

Aaro Kivistö

MATALAN LÄMPÖTILAN SUPRAJOHDINTEN
VALMISTUSPROSESSIN SEURATTAVUUDEN KEHITTÄMINEN

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
2018

Matalan lämpötilan suprajohdinten valmistusprosessin seurattavuuden kehittäminen

Kivistö, Aaro
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Toukokuu 2018
Ohjaaja: Nolvi Leena
Sivumäärä: 43
Liitteitä: 8 (ei julkaista)

Asiasanat: seurattavuus, tuottavuus, saanto, suprajohtavuus

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää kohdeyrityksen prosessissa syntyvien poistojen kohdat ja suuruudet. Kohdeyrityksessä ei ollut tarkkaa tietoa poistojen syntykohdista ja määristä, joten kartoituksella oli suuri tarve. Prosessissa käytettyjen komponenttien painot olivat oletettuja, joten materiaalmääriä arvioitaessa syntyi suuria poikkeamia.

Materiaalin seurattavuutta pyrittiin lisäämään ja opinnäytetyön aikana kehitettiin uusi työvaihe, jonka avulla kerätään dataa prosessissa kulkevan materiaalin määrästä. Työvaihetta varten luotiin yksityiskohtaiset työohjeet ja työvaihe implementointiin prosessiin.

Kerätyn datan analysoimista varten luotiin Excel-pohjaisia taulukoita, joilla tieto saatiin vertailukelpoiseen muotoon. Olemassa olevaa mittaustietokantaa kehitettiin, jotta tulevaisuudessa olisi käytettävissä enemmän parempaa dataa, jota pystytään analysoimaan tarvittaessa.

Low-temperature superconductors manufacturing processes tracking development

Kivistö, Aaro

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

May 2018

Supervisor: Nolvi, Leena

Number of pages: 43

Appendices: 8 (not be published)

Keywords: tracking, productivity, yield, superconductivity

The purpose of this thesis was to map target companies processes material removal points and quantities. The target company did not have specific information about removals points and quantities so mapping was needed. The components weights were conjectural in the process so large deviation was encountered when material quantities were evaluated.

Materials tracking was intended to increase and new working phase was developed during the thesis to collect data of passing material in the working phase. Detailed working instructions was created for the working phase which was implemented to the process.

Excel based tables were created for the analysis of the data to get data into comparable form. Existing measurement database was developed to get more better data in the future which could be analysed if needed.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	LUVATA.....	7
2.1	Luvata Special Products.....	7
2.2	Luvata Pori.....	7
3	SUPRAJOHTAVUUS.....	8
3.1	Suprajohteet	8
3.2	Rakenne.....	9
3.3	Valmistus	10
3.4	Sovellutuskohteita.....	12
3.4.1	Suprajohtavat magneetit.....	12
3.4.2	Suurenergiafysiikka	13
3.4.3	Levitaatiojunat	14
4	LEAN JA LPS	15
4.1	Lean.....	15
4.1.1	Lean-toiminnan kehittäminen	15
4.1.2	Lean hukat.....	16
4.1.3	Jatkuva parantaminen.....	17
4.1.4	Työn vakiinnuttaminen	18
4.1.5	5S-työkalu	18
4.2	Luvata Production System (LPS).....	19
4.3	Overall Equipment Effectiveness	20
5	TUOTTAVUUS	23
5.1	Prosessin lisäarvo.....	23
5.2	Pääprosessit.....	25
5.3	Suorituskyvyn kehittäminen	26
5.4	Saanto.....	27
5.5	SPC	28
6	TYÖN SUORITUS	30
6.1	Materiaalikirjanpito.....	30
6.2	Monosaanto.....	31
6.2.1	Monopuikkojen punnitus	31
6.2.2	Datan siirtäminen mittaustietokantaan.....	33
6.2.3	Monopuikkojen punnituksen käyttöliittymä.....	33
6.2.4	Saantotaulukko.....	34
6.3	Alfamittauksen saanto.....	34
6.3.1	Alfamittauksen datan modifiointi	34

6.3.2 Saannon analysointi	35
6.4 Prosessikaaviot poistoista	36
6.4.1 Monovaihe	37
6.4.2 Multivaihe	38
7 EHDOTUKSIA TILAAJA YRITYKSELLE.....	40
7.1 Materiaalikirjaukset	40
7.2 Monosaanto.....	40
7.3 Alfamittauksen saanto.....	40
7.4 Poistojen kartoitus.....	41
LÄHTEET.....	42
LIITTEET	

1 JOHDANTO

2000-luvulla teollisuudessa tuotantoa on pyritty parantamaan globaaleilla tiukentuvilla markkinoilla. Maailmansotien jälkeisen nopean kasvun hidastuttua Suomi painui lamaan, josta toipuminen ei onnistunut enää pelkästään volyymeja kasvattamalla. Yritykset ovat alkaneet keskittyä jo olemassa olevien resurssien käytön tehostamiseen, jonka seurauksena suurten irtisanomisten jälkeen työntekijöitä ei ole palkattu takaisin tuotannon tason palauttamiseksi. Tuotannon tasoa pyritään nostamaan esimerkiksi tehostamalla materiaalin käyttöä ja käyttämään kaikki koneissa ja työntekijöissä piilevä kapasiteetti hyödyksi.

Lean-ajattelu on nykypäivän käytetyimpiä johtamisfilosofioita, jolla pyritään sulavaan tuotannon virtaukseen ja toiminnan täydellisyyteen. Prosesseista pyritään jättämään kaikki ylimääräinen pois ja keskitytään tuottamaan asiakkaalle lisäarvoa tuotteen omi-

naisuuksia parantamalla. Erilaisia prosessinseuraamistyökaluja hyödyntämällä prosesseja voidaan kehittää tuottavampaan suuntaan ja vapauttaa täysi tuottavuushyöty käytettäväksi.

Suorituskykyisen prosessin merkitys korostuu erityisesti kalliita raaka-aineita käytettäessä, kuten suprajohtimien valmistusprosessissa. Prosessin tilasta on pysyttävä jatkuvasti ajan tasalla ja kehityskohteita on etsittävä prosessin parantamiseksi. Prosessin kehittämiseksi on asetettava tavoitteita ja niiden täyttymistä on seurattava. Tässä opinnäytetyössä kehitettiin työkaluja prosessin saannon seuraamiseen, joka kuvastaa prosessin läpäisevän materiaalin hyödyntämisen tehokkuutta. Prosessissa syntyvien materiaali-poistojen kohdat selvitettiin hukan minimoimiseksi ja tulevaisuuden kehityskohteiden löytämiseksi.

2 LUVATA

2.1 Luvata Special Products

Luvata Special Products tarjoaa monipuolisen ja hyvin erikoistuneen valikoiman metallituotteita. Luvata pyrkii keskittymään korkean kasvun alueille ja markkinoille ympäri maailman tuomalla oman ammattitaitonsa ja omistautumisensa yritysten avuksi. Luvata keskittyy niche- ja erityismarkkinoille, missä korkealaatuiset tuotteet ja Luvatan ensiluokkainen tekninen tuki antavat merkittävää arvoa. Luvata kehittää uusia ratkaisuja yhteistyössä asiakkaidensa kanssa voittaakseen haasteet koskien autoteollisuutta, tiedettä, sähköä, virran tuotantoa ja jakelua, uusiutuvaa energiaa, terveydenhuoltoa, metalleja ja kaivosteollisuutta. (Luvatan www-sivut 2018.) Luvata Special Products on jaettu viiteen bisnesyksikköön. Formed Products valmistaa autoteollisuudelle hitsauselektrodeja. Superconductors valmistaa suprajohtimia maailman johtavana toimittajana Magnetic Resonance Imagin (MRI)-markkinoille. Special Products Appleton tuottaa seoskuparijohtimia vaativiin sovelluksiin, esimerkiksi alkaliparistoihin. Special Products Pori on erikoistunut korkealaatuisiin tuotteisiin metalli- ja sähköteollisuudessa. Electric Power Asia on johtava toimittaja virtakiskoissa, anodeissa ja fotosähköisissä nauhoissa. (Luvata 2018.)

2.2 Luvata Pori

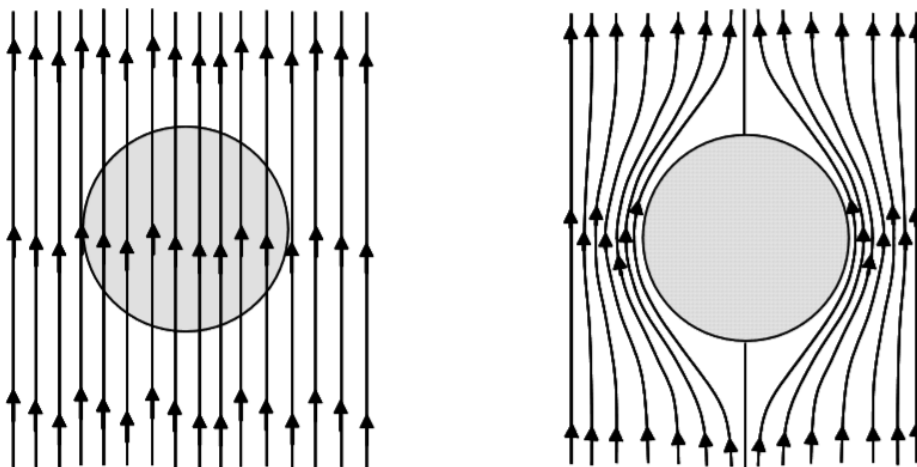
Luvata Pori Oy sijaitsee Suomen länsirannikolla Porin Kupariteollisuuspuistossa. Tehdasalueen pinta-ala on noin 100 hehtaaria, josta rakennettua 17 hehtaaria. Kuparipuistossa toimii useita kansainvälisiä yrityksiä ja tehdasalueella työskentelee noin 1400 työntekijää. (Luvata 2017.) Luvata on yksi suurimmista teollisuuden työllistäjistä Porin alueella työllistäen noin 350 ihmistä. Yli 90% Luvatan tuotannosta menee vientiin. Luvata valmistaa 40 000 tonnia kuparituotteita vuosittain monille eri teollisuuden aloille. Luvata Pori Oy aloitti toimintansa 1939. (Luvatan www-sivut 2018.)

3 SUPRAJOHTAVUUS

Heike Kamerlingh Onnes löysi suprajohtavuuden vuonna 1911 tutkiessaan puhtaiden metallien resistanssin käyttäytymistä matalissa lämpötiloissa. Kolmen kelvinin lämpötilassa Onnes huomasi elohopean resistanssin pudonneen käytännössä nolnaan. Onnes jatkoi elohopean tutkimista ja löysi kriittisen lämpötilan, T_c , 4,2 K, jossa elohopean resistanssi kasvoi dramaattisesti lämpötilan noustessa. Ilmiö oli uusi ja odottamaton ja Onnes kutsui sitä suprajohtavuudeksi. Vuonna 1912 lyijyn ja tinan suprajohtavuus löytyi 7 K ja 3,8 K lämpötiloissa. Onnesille myönnettiin fysiikan Nobel palkinto näistä matalan lämpötilan tutkimuksista vuonna 1913. (100 Years of superconductivity, 2011, 12.)

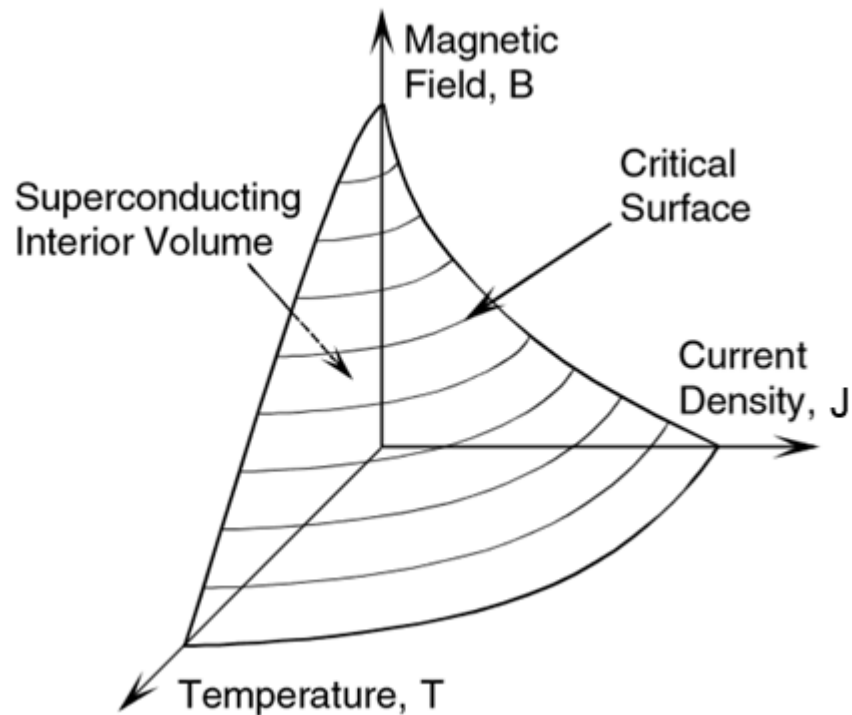
3.1 Suprajohteet

Suprajohteet jaotellaan tyypin I ja tyypin II suprajohteiksi magneettikenttäkäyttäytymisen perusteella. Tyypin I suprajohteet menettävät suprajohtavuutensa jo heikossa magneettikentässä. Kun magneettikenttä ylittää kriittisen magneettivuon tiheyden B_c , magneettikenttä tunkeutuu suprajohteeseen palauttaen sen normaalitilaan (Kuva 1). Magneettikenttä alkaa tunkeutua tyypin II suprajohteeseen lähellä alemmaa kriittistä magneettivuon tiheyttä B_{c1} , mutta se ei menetä suprajohtavuuttaan. Tyypin II suprajohteissa ei ole resistanssia tasavirtasovelluksissa B_{c1} jälkeen, mutta suprajohtavuus katoaa paljon korkeamman kriittisen magneettivuon tiheyden B_{c2} kohdalla.



Kuva 1. Magneettikentän tunkeutuminen suprajohteeseen. (Wilson, 2011)

Lisäksi suprajohteet jaetaan kahteen ryhmään kriittisen lämpötilan T_c perusteella, jonka alapuolella aine muuttuu suprajohtavaksi. Alle 25 K kriittisen lämpötilan suprajohteet ovat matalan lämpötilan suprajohteita (LTS) ja yli 25 K lämpötilassa suprajohtavuuden saavuttavia suprajohteita kutsutaan korkean lämpötilan suprajohteiksi (HTS). (Carr 1983, 12.) Vaihtovirtasovelluksissa vaihtovirta aiheuttaa virran suuntaisen magneettikentän suprajohteeseen. Vaihtovirran suunnan ja voimakkuuden vaihtelu aiheuttaa lämpöä, joka täytyy huomioida suprajohteen jäädytyksessä. (Wilson 2011.) Kuvassa 2 esitetään magneettivuontiheydestä, lämpötilasta ja virran tiheydestä muodostuva kriittinen pinta II-tyypin suprajohteille, jonka sisäpuolella aine on suprajohtavassa tilassa.



Kuva 2. Kriittinen pinta II-tyypin suprajohteelle.

3.2 Rakenne

Matalan lämpötilan suprajohteista yleisimmin käytetään NbTi-suprajohtimia sen ylivoimaisen muokattavuuden ansioista. Toinen yleinen suprajohtinmateriaali on Nb₃Sn, mutta sen muokattavuus on paljon NbTi-suprajohtimia huonompi haurauden takia.

Nb_3Sn -suprajohtimet vaativat paljon lämpökäsittelyä halutun faasirakenteen saavuttamiseksi ja on täten myös kalliimpi valmistaa. Suprajohtimissa käytetään lähes aina monifilamentti rakennetta (Kuva 3). Filamentit ympäröidään matriisimetallilla, jonka tarkoituksena on johtaa suprajohtimeen syntyvää lämpöä pois suprajohtimesta estäen normaalitilaan palautumisen. Tietyllä alueella kriittisen pinnan ylittymisen seurauksena alue alkaisi johtaa sähköä resistiivisesti tuottaen lämpöä ja palauttaen suprajohtimen normaalitilaan. Jos johtimessa kulkeva suuri energia purkautuisi yllättäen, johtaisi se johtimen sulamiseen. Matriisimetallina käytetään useimmiten kuparia sen hyvän lämmön ja virran johtavuuden takia. Lisäksi kuparin ja NbTi:n muokkausominaisuudet ovat sopivan lähellä toisiaan mahdollistaen hyvinkin ohutfilamenttisten (jopa luokkaa 5-10 μm) johdinrakenteiden valmistamisen. (Lee 2002.)

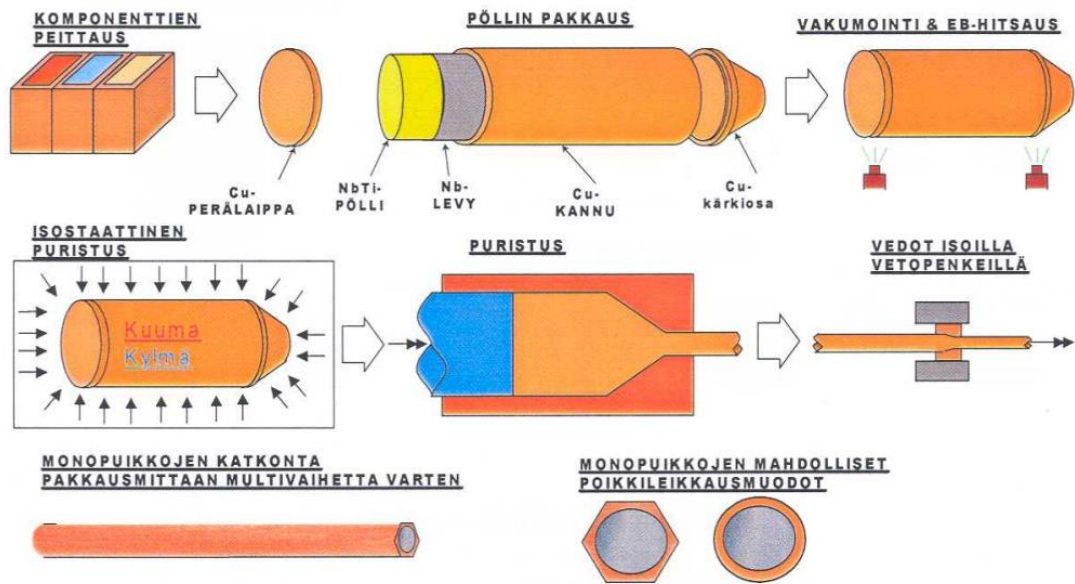


Kuva 3. NbTi-filamentteja kuparimatriisissa. (Brukerin www-sivut 2018)

3.3 Valmistus

Suprajohdinten valmistus voidaan jakaa kahteen vaiheeseen. Mono- ja monisäievaiheeseen. Monoprosessi (Kuva 4) alkaa komponenttien peittauksella, jonka jälkeen NbTi-ydin pakataan kuparikannuun. Pötkyyn imetään tyhjiö, ja se hitsataan umpeen. Pötky kuumapursotetaan tangoksi, ja tanko vedetään vetopenkeillä lopulliseen mittaansa, joko pyöreään tai kuusion muotoon. Tanko pätkitään pakkauspituuden mittaisiksi puikoiksi.

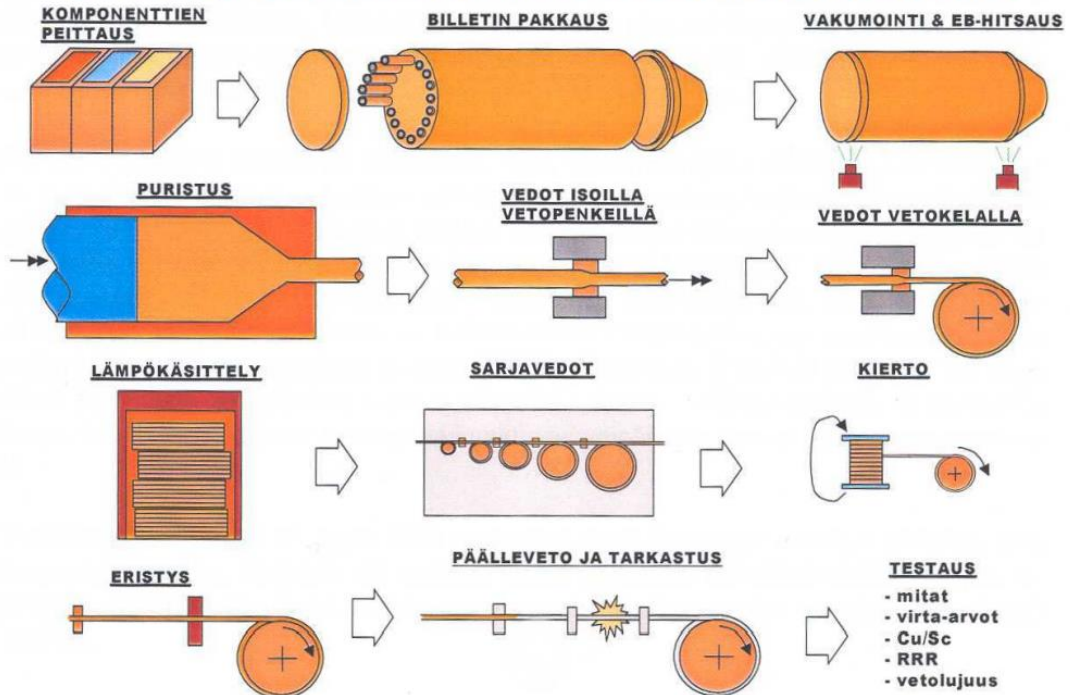
SUPRAPÖLLIN VALMISTUS: MONOVAIHE



Kuva 4. Monovaihe. (Luvata, 2009)

Monisäievaiheessa (Kuva 5) monoprosessissa valmistetut monopuikot pakataan kuparikannuun kuparikomponenttien kanssa. Pötkyyn imetään tyhjiö ja se hitsataan umpeen. Pötky kuumapursotetaan tangoksi, kuten monovaiheessa. Tanko vedetään langaksi, lämpökäsitellään, kierretään ja viimeistellään. Langan suoritusarvot testataan erilaisin mittausmenetelmin ennen asiakkaalle lähettämistä. (Lee 2002.)

SUPRAPÖLLIN VALMISTUS: MULTIVAIHE



Kuva 5. Multivaihe. (Luvata, 2009)

3.4 Sovelluskohteita

3.4.1 Suprajohtavat magneetit

Suprajohtinten suurin käyttökohde on voimakkaiden ja suurien magneettien käämit. Magneetit vaativat jäähdytystekniikkaa suprajohtavan tilan saavuttamiseksi, joka osaltaan rajoittaa käytettävyyttä. "Tyypillinen käyttölämpötila kylpyjäähdytetyissä magneeteissa on 4,2 K (paine 1 bar), missä NbTi -johtimilla luotava hyödyllinen magneetikenttä on 8-9 T. Kylpyjäähdytys mahdollistaa alhaisemmatkin käyttölämpötilat niiden käyttöalueen laajentamiseksi. Esimerkiksi lämpötilassa 1,8 K, missä helium on virtausopillisesti suprajohtavuuden kanssa analogisena supranesteenä, hyötykenttä kasvaa 11 teslaan ja eräillä ternärisillä NbTi - seoksilla 12-13 teslaan." (Somerkoski 1984.) Suurin käyttökohde on lääketieteellisuuden käyttämät MRI-magneetit (Kuva 6), joita käytetään magneettikuvauslaitteissa. MRI-tekniikkaa voidaan käyttää koko kehon tomografia-kuvaukseen sekä alkuaineiden spektroskopiaan.



Kuva 6. Philips MRI-magneetti. (100 years of superconductivity, 21)

3.4.2 Suurenergiafysiikka

Suurenergiafysiikassa tarvitaan tehokkaita mikroskooppeja hiukkasten ja alkeishiukkasten tutkimiseen. Hiukkaskiihdyttimessä hiukkassuihkuja ohjataan tyhjiöputkessa voimakkailla magneettikentillä. Maailman suurin ja tehokkain hiukkaskiihdytin sijaitsee Euroopan hiukkasfysiikan tutkimuslaitoksella CERN:issä. Kiihdyttimen sisällä kaksi korkeaenergistä hiukkasta kulkee lähes valon nopeudella ennen törmäytystä, jossa syntyviä hiukkasia tutkitaan ilmaisimien avulla. Large Hardon Collider (LHC) koostuu 27 kilometrin kehästä suprajohtavia magneetteja. (CERNin [www](http://www.cern.ch)-sivut 2018.)

3.4.3 Levitaatiojunat

Levitaatiojunissa käytetään suprajohtimista käämittyjä magneetteja levitaation saavuttamiseksi. Maglev-järjestelmiä (Magnetic Levitation Transport) on monia erilaisia toteutettuna eri magneettivaihtoehdoilla. Electrodynamic suspension (EDS) periaatteella maglev-junassa on suprajohtavia magneetteja ja ohjauskiskoissa on epäferromagneettisia johtimia, joihin on induoitu pyörrevirta. Kiskojen magneettikenttä ei pääse tunkeutumaan suprajohtavaan magneettiin, mikä aiheuttaa junan levitoinnin kiskojen päällä. (He, Rote & Coffey 1994.)

4 LEAN JA LPS

4.1 Lean

Lean on Japanissa kehitetty toimintafilosofia, joka pyrkii tuottavuuden parantamiseen hukun systemaattisella vähentämisellä. Työn tuottavuus ja laatu paranevat, kun turhia toimintoja ja arvoa lisäämätöntä toimintaa karsitaan. Leanin toimintamalli levisi ensin autoteollisuuteen ja tällä hetkellä se on yleisin tuotantoperiaate kaikilla toimialoilla. (Kouri 2010, 6.)

Lean on lähtöisin toisen maailmansodan vaiheilta Toyota Motor Corporationista, missä silloinen päätuotantoinsinööri Taiichi Ohno sai tehtäväkseen parantaa yrityksen tuottavuutta. Tuohon aikaan Japanissa vallitsi resurssipula ja raaka-aineita oli hyvin niukasti saatavilla. Taiichi Ohnon piti kehittää menetelmiä, joilla vähäiset resurssit voitaisiin hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti. (Six Sigman www-sivut 2018.)

Leanin ajattelumaailmassa asiakas määrittelee tuotteen arvon ja yrityksen tulee pyrkiä lisäämään toiminnoillaan asiakkaan saamaa arvoa. Kun tuotteen arvo lisääntyy kustannuksia kasvattamatta, yrityksen kilpailukyky vahvistuu. Tuotteen ja toiminnan laadusta on vastuussa koko yrityksen henkilökunta ja hyvälaatuisia tuotteita valmistamalla arvo lisääntyy ja kustannukset pienevät. (Kouri 2010, 7.)

4.1.1 Lean-toiminnan kehittäminen

Leanin mukaisessa toiminnassa pyritään jatkuvaan kehittymiseen. Toimintaa kannattaa lähteä kehittämään seuraavalla etenemistavalla.

1. Arvo

Tuotteiden arvoa tutkitaan asiakkaan näkökulmasta. Ominaisuudet, joista asiakas ei hyödy, pyritään jättämään pois turhien valmistuskustannuksien takia.

2. Arvoketju

Prosessin vaiheista määritellään asiakkaalle lisäarvoa tuottavat kohdat ja niitä pyritään tehostamaan. Arvoa lisäämättömistä prosesseista pyritään eroon.

3. Virtaus

Prosessin läpivirtausta pyritään parantamaan koneiden tehokkaalla sijoittelulla. Tuotteiden siirtomatkoja pyritään pienentämään ja työvaiheiden odotusaikoja minimoimaan. Välivarastoja pyritään pienentämään turhan pääoman sitomisen välttämiseksi.

4. Imu

Tuotteet pyritään valmistamaan vasta kun niille on oikeasti tarve. Tuotteiden tarve aiheuttaa prosessiin imun, joka ohjaa tuotantoa. Varastojen kokoa pyritään pienentämään valmistamalla tuotteet siten, että valmistuessaan tuote voidaan lähettää asiakkaalle.

5. Täydellisyys

Prosessin tehokkuutta pyritään nostamaan jatkuvasti vähentämällä hukkaa ja ratkaisemalla tuotantoa hidastavia ongelmia. (Kouri 2010, 9.)

4.1.2 Lean hukat

Leanissä tuottavuutta pyritään parantamaan työskentelemällä järkevämmiin, eikä kovemmin. Kaikkea prosessissa esiintyvää hukkaa pyritään minimoimaan työn tuottavuuden parantamiseksi. Lean-periaatteen mukaan hukka jaetaan seitsemään luokkaan.

- Ylituotanto

Tuotteiden liiallinen valmistaminen ilman tarvetta kasvattaa varastoja ja johtaa myös muiden hukkien syntymiseen.

- Odottaminen

Koneiden odottaminen laiterikkojen tai materiaalipulan takia laskee tuottavuutta merkittävästi. Puutteellinen tuotantoketju tai väärä ohjaustapa johtaa epävakaaseen prosessiin, jossa syntyy odotteluaikoja.

- Tarpeeton kuljettaminen
Tuotteiden ja materiaalin kuljettamiseen kuluu turhaan hyvää tuotantoaikaa. Prosessia tulee optimoida siten, että materiaali virtaa sulavasti ja kuljetusmatkat ovat mahdollisimman lyhyitä.
- Laaturiheet
Huonosta laadusta johtuvat poistot kuluttavat materiaalia ja tuotantoaikaa. Liian myöhään huomautetut laaturiheet aiheuttavat asiakastyymättömyyttä.
- Varastot
Varastot sitovat pääomaa ja kapasiteettia.
- Ylikäsittely
Tuotteiden liiallinen turha käsittely vie aikaa normaalilta tuotannolta. Asiakasta hyödyttämättömät vaiheet tulee karsia prosessista.
- Tarpeeton liike työskentelyssä
Työpisteet tulee järjestellä siten, että tarvittavat välineet ovat helposti saatavilla ja työkalujen noutamiseen ja etsimiseen ei kulu turhaan aikaa. (Kouri 2010, 11.)

4.1.3 Jatkuva parantaminen

Leanin toimintafilosofiassa pyritään toiminnan jatkuvaan parantamiseen eli ”kaizeniin”. Toimintaa pyritään parantamaan hukkaa minimoimalla ja toimintatapoja kehittämällä. Työvaiheiden suoritusta pyritään kehittämään jatkuvasti, jotta työn tekeminen olisi helpompaa ja sujuvampaa. Kehitystyö on jokaisen työntekijän asia. Työntekijöiden täytyy jatkuvasti havainnoida työympäristöä työturvallisuuden parantamiseksi ja kehityskohteiden löytämiseksi. (Kouri 2010, 14.)

4.1.4 Työn vakiinnuttaminen

Työtavat tulee vakiinnuttaa työntekijöiden kesken, jotta kehitystyötä voidaan tehdä. Jos kaikki työntekijät suorittavat saman työsuoritteen eri tavoilla, työvaiheen tehokkuutta ei voida arvioida luotettavasti. Työtavoista johtuvia tuottavuuseroja syntyy ja tuotteiden laatu kärsii. Töiden suorittamiseen tulee laatia yhdenmukaiset työohjeet, joissa työvaiheet havainnollistetaan yksinkertaisessa muodossa. Työohjeet parantavat tuotteen laatua työntekijöiden omien ratkaisujen käytön vähentyessä. Selkeät työohjeet myös vähentävät työtapaturmia sekä turhia liikkeitä. Työntekijöiden turhat liikkeet vähenevät, kun työsuorite on selkeä. Työohjeet kannattaa sijoittaa työkoneelle tai työpisteelle, jossa ne ovat helposti saatavilla ja luettavissa. (Kouri 2010, 16.)

4.1.5 5S-työkalu

5S on työkalu Lean toimintaan, jolla luodaan siisteyttä, järjestystä ja työturvallisuutta. Kun työkalut ja välineet ovat helposti saatavilla, niiden etsimiseen ja hakemiseen ei kulu turhaan aikaa ja näin saadaan hukkaa vähennettyä. Työpisteet tulee järjestellä huolellisesti ja vain usein käytettävät työvälineet pidetään niille osoitetuilla paikoilla.

5S tulee sanoista:

- Sortteeraus
- Systematisointi
- Siivous
- Standardisointi
- Seuranta

Järjestystä tulee ylläpitää jatkuvasti ja 5S-tasoa tulee auditoida, ettei järjestyksen ylläpitoa lopeteta ja palauduta takaisin lähtötasolle. (Lean Lionin [www-sivut](http://www.sivut) 2018.)

4.2 Luvata Production System (LPS)

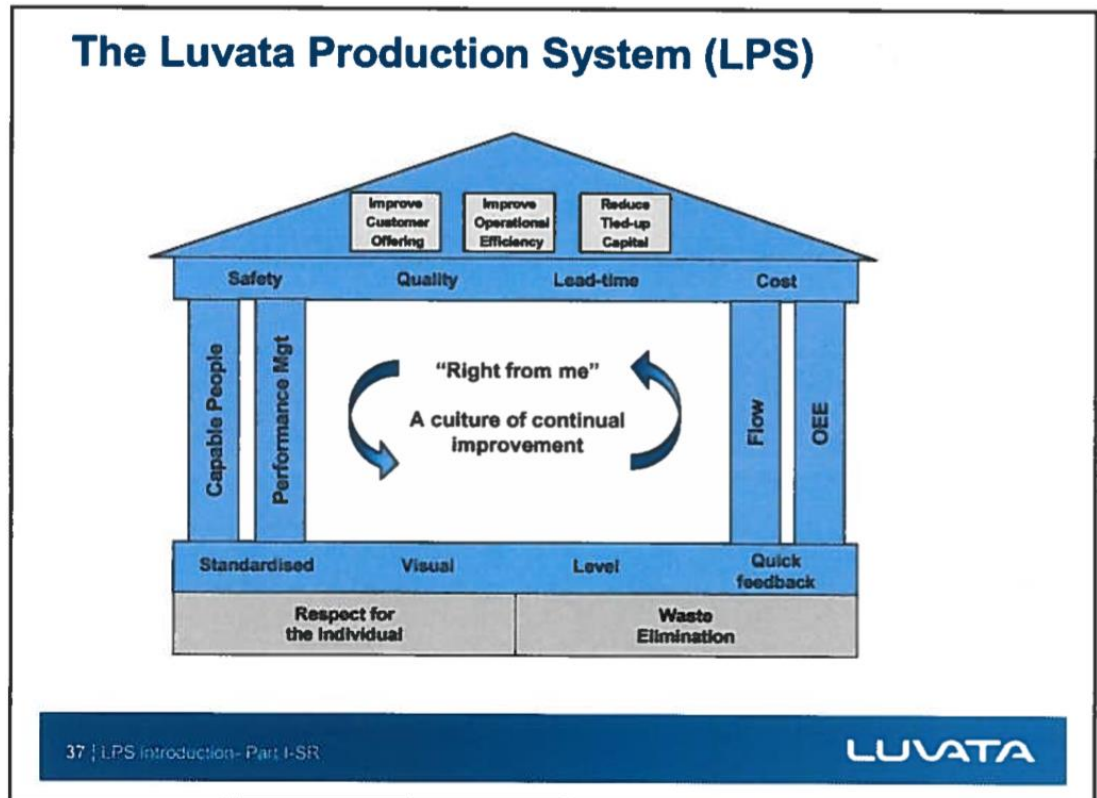
LPS on Luvatan tuotantojärjestelmä (Kuva 7), jonka ydin on hukan minimoiminen, eli kaiken sen, joka ei tuota lisäarvoa asiakkaalle. Hukka sitoo pääomaa ja kapasiteettia, kasvattaen kustannuksia ja rajoittaen asiakaspalvelua. Hukkaa esiintyy seitsemää eri tyyppiä tuotannossa: ylituotanto, odottaminen, yliprosessointi, varasto, turha kuljettaminen, turhat liikkeet ja uudelleen prosessointi ja romu. Neljä pääkomponenttia hukan minimointiin LPS:ssä ovat Overall Equipment Effectiveness (OEE), virtaus, suorituskyvyn hallinta ja työntekijät. Näiden neljän tekijän avulla pyritään olemassa oleva kapasiteetti käyttämään mahdollisimman tehokkaasti.

Luvata Production Systemissä on kyse:

- Asiakkaille tärkeiden asioiden ja arvoa lisäävien toimintojen ymmärtäminen, joista asiakas on halukas maksamaan.
- Hukan minimointi prosesseissa.
- Johtajien kehittäminen, jotka perusteellisesti ymmärtävät työnsä, elävät filosofian mukaan ja opettavat sitä muille.
- Läpimenoaikojen lyhentäminen tilauksen ja lähetyksen välillä.
- Kustannusten vähentäminen ja kapasiteetin kasvattaminen tehokkaammalla tuotannolla ja bisnesprosesseilla.
- Yhdessä työskentely kehittääksemme liiketoimintaa.

LPS pyrkii tekemään saman Luvatalle, mitä Toyota Production System (TPS) on tehnyt Toyotalle. Tekniikat on räätälöity erityisesti Luvatan prosesseille. Luvatan toimintaa muutetaan alue alueelta ja muutosten seurauksena saavutetaan:

- Kasvanut asiakkaan tyydytys
- Varaston pienentäminen
- Kustannusten pienentäminen
- Kapasiteetin vapauttaminen
- Kohentunut taistelutahto (Comerford 2007.)



Kuva 7. LPS-talo.

4.3 Overall Equipment Effectiveness

OEE on työkalu, jonka avulla määritetään yksittäisen koneen tai tuotantolinjan tuottavuutta. Mitä korkeampi OEE arvo on, sitä enemmän kone tuottaa hyvälaatuista tuotetta. Tämä johtaa yksikkökustannusten pienentymisiin ja auttaa yritystä kilpailukyvyyn säilyttämisessä. OEE on työkalu, jolla analysoidaan koneen suorituskykyä, lasketaan hukat käytettävyyden, tuottavuuden ja laadun perusteella. Taulukossa 1 on kuvattu esimerkkiarvoja, joiden perusteella on laskettu kyseisistä arvoista muodostuva OEE. Luvata on tehnyt suuria investointeja koneita hankkiessaan. Kilpailukyvyyn säilyttämiseksi, tulee koneista saada suurin mahdollinen tuottavuushyöty irti. OEE muodostuu kolmesta eri tekijästä. $OEE = \text{Käytettävyys} \times \text{Tuottavuus} \times \text{Laatu}$. Käytettävyys on aika, jonka kone on todellisuudessa käytössä käytettävissä olevasta ajasta. Tuottavuus kertoo, kuinka tuottava kone oli käyntiaikana verrattuna teoreettiseen maksimi tuottavuuteen. Laatu kertoo, kuinka paljon käytettävissä olevasta tuotantoajasta hukattiin huonon laadun vuoksi. Kuvassa 8 nähdään OEE:n hävikkien aiheuttajia ja termistöä. (Heikkilä 2008.)

Overall Equipment Effectiveness	Recommended Six Big Losses	Traditional Six Big Losses
Availability Loss	Unplanned Stops	Equipment Failure
	Planned Stops	Setup and Adjustments
Performance Loss	Small Stops	Idling and Minor Stops
	Slow Cycles	Reduced Speed
Quality Loss	Production Rejects	Process Defects
	Startup Rejects	Reduced Yield
OEE	Fully Productive Time	Valuable Operating Time

Kuva 8. Kuusi erilaista hukkaa. (OEE:n www-sivut 2018)

Taulukko 1. OEE laskentaesimerkki.

Nimike:	Tiedot:
Vuoron pituus	8 tuntia
Katkot	2 x 15 minuuttia ja 1 x 30 minuuttia
Joutoaika	53 minuuttia
Ideaalinen työsyklin aika	10 sekuntia
Valmistuneet yksiköt	2123 tuotetta
Hylätyt yksiköt	192 tuotetta

Suunniteltu tuotantoaika = vuoron pituus – tauot
 480 minuuttia – 60 minuuttia = 420 minuuttia

Käynnissäoloaika = suunniteltu tuotantoaika – joutoaika
 420 minuuttia – 53 minuuttia = 367 minuuttia

Tuotanto = valmistuneet yksiköt – hylätyt yksiköt
 2123 – 192 = 1931

Käytettävyys = käynnissäoloaika / suunniteltu tuotantoaika
 367 minuuttia / 420 minuuttia = 0,8738 (87,38%)

Suorituskyky = (ideaalinen työsyklin aika x valmistuneet yksiköt) / käynnissäoloaika
(10 sekuntia x 2123) / (367 minuuttia x 60 sekuntia) = 0,9641 (96,41%)

Laatu = tuotanto / valmistuneet yksiköt
1931 tuotetta / 2123 tuotetta = 0,9096 (90,96%)

OEE = käytettävyys x suorituskyky x laatu
0,8738 x 0,9641 x 0,9096 = 0,7663 (76,63%)

5 TUOTTAVUUS

Tuottavuus on ilmiönä todella vanha. Ihmisen hyvinvointi on aina kasvanut vain työskentelemällä kovemmin tai laadukkaammin. Kasvaneella työmäärällä saatu suurempi tuotos voidaan käyttää tarpeiden tyydyttämiseen. Ajan saatossa ja teknologian kehityksessä välineet ja tavat ovat tehokkaampia, minkä ansiosta tuottavuutta ja ihmisten hyvinvointia on pystytty parantamaan. (Saari 2006, 9.)

”Tuottavuus voidaan määritellä sen kaavamuotoilua lähestyen seuraavasti. Tuottavuudella tarkoitetaan tuotannon määrän ja sen tuottamiseen käytettyjen panosten suhdetta. Sitä voidaan pitää eräänlaisena kansantalouden tai sen osan, kuten toimialan, yrityksen tai organisaation tuotanto-, toiminta-, tai suorituskyvyn mittana. Tuottavuuden lisääminen merkitsee joko nykyistä suuremman tuotoksen aikaansaamista käytettävissä olevilla voimavaroilla tai tavoitellun tuotoksen aikaansaamista nykyistä pienemmin panoksin.” (Lehtoranta 1996, 231.)

$$\text{Kokonaistuottavuus} = \frac{\text{Tuotoksen määrä}}{\text{Panoksen määrä}}$$

Tuottavuutta voidaan lisätä tuottamalla sama määrä pienemmillä panoksilla tai tuottamalla enemmän yhtä suurella panoksella kuin aikaisemmin.

5.1 Prosessin lisäarvo

Yritystoiminnan vähimmäistavoite on jatkuvuus. Jos yritys ei pysty jatkamaan toimintaansa sen toiminnan heikkouden vuoksi, yritystoiminta on epäonnistunut. Yritystoiminnan menestyminen on vaikeaa jaotella tietyiksi tekijöiksi, mutta yksi tekijä, jolla voidaan tehdä päätelmiä onnistumisen asteesta, on kyky tuottaa lisäarvoa. Lisäarvo tarkoittaa yrityksessä syntyvien tuottojen ja kustannusten erotusta. Tuotannossa syntyvien tuotosten arvon täytyy siis ylittää tuotantokustannukset. Taulukossa 2 on tehty laskelma lisäarvon tuottamisesta. Yrityksen toiminta arvioidaan kannattamattomaksi, jos yritys ei pysty tuottamaan lisäarvoa omistajilleen. Lisäarvo antaa kannattavuuden

mittarina mahdollisuuden kuvata tulonmuodostusta tuottavuuden kautta, sillä pääomakustannukset sisältävät myös oman pääoman kustannukset. (Saari 2006, 105.)

Taulukko 2. Liiketoiminnan lisäarvolaskelma (Saari 2006, 106)

	Jakso 1			Jakso 2		
	Määrä	Hinta	Arvo	Määrä	Hinta	Arvo
Tuote 1	210,00	7,20	1512	247,25	7,10	1755
Tuote 2	200,00	7,00	1400	195,03	7,15	1394
Tuotos			2912			3150
Työ	100,00	7,50	750	115,00	7,70	886
Materiaali	80,00	8,60	688	79,20	8,50	673
Energia	400,00	1,50	600	428,00	1,55	663
Pääoma	160,00	3,80	608	164,80	3,90	643
Panos			2646			2865
Lisäarvo (abs.)			266,00			285,12
<i>Lisäarvo (suht.)</i>			<i>1,101</i>			<i>1,100</i>

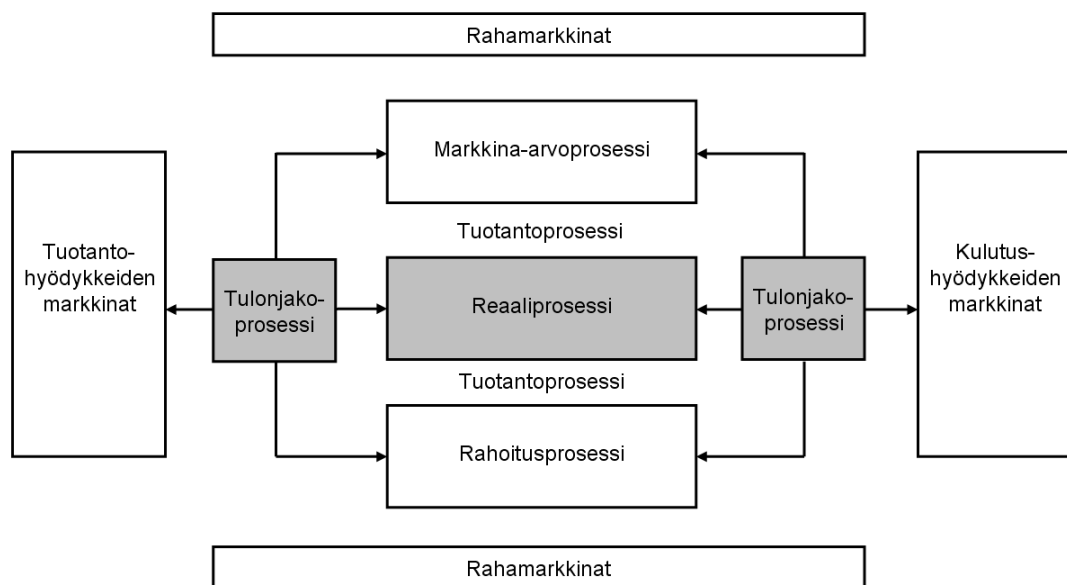
Omistajalähtöisessä johtamisessa painotetaan yrityksen arvon kasvattamista. Osakkeiden arvoa pyritään kasvattamaan ja osinkojen määrä lisäämään vastineeksi omistajien tekemistä sijoituksista yritykseen. Koko yrityksen toiminta siis tähtää lisäarvon tuottamiseen.

5.2 Pääprosessit

Laadukas prosessin toiminnan mittaaminen ja ohjaus vaativat prosessin yksityiskoh-
taista tuntemista. Yritystoiminnassa tuottavuuden kannalta pääprosesseja ovat reaali-
prosessi ja rahoitusprosessi. Tuottavuus ja kannattavuus syntyvät näissä prosesseissa.
Yrityksissä pääprosesseja on viisi (Kuva 9).

- Reaaliprosessi
- Tulonjakoprosessi
- Liiketoimintaprosessi
- Rahoitusprosessi
- Markkina-arvoprosessi

Yrityksen tuotteet syntyvät reaali-prosessissa, jossa tuotannon panoksista valmistetaan
tuotteita. Tuotteet voivat olla aineellisia tai aineettomia, mutta niiden ominaisuuksien
tuoma lisäarvo kuluttajille luo niiden arvon.

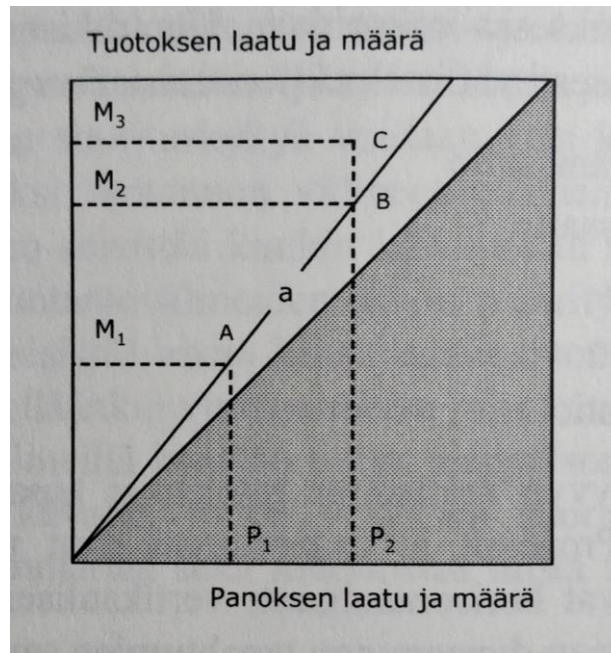


Kuva 9. Yritystoiminnan pääprosessit. (Saari 2006, 102)

Tulonjakoprosessissa reaali-prosessin tuotteille ja panoksille määräytyy yksikköhinnat markkinoiden tilanteen mukaan. Reaali-prosessissa tapahtuva tuottavuuden parantuminen mahdollistaa tuotteiden hinnan alentamisen tai työntekijöiden palkkojen korottamisen. Rahoitusprosessi kattaa yrityksessä suoritettavat tuotannon rahoitukseen liittyvät tapahtumat ja markkina-arvoprosessissa sijoittajat määrittelevät yrityksen arvon sijoitusmarkkinoilla. (Saari 2006, 102.)

5.3 Suorituskyvyn kehittäminen

Yrityksen kannattaa investoida välineisiin vain tuottaakseen lisäarvoa tuotteeseensa. Samalla tavalla kuluttajat ostavat tuotteita saadakseen itselleen lisäarvoa tuotteen ominaisuuksien kautta. Yrityksen suorituskyky löytyy käytettävissä olevista välineistä, joita yrityksen kannattaa käyttää mahdollisimman tehokkaasti maksimaalisen suorituskyvyn saavuttamiseksi. Tuotantovälineiden määrää voidaan lisätä, tai niiden toimintaa parannella suorituskyvyn lisäämiseksi. Yrityksen on myös käytettävä hyödyksitämä tuotantovälineiden hankinnassa saatava potentiaali ennen kuin suorituskyky nousee. Prosessien menestys mitataan kykyä tuottaa lisäarvoa. Prosessin todellinen suorituskyky voidaan nähdä vain prosessissa. Suorituskyky mittaa, kuinka hyvin käytetyt panokset tuottavat lisäarvoa prosessissa. Potentiaalista suorituskykyä ei voida hyödyntää yleensä kokonaan tuotteiden menekistä johtuen. Käytännössä tuotteiden menekki vaihtelee, jonka takia prosessia ei tarvitse aina käyttää täydellä suorituskyvyllä (Saari 2006, 109.)

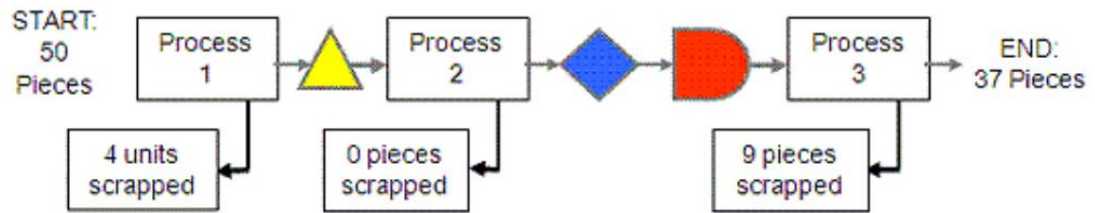


Kuva 10. Suorituskyvyn muutos prosessissa. (Saari 2006, 110)

Suorituskykyä voidaan arvioida kuvaajalla, jonka vaaka-akseli kuvaa panosten laatua ja määrää ja pystyakseli tuotosten laatua ja määrää (Kuva 10). Kuvaajan harmaalla alueella tuotoksen ja panoksen suhde on alle yhden, jolloin ei synny lisäarvoa. Valkoisella alueella tuotos-panossuhde on yli yhden, jolloin prosessissa syntyy lisäarvoa. Valkoisen ja harmaan alueen rajalla kulkevalla suoralla suhde on tasan yksi, jolloin ei vielä synny lisäarvoa. Suoran a tuotos-panossuhde pysyy koko matkalta samana. Prosessin suorituskyky on parempi mitä kauempana ollaan origosta tuotosten määrän kasvaessa samalla tuotos-panossuhteella.

5.4 Saanto

Saantoa voidaan käyttää työkaluna kuvaamaan prosessin materiaalikäytön tehokkuutta. Saanto lasketaan jakamalla prosessissa valmistuvien yksiköiden määrä prosessiin syötettyjen yksiköiden lukumäärällä (Kuva 11). Saanto kuvaa prosessin suorituskykyä hyödyksi käytetyn panoksen muodossa. Prosessissa tapahtuvat poistot ja romutukset laskevat saantoa. (Six Sigman www-sivut 2018.)



Kuva 11. Saanto (Final Yield).

Saanto laskenta esimerkki:

Prosessi 1 saanto: $46 / 50 = 0,92$ (92%)

Prosessi 2 saanto: $46 / 46 = 1,00$ (100%)

Prosessi 3 saanto $37 / 46 = 0,8043$ (80,43%)

Kokonais saanto $37 / 50 = 0,92 * 1,00 * 0,8043 = 0,74$ (74%)

5.5 SPC

”SPC (Statistical Process Control, tilastollinen prosessin valvonta) on käytännössä muotoutunut ja vakiintunut tapa toteuttaa prosessin ja samalla usein myös tuotteen laadunvalvontaa tilastollisia menetelmiä soveltaen. SPC tarkoittaa laajasti tulkittuna kaikkia menetelmiä, joilla saadaan tilastollista pohjaa prosessin ohjaamiseen liittyvälle päätöksenteolle. Tärkein näistä välineistä on valvontakortti.” (Salomäki 1999, 147.)

Valvontakortteihin kerätään mittaustuloksia prosessista valituista muuttujista ja tuloksia havainnollistetaan kuvaajalla (Kuva 12). Mittaustulosten perusjoukosta lasketaan keskihajonta (σ), jonka avulla valvontakorttiin lasketaan prosessin normaalista vaihtelusta johtuvan hajonnan rajat.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

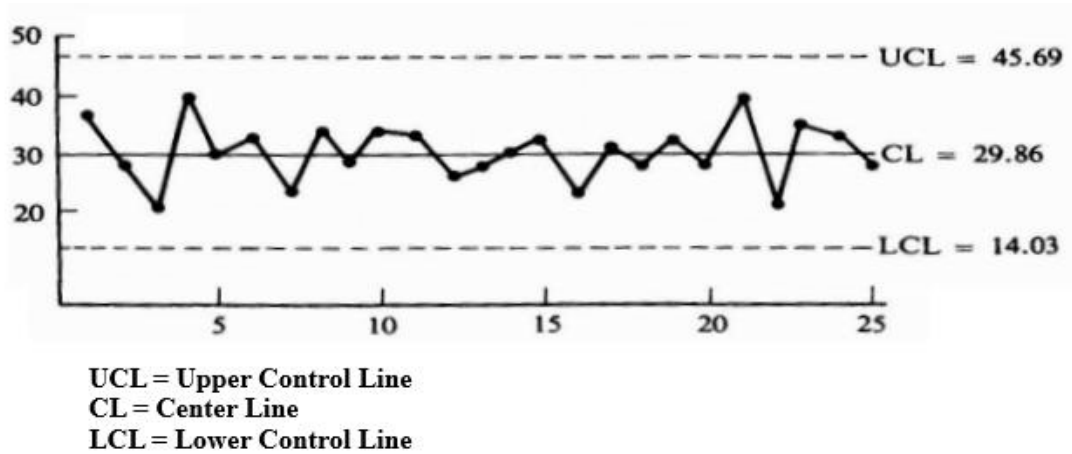
σ = perusjoukon keskihajonta

N = perusjoukon koko

x_i = yksittäisen näytteen mittaustulos

\bar{x} = mittaustulosten keskiarvo

Rajat sijoitetaan keskiarvon molemmin puolin kolmen sigman etäisyydelle keskiarvosta, jolloin tälle välille osuu 99,73% kaikista tuloksista. Spesifikaatioissa määritellään tuotteille toleranssirajat, jonka ylitettyä tai alitettua tuote on hylättävä. Spesifikaatioirajat ovat eri, kuin valvontarajat ja spesifikaation tiukkuudesta riippuen lähellä tai kaukana muuttujien keskiarvosta. (Salomäki 1999, 163.)



Kuva 12. SPC-valvontakortin kuvaaja valvontarajoilla.

6 TYÖN SUORITUS

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli parantaa kohdeyrityksen materiaaliseurantaa, luoda työkaluja tuotannon tason seuraamiseen ja kartoittaa prosessissa syntyvien poistojen kohdat ja suuruudet. Suprajohdinten valmistusprosessi on pitkä ja monivaiheinen, mikä osaltaan vaikeuttaa materiaalin seurattavuutta. Prosessin läpimenoajat voivat venyä jopa kahteen kuukauteen, joten tulosten kerääminen vie paljon aikaa.

6.1 Materiaalikirjanpito

Luvatalla suoritetaan kerran kuukaudessa materiaalikirjaukset, joissa päivitetään sen hetkinen materiaalitytilanne järjestelmään. Järjestelmään syötetään kuukauden aikana pakattujen tuotteiden vaatimat raaka-ainemäärät ja vastaavasti kirjataan valmistuneiden tuotteiden ja välituotteiden määrät. Pakkauksessa käytettävien materiaalien ja valmistuneiden tuotteiden erotus kirjataan prosessissa syntyvän romun määräksi. Kirjaukset tarkastetaan kerran vuodessa inventaariossa ja ongelmana on ollut, että kirjauksien epätarkkuudesta johtuen materiaalien saldo vaihtelee suuresti. Tästä seurasi, että varaston arvo jäi merkittävästi miinukselle tai vastaavasti plussalle.

Multi-pötköjen pakkauksessa käytettävien kuparikomponenttien painot olivat oletettuja tai laskennallisia, mistä johtuen jokaisen pötkyn kohdalla materiaalikirjaukseen syntyi heittoa useita kiloja. Kaikista komponenteista laadittiin lista ja tehtiin punnituskoe kymmenen komponentin otannalla (Liite 1). Tuloksista laskettiin keskiarvopaino jokaiselle komponentille. Painot päivitettiin tietokantaan ja materiaalikirjauksessa käytettäviä arvoja muutettiin punnitustuloksen mukaiseksi. Valmistuvien välituotteiden painoista ei myöskään ollut tarkkaa tietoa. Työn aikana välituotteiden painoista alettiin kerätä dataa, jota hyödynnetään myös valmistuvien välituotteiden painoja kirjatessa.

6.2 Monosaanto

Monoprosessissa valmistuvien monopuikkojen määrä vaihtelee prosessissa syntyvien poistojen takia. Yhdenkin puikon vaikutus prosessin saantoon on hyvin suuri ja kalliiden materiaalien takia rahallinen arvo on merkittävä. Monoprosessin saantoa seurattiin aiemmin yhden puikon arvioidun painon ja monopötkystä valmistuvan puikkomäärän mukaan. Puikkoerän paino laskettiin kertomalla puikkojen lukumäärä yhden puikon painolla ja sitä verrattiin teoreettiseen maksimimäärään, jolloin saatiin monoprosessin saanto. Yhdestä puikkoerästä valmistuu 120-130 puikkoa ja yksi puikko painaa keskimäärin 1,420 kilogrammaa. Ongelmana vanhassa tavassa oli puikon epätarkasti punnittu paino ja epävarmuus lasketun puikkomäärän oikeellisuudesta.

Työn edetessä päädyttiin saannon laskennassa keskittymään niobititaanin saantoon ja materiaalikäyttöön. Niobititaanin kilohinta on noin 30-kertaa kalliimpi kuin kuparin, joten saannon tarkastelussa kannattaa keskittyä niobititaaniin. Prosessissa syntyvä puhdas kupariromu pystytään kierrättämään uusiokäyttöön, mutta niobititaania sisältävää suprajohtavaa romua ei pystytä jatkojalostamaan. Tästä syystä jokainen kilogramma niobititaania pyritään käyttämään hyödyksi mahdollisimman tehokkaasti.

6.2.1 Monopuikkojen punnitus

Monopuikkojen painoista ei ollut olemassa dataa, joten puikkoja täytyi alkaa punnita manuaalisesti. Monopuikkojen punnitustulosten käsittelemiseen kehitettiin laskentataulukko (Liite 2), johon tulokset syötettiin. Taulukossa tuloksia pystyttiin vertailemaan keskenään ja suorittamaan eri laskentamallien kokeiluja.

Prosessia tutkittaessa kehitettiin yksinkertainen tapa punnita puikot telineissä, joissa ne oli myös helppo laskea. Jokainen teline on identifioitu yksiselitteisesti ja telineiden taarapainot kerättiin tietokantaan ylös. Puikkojen nettopainot saadaan vähentämällä bruttopainosta telineen taarapaino ja puikkojen keskiarvopaino saadaan jakamalla nettopaino kappalemäärällä. Jokainen puikkoerä mahtuu kahteen koriin ja korien tulokset yhdistetään laskentataulukossa.

$$m_{netto} = m_{brutto} - m_{taara}$$

$$m_{ka.puikko} = \frac{m_{netto}}{puikkomäärä}$$

Monopuikkojen punnitus haluttiin integroida osaksi prosessia operaattoreiden suoritettavaksi. Monopuikkojen punnituksesta laadittiin työohje, jossa kerrottiin vaihe vaiheelta, kuinka monopuikot punnitaan ja miten tulokset kirjataan ylös pöytäkirjaan. Työohjeesta tiedotettiin tuotantopäällikön pitämässä viikkopalaverissa, johon operaattorit osallistuvat. Monopötkyjen pakkauksessa käytettävät niobititaaniytimet punnitaan ja identifioidaan, kun ytimet saapuvat Luvatalle, ja niiden painot kirjataan ylös tietokantaan. Monopötkyä pakattaessa tiedetään, mihin puikkoeraan jokainen niobititaani ydin on käytetty. Tällöin pystytään vertaamaan valmiiden puikkojen sisältämää niobititaanin massaa käytettyyn niobititaanin määrään.

$$saanto\%_{NbTi} = \frac{m_{NbTi\ puikoissa}}{m_{NbTi\ ydin}} * 100$$

$$m_{NbTi\ puikoissa} = m_{puikot} \cdot NbTi\ paino\%$$

$$NbTi\ paino\% = \frac{\frac{1}{1+\alpha} \cdot \rho_{NbTi}}{\left(1 - \frac{1}{1+\alpha}\right) \cdot \rho_{mono}}$$

$$\alpha = \frac{V_{Cu}}{V_{Sc}}$$

$m = massa$

$\rho = tiheys$

6.2.2 Datan siirtäminen mittaustietokantaan

Monopuikkoeriä valmistuu kuukausittain useita kymmeniä, joten datan keräämisestä haluttiin tehdä automaattista. Tulosten kirjaaminen veisi paljon aikaa ja työllistäisi turhaan työntekijöitä. Kirjauksia tehdessä näppäilyvirheiden riski kasvaa ja tulokset saataisivat vääristyä. Tulosten keräämisen helpottamiseksi alettiin suunnitella järjestelmää, joka tallentaisi tulokset suoraan mittaustietokantaan (Liite 3). Järjestelmän käyttöliittymä tilattiin alihankintana mittaustietokannan ylläpitäjältä. Järjestelmän vaatimuksena oli tallentaa tietokanta jokaisen monopuikkoerän puikkojen paino, kappalemäärä ja erän keskiarvopaino. Jokainen punnituskori tuli merkitä yksiselitteisesti ja punnita taarapaino järjestelmää varten. Järjestelmä ei toimisi, jos käytettävää punnituskoria ei löytyisi järjestelmästä ja tämä aiheuttaisi paljon ylimääräistä työtä punnitustuloksen saamiseksi.

6.2.3 Monopuikkojen punnituksen käyttöliittymä

Järjestelmän valmistuttua tehtiin kokeita sen toimivuudesta ja operaattoreilta kysyttiin ideoita järjestelmän kehittämiseksi käyttäjäystävällisempään muotoon. Kun järjestelmän toimivuudesta oli varmistuttu ja ulkoasu oli saatu haluttuun muotoon, järjestelmä otettiin osaksi monopuikkojen punnitusta. Monopuikkojen punnitushjetta päivitettiin tulosten kirjaamisen osalta ja vanhoista paperisista pöytäkirjoista päästiin eroon. Järjestelmä esiteltiin operaattoreille viikkopalaverissa kollektiivisesti ja järjestelmän toiminnasta sai esittää kysymyksiä.

Järjestelmään syötetään puristenumero, joka kertoo monopuikkojen tyyppin, käytetyt telineet, bruttopainot ja puikkojen määrä. Lisäksi luotiin huomautusrivi, johon saa lisätä huomautuksia poikkeustilanteissa. Punnitustuloksen syöttämisen yhteyteen luotiin tarkistuksia virheellisten kirjausten minimoimiseksi. Puikkojen keskiarvopainon täytyy osua tietyllä toleranssialueella ja puristenumeron on oltava oikea tulosten syöttämiseksi. Järjestelmä ilmoittaa tuloksen virheellisyydestä ja pyytää operaattoria tarkistamaan syöttämänsä tulokset. Näin väärin tuloksien ja kirjausvirheiden määrää pyritään minimoimaan.

6.2.4 Saantotaulukko

Monopuikkojen punnitustulosten ja saannon seuraamiseksi kehitettiin järjestelmä (Liite 4), joka hakee mittaustietokannasta jokaisen puikkoerän painon, puikkojen kappalemäärän ja käytetyn niobititaaniytimen painon. Näillä tiedoilla järjestelmä laskee jokaisen puikkoerän niobititaanisaannon ja piirtää SPC-kuvaajan kolmen sigman valvontarajoilla.

Taulukon tuloksia voi järjestellä puikkotyypin mukaan ja valita aikavälin, jolta tulokset halutaan. Näin tuotannon toimihenkilöt saavat käyttöönsä työkalun, jolla voi seurata saannon kehittymistä kuukausitasolla. Poikkeustapaukset erottuvat selvästi kuvaajasta ja poikkeamien juurisyiden tutkintaan voidaan kohdistaa toimenpiteitä prosessin kehittämiseksi.

6.3 Alfamittauksen saanto

Multilangan valmistuksessa käytetään kuumapursotusta, jonka seurauksena langan molempiin päihin syntyy muutosvyöhykkeet, jotka tulee poistaa langan tasalaatuisuuden saavuttamiseksi. (Laine 2011, II) Multilangan prosessin suurimmat niobititaani hävikit syntyvät näiden epäkuranttien osuuksien poistoissa. Poistojen pituudet kirjattiin jo entuudestaan mittaustietokantaan, mutta niiden vaikutuksista saantoon ja langan lopulliseen painoon, ei ollut tarkkaa tietoa.

6.3.1 Alfamittauksen datan modifiointi

Multilankojen prosessissa kaikki langat käyvät kahden millimetrin halkaisijassa läpi alfamittauksen (Liite 5). Alfamittauksessa selvitetään kuparin ja suprajohtavan materiaalin välinen suhde ja määritetään puristeen alku- ja loppupään katkaisukohtat epäkuranttien osuuksien poistamiseksi. Osa langoista prosessoidaan pienempään halkaisijaan ja osa lähtee kahden millimetrin halkaisijassa eteenpäin asiakkaille. Valmiit tuotteet punnitaan ja tulos kirjataan tietokantaan. Langat myydään painon perusteella kilohinnalla, joten lankaa pyritään poistamaan mahdollisimman vähän maksimaalisen

hyödyn saavuttamiseksi. Prosessin seurattavuutta haluttiin parantaa ja poistojen vaikutuksesta päästä selville, joten alfamittauksen yhteyteen kehitettiin järjestelmä, joka laskee langan mitoista ja arvoista langan painon.

$$m = \pi \cdot r^2 \cdot l \cdot \rho$$
$$\rho_{lanka} = \frac{1}{(1 + \alpha)} \cdot \rho_{Cu} + \left(1 - \frac{1}{(1 + \alpha)}\right) \cdot \rho_{NbTi}$$

$r = \text{langan poikkileikkauksen säde}$
 $l = \text{pituus}$

Mittauslinjan datasta selviää langan halkaisija ja kuparin ja niobititaanin välinen suhde, josta pystytään laskemaan langan tiheys. Langan kokonaispituus saadaan mittauslinjalla olevasta pituusmittarista.

Alfamittauksessa langan molemmista päistä suoritetaan mittausta noin kilometrin matkalta, jotta poistokohdat löytyvät. Koko lankaa ei mitata, sillä mittauksessa kuluisi aikaa turhaan. Langan keskialue kelataan nopeammin läpi, ja tältä matkalta mitataan vain langan pituus. Mittaustietokantaan tallentuva alfan arvo lasketaan molempien päiden keskikohdan puoleisesta päästä 20 viimeisen arvon keskiarvona ja molempien päiden keskiarvoista otetaan keskiarvo. Näin saadaan hyvä estimaatti koko langan keskimääräisestä alfan arvosta. Molempien päiden poistojen matkalta mittausta suoritetaan kokonaan. Tällöin poistojen painot ja kalliin niobititaanin osuus poistosta pystytään selvittämään tarkasti. Mittausjärjestelmä tallentaa langan arvon noin kolmen metrin välein taulukkoon, josta voidaan laskea jokaisen mittausvälin arvoilla kumulatiivinen paino ja niobititaanin osuus painosta. Langan alku- ja loppupään poistojen pituudet ja niobititaanipainot tallennetaan tietokantaan myöhempää analysointia varten.

6.3.2 Saannon analysointi

Multilangan prosessin saantoa ei oltu aikaisemmin analysoitu, joten tätä varten piti kehittää uusi työkalu saannon tutkimiseksi. Multisaanto liitettiin osaksi monopuikkojen saantotaulukkoa omaksi välilehdeksi (Liite 6).

Lankojen painoja ei punnita ennen kuin tuote on valmis, joten langalle päädyttiin generoimaan paino dimensioiden ja alfan perusteella mittaustietokantaan. Taulukkoon haetaan mittaustietokannasta langan tyyppi, kokonaispituus, poistojen pituus, paino, niobititaanisaanto, poistojen saantovaikutus ja keskimääräinen alfa. Langan niobititaaniosuus lasketaan langan painosta keskiarvoalfan avulla. Niobititaanin massaa verrataan multipötkyjen pakkauksessa käytettyjen monopuikkojen sisältämän niobititaanin massaan ja näin saadaan langan niobititaanisaanto.

$$m_{NbTi} = m_{lanka} \cdot NbTi \text{ paino}\%$$

$$NbTi \text{ saanto}\% = \frac{m_{NbTi \text{ langassa}}}{m_{NbTi \text{ pakkauksessa}}} * 100$$

Poistojen niobititaanimassat on laskettu valmiiksi tietokantaan poistovaiheessa, joten poistojen niobititaanisaanto saadaan suoraan vertaamalla poiston niobititaanimassaa pakattuun niobititaanimassaan. Tuloksia voi järjestellä tuotetyypin mukaan ja tulosten aikavälin voi muuttaa asettamalla päivämääräraajat tuloksille. Taulukko piirtää niobititaanisaannosta SPC-kuvaajan ja laskee populaatiolle kolmen sigman valvontarajat. Normaalista vaihtelusta poikkeavat tulokset erottuvat joukosta ja tulosten juurisyihin voidaan kohdistaa tutkintaa prosessin kehittämiseksi.

6.4 Prosessikaaviot poistoista

Luvatalla ei ollut tarkkaa tietoa, missä vaiheessa prosessia poistot tarkalleen syntyvät. Suprajohtimien valmistusprosessi on pitkä ja monivaiheinen, minkä takia tuotteiden läpimenoajat ovat pitkiä. Prosessi tapahtuu kahdessa erillisessä rakennuksessa, mikä osaltaan vaikeuttaa materiaalin seurattavuutta. Poistojen syntykohtiin ja suuruuksiin haluttiin selvyys ja siksi päätettiin suorittaa kartoitus prosessissa syntyvistä poistoista. Liitteissä 7 ja 8 on esitetty prosessikaaviot, joihin poistot on merkitty syntykohtiin.

6.4.1 Monovaihe

Kartoitus aloitettiin välituotteesta eli monopuikosta. Prosessi alkaa suprapuolella komponenttien peittauksella ja pakkauksella, jonka jälkeen monopötky pakataan, vakumoidaan ja hitsataan umpeen. Näissä vaiheissa ei vielä synny poistoja peittauksessa syöpyvää materiaalia lukuun ottamatta.

Tämän jälkeen pötkyt kuljetetaan vetämöön kuumapursotukseen. Pursotuksessa pötky pursotetaan matriisiin läpi tangoksi. Pursotuksen seurauksena pötkyn pinnasta jää kuparia matriisiin. Poisto on puhdasta kuparia, joka voidaan kierrättää uusiokäyttöön.

Pursotuksen jälkeen puristeet jäädytetään ja kuljetetaan suurelle vetopenkille. Ennen kuin vedot voidaan aloittaa, puristeisiin täytyy tehdä vetopäät vetopenkkiä varten. Puristeen alkupäässä on puhdasta kuparia, joka sahataan pois kierrätystä varten. Lisäksi alkupäästä sahataan suprajohtavaa materiaalia pois. Muutosvyöhykkeellä niobititaaniytimen päällä on hyvin vähän kuparia, ja jos tätä aluetta ei poistettaisi, saattaisi niobititaani nousta puristeen pintaan tulevissa vedoissa kuparin läpi ja näin pilata käytössä olevan vetorenkaan. Tämä muutosvyöhykkeen poisto on monoprosessin merkittävin poisto saannon kannalta suuren halkaisijan ja massan vuoksi. Puristeen loppupäähän tehdään vetopää puhtaaseen kupariin ilman poistoja. Suurella vetopenkillä suoritettavassa kaavinvedossa puristeen pinnasta kaavitaan puhdasta kuparia, jotta kuparin ja niobititaanin välinen suhde saadaan oikeaksi. Kaavittu kupari otetaan talteen ja kierrätetään. Vetojen välissä vetopäätä täytyy typistää pienemmäksi, jotta vetopää mahtuu verorenkaista läpi. Vetopään typistäminen suoritetaan ilman materiaali-poistoja.

Vetojen jälkeen puristeet siirtyvät pienemmälle vetopenkille, jossa vanha vetopää katkaistaan ja uusi vetopää tehdään materiaaliin, joka sisältää niobititaania. Kupari osuuteen tehty vetopää ei kestäisi tulevia vetoja, joten vetopää on tehtävä kovempaan materiaaliin. Vanhaa vetopäätä katkaistaessa erotetaan puhtaan kuparin osuus niobititaania sisältävästä materiaalista. Vetopään katkaisuun on vakiintuneet katkaisukohtat ja niobititaanin muutosvyöhykkeen erottaa puristeen pinnalla näkyvästä vaaleasta ”enkelinrenkaasta”. Kahden ensimmäisen vedon jälkeen vanha vetopää katkaistaan ja tilalle tehdään uusi. Viimeisten vetojen jälkeen puriste kiepitetään ja kuljetetaan suprapuolelle.

Supralla vanha vetopää katkaistaan ja puristeen alkupäästä otetaan muutaman sentin pituinen pätkä pois huonoa materiaalia. Tilalle tehdään uusi vetopää ja vetokelalla puriste vedetään oikaisumittaan. Oikaisua varten kieppi kuljetetaan takaisin vetämöön oikovetoon.

Oikovetopenkillä kieppi vedetään lopulliseen mittaansa ja samalla se oikaistaan saitoiksi. Vedon alussa vanha vetopää katkaistaan ja vetoleuoilla tartutaan kiinni hyvään materiaaliin. Kieppiä vedetään haluttuun pituuteen, jossa se katkaistaan ja vetoleuoilla tartutaan uudestaan katkaistuun kohtaan. Kun vedossa on kiepin loppuosa, veto pysäytetään ennen kuin kieppi on tullut kokonaan vetorenkaasta läpi ja loppuosasta jäävä häntäpala poistetaan. Jos kieppi vedettäisiin läpi, saitta menisi pahasti mutkalle, joka vaikeuttaisi puikkojen katkontaa ja oikaisemista. Puriste on katkottu tässä vaiheessa neljäksi saitaksi kesken oikovedon. Oikovedon jälkeen puikot katkotaan automaattisahalla pakkausmittaan. Jokaisen sitan alkupäässä on hampaan jäljet vetoleuoista, jotka katkaistaan katkonnassa pois. Jokaisen sitan peräpäätä jää myös pieni pätkä ylimääräiseksi, sillä saittaa ei voida katkaista oikovedossa määrämittaan. Neljännen sitan peräpäähän kerääntyy kaikki prosessissa kerääntynyt heitto ja sitan peräpäätä saattaa jäädä pitempi (jopa melkein kokonaisen puikon mittainen) jämäpala. Katkotuista puikoista poistetaan sahausjäysteet, ja puikot pakataan laatikkoon supraan kuljetusta varten. Suprassa puikot oikaistaan suoriksi ja puikot tarkistetaan virheiden varalta. Oikaisun jälkeen puikot punnitaan ja pitkäaikaispeitataan.

6.4.2 Multivaihe

Multilangan valmistusprosessi kartoitettiin samalla tavalla kuin monoprosessi. Multipötkyn komponentit peitataan ja pakataan suprassa, jonka jälkeen pötkyt vakumoidaan ja hitsataan umpeen. Pakatut multipötkyt kuljetetaan vetämöön kuumapursotukseen.

Kuumapursotuksessa puristeen pinnasta jää kuparia pursotusmatriisiin, joka kerätään talteen kierrätystä varten. Pursotuksen jälkeen puristeet kuljetetaan suurelle vetopenkille.

Suurella vetopenkillä puristeen alkupäästä sahataan puhdas kupari talteen ja muutosvyöhyke poistetaan siten, että puristeen poikkileikkauksessa on haluttu geometria. Tämä muutosvyöhyke jouduttaisiin joka tapauksessa poistamaan myöhemmin prosessissa, joten se poistetaan heti alussa, ettei tuotetta prosessoida turhaan. Puristeen loppupäästä poistetaan muutosvyöhykettä, jotta loppupäähän tehtävästä vetopäästä saadaan riittävän kestävä. Suurella vetopenkillä vetopäätä korjataan kerran vetojen välissä.

Vetojen jälkeen puristeet siirtyvät pienemmälle vetopenkille, jossa vanha vetopää katkaistaan ja tilalle tehdään uusi. Katkaistava vetopää sisältää jo tässä vaiheessa suprajohtavaa materiaalia, joten vetopäätä ei voida kierrättää. Pienemmän vetopenkin vetojen välissä vetopää katkaistaan toisen kerran, ja tilalle tehdään uusi vetopää. Vetojen jälkeen puristeet kiepitetään ja kuljetetaan supralle suurelle vetokelalle.

Suurella vetokelalla vanha vetopää katkaistaan ja peräpäästä poistetaan pätkä huonoa materiaalia. Vanhan vetopään tilalle tehdään uusi vetopää. Vetopäätä korjataan puristeen halkaisijan pienentyessä, mutta poistoja ei jouduta tekemään. Vetokelalta puriste siirtyy pienemmälle vetokelalle. Pienemmän vetokelan vetojen välissä joudutaan poistamaan vetopäitä ja jokaista vetoa varten vetopäätä korjataan. Tämän jälkeen puriste siirtyy sarjaketokoneelle.

Sarjaketokoneella joudutaan tekemään pieniä poistoja, jotka eivät ole saannon kannalta merkittäviä. Halkaisija on tässä vaiheessa jo niin pieni, että poistojen sisältämä niobititaanimäärä jää vähäiseksi.

Sarjaketokoneen jälkeen puristeelle suoritetaan alfamittaus, jossa kuparin ja niobititaanin välinen suhde tarkistetaan. Alueet, joilla alfa ei osu toleranssialueelle, poistetaan. Alfamittauksessa syntyy multiprosessin suurimmat niobititaanipoistot. Tällä hetkellä alku- ja loppupään muutosvyöhykkeiden epäkuranttia materiaalia, joissa kuparin ja niobititaanin suhde on väärä, ei pystytä hyödyntämään. Alfamittauksen jälkeen osa langoista siirtyy hienolankavaiheeseen ja osa myydään eteenpäin asiakkaille. Hienolankavaiheessa langoista joudutaan tekemään poistoja, mutta ne ovat niin pieniä, ettei niillä ole vaikutusta prosessin saantoon.

7 EHDOTUKSIA TILAAJA YRITYKSELLE

7.1 Materiaalikirjaukset

Materiaalikirjausten epätarkkuudesta päästäisiin eroon automatisoimalla materiaali-seuranta. Nykyinen tapa voitaisiin korvata järjestelmällä, joka vähentää automaattisesti jokaisen tuotteen pakkauksessa käytettyjen komponenttien painon varastosta. Valmiiden välituotteiden painot punnitaan nykyään tarkasti, joten varastoon saataisiin lisättyä todelliset painot. Valmiiden suprajohtimien painot punnitaan, joten valmistuneiden tuotteiden oikeat painot saadaan järjestelmään. Vähentämällä pakkauksessa käytettyjen komponenttien yhteispainosta valmistuneiden tuotteiden paino, saadaan syntyneen romun todellinen määrä.

7.2 Monosaanto

Monopuikkojen punnitukseen kannattaa lisätä tulosten tulostusmahdollisuus helpottamaan puikkojen inventointia. Tällä hetkellä monopuikkojen punnitus ei kontrolloi punnitaanko kaikki puristeet. Monopuikkojen punnitushjelma voisi hoitaa tuotannon-ohjausjärjestelmän kuittauksen työvaiheesta, jotta punnitsemattomat puikkoerät huomataan. Samalla operaattorilta säätyisi yksi työvaihe, kun puristetta ei tarvitse erikseen lähteä kuittamaan. Tulevaisuutta varten puikkojen saldot tulee olla paikkansapitäviä, joten puikkoeriä ei voi jättää punnitsematta.

7.3 Alfamittauksen saanto

Alfamittausohjelmaa täytyy kehittää luotettavan datan saamiseksi. Tällä hetkellä mittausohjelma päätelee langan arvoista mittauksen vaiheen, jonka vuoksi poikkeustapauksissa mittaustietokantaan tallentuu vääriä tuloksia. Poikkeustilanteiden varalle operaattorien kannattaa suorittaa parametrien syöttäminen ennen mittausta, jotta ohjelman vääriä tuloksia vältetään.

7.4 Poistojen kartoitus

Prosessista kannattaa valita yksi puriste, josta kerätään koko prosessin matkalta kaikki poistot talteen. Poistot voidaan punnitta ja mahdollisuuksien mukaan kupari liuottaa pois niobititaanin määrän selvittämiseksi. Jos pakatun niobititaanin määrästä vähennetään poistoissa oleva niobititaani, saadaan selville puikkojen sisältämä niobititaanin määrä. Tämän avulla voidaan laskea kuparin ja niobititaanin välinen suhde puristeessa hyvinkin tarkasti. Tutkimus toisi tarkkuutta poistojen kartoitukseen ja voisi paljastaa oletettujen arvojen virheellisyyksiä.

Prosessissa syntyvälle supraromulle kannattaa kehittää hyödyntämismahdollisuuksia. Romu sisältää arvokasta materiaalia, jonka hyödyntäminen toisi suuren taloudellisen hyödyn. Käyttökohteen löytyessä, hyödynnettävän romun keräämistä tulee sisällyttää prosessiin.

LÄHTEET

100 Years of Superconductivity. 2011. Leiden, Netherlands.

Brukerin www-sivut. Viitattu 19.4.2018. <https://www.bruker.com/>

Carr, W. J. 1983. AC Loss and Macroscopic Theory of Superconductors. France. Paris: Gordon & Breach. ISBN 0-677-05700-8

CERNin www-sivut. Viitattu 24.4.2018. <https://home.cern/>

Comerford, M. J. 2007. Luvata Production System: Aspirations, Expectations, Targets. Esitelmä LPS konferenssissa 17.3.2008.

He, J.L., Rote, D.M., & Coffey, H.T. Study of Japanese electrodynamic-suspension maglev systems. 1994. doi:10.2172/10150166.

Heikkilä 2008. OEE Workshop: Superconductors. Esitelmä LPS konferenssissa 14.3.2018

Kouri, I. 2010. Lean taskukirja. Helsinki: Teknologiainfo Teknova Oy. ISBN 978-952-238-037-1

Laine, M. 2011. NbTi-Suprajohtimen muutosvyöhykkeen analysointi resistiivisyyttä mittaamalla. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.

Lean Lionin www-sivut. Viitattu 23.3.2018 <https://www.leanlion.com/>

Lee, P. 2002. Superconductor: Wires and Cables: Materials and Processes. The University of Wisconsin-Madison

Lehtoranta, O. 1996. Tuottavuus, mittaa ja menesty. TT-Kustannustieto oy.

Luvata 2017. Työssäoppijoiden perehdytysmateriaali. Luvatan sisäinen materiaali. Viitattu 23.2.2018

Luvata 2018. LSP presentation intranet. Luvatan sisäinen materiaali. Viitattu 23.3.2018

Luvata prosessikaavio 2009. Luvatan sisäinen materiaali. Viitattu 27.4.2018

Luvatan www-sivut. Viitattu 20.3.2018. <http://www.mmluvata.com/en/About-LuvataSpecialProducts/Overview/>

Luvatan www-sivut. Viitattu 20.3.2018. <http://www.mmluvata.com/en/About-LuvataSpecialProducts/Locations/Pori/>

OEE:n www-sivut. Viitattu 25.3.2018. <https://www.oee.com>

Saari, S. 2006. Tuottavuus - Teoria ja mittaaminen liiketoiminnassa. Vantaa: Mido Oy. ISBN 951-98067-3-3

Salomäki, R. 1999. Suorituskykyiset prosessit – Hyödynnä SPC. Jyväskylä: Gumme-
rus Kirjapaino Oy. ISBN 951-817-707-4

Six Sigman www-sivut. Viitattu 27.3.2018. <http://www.six-sigma-material.com/Final-Yield.html>

Somerkoski, J. 1984. Uudet materiaalit ja niiden valmistusprosessit. Esitelmä Ota-
niemessä jatkokoulutusseminaarista 29.11.1984.

Wilson, M. 2011. A Century of Superconducting Technology. UK. Abingdon.

Wilson, M. Superconducting Materials for Magnets. Switzerland. Geneva.