoista tarvinnut tehdä.

Viimeistelyprosessin syöttöputkeen tehtiin oma haara suotopuristinprosessin liettomikseriltä pumpattavaa lietettä varten. Osa putkistosta asennettiin valmiiksi. T-haaraan asennettiin käsikäyttöiset palloventtiilit, jotta jälkikäsitteilyprosessiin voitaisiin pumpata lietettä joko dekanterilingolta tai suotopuristimelta.

Käytöstä poistetun mikseriaseman sekoitussäiliö haluttiin hyödyntää suotopuristimen prosessissa varastotankkina seulan ja suotopuristimen välissä. Sekoitussäiliö siirrettiin hieman sivuun alkuperäiseltä paikaltaan, jotta suotopuristin mahtuisi oikeaan kohtaan. Varastossa ollut seula asennettiin säiliön viereen syöttämään seulottua lietettä säiliöön.

Suotopuristinlaitetta päästiin kokeilemaan heti toimituksen jälkeen, koska letkupumppu oli jo toimitettu. Sekä pumppu, että suotopuristin olivat valmiiksi käyttökunnossa. Asennustöitä varten oli tilattu paineen kestävää letkua, laippaliittimet, sovittimet ja liittimet. Pumpulle piti vielä asentaa sähkökytkennät ennen koeajoja. Molemmille laitteille saatiin sähköt työmaakeskuksesta, joten kiinteitä sähköasennuksia ei tässä vaiheessa tarvittu. Pumppua käytettiin koeajoja varten rakennetulla tilapäisellä taajuusmuuttajalla.

Prosessia varten tarvittiin jalusta, jonka päälle suotopuristinlaite asennettaisiin. Suotopuristimen alle sijoitettaisiin kuljetinruuvi omalle hyllylleen siirtämään suodoskakkua sekoitajaan. Jalustaa varten tilattiin suunnitelma ja piirustukset rakennesuunnittelijalta, jotta jalustasta tulisi tarpeeksi vahva. Jalusta teetettiin piirustusten mukaan paikallisella yrityksellä. Jalusta toimitettiin sovitussa aikataulussa ennen siirtoruuvia.

4.5.3 Kokoonpano

Prosessia varten suunniteltu siirtoruuvi toimitettiin kesäkuussa 2017, jonka jälkeen päästiin rakentamaan laitteistoa lopulliseen kokoonpanoonsa. Siirtoruuvien kotelointi vaati

hieman muutostöitä suunnitteluvirheestä johtuen. Jalusta siirrettiin omalle paikalleen ja suotopuristin nostettiin jalustalleen. Työ tehtiin nostoautolla. Suotopuristimen tassuille tarkoitetut teräslevyt olivat kiinnitetyt väärään kohtaan ja suotopuristinta ei olisi saatu kiinnitettyä pulteilla jalustaan. Jalusta saatiin kuitenkin korjattua.

4.5.4 Kytkenät

Suotopuristimelle syötetään seulottua kalkkilietettä letkupumpulla ja valmis suodoskakku siirretään siirtoruuvilla liettomikseriin, jonne lisätään myös tarvittavat kemikaalit, jotta tuote saadaan taas juoksevaan muotoon pumpattavaksi. Laitteet tuli kytkeä toisiinsa niin, että tuotteen virtaus sujuisi esteettä prosessivaiheesta toiseen. Kytkenät tehtiin laitevalmistajan ohjeiden mukaan. Asennuksissa ja tarvikkeiden valinnoissa huomioitiin letkupumpun syöttöpaine.

Suotopuristimelle piti rakentaa myös putkilinja prosessista poistettavalle vedelle. Putkisto päätettiin toteuttaa ABS-muovista. Laitteiston oma vedenpoistoputkisto oli muovia, samoin liitoslaipat, koska putkistoon ei kohdistu painetta.

4.6 Koeajot ja testaus

Ensimmäiset koeajot tehtiin heti, kun laite oli toimitettu ja pumppu oli saatu kytkettyä. Laitetta käytettiin nyt täysin käsiajolla. Koeajot sujuivat hyvin. Kaikki prosessivaiheet pumppaus, suodoskakun muodostuminen ja kakun poistaminen onnistuivat hyvin. Prosessista poistuva vesi oli muutaman minuutin jälkeen kirkasta eli lähes kaikki kiintoaine saatiin talteen. Kuiva-ainetavoitteet ylitettiin. Koska ruuvia ei oltu vielä toimitettu, tiputettiin kakku laitteen alle ja lapioitiin siitä liettomikseriin. Kemikaalit lisättiin ämpärillä kaatamalla mikseriin. Suotopuristimen kokeilemisen yhteydessä päästiin kokeilemaan liettomikseriä. Suodoskakun liettämisestä tässä mittakaavassa ei ollut mitään aikaisempaa kokemusta. Mikserin pohjalle pumpattiin ensin valmiiksi lietettyä kakkua, joka oli tehty dekanterilingolla. Alkupanos tarvittiin, koska tyhjässä mikserissä liettäminen olisi vaikeaa. Sekoittimen terät eivät yltäneet aivan pohjalle. Suodoskakun liettäminen sujui odotettua paremmin. Kakkua tarvittiin laboratorion näytelähetyksiä varten, joten mitään ei heitetty pois. Tekniset testaukset jatkuivat kesäkuussa 2017. Laitetta ajettiin edelleen käsiajolla eri jokaiselle työvaiheelle annettiin käsky erikseen laitteen logiikkaohjauksen näytöltä. Laitetta käytettiin erilaisten näyte-erien valmistamiseen laboratoriolle ja erilaisten kemikaalien kokeilemiseen.

4.6.1 Kokonaisprosessin koeajot

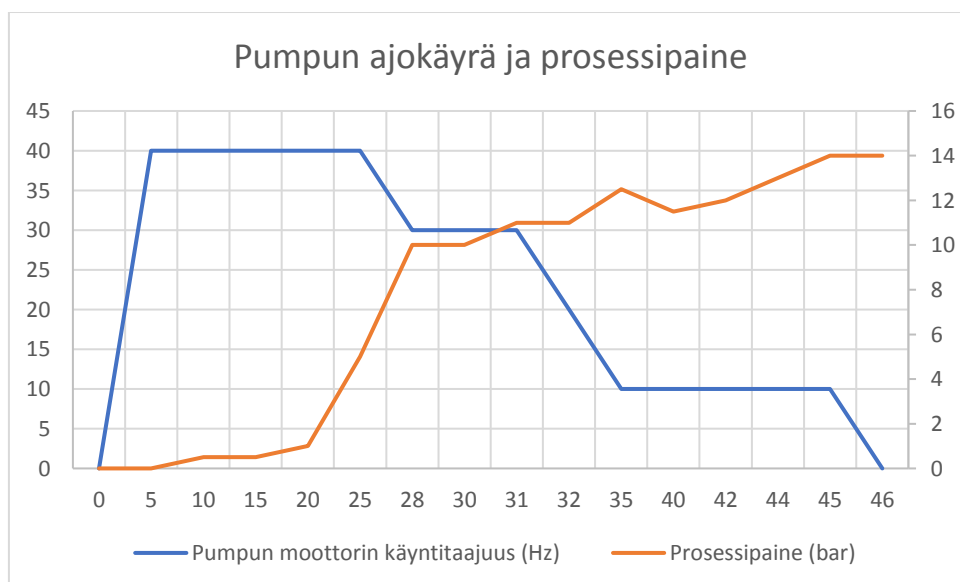
Kun kokonaisprosessi oli saatu rakennettua, voitiin kokeilla, miten laitteisto toimisi yhtenä kokonaisuutena. Käsiteltävää kalkkilietettä pumpattiin ensimmäisestä välisäiliöstä uutta putkilinjaa pitkin seulalle, josta se valui toiseen välisäiliöön (seulan käynnistys manuaalisesti). Välisäiliön täyttämiseen kului liikaa aikaa. Pumppu oli kapasiteetiltaan pienempi, kuin suotopuristimen syöttöpumppu, joten sen annettiin jäädä päälle, kun suotopuristimen pumppaus toisesta välisäiliöstä aloitettiin.

Suotopuristinprosessi onnistui yhtä hyvin kuin aikaisemminkin. Siirtoruuvi ja liettomikserin sekoitus käynnistettiin ennen suotopuristimen purkuvaihetta. Suodoskakut putosivat siirtoruuviin, joka rikkoi suodoskakut ja siirsi ja pudotti suodosmassan liettomikseriin. Liettomikserissä oli aloituspanos valmiina sekoittumassa ja mikseriin pudonnut massa liettyi vaivattomasti. Kokonaisprosessiin todettiin toimivan yllättävän hyvin. Koeajojen aikana seurattiin suodatusprosessin aiheuttaman vastapaineen kehittymistä. Prosessin edetessä ja suodatuskakun muodostuessa kasvaa sen aiheuttama virtauksen vastapaine. Painetta seurattiin mekaanisesta painemittarista suoraan pumppauslinjasta ja suotopuristimen puristusaineesta. Laitteen valmistajan ilmoittamaa maksimipainetta ei saa ylittää ja siksi toimittiin suurta varovaisuutta noudattaen.

4.6.2 Tuotantokoeajot

Prosessikoeajojen jälkeen todettiin, että laitteisto toimii, kuten oli tarkoitettu. Laite otettiin siksi pian mukaan osaksi tuotantoprosessia dekanterilingon tilalle. Laite poisti vettä tehokkaammin kuin linko. Poistuva vesi oli kirkasta, joten tuotetta ei mennyt hukkaan prosessin aikana. Samalla oli mahdollisuus oppia laitteesta ja prosessista enemmän ennen laitteen varsinaista automatisointia. Erilaisia prosessiparametreja voitiin kokeilla ajojen aikana. Tärkeimmäksi ajoparametriksi huomattiin paineen lisäksi karbonaattilietteen syöttöpumpun pumppausnopeus. Laitetta ajettiin erilaisilla pumppausprofiileilla, jotta saataisiin malli automaation ohjaamalle pumppaukselle. Jatkuvaan tuotantoon siirryttiin syksyllä 2017. Tuotantokoeajon tulokset kalsiumkarbonaattieristä 1723, 1724, 1725 ja 1726 ajetuille suotopuristimen tuotantoajoille on esitetty opinnäytetyön tausta-aineistossa, joka sisältää yrityksen luottamuksellista tietoa. Yhteen puristussykliin kulunut aika, tuotteen massa ja kuiva-ainepitoisuus vaihtelevat vähän, mutta ovat kaikki hyväksyttävällä tasolla.

Syöttöpumppua pyrittiin ajamaan niin, että virtaus on mahdollisimman suuri, mutta vastapaine ei nousisi yli laitteistolle annettujen turvarajojen, kuten kuviossa 13 esitetään. Pumppauspaine pyrittiin pitämään alle 16 bar. Pumppua ajettiin manuaalisesti ja pumppun käyntitaajuutta säädettiin vastapaineen noustessa.



Kuvio 13. Prosessipumppun ajokäyrä ja prosessipaine ajossa.

Tuotantokoeajojen aikana huomattiin, että primääripartikkelin valmistuksessa oli jotain pielessä. Karbonointiprosessin ajoparametreissa ja niiden seuraamisessa oli ongelmia ja tuotteen valmistaminen ei sujunut kuten oli alun perin tarkoitettu. Tuotelaadun vaihtelut vaikuttivat kokonaisprosessin loppuvaiheeseen. Tämän opinnäytetyön ohessa toteutettiin erillinen projekti yhdessä kehityslaboratorion kanssa oikeiden ajoparametrien kartoittamiseksi. Projektissa haettiin uudestaan oikeat ajoparametrit valmistusprosessille ja ne standardoitiin. Tämä hidasti suotopuristinprosessin kehitystä. Toisaalta huomattiin, että laitteen mukana tulleet suodatuskankaat eivät välttämättä ole paras vaihtoehto tuotteiden valmistamisessa. Laitteen suorituskyky vaihtelee riippuen karbonointiprosessin ajoparametreista ja on hyvin riippuvainen tuotelaadusta. Kankaat tulisi kartoittaa ja testata uudestaan yhdessä laitevalmistajan kanssa uudestaan.

4.6.3 Pesumenetelmien kehittäminen

Suotopuristimen suodatuskankaisiin kertyy ajan kanssa yhä enemmän partikkeleja, jotka eivät poistu suodoskakkujen mukana. Partikkelit jäävät kiinni kankaan kuituihin ja tukki-
vat laitteen lopulta kokonaan. Tämä asia tuli esiin koeajojen jatkuessa, kun

pumppauksen vastapaine nousi liian nopeasti. Koeajon aikana laitteeseen pumpatun lietteen kokonaistilavuus pieneni. Samalla suodoskakkujen kuiva-ainepitoisuus laski ja lopulta kakkua ei pystytty enää valmistamaan lainkaan. Tukkeutumista pyrittiin estämään pesemällä suodatuskankaita suodoskakkujen purkamisen jälkeen. Pesemisestä huolimatta laite tukkeutui lopulta täysin.

Suotopuristimen mukana tuli vain yksi sarja suodatuskankaita ja suodatuskennoja. Kankaita ei siksi voitu tukkeutumisen jälkeen vaihtaa uusiin, vaan ne piti yrittää pestä. Ne yritettiin ensin pestä paikallaan vesiletkulla huuhtomalla, mutta kankaita ei saatu tarpeeksi puhtaksi. Laite päätettiin täyttää sitruunahapolla, jotta kuituihin jääneet kalsiumkarbonaattipartikkelit saataisiin hävitettyä kuiduista. Sitruunahappo reagoi kalkin kanssa ja voidaan tämän jälkeen pestä vedellä pois. Tämäkään ei ollut paras tapa pestä kankaita, vaan ne tukkeutuivat nopeasti uudestaan. Todennäköisesti tukkeutuminen johtui kuitenkin ajoparametrien kartoittamisen aiheuttamasta tuotelaadun vaihtelusta.

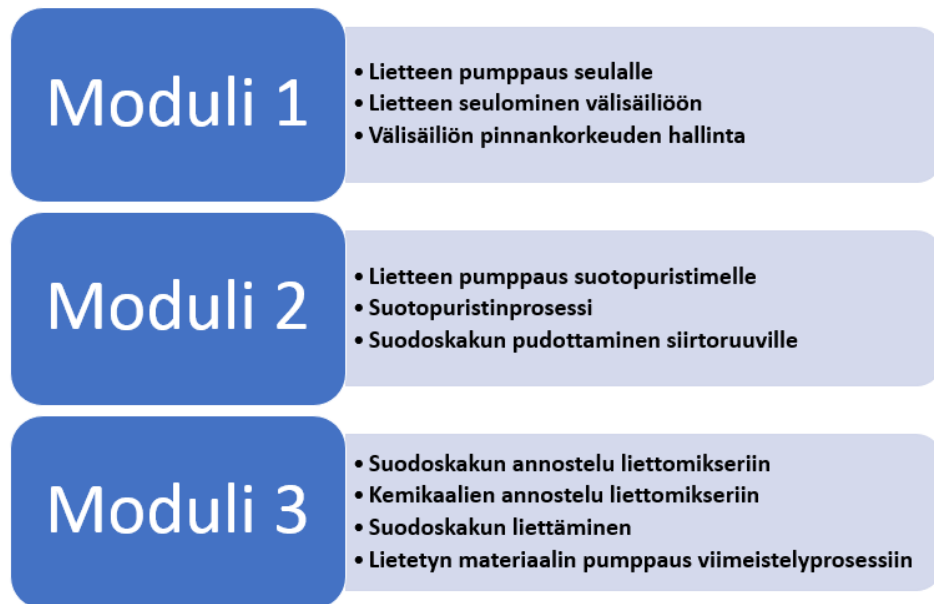
Laitteeseen tilattiin kuitenkin toiset samanlaiset kankaat, jotta ne voitaisiin tarvittaessa vaihtaa tukkeutuneiden tilalle. Lisäksi tilattiin varaosiksi uusia suodatuskennoja. Laitteen ja suodoskankaiden peseminen on otettava jatkossa eri tavalla huomioon. Todennäköisesti paras vaihtoehto on lisävarusteena myytävä automaattinen painepesulaite. Nordkalkin Miedziankan pesuseulontalaitoksen vedenpuhdistamon suotopuristimissa on asennettuna pesulaite. Suodoskankaiden säännöllinen peseminen on tärkeä osa prosessin kunnossapitoa.

4.7 Automatisointi

Automaatiolla tarkoitetaan itsestään tapahtuvaa, prosessiohjattua toimintaa, automaattisointujen koneiden ja laitteiden yhteistoimintaa, joka perustuu mittauksen perusteella tapahtuvaan prosessin säätöön ja ohjaukseen (Kippo & Tikka 2008, 7).

Prosessilinjan dekanterilinko on melko pitkälle automatisoitu ja laitetta voidaan ajaa minimaalisen valvonnan alla. Suotopuristimen toiminta haluttiin myös automatisoida, mutta se haluttiin tehdä vaihe vaiheelta niin, että koko ajan ymmärrettäisiin, miten laitteisto toimii ja miten sitä pitää ajaa. Olennaiset asiat haluttiin automatisoida ilman, että laitteen ohjattavuus kärsii. Automaation oli tarkoitus helpottaa prosessin ajamista, ei rajoittaa sen käyttöä. Manuaalijajoilla kerättiin kokemusta laitteistosta ja haluttiin varmistaa, että automatisoinnissa keskitytään olennaisiin asioihin, löydetään ongelmat ajoissa ja pidetään prosessi ja sen ohjaus yksinkertaisena. Automaatio oli tarkoitus toteuttaa kuviossa 14

esitettyissä moduleissa numerojärjestyksessä. Tämän opinnäytetyön aikana ehdittiin moduliin numero 2. Modulin 3 työvaiheet tehdään edelleen kaikki käsin. Automaatio valvoo lietteen pumppausta seuralle ja sitä kautta säiliöön. Kun säiliö on täynnä, pumppaus pysähtyy. Automaatio seuraa suotopuristinprosessin paineita ja keskeyttää syötön, kun prosessipaineet nousevat liian korkealle.



Kuvio 14. Suunnitelma automaation toteuttamisesta moduleissa.

4.8 Yhteenveto suotopuristimen käyttöönottamisesta

Suotopuristinprosessi rakennettiin ja otettiin käyttöön olosuhteisiin nähden lyhyessä ajassa. Projektilla ei ollut omaa budjettia ja kustannukset hoidettiin suoraan osaston vuosibudjetista. Prosessin rakentamisessa hyödynnettiin paljon laitokselta löytyviä laitteita ja komponentteja, kuten seula, välisäiliö ja liettomikseri. Budjetille sovittiin yläraja ja siihen ei olisi syöttöpumpun, ruuvikuljettimen, työkuksannusten, suotopuristimen jalustan ja tarvikkeiden lisäksi enää mahtunut uusia sekoitussäiliöitä tai uutta liettomikseriä. Aivoriivityöpaja todettiin onnistuneeksi vaihtoehdoksi suotopuristinprosessin toteuttamisen suunnittelussa. Suunnitteluryhmän yhteistyö ja suunnittelun toteutus onnistuivat hyvin. Suurin epävarmuus oli suoduskakun rikkominen, siirtäminen ja liettäminen, koska näistä työvaiheista ei ollut aikaisemmin kokemusta. Laitteiston layout piti sovittaa laitokselle muiden prosessien sekaan, mikä asetti omat haasteensa. Työjärjestys todettiin hyväksi.

Uuden tekniikan käyttöönotossa on hyvä edetä asia kerrallaan. Prosessin toteutuksen onnistumisesta kerättiin kokemuksia haastatteleamalla laitoksen henkilöstöä (s. 56). Yhteenveto ja jatkokehitysideat pohjautuvat näihin haastatteluihin.

Suotopuristinprosessin rakentaminen ja käyttöönotto toteutuivat yllättävän hyvin. Ainoastaan automaation toteuttamista ei viety loppuun asti, vaan prosessin käyttö tapahtuu edelleen pääosin manuaalisesti. Automaatiolla pystytään nyt kontrolloimaan suotopuristimen syöttösäiliön pinnankorkeutta ja suotopuristinprosessin maksimipainetta. Laitte voidaan tietyissä tilanteissa jättää hetkeksi toimimaan itsekseen ilman valvontaa. Laitteiston käyttö on turvallista, mutta vaatii paljon käsityötä.

Perustoiminnot onnistuttiin kuitenkin toteuttamaan ensimmäisellä yrittämällä. Laitteella voidaan valmistaa suodoskakkua halutussa ajassa ja kakun kuiva-ainepitoisuus on halutulla tasolla. Vuositasolla laitteella voidaan tuottaa kokonaisprosessilta riittävä määrä oikean laatuista tuotetta. Suodoskakku rikkoontuu siirtoruuissa ja se on lietettävissä pumpattavaksi lietteeksi liettomikserissä. Liete voidaan pumpata viimeistelyprosessiin. Prosessilla voidaan suorittaa halutut työvaiheet. Veden poistaminen ja suodoskakun liettäminen onnistuvat kuten alun perin oli suunniteltu. Suodoskakun rikkominen ja liettäminen pumpattavaan muotoon olivat suunnitteluvaiheessa suurimmat epävarmuustekijät prosessissa.

Automaation rakentamista haittasi suodoskakun tarttuminen kankaisiin kiinni. Operaattorin piti tehdä suodoskakkujen irrottaminen ja pudottaminen lähes kokonaan käsityönä. Valmistajan laitteeseen sisäänrakentamaa ajosyklien automaattista toistoa ei voitu hyödyntää.

Suodoskakun liettäminen ja lietteen pumppaaminen seuraavaan prosessivaiheeseen oli tarkoitus myös automatisoida. Ajan ja rahan puutteen takia tämäkin työvaihe päätettiin siirtää tulevaisuuteen. Nordkalkin suotopuristinprojektin lopputuloksena saatiin aikaan hyvä kompromissi. Laitteistoa ei pystytä käyttämään täysin automatisoituna, mutta se pystyy suoriutumaan tehtävästään. Käyttö vaatii kuitenkin paljon valvontaa ja käsityötä.

Prosessin rakentaminen ja käyttäminen on kuitenkin opettanut paljon suotopuristintekniikasta ja suodoskakun käsittelystä. Laitteistoa on mahdollista kehittää vielä paljon paremmaksi ja käyttökokemuksen pohjalta on hyvä rakentaa suuremman mittakaavan suotopuristinlaitteisto.

4.8.1 Suotopuristinprosessin jatkokehitys

Andritz-suotopuristin lisävarusteineen saatiin toimimaan yhtenä prosessina, mutta laitteiston täysimittainen hyödyntäminen tuotannossa edellyttää vielä sen kehittämistä paremmaksi.

Prosessin alussa olevan seulan verkko saattaa tukkiutua ajan kanssa, kun laitteella ajetaan pitkään yhtäjaksoisesti. Helppo tapa suojata hienosilmäistä seulaverkkoa tukkiutumiselta on asentaa laitteeseen vielä yksi seulaverkko hieman isommalla silmäkoolla, joka seuloo suuremmat partikkelit pois lietteestä ja helpottaa varsinaisen seulaverkon kuormaa (Pitzen 2017, 19 ja Rissanen 2018).

Prosessin syöttöpumpuksi valittiin letkupumppu. Letkupumpun ongelma on pumppauksen sykliisyys, jota ei saatu vaimennettua sykkeenvaimentimella, koska prosessin vastapaine muuttuu prosessin edetessä. Pumppauksen syke vaikeuttaa prosessipaineen hallintaa automaatiolla. Jos pumppu joudutaan korvaamaan uudella tai hankitaan uusi prosessi, olisi hyvä harkita pumpputyypin vaihtamista esimerkiksi epäkeskoruuvipumppuun.

Suotopuristimen kankaiden pesu käsityönä osoittautui vaikeaksi. Laitteeseen olisi ollut mahdollista tilausvaiheessa ostaa pesulaitteisto, mutta kokonaishinta olisi noussut liian korkeaksi. Jatkossa, jos hankitaan uusia laitteita, kannattaa automaattinen pesulaitteisto ehdottomasti hankkia lisävarusteena. Kankaita on mahdotonta pestä kunnolla vesiletkulla tai painepesurilla. Kankaiden pesu täytyy tehdä määräajoin, jotta prosessi toimii, suodoskakku irtoaa kankaasta ja kankaiden reunoille ei kerry jäämiä suodoskakusta. Korkea prosessipaine, pieni partikkelikoko ja korkea kuiva-ainepitoisuus edesauttavat kankaiden tukkeutumista ja materiaalin tarrautumista kankaan pintaan. Pesu tulee suorittaa tarpeeksi usein, mutta ei liian usein, koska puhdas kangaspinta on liian liukas jolloin kakku irtoaa liian nopeasti ja kankaan pinta saattaa tällöin vaurioitua. Kankaat kannattaa hankkia luotettavalta toimittajalta ja näin varmistaa niiden oikea laatu (Nowak B).

Projektin aikana jouduttiin tutkimaan tuotantoparametrit uudestaan ja tuote on nyt hieman erilainen kuin laitetta tilattaessa. Kankaiden sopivuus käsiteltävälle materiaalille tulisi vielä kerran varmistaa laitevalmistajan testilaitoksella, jotta kankaat olisivat varmasti oikeanlaiset ja suodatusprosessi toimisi optimaalisesti. Tämä vaikuttaa tietysti myös suodoskakun irtoamiseen kankaalta.

Laitevalmistajalla on teknisiä keinoja kakun irrottamiseksi kankaasta. Aluslevyt voidaan vaihtaa membraanilevyihin, joissa on paineilmalla mahdollista työntää kakku irti

kankaasta. Kakun irrottamisessa käytettävää ravistustekniikkaa on myös mahdollista tehostaa käytössä olevassa mallissa.

Suodoskakku pudotetaan suotopuristimelta spiraaliruuvikuljettimelle, joka rikkoo kakun ja siirtää sen liettomikseriin. Kakku on leveämpi kuin ruuvi ja se ottaa pudotetessaan kiinni ruuvikotelon seinämiin. Siirtoruuvi tulisi pestä päivittäin, jotta suodoskakku ei pääse kuivumaan seinämille. Kuivunut suodoskakku tukkiin ruuvin ajan kanssa ja vaikka se irtoaisikin, on se mahdotonta enää liettää. Parempi vaihtoehto olisi hankkia suotopuristimen alle leveämpi, vähintään kahdella spiraaliruuvilla varustettu siirtoruuvi, johon suodoskakku mahtuu putoamaan ottamatta kiinni kotelon seinämiin.

Suodoskakkujen liettäminen onnistuu liettomikserillä, mutta prosessin automatisointi ja puhtaana pitäminen on hankalaa. Suodoskakkua kuivuu kiinni liettomikserin seinämille lisäen liettomikserin omaa massaa. Kuivuneet kokkareet ovat irrotessaan mahdottomia liettää pumpattavaan muotoon. Ne tukkivat putkilinjoja ja häiritsevät materiaalin jatkoprosessointia. Jos nykyinen liettotekniikka jää käyttöön, tulisi liettomikseri varustaa pesupalloilla tai jollakin muulla pesutekniikalla.

Liettomikserin sekoituslavat eivät ylety sekoittamaan pohjasta asti. Sen takia suodoskakun liettäminen edellyttää, että liettomikserin pohjalla on aina jonkin verran valmiiksi liettyä materiaalia. Suodoskakkujen liettäminen vaatii sekoitineliimen hydraulisen nosto- ja laskumekaniikan käyttämistä, jotta sekoittaminen tapahtuu pohjasta ja tarvittaessa myös pinnasta. Tämä on vaikea ottaa huomioon automaatiossa ja siksi suodoskakun liettäminen tapahtuu vielä käsityönä. Kemikaalit pumpataan käsiohjauksella IBC-kontista liettimeen. Automaation yhteydessä olisi hyvä korvata nykyinen pumppu tarkalla annostelupumpulla ja rakentaa putkilinjat kemikaaleille. Kemikaalien annostelussa on otettava huomioon lietettävän materiaalin kuiva-ainepitoisuus, jotta kemikaalimäärä on oikea. Nyt jokaisesta suotopuristinsyklin suodoskakusta mitataan kuiva-ainepitoisuus erikseen, jotta prosessissa tarvittavien kemikaalien määrä saadaan laskettua oikein. Kokonaisprosessia tulisi kehittää niin, että suodoskakun kuiva-ainepitoisuus saataisiin pysymään taiseisena, jolloin laskutoimituksia ei tarvittaisi lainkaan.

Suodoskakun liettämiseen pitäisi harkita täysin erilaista tekniikkaa. Liettomikseri otettiin käyttöön, koska se oli helposti saatavilla. Se toimii, mutta on hankala käyttää ja vaikea automatisoida. Pilot centerillä on kokemusta high shear-tyyppisten sekoittimien ja pumpujen käyttämisestä ja ne olisivat varmasti hyvä ratkaisu suodoskakun liettämiseen.

Suunnitteluvaiheessa asiaa selvitettiin, mutta päätettiin kuitenkin ensin kokeilla olemassa olevaa kalustoa.

4.9 Tuotantolinjan kapasiteetin moninkertaistaminen

Kalkkituotteen tuotantolinjan tämän hetkinen laskettu kapasiteetti on tarkoitus kolminkertaistaa vastaamaan tuotemyynnin kehittymistä.

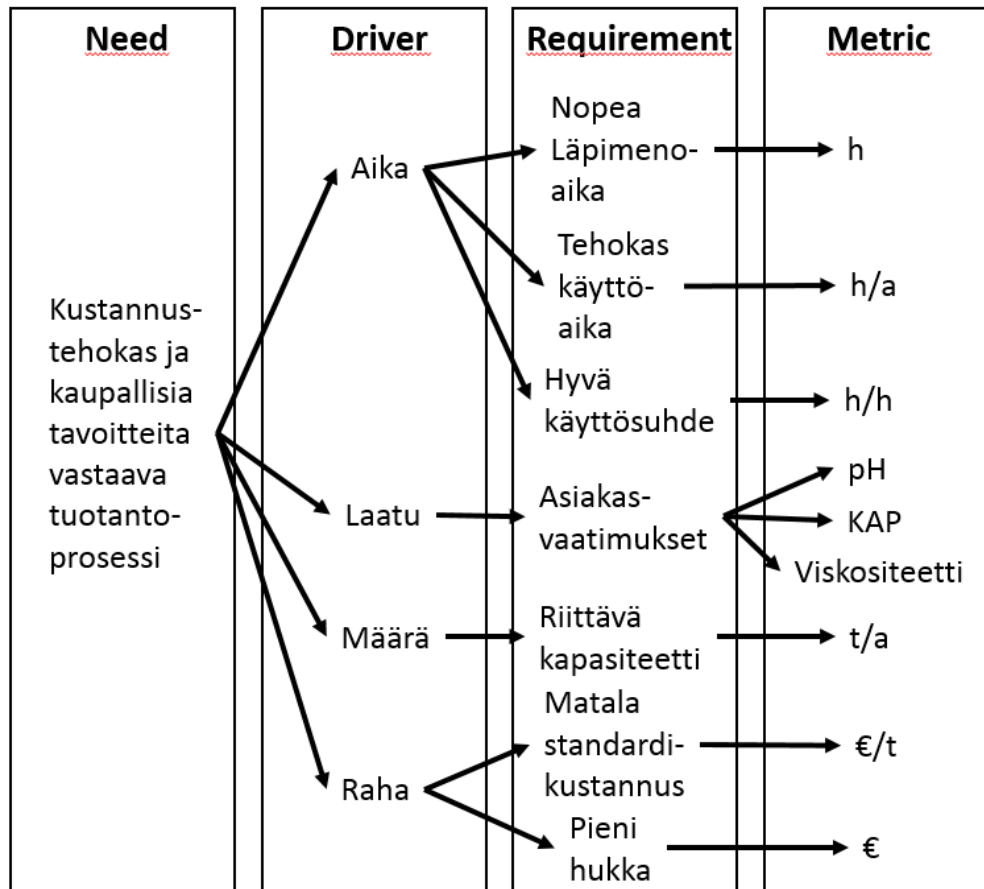
Se tarkoittaa, että kokonaisprosessin jokaisen yksikköprosessin kapasiteetin on oltava sama, jotta kokonaisprosessia hidastavia pullonkauloja ei syntyisi mihinkään prosessivaiheeseen. Kokonaisprosessin läpivirtausaika on pidettävä mahdollisimman lyhyenä ja prosessia hidastavat tekijät on poistettava, jotta kapasiteetin nostamista voidaan suunnitella. Sen vuoksi PDSA-kehää (kuvio 3) päätettiin pyöräyttää vielä toisen kerran tämän työn aikana. Koko kehityskierrosta ei ole kuitenkaan mahdollista käydä läpi, vaan tarkoitus on selvittää kehityskohteet määrittää tavoitteet ja laatia suunnitelma tuotannon kokonaiskapasiteetin nostamiseksi. Suunnitelma voidaan toteuttaa myöhemmin. Vaiheet Do, Study ja Adjust jäävät siis tässä työssä tekemättä.

4.9.1 Kapasiteetin nostoprojektin tarkoitus ja kehityskohteet

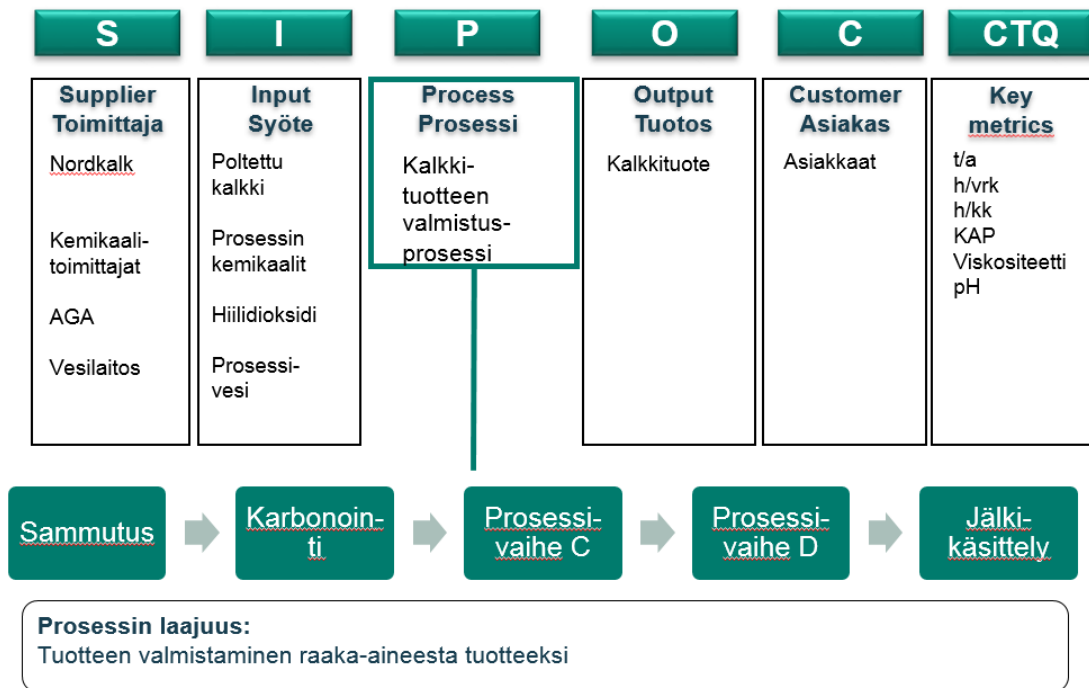
Ensimmäisessä vaiheessa määritetään projektin tarkoitus ja mitä halutaan kehittää. Projektille laadittu vaatimuspuu on esitetty kuviossa 15 ja siitä käy ilmi projektille olennaiset vaatimukset ja vaatimusten mittarit.

Seuraavaksi laaditaan projektille kuviossa 16 näkyvä SIPOC-prosessikartta, joka auttaa kokonaisprosessin hahmottamisessa. SIPOC on korkean tason prosessikartta, josta saa yleiskuvan kokonaisprosessin eri vaiheista sekä prosessin syötteistä ja tuotoksista. Projektin olennaiset lähtötiedot on esitetty Business case-kaavakkeessa kuviossa 17.

Requirement tree



Kuvio 15. Projektin vaatimuspuu.



Kuvio 16. SIPOC-prosessikartta.

Business Case

Ongelman asettelu: <ul style="list-style-type: none"> Tuotannon kapasiteetti liian pieni t/a myynnin kasvaessa Pullonkaulat ja hukka hidastavat tuotantoa Hävitettäviä tuotteita Korjattavia tuotteita 	Projektin tavoite: <ul style="list-style-type: none"> Tuotannon kapasiteetin kolmikertaistaminen Yksittäisprosessien tehokkaampi hyödyntäminen
Strateginen yhteys / KPI mittarit: <ul style="list-style-type: none"> Tuotelaatu Kapasiteetti Käyttöaste, käytösuhde, käytettävyys Kustannus 	Säästöt ja hyödyt: <ul style="list-style-type: none"> Tuotantolaitteiston käytettävyys Lyhyempi läpimenoaika Parempi myyntikate Työn kohdentuminen oikeisiin asioihin Materiaalisäästöt Kustannussäästöt Asiakastyytyväisyys, henkilöstötyytyväisyys

Kuvio 17. Projektin Business case-kaavake.

Kokonaisprosessin ja osaprosessien ongelmat ja pullonkaulat pyrittiin selvittämään henkilökuntaa haastatteleamalla. Haastattelut tehtiin teemahaastattelulla syksyllä 2018. Haastattelut tallennettiin ja litteroitiin. Haastatteluihin oli valittu neljä henkilöä, joilla on rooli tuotannon ajamisessa tai kehittämisessä. ML vastaa tuotantoprosessin kehittämisestä ja tuotteen kaupallistamisesta. JL on Pilot Centerin uusi työnjohtaja ja hänellä on tuore näkökulma tuotannon ongelmiin. IH ja MN vastaavat käytännön töistä tuotannossa ja kehitysprojekteissa.

Haastatteluissa pyrittiin saamaan selville valmistusprosessia hidastavat ja vaikeuttavat tekijät ja toisaalta löytämään keinoja, joilla valmistusprosessin kapasiteetin nostaminen voitaisiin helposti toteuttaa. Samassa haastattelussa käytiin läpi myös tässä opinnäytetyössä käsitellyn suotopuristinprojektin onnistuminen ja kehitystarpeet. Koska haastateltavia oli vain neljä, oli vastausten luokittelu helppo tehdä. Vastaukset olivat hyvin samassa linjassa. Prosessin käyttäjille ongelmat painottuivat päivittäisiin käytännön asioihin ja muilla tulevaisuuden kehitystarpeisiin.

Lean-ajattelun mukaan hukkaa on kaikki se mikä ei tuota asiakkaalle lisäarvoa. Seitsemän hukkaa ovat ylituotanto, varastointi, kuljetus, liike, odotus, virheet ja tuotteen yliprosessointi.

Haastattelujen perusteella prosessin merkittävimmät hukat ja kehityskohteet ovat:

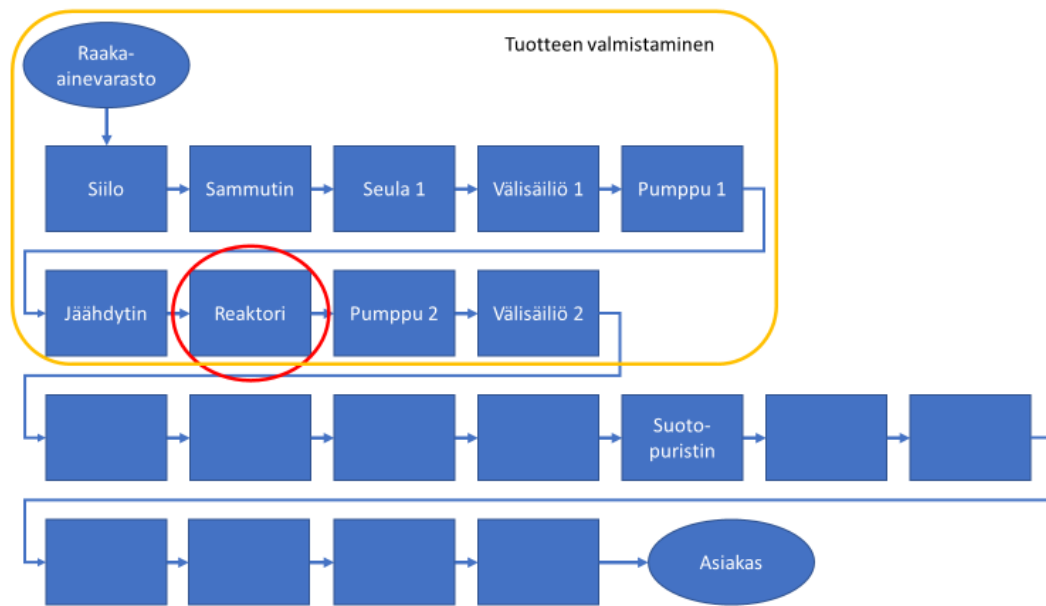
- Raaka-ainetoimitukset ja niiden käsittely suursäkeissä aiheuttaa ylimääräistä työtä. Säkit tarvitsevat varastotilaa prosessihallista.
- Sammutusprosessissa on ylimääräisiä ja turhia käsityövaiheita ja se ei sovellu enää nykyiseen käyttöön. Sitä tulisi kehittää tai se tulisi rakentaa kokonaan uudestaan.
- Lopputuotteen laatuongelmat: tuotteen pH ja viskositeetti nousee ja tuotteita joudutaan korjaamaan jälkikäteen.
- Suotopuristimen suodoskakun pudottaminen laitteesta vaatii operaattorin käsityötä. Tämä on ylimääräistä työtä.
- Suotopuristimen automaatio on kesken ja se aiheuttaa ylimääräistä työtä ja liikettä.

- Viimeistelyprosessin epäluotettavuus aiheuttaa kokonaisprosessin pysähdyksiä ja ylimääräistä työtä. Laite rikkoontuu helposti ja aiheuttaa kokonaisprosessin loppuun pullonkaulan.
- Vanhat tilat haittaavat tuotantoprosessille optimaalisen layoutin kehittämistä. Huono layout aiheuttaa ylimääräistä liikettä ja kuljettamista.

4.9.2 Prosessin analysoiminen

Tausta-aineistossa on selvitetty osaprosessien laskennalliset kapasiteetit yhdessä ja kahdessa työvuorossa. Laskennallisesti kapasiteettia voidaan nostaa tavoitteesen työvuoroja lisäämällä. Vedenpoistamiseen käytettävä suotopuristinprosessi on helposti skaalattavissa ja monistettavissa. Tuotteen jälkiprosessointiin käytettävä laite voidaan tarvittaessa monistaa. Aineistosta voidaan huomata, että eri osaprocessit ovat tasapainossa.

Kuviossa 18 on esitetty kokonaisprosessi prosessikaaviossa. Tuotteen valmistus on erotettu kokonaisprosessista keltaisella viivalla. Kaaviosta voidaan huomata, että sammutettu kalkki pumpataan jatkuvatoimisesta sammutusprosessista seulan ja välisäiliön ja jäädyttimen kautta karbonointireaktoriin. Tämä tarkoittaa, että sammutusta ja karbonointia ei voida tehdä yhtä aikaa. Tähän asti prosesseja on ajettu vuoropäivinä ja asia ei ole ollut ongelma. Toinen karbonointireaktori mahdollistaisi sammutusprosessin ajamisen jatkuvana ajona työajan puitteissa vuorotellen kahteen eri karbonointireaktoriin. Toista reaktoria täytettäisiin samalla, kun toisessa karbonoidaan. Kummankin yksikköprosessin kapasiteetti voitaisiin näin kaksinkertaistaa. Kaavaa 7 käyttämällä voidaan prosessille laskea kuukausitason käyttöaste, kun ajatellaan kuukaudessa oleva 20 työpäivää. Nykyisen sammutus- ja karbonointiprosessien teoreettiseksi käyttöasteeksi saadaan arvo 0,5. Siirtymällä kahteen työvuoroon tai hankkimalla toinen karbonointireaktori voidaan laskea kummankin prosessin teoreettiseksi käyttöasteeksi arvo 1.



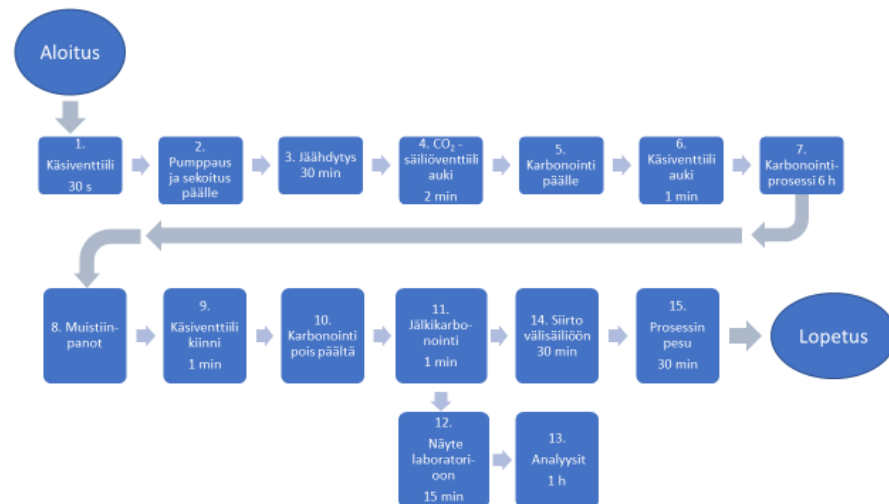
Kuvio 18. Kokonaisprosessin prosessikaavio.

Henkilöstön haastattelussa tuli ilmi ylimääräinen työ poltetun kalkin käsittelemisessä ja sammutusreaktorin tyhjentämisessä ja pesemisessä. Prosessikaaviosta kuviossa 19 voidaan päätellä, paljonko aikaa ylimääräinen työ vie. Prosessin alussa on ylimääräistä työtä 27 minuuttia trukin hakemisesta tyhjän kalkkisäkin ja kuormalavan pois viemiseen. Itse sammutusprosessi laboratoriomittausten kanssa vie aikaa 6 tuntia 30 minuuttia. Prosessin lopussa kuluu aikaa 55 minuuttia reaktorin tyhjentämiseen. Ylimääräiset työvaiheet pidentävät prosessiaikaa 1 tunnin ja 22 minuuttia eli kokonaisaika on 7 tuntia 55 minuuttia. Prosessia voidaan myös nopeuttaa syöttämällä enemmän kalkkia ja vettä, jolloin ylivirtaus nopeutuu. Riskinä tosin on liian kiivas sammumisreaktio, jolloin liete voi kiehua yli reaktorin reunojen.



Kuvio 19. Sammutusprosessin työvaiheet.

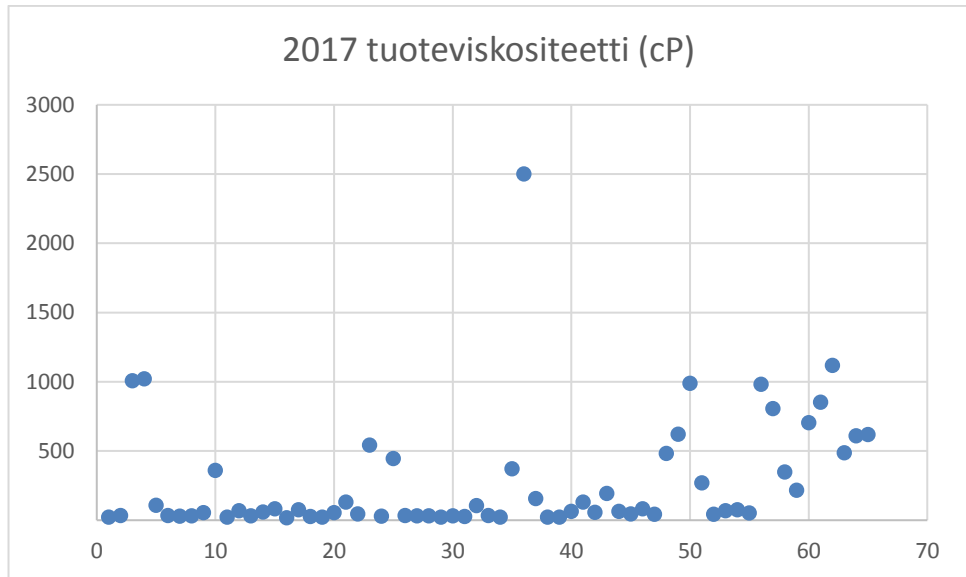
Kuviossa 20 on esitettyä karbonointiprosessin prosessikaavio prosessinhoitajan työvaiheina. Karbonointiprosessissa on havaittavissa ylimääräisiä työvaiheita, jotka olisi automatisoitavissa. Erityisesti aikaa vie näytteen analysoiminen kehityskeskuksen laboratoriossa. Prosessissa on paljon käsiventtiilejä, jotka voivat unohtua asettaa oikein. Itse prosessia ei voida nykyisellä laitteistolla nopeuttaa. Teoriassa prosessi olisi mahdollista tehdä huomattavasti nopeammin, mutta nyt käytössä oleva hiilidioksidihöyrystin ei pysty höyryttämään tarpeeksi kaasua, jotta prosessia voitaisiin ajaa kovemalla CO₂-syötöllä.



Kuvio 20. Karbonointiprosessin työvaiheet.

Tuotteen pH- ja viskositeettiarvot ovat joidenkin tuote-erien kanssa olleet ongelma. Molemmat arvot ovat joillakin erillä nousseet yli tuotespesifikaatioiden. Yleensä ongelma voidaan korjata syöttämällä ja sekoittamalla lopputuotteeseen jälikäteen hiilidioksidikaasua. Tuotteen pH-arvon nousu tarkoittaa yleensä myös tuotteen viskoottisten ominaisuuksien muuttumista ja viskositeettiarvon nousua.

Kuviossa 21 on esitettyä asiakkaalle toimitettujen tuotteiden viskositeettiarvot vuodelta 2017. Arvot on kerätty laboratorion tietojärjestelmästä ja siinä eivät näy ne tuotteet, jotka on jouduttu hävittämään. Tietojärjestelmästä ei myöskään löydy tietoa siitä, monenko tuote-erän pH-arvoa on jouduttu säätämään. Vuonna 2017 asiakkaalle on toimitettu 65 tuote-erää ja niistä on ollut viallisia vielä pH-säädön jälkeenkin 15 kpl. Tuotespesifikaation mukaan viskositeetin tulisi olla alle 500 cP.



Kuvio 21. Viskositeettiarvot vuoden 2017 tuotteille.

Viskositeettiarvojen vaihtelun syyn selvittämiseksi tehtiin juurisyyanalyysi 5 x miksi kysymyksiin. Jokaiseen kysymykseen etsittiin vastaus aivoriihityöpajassa.

Määritetään juurisyy tuotteen viskositeettiarvon nousulle:

Tuote-erän viskositeetti on viimeistelyprosessissa noussut

Miksi?

Tuotteen pH-arvo on noussut

Miksi?

Tuotteessa on vielä kalsiumhydroksidia jäljellä ja se liukenee tuotteeseen.

Miksi?

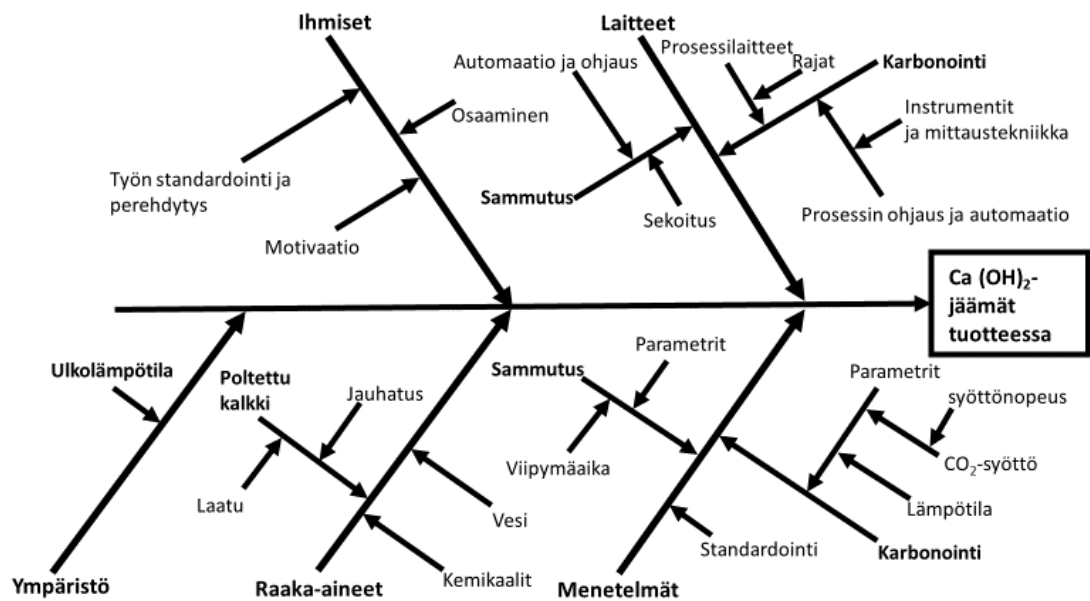
Kaikki kalsiumhydroksidi ei ole reagoanut hiilidioksidin kanssa karbonointiprosessissa.

Miksi?

Kalsiumkarbonaattia muodostuu kalsiumhydroksidipartikkelien pinnalle.

Kalsiumhydroksidia vapautuu tuotteeseen ja se nostaa tuotteen pH-arvoa.

Kuviossa 22 on esitetty syy-seurausdiagrammi, josta voidaan tunnistaa ongelmaan liittyvät juurisyyt. Syy-seuraus-analysissä seurataan eri riippuvuuksia, jotka aiheuttavat vaihtelua prosessissa.



Kuvio 22. Syy-seurausdiagrammi hydroksidipartikkelien hävittämiseksi tuotteesta.

Prosessia voitaisiin ajaa paremmin ja tarkemmin. Se vaatisi automaatiojärjestelmän ja mittausräätälöintiä. Prosessia ajetaan pH-arvoa seuraamalla. Prosessin etenemistä voitaisiin seurata myös mittaamalla tuotteen johtokykyä. Johtokykymittaus on tarkempi menetelmä ja mittausräätälöinti kestävät paremmin käyttöä ja vaativat vähemmän huoltoa, kuin pH-anturit. Reaktorin sekoitinmoottori pyörii vakionopeudella. Lisäämällä sekoitustehoa, voitaisiin reaktio saada toimimaan tehokkaammin. Kaasunsyöttöä voitaisiin parantaa ja kaasun kuplakokoa pienentää.

Valmistusmenetelmää voitaisiin kehittää hakemalla optimaalisia valmistusparametrejä tuotteelle, kuten on jo aloitettu. Todennäköisesti tämä vaatisi myös aiemmin mainittuja teknisiä parannuksia. Prosessin optimointi nostaisi myös henkilöstön motivaatiota tehdä asioita entistä paremmin.

Kalkin laadun merkitystä tuotelaadulle on aina mietitty, kun prosessissa on ollut ongelmia. Käytössä olleet kalkkilaadut ovat kaikki olleet muille asiakkaille räätälöityjä. Kalkin jauhamista ennen sammutusta tulisi kokeilla. Saattaa olla, että hydroksidipartikkelien kokoa saataisiin merkittävästi pienennettyä ja sitä kautta kalsiumkarbonaattipartikkelien sisälle jääneiden kalsiumhydroksidipartikkelien koko ja merkitys pienenisivät. Saattaa olla, että ne karbonatoituisivat täysin prosessin aikana. Tämä tulisi kokeilla pilot-ajossa.

4.9.3 Prosessin kehityssuunnitelma

Kalkkituotteen tuotantoprosessi on rakennettu useassa eri vaiheessa. Historiansa aikana sitä on muuteltu tarpeen mukaan. Jotain on jätetty pois ja jotain on tullut lisää. Viimeisin iso muutos on vuodelta 2014, jolloin nykyinen tuotantoprosessi otettiin käyttöön. Vanhasta alkuperäisestä prosessista on jäljellä enää poltetun kalkin sammutukseen käytettävä sammutuslaitteisto. Tuotetta ja sen valmistamiseen käytettävää prosessia on kehitetty ja muuteltu sen mukaan, mitä tuotteen asiakasvaatimukset ovat osoittaneet. Siitä syystä valmistusprosessista on paljon jäänteitä vanhasta prosessista, joka on ollut tarkoitettu ennemminkin satunnaiseen pilotointikäyttöön, kuin jatkuvaan tuotantoon. Erityisesti raaka-aineiden logistiikka ja poltetun kalkin sammutusprosessi eivät vastaa edes tämän hetken vaatimuksia. Lisäksi tuotteen valmistusprosessiin liittyy paljon turhia työvaiheita, koska primääripartikkelin valmistuksen kaikkia parametrejä ei osata täysin hallita. Prosessin kehityksessä on huomattu, miten herkkä tuote on kyseessä ja miten helposti tuotelaatu vaihtelee, vaikka prosessia pyrittäisiin ajamaan ja hallitsemaan oikeaksi havaituilla tavoilla. Poltetun kalkin laadun vaihteluista on myös haettu syytä tuotteen laatuvaihteluihin, mutta aivan selkeää vastausta ei ole löydetty.

Tuotantoprosessi on rakennettu olemassa oleviin tiloihin, jotka ovat olleet alkuperäisesti aivan erilaisessa käytössä. Tämä on aiheuttanut sen, että prosessin layout on jouduttu sopeuttamaan tiloihin, jotka eivät ole aivan ihanteelliset juuri tälle prosessille. Erilliset prosessit käytiin yksittäin läpi, jotta löydettäisiin niiden pullonkaulat ja tuotantoa vaikeuttavat ongelmat. Suunnitelman avulla voidaan saavuttaa kokonaisprosessin kapasiteettitavoitteet. Suunnitelma on tämän opinnäytetyön tausta-aineistoa, joka sisältää yrityksen luottamuksellista tietoa.

5 POHDINTA

PDSA-kehää hyödyntämällä voidaan prosessin kehitystyössä edetä järjestelmällisesti ja tehokkaasti. Suotopuristimen asennuksessa edettiin vaihe kerrallaan ja suunnittelutyö aloitettiin ennen laitteen toimitusta. Suunnittelu, toteutus ja käyttöönotto onnistuivat hyvin, koska koko henkilöstö otettiin mukaan kaikkiin työvaiheisiin. Oikea laitteiston layout ja kokoonpano löydettiin yhteistyöllä kaikkien ideoita kuuntelemalla. Työntekijät sitoutuivat projektiin, koska he saivat vaikuttaa työhönsä. Uuden prosessin omaksuminen tapahtui nopeasti, koska suunnittelu, toteutus ja käyttöönotto tehtiin yhdessä.

Suotopuristustekniikka soveltuu kalkkituotteen tuotannon vedenpoistoon erinomaisesti. Prosessi on mahdollista ajaa täysin automatisoituna laitteen omalta käyttöpaneelilta. Ongelmana on prosessin kytkeminen valmistuslinjan automaatiojärjestelmään. Suodoskakun liettäminen ja siirtäminen seuraavaan tuotantovaiheeseen on vaikeaa, koska suotopuristin toimii eräajoperiaatteella. Automaation kehittämistä vaikeuttaa myös suodoskakun tarttumisen suodoskankaisiin kiinni. Operaattorin täytyy välillä irrottaa kakut käsin. Suodoskakkujen liettäminen juoksevaksi tehdään edelleen käsiohjauksella. Käytössä olevan liettomikserin ohjaus on vaikea automatisoida. Automaatio voidaan toteuttaa, kunhan suodoskakun pudottamisen ongelmat on ratkaistu ja liettomenetelmää parannettu.

Järjestelmällisellä työllä ja oikeilla työkaluilla selvitettiin prosessin ongelmat ja juurisyyt. Koko henkilökunta haastateltiin, jotta tuotantolinjan hukat ja ongelmat saataisiin selvitettyä. Tuotantoprosessin tuotantokapasiteetti voidaan kolminkertaistaa prosessia kehittämällä ja hukkaa vähentämällä. Merkittävimmät kehityskohteet ovat:

- Kalkkiraaka-aineen toimitukset, varastointi ja käyttö.
- Sammutuslaitteiston kivenpoisto ja tyhjennys.
- Karbonointiprosessin ohjaus, hiilidioksidikaasun syöttäminen ja jäähdytyslaitteisto.

Prosessiin tarvitaan toinen karbonointireaktori, jotta prosessia voidaan ajaa joka päivä.

Prosessin yksi ongelma on sen pitkä historia. Toiminta on aikanaan aloitettu paljon pienemmässä mittakaavassa ja prosessia on rakennettu niin, että trukkia voidaan käyttää

paljon apuna. Raaka-aineet toimitetaan lavojen päälle suursäkkeihin pakattuna. Tuotteet valmistetaan IBC-kontteihin, joita voidaan siirrellä trukilla jälkikäsitteilyyn (pH- ja KAP-säädöt) ja varastoon. Suursäkkien ja IBC-konttien siirtelyyn menee aikaa ja usein trukki on varattu muihin tehtäviin, mikä hidastaa prosessia. Tuotannon jatkokehitys tulee perustua siihen, että trukki ei ole käytettävissä lainkaan. Tämä pakottaa etsimään juurisyyt ja korjaamaan ongelmat siinä kohdassa prosessia, missä ne syntyvät. Tuotantoprosessi on nähtävä yhtenä kokonaisuutena yksittäisten prosessien sijaan.

Kehityssuunnitelman toteutuksella voidaan parantaa tuotteiden laatua, poistaa pullonkauloja, vähentää hukkaa ja nopeuttaa prosessin läpimenoaika. Henkilöstölle jää enemmän aikaa tärkeämmille työtehtäville. Suunnitelman totuttaminen mahdollistaa tuotannon kapasiteetin kolmikertaistamisen ja kehittämisen vielä siitä eteenpäin.

LÄHTEET

Kirjallisuuslähteet

Atkings P.; Overton T.; Rourke J.; Weller M.; Armstrong F. 2006. Shriver & Atkins Inorganic Chemistry. 4. Edition. Oxford, Oxford University Press

Crosby P.;1986. Laatu on ilmaista. 1. painos. Helsinki. Laatuteema Oy. 316 sivua.

Deming W.; 1982. Out of the crises. 1. MIT Press edition 2000. London. The MIT Press. 507 sivua.

Haverila M.; Uusirauva E.; Kouri I.; Miettinen A.; 2009. Teollisuustalous. Tampere. 6. painos. Infacs Oy. 499 sivua.

Hellsmark H.; Frisammar J.; Söderholm P.; Ylinenpää H. 2016. The Role of pilot and demonstration plants in technology development and innovation policy. Elsevier B.V.

Hokkanen S.; Strömberg O.; 2003. Ihmisten Johtaminen. Jyväskylä. Sho Business Development Oy. 354 sivua.

Huhtala P.; Pulkkinen A.; 2009. Tuotettavuuden kehittäminen. Parempi tuotteisto useasta eri näkökulmasta. Tampere, Teknologiateollisuus Ry. 431 sivua.

Juuti K.; 2015. Tuotannon tehokkuuden mittaus ja kehittäminen. 1. Painos. Control Express Finland Oy. 68 sivua.

Karjalainen T.; Karjalainen E.E.; 2002. Six Sigma. Uuden sukupolven johtamis- ja laatumenetelmä.1. painos. Quality Know How Karjalainen Oy. 188 sivua.

Kippo A.; Tikka A.; 2008. Automaatiotekniikan perusteet. Helsinki. Edita Prima Oy. 150 sivua.

Kouri I.; 2009. Lean taskukirja; 2010. Teknologiateollisuus Ry. Helsinki. Kopio-Niini. 39 sivua.

Lecklin O; 1997. Laatu yrityksen menestystekijänä. Jyväskylä. Gummerus kirjapaino Oy

Modig N.; Åhlström P. 2016. Tätä on Lean, ratkaisu tehokkuusparadoksiin. 6. painos. Tukholma. Rheologica publishing. 167 sivua.

Mäkelin M.; Vepsäläinen A. 1995. Kilpailu kyvykkyydellä. Teknologia-, tuotanto- ja markkinointistrategiat. 2. uudistettu painos. Espoo. HMW Research Oy. 374 sivua.

Nordkalk Lean Six Sigma Yellow belt training. Kurssimateriaali. Nordic Process Improvement. 2019.

Peltonen A.; 1997. Tuottava tehdas. Helsinki, Opetushallitus Modig N.; Åhlström P. 2016. Tätä on Lean, ratkaisu tehokkuusparadoksiin. 6. painos. Tukholma. Rheologica publishing. 167 sivua.

Records, A.; Sutherland, K. 2005. Decanter Centrifuge Handbook. 1. Edition. Oxford, UK. Elsevier Advanced Technology. 421 sivua.

Senge P.M.; 2006. The Fifth Discipline. The Art & Practice of a Learning Organisation. New York. Doubleday. 445 sivua.

Tuominen K. 2010. Lean, Tehoa ja laatua hukkan vähentämiseen. 1. painos. A Bonnier Group Company. 161 sivua.

Tuominen K. 2010. Lean käytännössä, Yritysesimerkkejä tehokkaista Lean-periaatteista ja -käytännöistä. 1. painos. A Bonnier Group Company. 303 sivua.

Verkkolähteet

About lime. The Building Limes Forum. 2019. [Internet-sivut]. Viitattu 23.4.2019. Saatavilla: <https://www.buildinglimesforum.org.uk/about-lime/>

Flottweg. 2019. [Internet-sivut]. Viitattu 2.6.2019. Saatavilla: <https://www.flottweg.com/product-lines/decanter/>

Khron R. A.; Filter Presses: The Basics and Some Tips. Linked In. 2019. [Internet-sivut]. Viitattu 17.4.2019. Saatavilla <https://www.linkedin.com/pulse/how-filter-presses-actually-works-robert-andersson-krohn>

Kuusisto J.; Jatkuva parantaminen. Lean5-sanomat 11.4.2017. [Internet-sivut]. Viitattu 28.4.2019. Saatavilla: <https://www.lean5.fi/jatkuva-parantaminen/>

Littlen laki. 2019. Lean Six Sigmaa vuodesta 1999. Quality know how Karjalainen Oy. [Internet-sivut]. Viitattu 2.5.2019. Saatavilla: <http://www.sixsigma.fi/fi/lean/littlen-laki/>

Moen R.; Foundation and history of the PDSA Cycle. 2009. [Verkkodokumentti]. Viitattu 2.6.2019. Saatavilla: https://deming.org/uploads/paper/PDSA_History_Ron_Moen.pdf

M.W. Watermark - 1500 mm Lime Dewatering Filter Press. Viitattu 5.5. 2019. [Youtube video]. <https://www.youtube.com/watch?v=cl8yrXv1Vl4>

Pihkala J. 2019. Pyöreä täryseula. Yksikköprosessit. Opiskelumateriaali verkossa. Viitattu 12.5.2019. Saatavilla: <http://prosessiteknikka.kpedu.fi/index-kg.htm>

Pitzen V. 2017. LX-60 täryseulan käyttöönotto. Opinnäytetyö SAMK 2017. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201705239611>

Potentiaalikartta. 2019. Geologian tutkimuskeskus. Viitattu 2.6.2019. [Internet-sivut]. Saatavilla: <http://www.gtk.fi/geologia/luonnonvarat/teollisuusmineraalit/>

Työn tuottavuus. Tilastokeskus. 2019. [internet-sivut]. Viitattu 17.4.2019. Saatavilla: https://www.stat.fi/meta/kas/tyon_tuot.html

Täryseula. Kapotek Oy tuotteet. 2019. [Internet-sivut]. Viitattu 17.4.2019. Saatavilla: <https://www.kapotek.com/tuotteet/taryseulat#more-info>

Vedenpoisto. Kaivannaisportaali Kaiva.fi. 2019. [Internet-sivut]. Viitattu 17.4.2019 Saatavilla: <https://kaiva.fi/koulutus-ja-tyo/tyoelama-ja-ammatit/tuotantoprosessit/>

What is kaizen? Lean production, lean made easy by Vorne. 2019. [Internetsivut]. Viitattu 25.4.2019. Saatavilla: <https://www.leanproduction.com/kaizen.html>

Yrityskohtaiset lähteet

Kalsiumkarbonaattituotteen tuotannon muistiinpanot, Nordkalk Oy Ab

Nordkalk yritysesitys 2018, Powerpoint-esitys, Nordkalk Oy Ab

Projektitiimin memot ja muistiinpanot, Nordkalk Oy Ab

Keskustelut

Nowak B.; logistiikkapäällikkö, Nordkalk Puola; Keskustelut 12.11.2018

Rissanen N.; Työnjohtaja Fjädergroup Oy; Keskustelu 20.9.2018