



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

JYRI TUOMAALA
AUTOMAATTISEN PUTKENTAIVUTUSSOLUN
PROSESSIKYVYKKYYDEN PARANTAMINEN
Diplomityö

Tarkastaja: professori Paul H. Andersson
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Automaatio-, kone- ja materiaalitekniikan tiedekuntaneuvoston kokouksessa 5. joulukuuta 2012

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Konetekniikan koulutusohjelma

TUOMAALA JYRI: Automaattisen putkentaivutussolun prosessikyvykkyyden parantaminen

Diplomityö, 49 sivua, 18 liitesivua

Tammikuu 2013

Pääaine: Tuotantotekniikka

Tarkastaja: Professori Paul H. Andersson

Avainsanat: käytettävyys, prosessikyvykkyys, putkentaivutus, SPC, OEE

Automaatiojärjestelmän luotettavaa toimintaa kuvaava suure on käytettävyys. Korkea käytettävyys vaatii järjestelmän yksittäisiltä toimilaitteilta korkeaa luotettavuutta. Tässä työssä selvitettiin keskeiset seikat, jotka vaikuttavat robotisoidun putkentaivutussolun käytettävyyteen. Käytettävyyden lisäksi prosessin kokonaissuorituskykyyn vaikuttaa sen laaduntuottokyky ja tehokkuus. Analyyseissä hyödynnettiin tilastomatematiikan menetelmiä sekä työkaluja tunnuslukujen selvittämiseksi. Kirjallisuustutkimusosassa etsittiin soveltuvia teorioita ja käsitteitä ongelman kuvaamiseksi. Järjestelmän toimilaitteet esitetään yleisellä tasolla, jotta toiminnallisuuden riippuvuudet aukeaisivat lukijalle paremmin. Työn lopussa esitetään toimilaittekohtaisesti parannusehdotuksia, joilla uskotaan olevan toimintaa parantavaa vaikutusta.

Työn lopputuloksena saatiin selvitettyä tuotantosolun jokaisen toimilaitteen vikaantumisväli (MTBF) sekä koko solun vikaantumisväli. Vikaantumisvälin avulla on pystytty laskemaan jokaisen toimilaitteen käytettävyys sekä kokonaiskäytettävyys.

Suurimmaksi käytettävyyttä alentavaksi tekijäksi nousivat robotit. Niiden aiheuttamat pysäytykset olivat ajallisesti suurimmat. Seuraavaksi merkittävin oli sahalaitteesta aiheutuva pysäytys. Kolmanneksi merkittävin oli koneistavan robotin ongelmat. Robottien ongelmat aiheutuivat pääasiassa liikkeenvalvonnan aktivoitumisesta, kun työkappale törmäsi tarttujaan. Tämän taustalla oli väärin taipunut putkikappale. Väärää taipumaa aiheuttaa materiaalin vaihtelu ja siinä erityisesti sen plastisoitumisraja. Plastisoitumisrajalle on määritelty tietty nimellishajonta (R_p 0.2 s), joka kertoo miten paljon tämä arvo saa erän sisällä muuttua. Sallitun vaihtelun ollessa liian suuri, vaihtelee taivutuslopputulokset liikaa.

Sahalaiteen ongelmat liittyivät kahteen seikkaan. Yleisin oli kuljettimen jumiutuminen, toiseksi yleisin oli sahan terien loppuminen. Sahan teriä ei systemaattisesti vaihdeta kappalemäärän perusteella, vaan niiden vikaantuminen pysäytti solun toiminnan.

Koneistuksen ongelmat aiheutuivat varsijyrsimen hajoamisesta. Työstävä robotti pysähtyi, kun se törmäsi materiaaliin kun jyrshintapin elinikä tuli päätökseen. Robottisolua on tämän jälkeen kehitetty lisäämällä kestolaskuri, jonka jälkeen terä vaihdetaan puskuri-paikasta automaattisesti. Solun käydessä voidaan käytetyt terät vaihtaa uusiin solua pysäyttämättä. Myös joka kerta kun terä viedään takaisin työkalupaikkaan, todetaan sen kunto lasermittauksella.

Käytäntöjä parantamalla saadaan myös tuottavaa työaikaa lisää. Virheistä palautumiseen kuluva aika tulee minimoida. Kaikki työt jotka on tehty koneen ollessa pysähdyksissä, pyritään siirtämään töiksi, jotka tehdään koneen käydessä. Taivutus koneen säätämiseen on kehitetty menetelmä. Ratkaisuna on käyttää esivalittuja taivutusohjelmia materiaalin lujuusluokkien mukaan. Aikaisemmin samaa ohjelma-aihiota säädettiin jatkuvasti, jolloin prosessi värähteli helposti ja pitkällä aikavälillä saattaa ajautua sivuun. Säätäminen tulisi tapahtua aina uuden materiaalierän alussa x-R – valvontakortin avulla, jonka jälkeen sama erä ajetaan loppuun niillä säädöillä. Materiaalista johtuva jäännösvirhe, taivutusprosessin kohina, täytyy vain hyväksyä. Uuden nimellislujuusluokan omaavan erän tullessa tuotantoon täytyy taivutus luonnollisesti säätää uudelleen.

Jatkokehityksen kannalta merkittävimpiä asioita on työstöterän kunnan seuranta reaaliajassa perustuen erilaisiin anturointeihin. Myös teränkeston parantaminen on keskeisiä seikkoja. Materiaalitoimittajan kanssa tehtävä yhteistyö laadun parantamiseksi auttaa lähes jokaisen toimilaitteen kohdalla. Ohjeistukset virhetilanteista palautumiseen nopeuttavat niistä palautumista ja helpottavat ongelmien tunnistamista. Panostaminen ennakoiiviin huoltoihin vähentää riskiä vikaantumisesta ja saa aikaan paremman ymmärryksen todellisista käyttökustannuksista. Tehokkuutta voidaan jossain määrin myös kasvattaa optimoimalla työstötekniikkaa, mutta laatuongelmien ratkaisu on mielekkäämpi ratkaisu.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Mechanical Engineering

TUOMAALA, JYRI: Improving process capability on automatic tube bending cell

Master of Science Thesis, 49 pages, 18 Appendix pages

January 2013

Major: Production engineering

Examiner: Professor Paul H. Andersson

Keywords: Availability, Process capability, tube bending, SPC, OEE

Automatic production systems and its availability and failure rate are the most important figures for reliable production. High availability requires high reliability from each process device. This thesis is researching main causes for availability loss. Addition to availability, the overall efficiency has a quality and performance factor

When analysing results, statistical tools will be used whenever possible. When studying the theory, most essential methods will be used. In conclusions section, best practises will be introduced to meet the demands for higher overall efficiency.

As a result of this thesis, individual failure rate (MTBF) was calculated. Also overall failure rate could be established based on the collected data.

Most significant factor in terms of availability was the robots. Time consumed recovering from machine stops was significant factor. Almost as remarkable were the problems with sawing unit. Third factor was the milling robot. Major reason for stopping the robots was the activation of robot controllers own collision detection system. Collisions were caused by the interference with the work piece and the gripper. This happened when picking the work piece from previous unit. Behind this common error was faulty bending result. Wrong bending result was caused by material variation and especially tolerance in standard deviation of plasticity limit ($R_p 0.2$ s). This figure reveals how much certain material batch is allowed to vary. When limit is too broad, bending results will also vary.

Sawing device had two major issues. One was the malfunctioning exit conveyor and second reason was the breakdown of circular saw blades. There was no systematic procedure for servicing these wear parts.

Milling robot had regular problems with failing milling tools. It was mainly caused by using the tool for too long time until it failed. As a fix for this problem automatic tool change was introduced and tool should be changed according to fixed intervals. Also tool condition should be monitored between every milling step with a use of special laser detection.

For future development most significant factors will be developing real time monitoring and control for milling tool condition. Also improving tool life by other means is important. Cooperation with material supplier helps to reduce bending tolerance problems and it helps with almost every device in production cell. By implementing standardized procedures for recovering from error situations will help to reduce time consumed to fix them (MTTR). These practises will also help to recognise the problems much easier. Preventive maintenance reduces the risk of running into failures during the daily production, but also helps to grow understanding what the costs of running the daily production actual are.

ALKUSANAT

Työ on tehty työsuhteessa Maaseudun Kone Oy:lle, joka valmistaa Valtra – traktoreiden turvaohjaamoja. Tämä diplomityö tutkii automaattisen putkentaivutussolun kokonaistehokkuutta. Työssä on tavoitteena määrittellä tuotantosolun kokonaistehokkuus perustuen OEE - viitekehukseen.

Työn tekemisessä on hyödynnetty tuotannon ongelmaseurannasta saatuja tietoja, sekä mittalaitteen antamia mittaustuloksia putkien kaarevuusarvoista. Näiden tietojen perusteella on pyritty muodostamaan kokonaiskuva kokonaistehokkuuden laskemiseksi.

Yrityksen puolelta valvojana on toiminut Timo Lehtioja, jolta olen saanut hyviä kehitysehdotuksia heti työn alkuvaiheesta saakka. Haluan kiittää professori Paul H. Anderssonia ohjausavusta työn kaikissa vaiheissa. Kiitos kuuluu myös tuotantotiimille sinnikkäästä ongelmien kirjaamisesta ja kehitysideoista. Myös muiden sidosryhmien panos on otettu kiitoksella vastaan.

Jyri Tuomaala

Kauhavalla 23.01.2013

SISÄLLYS

| | |
|--|----|
| TIIVISTELMÄ | ii |
| ABSTRACT | iv |
| LYHENTEET JA SYMBOLIT | ix |
| 1. JOHDANTO | 1 |
| 1.1 Tausta | 1 |
| 1.2 Tutkimusongelman asettelu, tavoitteet ja rajaukset | 1 |
| 1.3 Opinnäytetyön eteneminen | 2 |
| 1.4 Käytettävät tutkimusmenetelmät | 2 |
| 2. TEORIA | 3 |
| 2.1 Tuotantoprosessi | 3 |
| 2.2 Häiriön aiheuttajat | 3 |
| 2.2.1 Yleinen syy | 3 |
| 2.2.2 Erityisyys | 3 |
| 2.3 Tilastolliset tunnusluvut ja työkalut | 4 |
| 2.3.1 Prosessin suorituskykyindeksi C_p | 4 |
| 2.3.2 Prosessin suorituskykyindeksi C_{pk} | 4 |
| 2.3.3 Normaalijakauma | 5 |
| 2.3.4 Tuotantoprosessin mittaustulosten jakauma | 5 |
| 2.4 Luotettavuusmatematiikka | 6 |
| 2.4.1 Variaatio | 6 |
| 2.4.2 Järjestelmien luotettavuus | 6 |
| 2.5 FM -järjestelmät | 8 |
| 2.5.1 Johdatus FMS periaatteisiin | 8 |
| 2.5.2 Laatu- ja tuotantokulma | 10 |
| 2.6 Käytettävyys (availability) | 10 |
| 2.7 OEE (Overall Equipment Efficiency) | 11 |
| 2.8 Jatkuva parantaminen ja kehitystyö | 14 |
| 2.8.1 PDCA | 14 |
| 2.8.2 DMAIC | 14 |
| 2.8.3 TPM (Total Productive Maintenance) | 15 |
| 2.8.4 Viisi kertaa miksi | 16 |
| 2.8.5 PM-analyysi | 16 |
| 2.9 Laatu- ja tuotantokulmia | 17 |
| 3. PUTKENTAIVUTUSSOLUN JÄRJESTELMÄKUVAUS | 21 |
| 3.1 Solun käyttötarkoitus | 21 |
| 3.2 Solun toimilaitteet ja layout | 22 |
| 3.2.1 Taivutustyökalut | 22 |
| 3.2.2 Sahalaite | 23 |
| 3.2.3 Laser-skannaus ja kolmiokameramittaus | 24 |
| 3.2.4 Plasmaleikkaus | 25 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.2.5 | Robotisoitu työstö | 26 |
| 3.2.6 | Robottien kiinnitintekniikka | 27 |
| 3.3 | Tuotteiden piirteet ja vaatimukset | 29 |
| 3.4 | Tuottavuustavoite | 30 |
| 3.5 | Käytettävyys | 30 |
| 4. | MITTAUSTULOSTEN ESITTELY | 31 |
| 4.1 | Käytettävyysseuranta | 31 |
| 4.2 | Operaattorin näkökulma | 34 |
| 4.3 | Materiaalin ominaisuuksien vaihtelu mittausjaksolla | 34 |
| 4.4 | Varsijyrsimien kestotilastot | 35 |
| 4.5 | Päivittäinen säätötarve laitekohtaisesti | 36 |
| 4.5.1 | Taivutusohjelmien muutostarve | 36 |
| 4.5.2 | Plasmaleikkausradat | 37 |
| 4.5.3 | Koneistusohjelmat | 38 |
| 5. | TULOSTEN ANALYSOINTI | 39 |
| 5.1 | Suorituskykynäkökulma | 39 |
| 5.2 | Prosessin laaduntuottokyky | 39 |
| 5.3 | Järjestelmän kokonaistehokkuus | 43 |
| 5.4 | Tutkimusaineiston virhelähteiden arviointi | 43 |
| 6. | JATKOKEHITYS | 45 |
| 6.1 | Korjaavat toimenpiteet | 45 |
| 6.1.1 | Keinot vaihtelun vähentämiseen | 45 |
| 6.1.2 | Luotettavuuden parantaminen | 45 |
| 6.2 | Käytettävyyden parantaminen | 46 |
| 6.3 | Parannusehdotukset | 46 |
| 6.3.1 | Robotit | 46 |
| 6.3.2 | Saha | 46 |
| 6.3.3 | Koneistus | 47 |
| 6.3.4 | Ongelmaseuranta | 47 |
| 7. | YHTEENVETO | 48 |
| 8. | LÄHTEET | 50 |
| 9. | LIITTEET | 51 |
| 9.1 | LIITE 1: ONGELMASEURANTA YHTEENVETO | 51 |
| 9.2 | LIITE 2: ONGELMASEURANTA | 52 |
| 9.3 | LIITE 3: KÄYTETYT TAIVUTUSOHJELMAT | 61 |
| 9.4 | LIITE 4: MATERIAALIOMINAISUUDET 1/2 | 62 |
| 9.5 | LIITE 4: MATERIAALIOMINAISUUDET 2/2 | 63 |
| 9.6 | LIITE 5: MATERIAALITESTI 60X60X4 PROFILILLE | 64 |
| 9.7 | LIITE 6: x-R valvontakortti | 65 |
| 9.8 | LIITE 7 Mittaustulosten toistettavuudesta | 66 |
| 9.9 | LIITE 8 Tuotteen 36162600 mittapiirustus | 67 |
| 9.10 | LIITE 9: PROFILIN NIMELLISHALKAISIJAN VAIHTELU | 68 |

LYHENTEET JA SYMBOLIT

| | |
|----------------------|--|
| C _p | Prosessin suorituskykyindeksi |
| C _{pk} | Prosessin suorituskykyindeksi |
| \bar{x} | Muuttujan x keskiarvo |
| R | Taivutussäde (radius) |
| R _{p 0.2} | Materiaalin plastinen venymäraja |
| R _{p 0.2 s} | Materiaalin plastisen venymärajan nimellishajonta |
| USL | Upper specification limit, ylempi toleranssiraja |
| LSL | Lower specification limit, alempi toleranssiraja |
| LEAN | Johtamisfilosofia, joka pyrkii hukan poistamiseen ja arvontuoton lisäämiseen |
| FIFO | First In – First Out, jonoperiaate jossa ensimmäiseksi sisään syötetty tulee ensimmäisenä ulos. |
| FMS | Flexible manufacturing system, joustava valmistusjärjestelmä |
| MTBF | Mean time between failures, vikaantumisväli. |
| MTTR | Mean time to repair, keskimääräinen korjaamiseen kuluva aika. |
| OEE | Overall equipment efficiency, järjestelmän kokonaistehokkuus. |
| Soft move | ABB:n kaupanimitys tekniikalle, jossa rannetta pehmennetään ohjelmallisesti kappaletartunnan aikana. |
| SPC | Statistical process control, tilastollinen laadunohjaus. |

1. JOHDANTO

1.1 Tausta

Maaseudun Kone Oy valmistaa päätuotteenaan Valtra traktoreiden ohjaamoja. Kilpailukyvyyn ja laatuason nostamiseksi yritys on lähtenyt kehittämään automaatiota ohjaamopilareiden valmistukseen. Tavoitteena on ollut automatisoida koko turvaohjaamon putkiosien valmistusprosessi. Pyrkimyksenä on ollut saavuttaa korkea käytettävyys ja tinki­mätön laatuaso.

Tuotantoajossa on ilmennyt kuitenkin monenlaisia lisähaasteita liittyen prosessin kyvykkyteen tuottaa laatuasoltaan riittävän hyviä kappaleita. Merkittävä osa tämän hetkisestä tuotantokapasiteetista hukkuu erinäisiin käytettävyysongelmiin ja materiaaliongel­mista johtuviin säätötarpeisiin niin taivutuksessa kuin muissakin työvaiheissa. Nykyisin ongelma ei ole vielä ehtinyt kärjistyä, koska kapasiteettia on riittävästi. On kuitenkin nähtävissä muutaman vuoden päähän, jolloin uuden ohjaamomallin myötä kapasiteetti täytyy voida käyttää tehokkaammin hyödyksi.

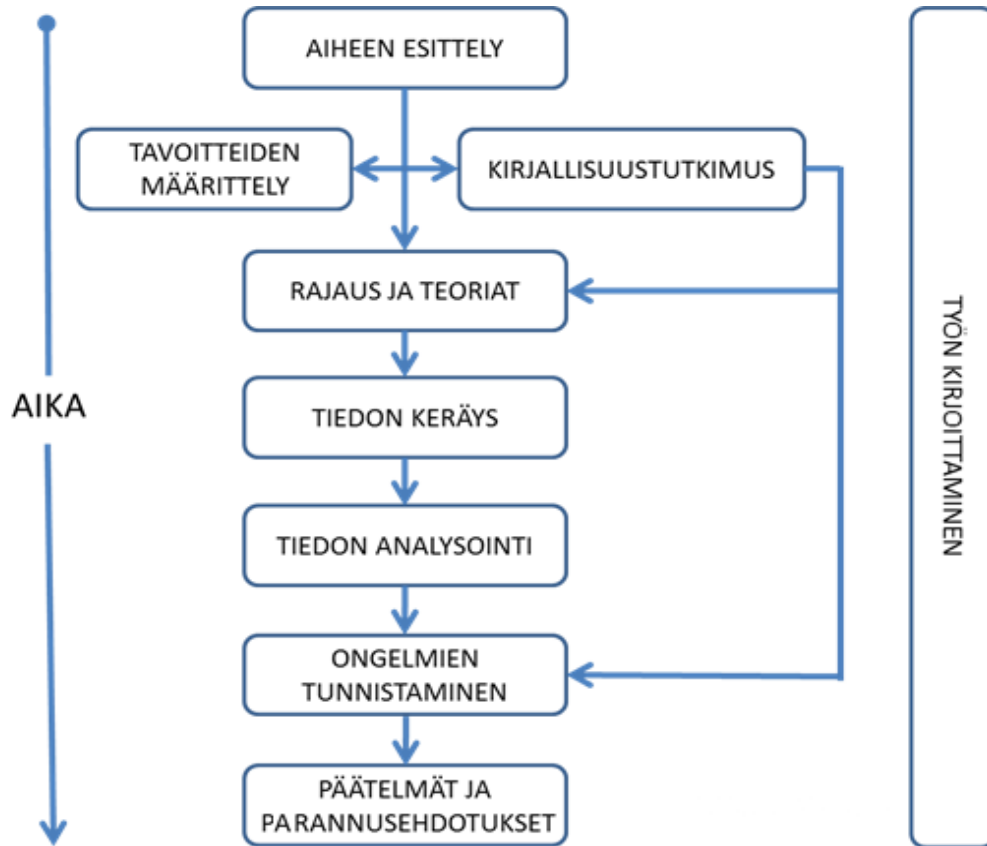
Tässä työssä selvitetään keskeiset laatu­poikkeamien syyt käyttäen soveltuvia laatu­työkaluja analyysin apuna. Korkean käytettävy­yden saavuttamiseksi selvitetään keskeiset on­gel­mia aiheuttavat tekijät.

1.2 Tutkimusongelman asettelu, tavoitteet ja rajaukset

Työn tarkoituksena on selvittää käytettävy­yteen, laaduntuottokykyyn ja prosessin kokonaistehokkuuteen vaikuttavat asiat. Työn tulokset käytettävy­yden suhteen perustuvat ennalta määritelyihin seurattaviin laitekohtaisiin on­gel­maseuranta-listoihin, joita kerätään systemaattisesti päivittäisestä tuotannosta. Seuranta on aloitettu, jotta saataisiin riittävä aineisto prosessin kehittämiseksi ja analyysien muodostamiseksi. Järjestelmästä saatavat kameramittaustulokset hyödynnetään kun tutkitaan laaduntuottokykyä. Työ rajataan koskemaan prosessin kokonaistehokkuuteen vaikuttavien ilmiöiden tutkimiseen. Tavoitteena on saada konkreettisia parannusehdotuksia järjestelmän parantamiseksi. Parannukset jakautuvat ilman investointeja toteutettaviin, sekä investointeja vaativiin muutoksiin. Työn tavoite on osoittaa miten jatkuvan parantamisen hengessä ongelmien syiden systemaattinen kirjaaminen voi auttaa kehitystyössä.

1.3 Opinnäytetyön eteneminen

Opinnäytetyön eteneminen voidaan kuvata seuraavalla virtauskaaviolla, jossa työn kirjoittaminen on esitetty ajan funktiona.



Kuva 1. Opinnäytetyön kirjoituksen etenemisen rakenne.

Kuvan 1 perusteella suuren painoarvon lopputuloksen kannalta saa alkupään tavoitteen selkeä määrittely ja kirjallisuustutkimuksesta saatavat teoriat ja rajaukset. Kirjallisuustutkimuksen avulla voidaan laskea tunnusluvut jotta vallitsevaan tilanteeseen osataan suhtautua oikein.

1.4 Käytettävät tutkimusmenetelmät

Tutkimuksesta hyödynnetään prosessin jatkuvasta seurannasta saatavia tietoja. Tutkittavan ilmiön virheen aiheuttajat pyritään tunnistamaan käytettävien teorioiden avulla ja löytämään syy-seuraus kytkentä, jotta parannusehdotuksia voidaan tehdä.

2. TEORIA

2.1 Tuotantoprosessi

Tuotantoprosessilla tarkoitetaan tavoitteellista ja toistuvaa tekemistä, jossa kokonaisuus koostuu osaprosesseista. Se tarjoaa vakioidun, toistettavissa olevan toimintamallin. Tuotantoprosessille ominaisia piirteitä ovat:

- Toimitusaika
- läpäisy aika
- vaiheaika.

Prosessi voi kuvata tehdastuotantoa, palvelua tai muuta tavoitteellista toimintaa. Osaprosesseissa itse prosessivaihetta edeltää syöte ja tuloksena on ulostulo seuraavalle vaiheelle. (Salomäki 2003)

Prosessin kyvykkyys ei tarkoita samaa asiaa kuin prosessin vakaus. Prosessi voi olla kyvykäs, muttei välttämättä vakaa. Jos laatu ei muutu pitkän ajankaan kuluttua, voi sitä pitää vakaana ja ennustettavana. Vakaa prosessikaan ei ole välttämättä hyvä prosessi. Tuotantoprosessin hyvyys mitataan sen kyvyssä tuottaa vaatimukset täyttäviä tuotteita. Nämä vaatimukset voivat olla esimerkiksi mittatoleransseja. (Joglekar 2010)

2.2 Häiriön aiheuttajat

Tilastollisen laadunohjauksen ja prosessisajattelun kannalta keskeisin kysymys on yleisten ja erityisyyden tunnistaminen prosessin vaihtelun ja ongelmien lähteenä sekä oikea reagointi eri tilanteissa. Tämä syiden ryhmittely mahdollistaa tehokkaat, oikeisiin kohteisiin suunnatut toimenpiteet. (Salomäki 2003)

2.2.1 Yleinen syy

Häiriösuure voi olla prosessissa mukana oleva ja koko ajan vaikuttava yleinen syy, jolloin se aiheuttaa luonnollista vaihtelua, kohinaa. (Salomäki 2003)

2.2.2 Erityisyys

Häiriö voi olla myös äkillinen, erityisestä syystä johtuva. Erityinen syy ei ole normaalisti mukana prosessissa. Yleensä tämä näkyy luonnollisesta vaihtelusta poikkeavana piik-

kinä, signaalina. Itse prosessia ei tule tämän signaalin perusteella säätää. On löydettävä tämä erityisyys sekä pyrittävä löytämään keino häiriön uusiutumisen estämiseksi. Signaali havaitaan SPC:n tarjoamin keinoin tuloksen poikkeaman normaalista, odotettavissa olevasta kohinasta. Suuri kohina voi peittää jonkin verran myös erityisyyttä. (Salomäki 2003)

2.3 Tilastolliset tunnusluvut ja työkalut

2.3.1 Prosessin suorituskykyindeksi Cp

Prosessin suorituskykyindeksi Cp kertoo miten hyvin prosessi kykenee tuottamaan vaatimusten (toleranssien) mukaisia kappaleita. Mitä suurempi on Cp –luku, sitä parempi prosessi on kyseessä. Luvun avulla voidaan vertailla eri prosesseja keskenään sekä laskea miten hyvin nykyinen prosessi vastaa vaatimuksia. Luku voidaan laskea prosessille, jonka keskiarvo on toleranssirajojen keskellä ja molemmanpuoliset toleranssit on annettu. Mittaustulosten ei tarvitse olla normaalisti jakautuneita. Indeksien toleranssialue jaetaan prosessin keskihajonnan kuusinkertaisella arvolla, joka kattaa tilastollisesti 99,97 % arvoista. (Evans 2010, Joglekar 2010, Salomäki 2003)

$$Cp = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (1)$$

2.3.2 Prosessin suorituskykyindeksi Cpk

Indeksi Cp harvoin toimii käytännössä. Prosessin keskiarvo harvoin on keskiarvon kohdalla. Myöskään toleranssit eivät aina ole molemmin puoleisia. Tällöin riittää että laskeaan pienemmän Cpk tuloksen antava arvo.

$$Cpk = \left(\frac{USL - \bar{x}}{3\sigma}; \text{tai} = \frac{\bar{x} - LSL}{3\sigma} \right) \quad (2)$$

Yleisarviot prosessista Cpk:n avulla:

| | |
|---------------------|--|
| Cpk < 1,00 | Heikko tilanne, jatkuvia toleranssin ylityksiä |
| Cpk = 1,00...1,33 | Huono tilanne, pienikin muutos johtaa toleranssin ylityksiin |
| Cpk = 1,33 ... 1,50 | Kohtuullinen tilanne, pienet muutokset mahdollisia |
| Cpk > 1,50 | Luotettava prosessi, muutokset on havaittavissa herkästi |

Kun määritellään prosessiin kyvykkyyksindeksejä, tulisi siihen ottaa vähintään 50 mittausta. Yli 200 tuloksen laskeminen ei välttämättä luo lisäarvoa. Testin ajaksi tulisi koeympäristö vakioida muiden ympäristön häiriöiden suhteen. (Salomäki 2003)

2.3.3 Normaalijakauma

Normaalijakaumalla kuvataan satunnaisen muuttujan tilastollista käyttäytymistä todennäköisyyslaskelman keinoin. Normaalijakaumaa kutsutaan myös Gaussin jakaumaksi keksijänsä Carl Friedrich Gaussin mukaan. Kuvaaja tunnetaan myös kellokäyränä. Kuvaaja on tiheysfunktio, joka kertoo x arvon toteutumisen todennäköisyyden. Parametreina tiheysfunktiolle käytetään kahta arvoa, keskihajontaa sekä perusjoukon keskiarvoa (odotusarvoa).

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

σ = perusjoukon keskihajonta

μ = perusjoukon keskiarvo (odotusarvo)

Kyseessä on jatkuva funktio, jossa x-akselin arvoa vastaava todennäköisyys saadaan y-akselin arvona. (Morrison 2009, Salomäki 2003)

2.3.4 Tuotantoprosessin mittaustulosten jakauma

Prosessista saadaan mittaustuloksia hyödyntämällä piirrettyä histogrammi, jossa mittaustulokset on jaettu tasaväleihin ja ne esitetään frekvenssien suhteen. Jakauman muotoa voidaan verrata normaalijakauman muotoon. Näin voidaan selvittää esiintyykö mahdollista vinoutta tai useita huippuja. Jakauman leveys kertoo miten hyvin prosessin on hallussa. Ideaalitilanteessa olisi keskellä lähes pystyviiva. (Salomäki 2003)

2.4 Luotettavuusmatematiikka

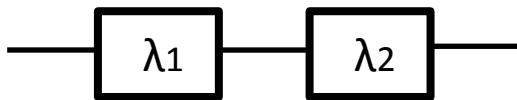
Luotettavuusmatematiikka tarjoaa kaksi keskeistä välinettä luotettavuuden mittaamiseen. Näitä ovat todennäköisyyslaskenta ja tilastomatematiikka. Annetaan esimerkiksi komponentille vikaantumisväliksi 10^7 h. Jos valmistetaan tuhat yksikköä ja käytetään niitä 100 h, ei voi varmuudella sanoa montako niistä vikaantuu. Voimme ainoastaan määrittää todennäköisyyden tapahtumalle. Voidaan edelleen määrittää luottamusväli vikaantumistapahtumalle, joka kertoo miten todennäköisesti vika ilmenee annettujen rajojen sisällä. (O'Connor 2012)

2.4.1 Variaatio

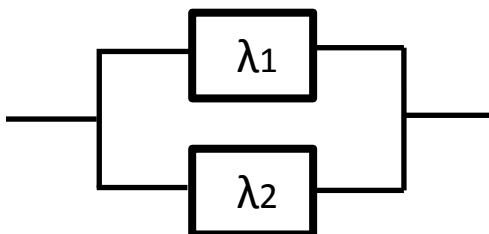
Luotettavuuteen vaikuttaa variaatio eli vaihtelevuus. Vaihtelua voivat aiheuttaa esimerkiksi materiaaliominaisuudet, jota esiintyy kaikkialla, kuten vaikka elektroniikkakomponenteissa. Variaatiota ei voida välttää joten sen ymmärtäminen tuoteominaisuuksien säilyttämiseksi on välttämätöntä. Muuttuva parametri voi olla muukin suure, esimerkiksi lämpötila, värähtely jne. Tilastolliset menetelmät antavat käytännön kannalta yleensä riittävät keinot luotettavuusongelmien ratkaisemiseksi. (O'Connor 2012)

2.4.2 Järjestelmien luotettavuus

Järjestelmään vaaditaan kaksi tai useampaa komponenttia. Se voidaankin kuvata joko sarjasysteeminä, tai rinnakkaissysteeminä. Jos järjestelmässä on sisäkkäisiä toimintoja, ne täytyy kuvata erikseen. (O'Connor 2012)



Kuva 2. Sarjasysteemi



Kuva 3. Rinnakkaissysteemi

Käsitellään ensimmäiseksi sarjasysteemin matematiikkaa (kuva 2). Sarjasysteemissä koko järjestelmä vikaantuu, jos jokin ketjun komponenteista vikaantuu. Järjestelmää kuvaa ns. heikoimman lenkin periaate. Sarjasysteemin vikaantumistiheys voidaan laskea osavikaantumisten summana (O'Connor 2012)

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 \quad (4)$$

Suure λ kuvaa yksittäisen komponentin vikaantumistiheyttä. Koska tässä mallissa komponenttien vikaantumistiheydet ovat vakioita, komponenttien luotettavuus R_1 ja R_2 ajan funktiona t ovat: (O'Connor 2012)

$$\exp(-\lambda_1 t) \text{ ja } \exp(-\lambda_2 t) \quad (5)$$

Järjestelmän luotettavuus on kummankin komponentin vikaantumattomuuden yhdistelmä: (O'Connor 2012)

$$R_1 R_2 = \exp[-(\lambda_1 + \lambda_2)t] \quad (6)$$

Yleisessä muodossa voidaan kirjoittaa sarjasysteemille: (O'Connor 2012)

$$\prod_{i=1}^n R_i = R \quad (7)$$

Jossa R_i on i :nnen komponentin luotettavuus. Kaava tunnetaan sarjasääntönä. (O'Connor 2012)

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = \lambda \quad (8)$$

$$\text{ja } R = \exp(-\lambda t) \quad (9)$$

Käsitellään seuraavaksi rinnakkaisjärjestelmää (kuva 3). Rinnakkaisjärjestelmässä redundanssi tarkoittaa tiettyssä mielessä päällekkäisyyttä. Järjestelmä ei ole niin vikaherkä yhden komponentin vikaantumiselle. (O'Connor 2012)

$$(R_1 + R_2) = R_1 + R_2 + - R_1 R_2 \quad (10)$$

tai muodossa (O'Connor 2012)

$$1 - (1 - R_1)(1 - R_2) \quad (11)$$

vakiomuotoiselle vikaantumistiheydelle voidaan kirjoittaa: (O'Connor 2012)

$$R = \exp(-\lambda_1 t) + \exp(-\lambda_2 t) - \exp[-(\lambda_1 + \lambda_2)t] \quad (12)$$

Yleinen muoto rinnakkaisjärjestelmälle: (O'Connor 2012)

$$R = \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (13)$$

Kahdennetulla järjestelmällä saavutetaan merkittävä luotettavuuden parantaminen. Sitä hyödynnetään varsinkin järjestelmissä, joita ei voida tai haluta huoltaa. Jotkut sovellukset eivät edes salli huollettavuutta. (O'Connor 2012)

Rinnakkaisjärjestelmä on kuitenkin hintavampi, varsinkin jos normaalitilanteessa laitteelle ei ole käyttötarkoitusta. Hyvä olisikin jos laitteelle olisi olemassa jatkuva tarve, ja vian sattuessa se muuttuisi monikäyttöiseksi, jolloin osa toiminnoista voisi reitittää tämän kautta. (O'Connor 2012)

2.5 FM -järjestelmät

2.5.1 Johdatus FMS periaatteisiin

Nykyisessä tuotantoympäristössä valmistusjärjestelmän joustavuus on noussut ensisijaisen tärkeäksi. Tuotevarianttien kasvaessa on tuotantolinjan pystyttävä valmistamaan saman tuoteperheen tuotteita, joilla voi olla keskenään vain pieniä eroavaisuuksia. Joustavasta valmistusjärjestelmästä käytetään yleisnimitystä FMS (Flexible Manufacturing System). Joustavan valmistusjärjestelmän määritelmää voidaan käyttää, jos järjestelmässä tuotteesta toiseen voidaan siirtyä joustavasti ja mahdollisimman automaattisesti. Asetusaikojen tulee olla pieniä. (Haverila 2009, Wang 2010)

Automatisoinnilla on haettu seuraavanlaisia hyötynäkökohtia:

- Työn tuottavuus kasvaa automaation myötä
- laatutason tasaisuus, ei tekijästä riippuvainen
- valmistuksen nopeuden kasvaminen
- tuotevaihtojen joustavuus
- käyttöasteen nouseminen
- uusien valmistustekniikoiden käyttöönotto.

Automaation haitoiksi koetaan muun muassa:

- Investointien kasvu
- osaamispohjan kehittäminen
- liiketoimintariskien korostuminen
- tekniikasta johtuvat riskit
- saattaa vaatia muutoksia olemassa oleviin tuotteisiin
- käyttöönottovaiheen mahdolliset ongelmat
- valmistuksen hienostuneisuuden vähentyminen (hienosäätö)
- korkeammat ohjelmointikustannukset
- mahdolliset puutteet työkalujen kunnonseurannassa. (Helmi 2008, Haverila 2009)

Kun suunnittelun tuottama tieto on olemassa digitaalisessa muodossa, voidaan sitä hyödyntää myös valmistuksessa. Tuotteet saadaan nopeammin käyttöön, koska ohjelmien teko on aiempaa nopeampaa. Asetusaikojen pienentyessä voidaan myös tuottaa taloudellisemmin pienempiä eräkokoja. On tärkeää suunnitella tuote ja valmisjärjestelmä siten, että se tukee missä tahansa järjestyksessä tuotettavia kappaleita, ilman että järjestelmä aiheuttaa joitakin joustavuusrajoitteita. Äärimmäisenä tavoitteena on poistaa asetusajat kokonaan. (Haverila 2009, Helmi 2008)

FM-järjestelmät koostuvat periaatteessa kolmesta kokonaisuudesta: työasemista, materiaalin kuljettamiseen liittyvistä toimilaitteista, sekä ohjausjärjestelmistä. Työasemat on sijoiteltu tuotteen kannalta loogiseen järjestykseen niin, että materiaali virtaa mahdollisimman suoraviivaisesti vaiheelta toiselle. Kappaleen käsittely voidaan yksinkertaisissa tapauksissa hoitaa kuljettimilla ja muilla siirtomekanismeilla, mutta usean koneen palvelemisessa tarvitaan lähes aina robotin tarjoamaa joustavuutta. Ohjausjärjestelmän tehtävänä on toimia toimilaitteet yhdistävänä tekijänä ja tarjota käyttöliittymä järjestelmään. (Helmi 2008)

Tulevaisuuden kannalta merkittävimpiä kehityskohteita tulevat olemaan:

- Automatisoidut työkalun asetuslaitteet
- työkaluinformaation lisääminen, kuten lineaarietäisyysanturit (LVDT, linear variable displacement transducer)
- automaattinen työkalunvaihto
- työkalun kunnonvalvonta
- työkalun rikkoutumisen tunnistaminen
- työkalun kompensointi
- robotiikan ja muiden käsittelylaitteiden yleistyminen

- laserin ja muiden kuitutekniikoiden lisääntyminen reikien ja pinnanlaadun toteutukseen. (Helmi 2008)

2.5.2 Laatu näkökulma

Järjestelmiä on kehitetty perinteisesti vain teknisistä ja teknistaloudellisista näkökulmista. Tällaisia kehittämisen kannalta olevia suureita on ollut mm.

- Investoinnin hinta
- joustavuuden mittaus
- varastojen koko
- aikataulut
- joustavuuden ja tuottavuuden vertailu. (Wang 2010)

Kuitenkin laatu näkökulma on yleensä sivuutettu, koska sitä ei ole pidetty merkittävänä tekijänä edellisen luettelon muihin kohtiin verrattuna. Toisaalta jos laatua on tutkittu, on sitä tutkittu omana ilmiönään, eikä niinkään vaikutuksiltaan FMS -järjestelmiin. Varsinkin valmistusjärjestelmien laaduntulon ja tuotteen välisen laadun yhteyttä on vähän tutkittu. Sillä on kuitenkin olemassa vahva riippuvuus. (Wang 2010)

Erään haasteen tuovat töiden ajoittaminen tuotantoon. Tuoteperheen tuotteet saattavat poiketa vain vähän toisistaan, jolloin vain osa tuotantojärjestelmän työkaluista tarvitsee vaihtaa. Jos siirrytään tuoteperheestä kokonaan toiseen, joudutaan kaikki työkalut vaihtamaan. Tällä on havaittu olevan merkitystä laatuun. Myös asetusajat kärsivät, varsinkin jos osa niistä työkaluista on ihmisvoimin vaihdettavia. Perinteisesti erä koko on laskettu vain asetusajojen kannalta. Tarkasteluun ei ole otettu laatu näkökulmaa. (Wang 2010)

2.6 Käytettävyys (availability)

Käytettävyydellä tarkoitetaan tässä yhteydessä suuretta, joka kuvaa teknisen järjestelmän toimivuutta. Sen kokonaisajaksi lasketaan kaikki aika, jolloin koneen oletetaan olevan käytettävissä tuotantoa varten. Este on voinut johtua jonkin laitteen vikaantumisesta (Koch 2011)

Käytettävyydelle on annettu määritelmän mukainen laskentakaava: (O'Connor 2012)

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (14)$$

Availability = Käytettävyys

MTBF = Mean Time Between Failure, vikaantumisväli

MTTR = Mean Time To Repair, korjaukseen keskimäärin kuluva aika

Käytettävyyttä voidaan parantaa kumpaakin suuretta kehittämällä. Joko siis vikaantumisväliä kasvattamalla, tai korjausta nopeuttamalla. (O'Connor 2012)

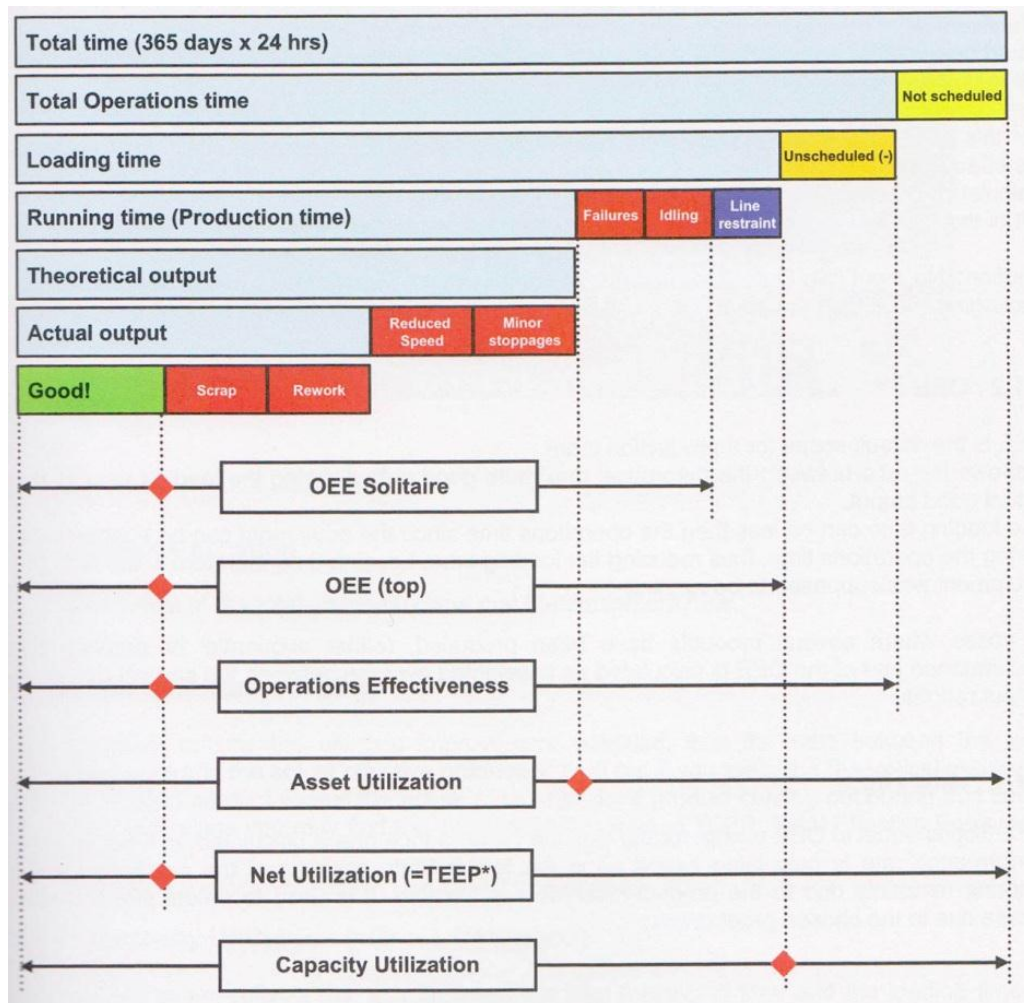
2.7 OEE (Overall Equipment Efficiency)

Termillä OEE tarkoitetaan järjestelmän kokonaistehokkuutta. Se on kolmen tekijän tu-lovaikutuksesta koostuva tunnusluku. Siinä huomioidaan järjestelmän käytettävyyden alenema, suorituskyvyn alenema ja laadun alentava vaikutus suhteessa potentiaaliin. Kokonaistehokkuuden ja häviöiden tulee vastata yhteenlaskettuna käytettävissä olevaa kokonaisaikaa. (OEE Industry Standard 2003, Stamatis 2010)

Kokonaistehokkuus = Käytettävyys x suorituskyky x laatu (15)

Käytettävyys on tehollinen suunniteltu työaika, jonka kone optimiolosuhteissa voi toi-mia, kun vikoja ei ole. Suorituskyky on käytännön suorituskyky suunnitellusta. Esim. jos tahtiajaksi on suunniteltu yksi minuutti, mutta keskimääräinen tahtiajan toteuma on kaksi minuuttia, on suorituskyvyn arvo puolet eli 50 %. Laatu kertoo tuotannon saan-non, eli montako prosenttia tuotannosta on tuotevaatimukset, esim. toleranssit, täyttä-vää. (Stamatis 2010)

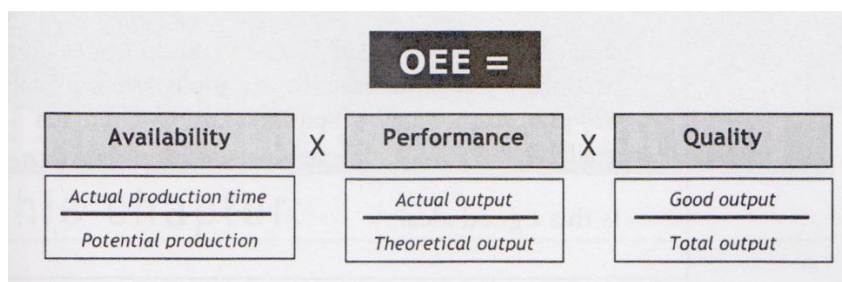
OEE: n tyypilliset arvot kokonaistehokkuudessa ovat luokkaa 5 ... 10 %. Tyypillisesti kapasiteettia nostettaessa halutaan investoida uuteen konekantaan, mutta unohdetaan tämä kehityspotentiaali. Varsinkin moneen koneen kokonaisuuksissa pienelläkin paran-nuksella tehokkuusasteessa, saatetaan säästää kallis koneinvestointi. Tuotannossa on siis piilevä kone. Heikon OEE :n nostaminen on helpompaa kuin korkean. Kuitenkin määrä-tietoisella ja systemaattisella kehitystyöllä tuloksia voidaan saada aikaan. Usein tason kohoaminen saadaan aikaan pelkällä huomion lisäämisellä. Tämä johtuu yleisestä val-pastumisesta toiminnan suhteen. (Helmi 2008, The Productivity Development Team 1999)



Kuva 4. OEE määritelmä. (Koch 2003)

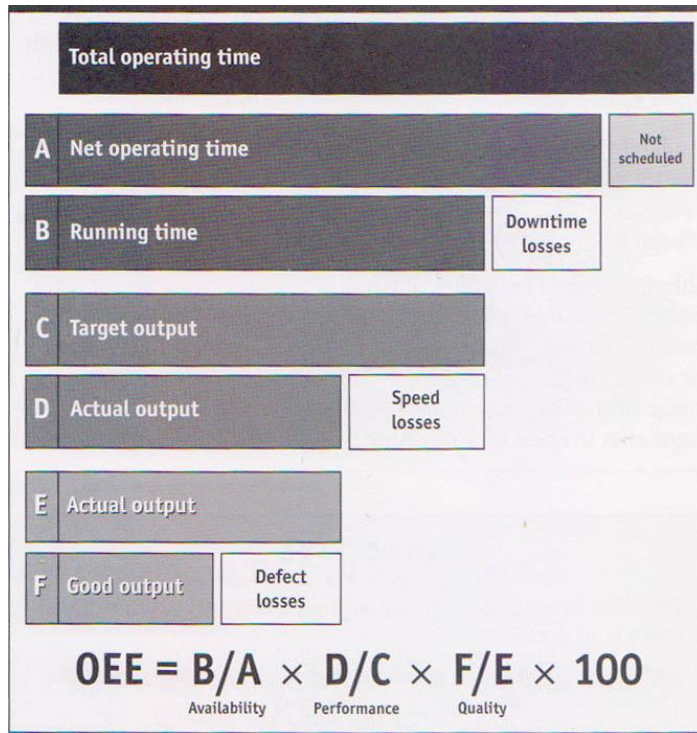
Kuvassa 4 on esitetty määritelmät eri OEE:hen liittyviin käsitteisiin. OEE (top) tarkoittaa kokonaisaikaa, johon on huomioitu eri tuotteiden seka-ajo, joka tuo esiin tuotantolinjan tai laitteen rajoitteet. Suppeampi määritelmä on OEE solitaire, joka voidaan ymmärtää tarkoittavan ns. koneen nimellistä suorituskykyä. (Koch 2003)

Kun OEE (top) kokonaisajasta vähennetään linjan rajoitteista, koneen seisonnasta, viikaantumisista, pienistä seisahduksista, alennetusta tuotantovauhdista, uudelleen työstöstä sekä kelpaamattomasta tuotannosta hukkaantunut aika, saadaan ns. hyvä työaika.



Kuva 5. OEE laskeminen. (Koch 2011)

Kuvan 5 mukaan käytettävyys lasketaan jakamalla toteutunut tuotantoaika potentiaalisella tuotantoajalla. Suorituskyky lasketaan jakamalla toteutunut tuotanto teoreettisella maksimituotantomäärällä. Laatu lasketaan jakamalla hyvien kappaleiden osuus kokonaiskappalemäärällä.



Kuva 6. OEE elementit ja niihin liittyvät häviöt (The Productivity Development Team 1999)

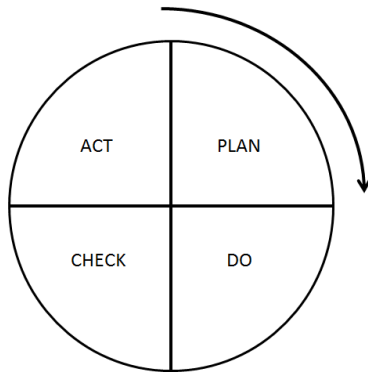
Kuvassa 6 on esitetty yksinkertaistettuna kuvan 4 ajatus. Erotuksena huomattakoon että käsite linjan rajoite (line constraint) ei esiinny. Tämähän tarkoitti eri tuotteisiin siirtymiseen liittyvistä rajoitteista. Automaattisen putkentaivutussolun yhteydessä osassa tuotteista täytyy vaihtaa pelkät kiinnittimet, osassa tuotteita taas myös profiilikohtaiset tarttujan leuat. Myös käsite uudelleentyöstö (rework) on kuvassa 6 sisällytetty laatuhäviöiksi (defect losses).

Käytettävyyshäviöt muodostuvat pienistä vikaantumisista, jotka keskeyttävät koneen toiminnan. Koneen toimiessa ilman vikoja, käytettävyys olisi täydet 100 %. Nopeushäviöllä tarkoitetaan tilannetta jossa kone toimii suunniteltua pienemmällä nopeudella. Operaattori ei välttämättä tiedä että konetta voi ajaa nopeammin, tai sitten nopeammin ajamiselle on olemassa jokin tekninen este. Laatuhäviöitä voivat aiheuttaa yli toleranssien tuotetut kappaleet tai sitten niiden korjaamiseen kulunut aika. (The Productivity Development Team 1999)

2.8 Jatkuva parantaminen ja kehitystyö

2.8.1 PDCA

Jatkuvalla parantamisella tarkoitetaan organisaation aktiivista kehityspotentiaalin havaitsemista ja hyödyntämistä. Keskeistä on pystyä luomaan positiivinen parantamisen ilmapiiri, jossa prosessin virheistä ei syytetä henkilöistä. Vastuu prosessin kyvykkyydestä on viime kädessä yrityksen johdolla. (Joglekar 2010, Salomäki 2003)



Kuva 7 PDCA –sykli

Kuvassa 7 on esitetty PDCA (Plan – Do – Check – Act) periaate. Se on William Edwards Deming mukaan nimetty jatkuvan parantamisen kehä. Sen perusajatus on aluksi laatia suunnitelma, toteuttaa se, tarkastaa lopputulos ja suunnitella jatkotoimenpiteet. (Salomäki 2003)

PDCA ympyrä on peruseriaatteena käytössä myös ISO 14001 – standardissa.

2.8.2 DMAIC

DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) eli määrittele, mittaa, analysoi paranna ja hallitse on viiden eri työkalun pakki, jota voidaan käyttää lähes minkä tahansa kehitystyön ohjenuorana. (Evans 2010)

Ensimmäisessä eli määrittelyvaiheessa luodaan tyypillisesti prosessin virtauskaavio mahdollisimman tarkasti. Tässä kohtaa kannattaa hyödyntää laaja-alaisesti yrityksen henkilöstöä ottaen mukaan myös operaattorit ja työnjohto. Tyypillisiä kysymyksiä voivat olla: kuka tekee prosessin kussakin kohdassa päätöksen, mikä toimenpide tehdään tietyssä tapauksessa jne. Mittaamisessa voidaan hyödyntää tarkastuslomakkeita ja kirjata poikkeamat sekä tehdä erinäisiä histogrammeja keskeisistä muuttujista. Analysointi voidaan tehdä käyttämällä syy-seuraus – kaavioita sekä pareto – analyysia. Sekä analysoinnin- että parannustyön apuna pistediagrammi on käyttökelpoinen työkalu visu-

alisoinnin apuna. Hallintatyökaluista valvontakortti auttaa pitämään prosessin sovitussa vaihtelun väleissä. (Evans, 2010)

Kun mittarointi aloitetaan prosessille, on tarkoin määriteltävä seuraavat seikat:

- Mihin kysymyksiin halutaan saada vastaus?
- Minkälaista tietoa tarvitaan, jotta kysymykseen voidaan vastata?
- Mistä tieto saadaan?
- Kuka toimittaa tiedon?
- Kuinka tieto voidaan kerätä pienimmällä mahdollisella vaivalla ja pienimmillä virhemahdollisuuksilla?

Tiedon keräämiseen tulisi suhtautua seuraavien määrittelyjen kautta:

- Muodosta selkeät kysymykset jotka liittyvät oleellisesti tiedonhakuparpeisiin
- käytä asianmukaisia tiedonkeruutyökaluja ja varmistu että juuri oikea tieto tulee kirjatuksi
- määrittele selkeät ja helppolukuiset tiedonkeruuhetket, jotta itse tuottava työ ei kärsi
- tiedon keräämiseen tulisi tapahtua sen henkilön toimesta, jolla on helpoin ja suorin tie tiedon lähteeseen
- varmistu että ympäristö tunnetaan riittävän hyvin tiedon keräämiseen kannalta ja siitä että tiedon kerääjillä on riittävä kokemus prosessista
- luo riittävän yksinkertaiset tiedonkeruulomakkeet
- Valmistelee esimerkit tiedon keräämiseksi
- testaa tiedonkeruulomakkeita ja ohjeita ja varmistu että ne on täytetty oikein
- kouluta tiedonkerääjiä keräämään tietoa auttamalla ymmärtämään miksi tietoa kerätään ja mitä sillä tullaan lopulta tekemään. Muista mainita että kerätyn tiedon tulisi olla puolueetonta
- auditoi tiedonkeruuprosessia ja arvioi jo kerättyjä tuloksia aikaisessa vaiheessa. (Evans, 2010)

2.8.3 TPM (Total Productive Maintenance)

TPM eli vapaasti käännettynä tuottava kokonaisvaltainen kunnossapito. Se koskee koko yrityksen tuotantoa ja tähtää tuotantolaitteiston parantamiseen, suorituskyvyn ylläpitämiseen sekä koneiden käyttöiän pidentämiseen. Hukan tunnistaminen on eräs TPM:n ominaispiirteistä, joten se on läheisessä yhteydessä LEAN -periaatteisiin. TPM nojaa viiteen tukipilariin, jotka ovat:

- Parannustoimet keskitetään koneisiin ja laitteisiin, sekä itse prosessiin
- autonomisen kunnossapito (työntekijät itse vastaavat kunnossapidosta)
- ennakoiva kunnossapito
- laatutasoa ylläpitävä kunnossapito
- turvallisuusnäkökohtien huomiointi
- toimilaitteen käyttöönottojakson lyhentäminen
- ostopäätösten ja suunnittelun ohjaaminen perustuen tunnettuihin käyttö- ja ylläpitokuluihin
- koulutussuunnitelman laatiminen ja osaamisen seuraaminen alusta saakka.

(The Productivity Development Team 1999)

2.8.4 Viisi kertaa miksi

Viisi kertaa miksi on tunnettu menetelmä juurisyiden selvittämiseksi. Monesti ehditään korjaamaan vain ns. tulipaloja, eikä ongelman syntyperää ole selvitetty. Ongelmien taustalla on kuitenkin aina juurisyys, jonka korjaaminen on koneen häiriöttömän toiminnan edellytys pitkällä aikavälillä. Esimerkkinä seuraava tapahtumaketju jossa kysytään viisi kertaa miksi:

Miksi lattialla on öljyä? → öljy valuu sylinterinvarresta kun kone käynnistyy → miksi öljy vuotaa? → O-rengas oli rikki → miksi O-rengas oli rikkoutunut? → sylinterinvarsi oli viallinen → miksi sylinterinvarsi oli viallinen? → sylinterinvarressa oli metallilastuja → miksi sylinterinvarressa oli metallilastuja? → sylinterinvarrensuojus oli poissa.

(The Productivity Development Team 1999)

2.8.5 PM-analyysi

PM -analyysi (Phenomenon, Mechanism, Man, Method, Material) on menetelmä, jolla toistuvia vikoja ja niiden syntyperää pyritään selvittämään systemaattisesti ongelmia kirjaamalla. Sama ongelma saattaa palata uudessa tilanteessa, eli alkuoletus oli saattanut olla väärin. Menetelmä saattaa vaatia aikaa, joten siihen voidaan joutua varamaan lisäresursseja. Menetelmän vaiheet ovat:

- Analysoi toistuva ongelma sen mekaaniselta näkökannalta eli mitä tarkalleen ottaen tapahtuu koneessa ja miten vika ilmenee. Koneen standardi toiminta täytyy tuntea
- kirjaa ylös ympäristöolosuhteet, ja muut erikoispiirteet ongelman ilmenemishetkellä. Jotta ongelmat osataan kuvata, täytyy koneen toiminta ymmärtää. Esim. työkalun väärä asento tai lämpötila voi olla syy.

- pyri tunnistamaan kaikki vaikuttavat muuttujat myös eri näkökulmista kuin normaalista on toimittu.

Näiden vaiheiden jälkeen raportit tulisi katselmoida tuotantotiimin kanssa korjaavien toimenpiteiden kehittämiseksi. Jokaisesta korjaavasta toimenpiteestä tehdään raportti jossa on määritelty miten ongelman poistuminen tulisi havaita. Raporttiin tulee kirjata jos ongelma korjaantui. Menetelmä on melko aikaa vievä, joten sen käyttö voi rajoittua ainoastaan kalliiden ongelmien ratkaisuun. Menetelmän sijasta viisi kertaa miksi voi olla käyttökelpoisempi. (The Productivity Development Team 1999)

2.9 Laatonäkökulmia

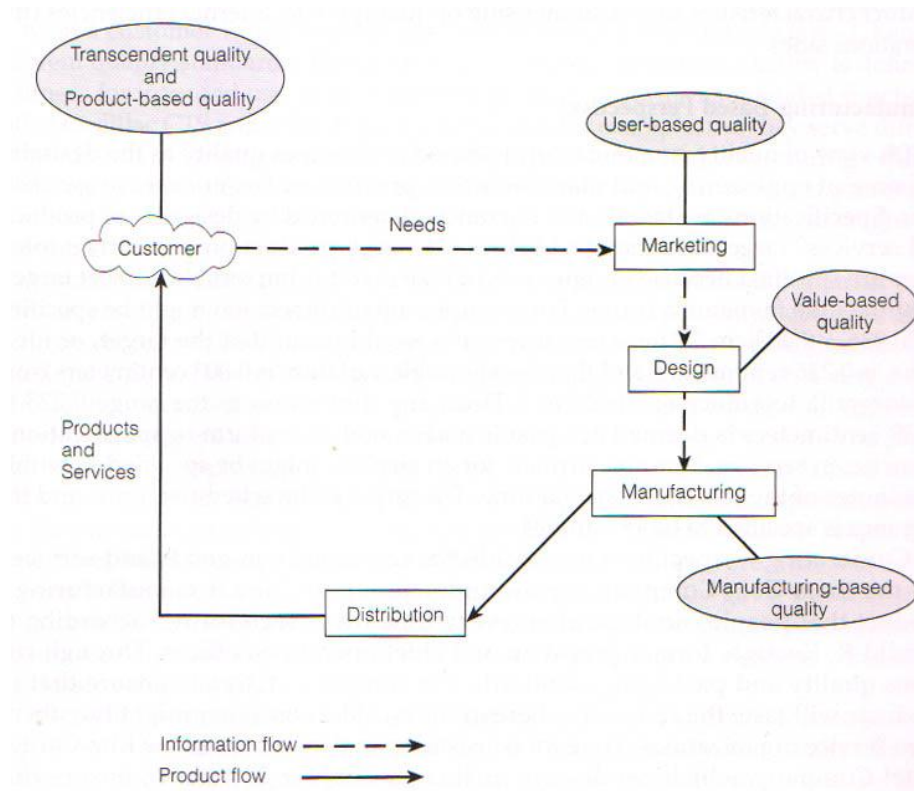
Laadun määritelmä riippuu tarkastelunäkökulmasta. Laadulle ei ole olemassa universaalia määritelmää, jonka kaikki voisivat hyväksyä. Eri laatufilosofioiden välillä on kuitenkin enemmän yhtäläisyyksiä kuin eroja. Yrityselämä ja valmistava teollisuus yleensä pitää laatua ehdottoman tärkeänä kilpailutekijänä, varsinkin globaaleilla markkinoilla toimittaessa. Kuluttajat ymmärtävät laadulla tuotteen hyvyttä ja ylivertaisuutta toisiin kilpaileviin tuotteisiin nähden. Tuotonäkökulmasta tarkasteltuna tuotteen ominaisuuksien määrän on huomattu korreloivat myös laatuvaikutelman kanssa. Tätä voi havainnollistaa esimerkkinä tikkien määrän vaihteluna paidassa. Jos vaihtelu on suurta, tuotekin on silloin huonolaatuinen. Jos taas puhutaan esim. moottorin sylinteriluvusta, ei sen vaihtelu kerro tuoteominaisuuksien kannalta mitään laadusta. Tuoteominaisuuksien määrä saatetaan määrällisissä tapauksissa siis virheellisesti yhdistää suoraan laatuun. Tämän seurauksena hintaa on virheellisesti myös pidetty laadun merkinä. Kuitenkin kalliskin tuote saattaa olla laadullisesti huono. (Evans 2010)

Arvoperustaisessa näkökulmassa laatu määritellään hyödyllisyyden kautta tai tyytyväisyytenä tuotteen tai palvelun hintaan. Tästä näkökulmasta tuote on laadukkaampi kilpailijaansa jos se täyttää samat vaatimukset mutta on kilpailijoitaan halvempi. Tuote ei tarvitse olla välttämättä tunnetulta valmistajalta, riittää kunhan se on halvempi. Tästä voi pitää hyvänä esimerkkinä amerikkalaisten ja japanilaisten autojen markkinoinnin eroja amerikkalaisilla markkinoilla. Toyotan ja Hondan ei tarvitse tarjota alennuskampanjoita tai hyvityksiä omista merkeistään, toisin kuin amerikkalaisten General Motorin, Fordin tai Chryslerin. Tämä johtuu japanilaisten merkkien hyvästä maineesta kulu- tuskestävyydessään. Toisin sanoen amerikkalaiset merkit joutuvat kompensoimaan huonoa laatua hyvityksillään asiakkailleen. (Evans 2010)

Valmistusperustainen näkökulma tarkastelee laatua suunnittelun ja valmistuksen onnistumisen kautta. Se täyttääkö valmistusprosessi tuotteelle asetetut spesifikaatiot eli miten helposti tuote voidaan valmistaa vaatimukseen nähden. Voidaan puhua esimerkiksi tuot-

teen tavoitemitoista, joihin valmistuksen tulee pyrkiä. Nämä tavoitemitat ovat ideaalisia, eikä niihin koskaan päästä. Tätä varten valmistukselle annetaan toleranssit, joiden sisällä on pysyttävä. Palveluiden kannalta esimerkkinä voitaisiin käyttää lentoliikennettä. Koneen saapumiselle on annettu saapumisaika, jolle sallitaan vaihteluksi esim. 15 minuuttia, jonka sisällä koneen on saavutettava. Ennalta määritellyissä laatutasossa pysyminen koskee siis tuotteita että palveluita eli voidaan puhua tasalaatuisuudesta. Esimerkiksi Coca Cola on toiminnassaan varmistanut että missä tahansa maailmaa heidän tuotteitaan myydään, kuluttaja voi varmistua tuotteen laadusta. (Evans 2010)

Yhdistettynä nämä näkemykset ovat kuitenkin lopulta asiakaslähtöisiä, jolloin korostuu tuoteominaisuuksien ja ns. ylivertaisina pidetyt ominaisuudet. Yrityksen markkinoinnin tehtävä on selvittää nämä asiakastarpeet ja muuntaa ne suunnittelun avulla tuoteominaisuuksiksi, jotka valmistus pystyy laadukkaasti toteuttamaan. Riippuu siis tarkastelijan asemasta arvoketjussa, miten laatu ymmärretään. (Evans 2010)



Kuva 8. Laatu näkökulmat arvoketjussa (Evans 2010)

Kuvassa 8 on esitetty arvoketju valmistuksen näkökulmasta. Katkoviiva kuvaa informaatiovirtaa ja kiinteä viiva itse tuotteen kulkua. Tilanne on erilainen, on tarkastelija sitten suunnittelija, valmistaja, palveluntarjoaja, jakelija tai asiakas. Asiakas on kuitenkin kaikkea toimintaa ohjaava tekijä ja heidän näkökulmansa tuote määrittää sen ylivertaisuutena kilpailijoihin nähden tai sitten tuoteominaisuuksien määrällisten ominaisuuksien kautta. Yrityksen olemassaolo perustuu pitkälle siihen, että se pystyy täyttämään asiakasvaatimukset. Markkinoinnin täytyy saada nämä vaatimukset määriteltyä

mahdollisimman selkeästi ominaisuuksiksi. Valmistajan tehtävä on kääntää nämä vaatimukset taas fyysisiksi tuoteominaisuuksiksi ja valmistusprosessin määrittelyiksi. Tämän käännoistyön tekeminen kuuluu tuotesuunnittelulle sekä valmistusprosesseista vastaaville ihmisille (suunnittelu ja tuotantotiimi). Tällaisia tuoteominaisuuksia voivat olla esimerkiksi tuotteen koko, muoto, materiaali, pinnanlaatu, toleranssit, toiminnalliset vaatimukset ja turvallisuus. Prosessin määrittelyn kannalta täytyy selvittää millaisilla laitteilla, työkaluilla ja menetelmillä tuote valmistetaan. Tuotteen suunnittelijat joutuvat tasapainottelemaan suorituskyvyn ja hinnan kanssa, jotta markkinoinnin tavoitteet tulevat toteutetuksi. (Evans 2010)

Arvoperustainen laatumääritelmä toimii hyvänä ohjenuorana alkuvaiheen tuotemäärittelyssä. Valmistusvaiheessa voi esiintyä suurta variaatiota valmistuslaadun toistettavuudessa. Kone ei välttämättä tuota asetuksien mukaista tuotetta johtuen operaattoreiden tai kokoonpanijoiden virheistä. Myös materiaalien vaihtelu saattaa olla merkittävä tekijä toistettavuuden kannalta. Jatkuvat toleranssiylitykset aiheuttavat hukkaa ja lisätyötä, joka puolestaan nostaa valmistuskustannuksia. Tarkimminkin valvotuissa prosesseissa esiintyy variaatiota joka on vaikea ennustaa eikä niiltä voida välttyä. Valmistuksen vastuulla on varmistaa että tuotettu tuote vastaa sille määritellyjä spesifikaatioita. Valmistajan yhteys asiakkaaseen ei pääty jakeluketjuun, vaan asiakas saattaa tarvita myös muita palveluita, kuten asennukseen tai koulutukseen. Näitä lisäarvoa tuovia palveluita ei voi jättää pois laatutarkastelusta. (Evans 2010)

Amerikkalaisessa kansallisessa standardissa (ANSI) laatu määritellään kaikkien ominaisuuksien ja piirteiden kokoelmana tuotteissa tai palveluissa jotka täyttävät annetut vaatimukset. Tämän näkemyksen taustalla on hyvin pitkälti tuote ja loppukäyttäjöpohjainen perspektiivi. Asiakkaalla voidaan ymmärtää joko sisäiset tai ulkoiset asiakkaat. Sisäisillä asiakkuuksilla tarkoitetaan esim. oman tehtaan seuraavaa prosessivaihetta, jossa edellinen vaihe on tämän asiakkaan toimittaja. Ulkoisia asiakkaita ovat yrityksen oman organisaation ulkopuoliset asiakkaat. Esimerkiksi loppukäyttäjät.

Laadun täytyy toimia kaikilla kolmella tasolla, organisaation, prosessin sekä työn suorittajan tasolla. Prosessitaso ei ole sama kuin työn suorittaja. Huonosta prosessista ei saa syyttää työn suorittajaa, sillä hän ei monestikaan ole voinut vaikuttaa prosessin valintaan.

Organisaation tasolla on tärkeää kiinnittää huomiota:

- Mitkä yrityksen tuotteen osa-alueet tai palvelut täyttävät asiakasvaatimukset
- Mitkä eivät.
- Mitkä tuotteet tai palvelut olisivat ehdottoman tärkeitä täyttää nämä vaatimukset.
- Entä onko käytössä tuotteita tai palveluita joita yritys ei tarvitse.

Prosessin tasolla on määriteltävä mitkä prosessit ovat tärkeitä ulkoiselle asiakkaalle.

- Mitkä prosessit tuottavat nämä tuotteet ja palvelut?
- Mitkä seikat toimivat syöteinä näille prosesseille?
- Millä prosesseilla on merkittävin vaikutus organisaation asiakasohjautuvuuteen?
- Keitä ovat prosessin sisäiset asiakkaat ja mitkä ovat niiden tarpeet?

Työn suorittajan tasolla tärkeitä kysymyksiä ovat:

- Mitä sisäiset ja ulkoiset asiakkaat vaativat?
- Kuinka näitä vaatimuksia voidaan mitata?
- Mikä toimii määritelmänä kullekin mitattavalle vaatimukselle?

Tällaisten kysymysten avulla haettu roolijako auttaa selvittämään vastuualueita yrityksen sisällä. Yrityksen ylimmän johdon vastuulle kuuluvat organisatoriset asiat, keski-johdolle sekä työnjohdolle prosessin johtamiseen liittyvät asiat. Laatu kokonaisuutena tulisi olla yrityksen kaikkien osastojen vastuulla. (Evans 2010)

3. PUTKENTAIVUTUSSOLUN JÄRJESTELMÄKUVAUS

Automaattisen putkentaivutussolun tarkoituksena on automatisoida traktorin turvaohjaamopotkien taivuttaminen, päiden sahaus, mittaus, reikien teko, jäysteenpoisto ja lavaus. Automatisoiduilla vaiheilla käsittelyineen on pyritty valmistusprosessin nopeaan läpimenoaikaan, tahtiaikaan ja siten keskeneräisen tuotannon (KET) vähentämiseen. Perinteisesti käsivaiheina tehtäessä työt tehdään vaihe kerrallaan. Ensin on tehty taivutuksia sarjatyönä esim. sata kappaletta. Seuraava vaihe on voinut olla kierrereikien tekeminen tälle samalle erälle. Vaiheiden välillä on ollut välivarastoja eli tässä tapauksessa keskeneräistä tuotantoa. Nyt automatisoidussa versiossa on toteutettu 1x1 – materiaa-livirtaus, jossa välivarastoja on vaiheiden välillä enintään yksi kappale. Tuotantovaiheiden välille ei siis synny puskureita. Puskureita kerryttämällä lisätään epäkurantin tuotannon riskiä.

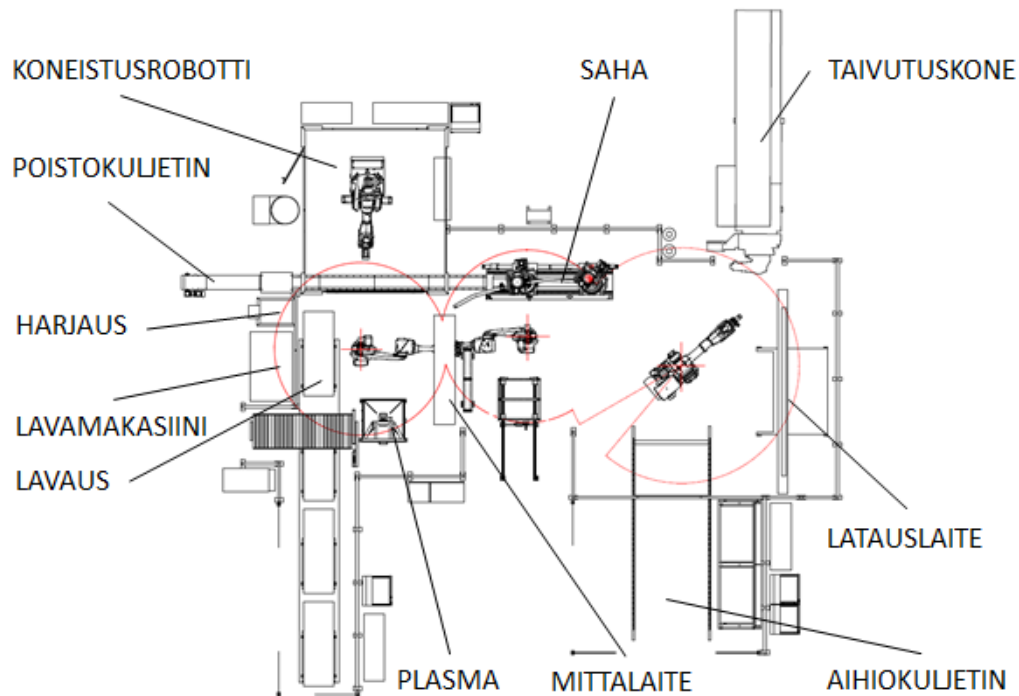
3.1 Solun käyttötarkoitus

Solu on rakennettu traktorin turvaohjaamon rungon putkiosien valmistamiseen. Muodot voivat olla tasomaisia kaaria, tai sitten kaksoiskaarevia muotoja. Valittu taivutusmenetelmä mahdollistaa kaksoiskaarevien muotojen taivuttamisen muotoprofiileista yhdellä profiilikohtaisella työkalulla. Taivutusmenetelmä on sinällään melko uusi, ja kokonaan automatisoituja valmistuslinjoja ei projektin aloitushetkellä ollut helppo löytää. Näin ollen toimintatavat esimerkiksi yksittäisen tuotteen käyttöönottamiseksi valmistusso-luun on täytynyt keksiä projektin edetessä. Tyypillinen yhden tuotteen käyttöönotto vie tehokasta työaikaa noin kolme työpäivää. Se sisältää pääpiirteissään taivutusohjelman, sahausohjelman, plasmaratojen, koneistuksenohjelmien ja robottien käsittelyvaiheiden opettamisen. Näiden lisäksi on hienosäädettävä mittausohjelma ja määritettävä aghiopi-tuudet, sekä lavauskuvio.

Automatisoinnin avulla on pyritty vähentämään valmistamiseen kuluva työaikaa, jol-loin kappalekohtainen valmistushinta muodostuu mahdollisimman pieneksi. Suuntaus ohjaamon konstruktiossa on enemmän putkiprofiileita suosivaa, joten niiden kustannus-vaikutus korostuu entisestään tulevaisuudessa. Putkiprofiileiden kustannustehokas val-mistaminen tukee siis yrityksen valitsemaa strategiaa ja auttaa kilpailukyvyn säilyttämi-nessä.

Jotta valmistaminen olisi mahdollisimman joustavaa eri tuotteiden välillä, tulee työka-lunvaihtojen olla nopeita, sekä luotettavia laaduntuottokyvyn kannalta.

3.2 Solun toimilaitteet ja layout

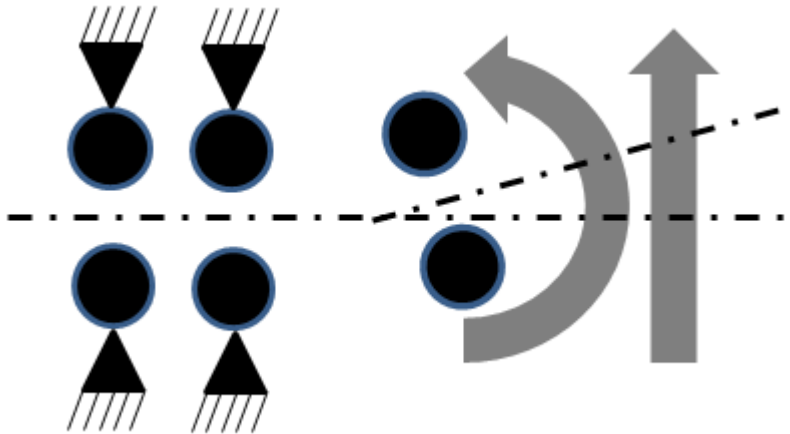


Kuva 9. Solun layout (Plantool Oy 2011)

Kuvassa 9 on esitelty valmistussolun layout pääpiirteissään. Oikealla yläreunassa on putkentaivutuskone. Oikeassa alareunassa on aihiokuljetin, josta robotti poimii putken ja syöttää sen taivutuskoneelle. Solun keskimäinen robotti vastaanottaa taivutetun aihion taivutuskoneen edessä olevalta robotilta ja vie sen edessään olevalle sahalle. Sahausten jälkeen profiili viedään mittalaitteelle. Jos mitattu putki on toleranssien rajoissa, viedään se vasemmanpuolimmaiselle robotille. Tämän robotin työalueella on mittalaitteelta otto, plasmaleikkaus, koneistukseen vienti, päiden harjaus sekä lavausvaihe. Vasemmassa yläreunassa on koneistusrobotti. Koneistusvaiheen jälkeen putki lavataan eurolavoille, josta se kuljetetaan varastoon.

3.2.1 Taivutustyökalut

Taivutuskone vaatii työkalutekniikalta profiilikohtaisen taivutustyökalun. Tämän työn analysoitavat tuotantoerät on kaikki ajettu rullaavalla taivutustekniikalla. Tekniikan etuna on pieni kitka sekä työkalujen vähäinen kuluminen. Tästä seuraa pitkällä aikavälillä tasaisempi tuotanto, kun ohjelmia ei tarvitse säätää mm. kuluneen työkalun mukaan. Myös öljynkäytöltä on säästyty. Kaikki nykyiset putkikappaleet ovat samaa profiilia, joten taivutustyökalua ei tarvitse vaihtaa.

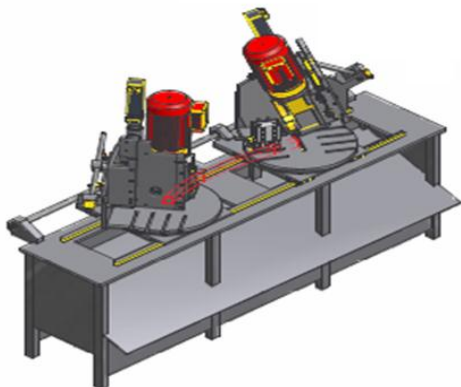


Kuva 10. Taivutustyökalun liikesuunnat. (J. Neu 2011)

Kuvassa 10 on esitetty taivutuskoneen rullaavan työkalun pääkomponentit. Taivutettaessa vain etutyökalu liikkuu ja takatyökalu pysyy aina paikallaan. Tällä etuosalla on kaiken kaikkiaan viisi vapausastetta. Etutyökalun ylärullassa on säätöä, jos profiilin nimellishalkaisija vaihtelee. Jos säätöjä mennään esim. työkalun purkamisen yhteydessä muuttamaan, muuttuvat luonnollisesti myös taivutustulokset. Profiilin halkaisijan vaihtelulla (toleransseilla) on myös sama vaikutus taivutuslopputulokseen.

3.2.2 Sahalaite

Sahalaite (kuva 11) on suunniteltu niin, että sillä voidaan katkaista kerralla ja yhdellä kiinnityksellä putken molemmat päät. Sahalaitteen valinta putken päiden katkaisuun on perusteltua koska valtaosassa putken päistä on suora katkaisu. Saha on myös kustannustehokas tapa katkaista teräsputki. Kummallakin sahayksiköllä on siirto- ja syöttöliikkeen lisäksi kaksi vapausasetetta (kierto ja kallistus), joten putken päiden sahauskulmat voidaan vapaasti valita. Rajoituksena voidaan mainita mm. sahayksikköjen keskinäinen minimietäisyys, joka määrää pienimmän katkaistavan aihion pituuden.



Kuva 11. Sahalaite (Plantool Oy 2010)

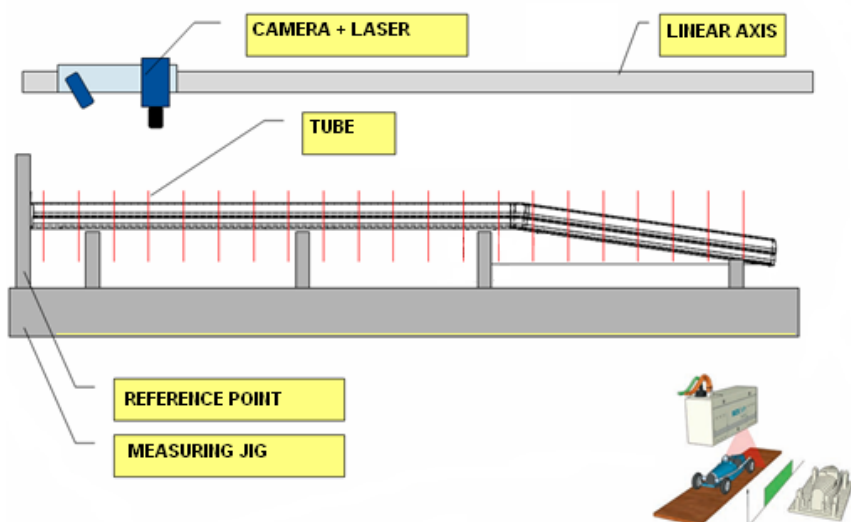


Kuva 12. Robotin tarttuja ja sahan kiinnittimet

Kuvassa 12 robotti on laskenut kappaleen sahan kiinnittimiin sahausta varten. Robotti ei pidä kiinni kappaleesta sahauksen aikana. Tällä voi olla merkitystä kumuloituvaan painokoitustarkkuuteen kun ote välillä irrotetaan. Kappaleen kiinnittimet ovat tuotekohtaiset. Sahassa vaihdetaan tarttujan peruspohjalevy, mutta itse pneumaattinen tarttuja on yleiskäyttöinen. Tarttujaan voidaan vaihtaa profiilikohtaiset leuat.

3.2.3 Laser-skannaus ja kolmiokameramittaus

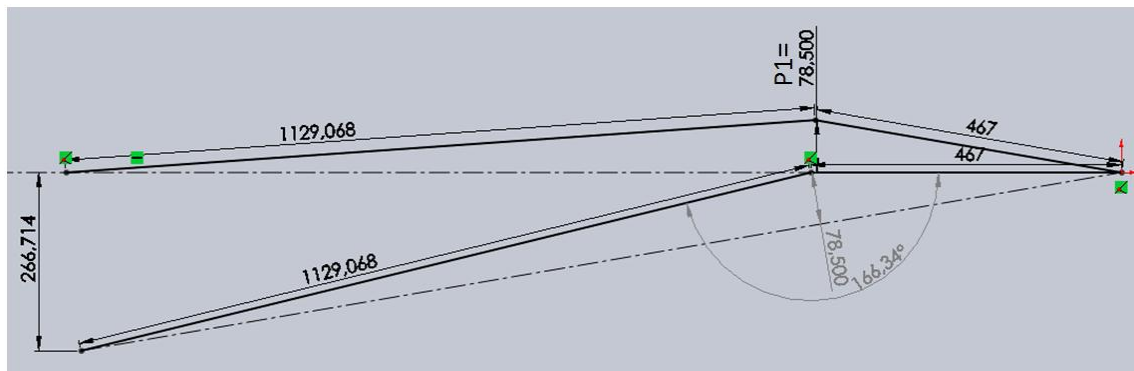
Tuotantolaadun seuraamiseksi valmistusprosessiin on integroitu mittalaite. Mittalaitteen toimintaperiaate noudattaa kamerakolmiomittauksen periaatetta.



Kuva 13. Mittalaite (tekninen tarjouserittely, 2009)

Kuvassa 13 on kamerajärjestelmän rakenne. Sen toimintaperiaate on karkeasti seuraava. Kamerassa on liikkuva yksi akselinen kamera – viivalaser – paketti (kauppanimi Sick ruler). Putki on laskettu kiinnittimien varaan mittaustapahtuman ajaksi. Skannaus muodostaa putken pinnalta (näkyvältä osuudelta) pistepilven. Pistepilvestä suodatetaan tämän jälkeen laskentamallin avulla siistitty pistepilvi. Suodatettuun pistepilveen pyritään tämän jälkeen sovittamaan erityisen laskenta-algoritmin avulla ohuita profiiliviipaleita. Viipale paikoitetaan kaikkien vapausasteiden mukaan, kunnes löydetään paras sovitus. Usean viipaleen sovituksen jälkeen saadaan ikään kuin viipaleista muodostettu malli-putki. Tämän jälkeen jokaisen viipaleen tietyn pisteen kautta viipaleet yhdistetään paloittain funktiokäyräksi. Funktion avulla voidaan laskea kussakin pisteessä kaarevuuden hetkellinen arvo. Jokainen tuotettu putki on mitattu ja kaarevuuden arvot taulukoidaan tietokantaan analyysijä varten. (Delta Enterprise 2010)

Mittalaite luo mittauksen ja käsittelyn perusteella koordinaatiston. Koordinaatiston muodostamisen periaatteena profiilin alku ja loppupään välille vedetään tietyistä pisteistä x-akseli. Vastaavasti y ja z –akseli muodostetaan tämän ympärille profiilin sovitun vakioasennon perusteella.



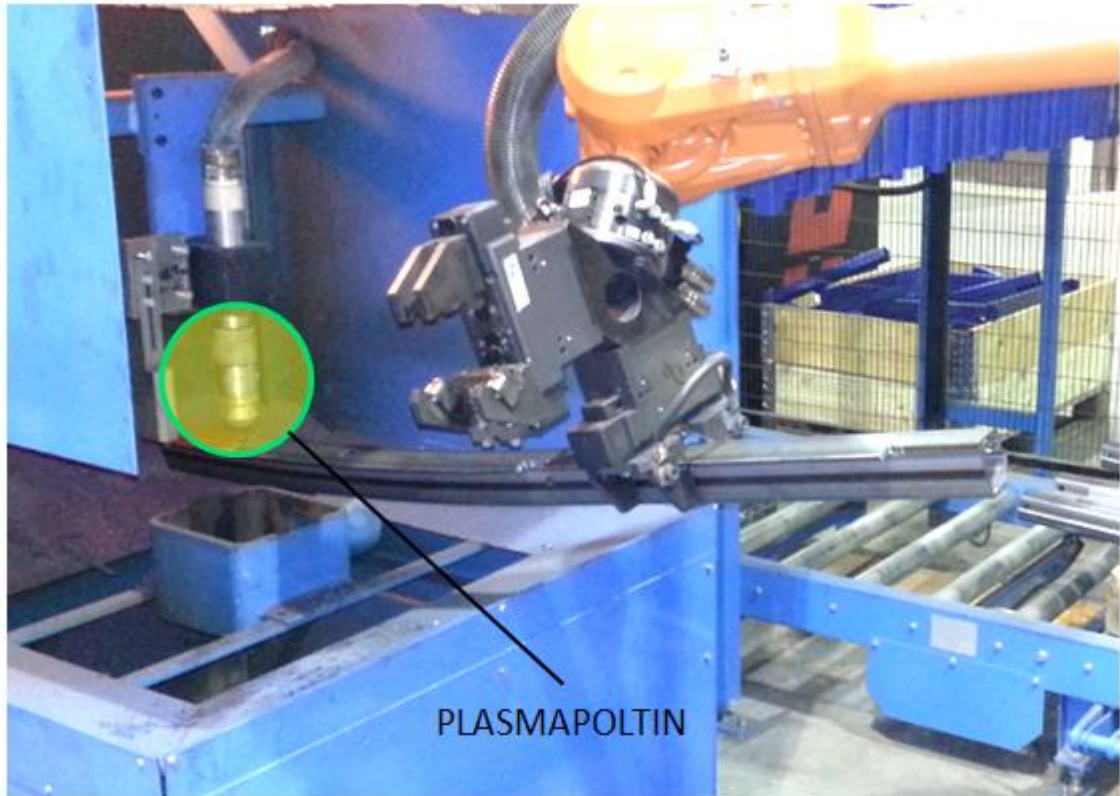
Kuva 14. Putken kiinnitys molemmista päistään ja sitten vain toisesta (alempi)

Kuvassa 14 on esitetty putken kiinnitystapojen erot. Vain toisesta päästään kiinnitetyllä putkella ± 2 mm mittaheitto vastaa päistään kiinnitetyllä kappaleella korkeimmalla kohdalla $\pm 0,5$ mm vaihteluväliä. Mittalaitteella seurataan tämän korkeimman kohdan vaihtelua. Tuotepiirustus olettaa että tuote on kiinnitetty vain toisesta päästä. Näin ollen kaikki vaihtelu näkyy toisessa päässä. Mittalaitteessa taas profiili on kiinnitetty päistään (x-akseli). Vaihtelu näkyy profiilin keskilinjan korkeimman kohdan (myöhemmin P1) ja päiden välille muodostetun x-akselin välisenä vaihteluna. Seurattavan P1 kohdan tavoitemitta on 78,50 mm ja toleranssi $\pm 0,5$ mm.

3.2.4 Plasmaleikkaus

Solulla voidaan myös plasmaleikata vähemmän tarkkuutta vaativia reikiä ja aukotuksia profiiliin. Tässä käytettävässä konfiguraatiossa itse plasmapolttin pysyy paikallaan (kuva 15), mutta robotti liikuttaa kappaletta muodostaen leikkausradat. Menetelmän etuna on

leikkausroiskeiden vakioitu suunta alaspäin. Haittana on taas luoksepäästävyysongelmat, jota ei ilman uudelleenkiinnitystä voida ratkaista. Myös plasman tarkkuus voi olla ongelma.

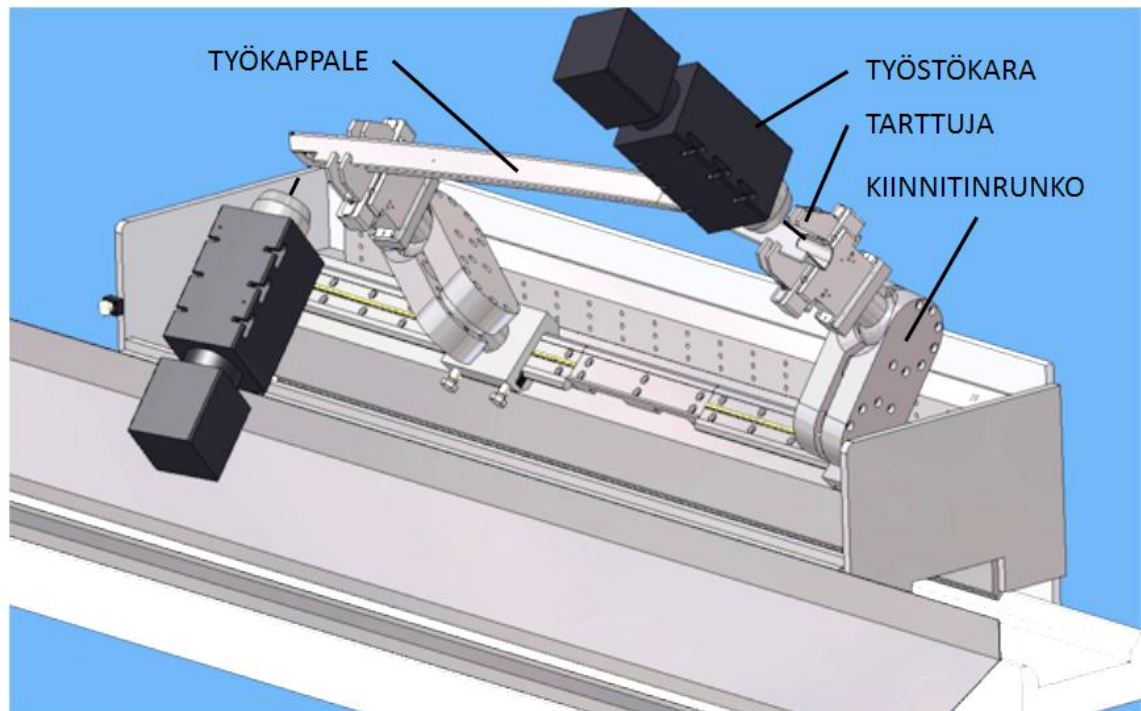


Kuva 15. Plasmaleikkausasema, jossa poltin kiinteästi asennettuna.

Plasmapolttimessa ei myöskään ollut korkeusseurantaa (myöhemmin lisätty), vaan robotti joutui liikuttamaan kappaletta ilman korkeuden takaisinkytkentää, jolloin leikkaus-
etäisyys ei kappaleen taivutuksen vaihtelusta johtuen ollut vakio. Tämä näkyi erityisen huonona leikkauslaatuna ja pahimmillaan esti plasmapolttimen käynnistymisen.

3.2.5 Robotisoitu työ

Robotisoidun työstön ajatuksena on ollut taata mahdollisimman suuri joustavuus työstettävien piirteiden kannalta riippumatta kappaleen muodosta. Työkalut ovat pikavaihdettavia, joten kappaleeseen voidaan työstää useanlaisia piirteitä.



Kuva 16. Työkappale kiinnittimissä ja työstökaraat eri asennoissaan (ilman robottia)

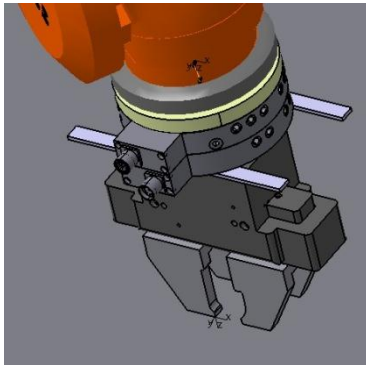
Kuvassa 16 on esitetty robotisoidun työstön periaate. Kappale on koneistuskiinnittimissä kiinni molemmista päistään. Robotti (ABB 6660, piilotettu) liikuttaa karaa, jossa on pikavaihdettava työkalu. Karoja on vain yksi kappale, mutta se on esitetty eri työstöasennoissa liikuteltavuuden havainnollistamiseksi.

Putkimaisen kappaleen työstäminen on kiinnityksen kannalta haastavaa. Jokaiselle putkelle on oltava omat niille omistetut kiinnittimet. Tämä johtuu yksilöllisestä kaarevuudesta sekä profiilin muodosta. Myös työstettävien piirteiden luoksepäästävyys asettaa lisähaasteita. Taivutuksen vaihtelu johtaa tilanteeseen, jossa kappale ei aina asetu samalla tavalla kiinnittimiin, vaan tartunta tapahtuu profiilin reunoista. Kappale saattaa resonoida työstön aikana, jos se ei asetu kunnolla kiinnittimiin. Koska taivutettu profiili on valmistettu rullaamalla levystä, purkautuu osa näistä jännityksistä työstön aikana. Tämän on ajateltu osaltaan katkaisevan työstöteriä erityisen nopeasti. Profiilin on todettu avautuvan työstötapahtuman jälkeen millimetrin verran alkutilanteeseen nähden.

3.2.6 Robottien kiinnitintekniikka

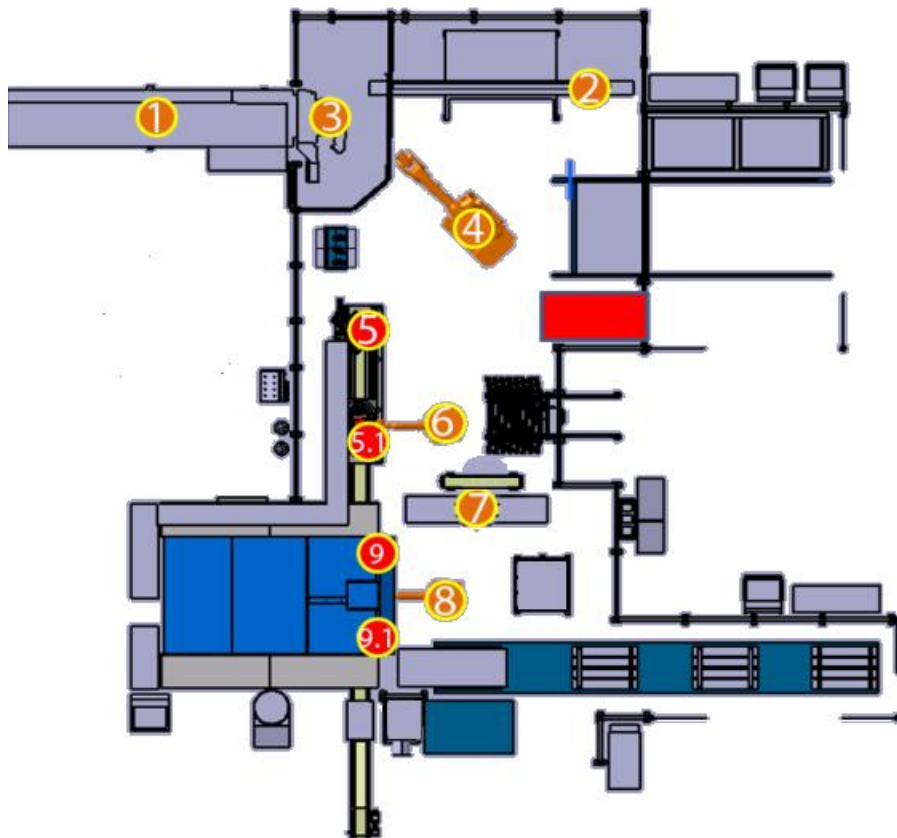
Kappaleen käsittelyssä rajapintana toimii tarttuja. Tarttujan suunnittelu määrää toiminnan luotettavuuden kannalta hyvin paljon. Väärin suunniteltu tarttuja heikentää luotettavuutta tartunnassa. Profiilin päämittojen vaihtelu heikentää osaltaan tarkkuutta. Esimerkiksi lavausta hoitavalla robotilla on havaittu toisinaan olevan ongelmia profiilin takeruessa irrotusvaiheessa.

Solun kaikki robotit käyttävät kappaleen kiinnittämiseen samaa filosofiaa. Tarttujat ovat tyypiltään paineilmatoimisia pikavaihtolaipallisia Sommer 120-sarjan tarttujia. Tarttujiin on valmistettu profiilikohtaiset leuat, jotka voidaan myös vaihtaa.



Kuva 17. Robotin tarttuja.

Kuvassa 17 on esitetty robotin tarttujan kiinnitysperiaate. Vaihtolaippa mahdollistaa koko tarttujan vaihdon, ilman että profiilikohtaisia leukoja tarvitsee yksistään vaihtaa. Tämä mahdollistaa työkalujen robotisoidun pikavaihdon tuotteen vaihdon yhteydessä.



Kuva 18. Vaihdeettavat työkalut.

Kuvassa 18 on esitetty kohteet, joissa on vaihdettavia työkaluja tai huoltokohteita. Tuotevaihdot voidaan jakaa kahteen osioon. Ensimmäisessä osiossa vaihtuu pelkkä tuote.

Toisessa osiossa vaihtuu myös profiili. Työkalujen vaihtamiseen kuluva aika on merkittävästi erilainen.

Tuotteen vaihtuessa täytyy sahalaitteeseen ja koneistuskeskukseen vaihtaa tuotekohtaiset kiinnittimet. Sahan kiinnittimet on numeroitu kohdiksi 5 ja 5.1. Koneistussolun kiinnittimet ovat vastaavasti 9 ja 9.1.

Profiilin vaihtuessa täytyy edellisten lisäksi vaihtaa taivutuskoneen ja sen latauslaitteen työkalut 1,2 ja 3. Sen lisäksi kaikkien tarttujien leuat täytyy myös vaihtaa. Niitä on roboteissa 4, 6, 8, sekä sahassa kohteissa 5 ja 5.1 että koneistuksessa 9 ja 9.1.

Tarttujien vaihto vähimmillään tuotevaihdon yhteydessä vie aikaa noin puoli tuntia. Profiilikohtaisten työkalujen vaihto lisää tähän aikaa noin tunnilla. Suurin aikaa vievä vaihto liittyy taivutuskoneeseen. Pelkkä mekaanisten työkalujen vaihto ei riitä, vaan yleensä tuotantolaatuun pääseminen vaatii aikaa. Kuluva aika on riippuvainen tuotettavan kappaleen geometrian monimutkaisuudesta ja riippuu suuresti operaattorin kokeuksesta.

3.3 Tuotteiden piirteet ja vaatimukset

Valmistussolulla tuotanto on aloitettu jo olemassa olevan tuotteen valmistuksella. Tällöin ei ole pystytty täysin hyödyntämään uuden taivutustekniikan ominaisuuksia, kuten mahdollisuutta taivuttaa kaksoiskaarevia muotoja profiilista. Uuden tuotteen suunnittelussa on valmistustekniikkaa kehitetty rinnakkain tuotteen kanssa, jolloin tekniikasta saadaan ulosmitattua paras mahdollinen hyöty.

Kaikille tuotteille joita solussa halutaan valmistaa, on yhteistä taivutettu muoto. Suoria putkikappaleita voidaan teknisessä mielessä ajaa läpi, mutta peruseriaatteena on ollut hyödyntää tekniikkaa nimenomaan hankalasti valmistettaville kappaleille, joissa kustannustehokkuus nousee merkittäväksi tekijäksi.

Putket ovat poikkileikkaukseltaan 60x40 ... 100x80 teräprofiileita. Muodot vaihtelevat neliskanttisesta monimutkaisiin profiileihin. Osa on valmistettu kylmävalssaamalla joko vetämällä tai rullaamalla levystä. Lujuusluokaltaan käytössä on S355 ja S420 -luokan materiaaleja.

Profiilin painot vaihtelevat 6 ... 10 kg/m välillä. Putket itsessään ovat tyypillisesti 1,2 ... 1,6 m pitkiä. Taivutussäteet vaihtelevat 300 ... 9000 välillä ja saattavat olla aidosti kaksoiskaarevia (jatkuvasti muuttuvat taivutustasot).

Erään ohjaamon runkoputken piirustus on esitetty liitteessä 8. Tuotetoleranssit taipumalle on nimellimitan yläpuoliset $\begin{matrix} +7 \\ +3 \end{matrix}$ mm. Eli toleranssi on symmetrisenä ± 2 mm. Tämä tarkoittaa pisteen P1 vaihteluna $\pm 0,5$ mm

3.4 Tuottavuustavoite

Solun toiminnalle on asetettu karkeasti tuottavuustavoite. Sillä pitää voida valmistaa yrityksen kaikkien ohjaamoiden runkoprofiilit vuosivolyymillä 10 000 kpl. Laskennallisesti tämä tarkoittaa tuotantovauhtina noin yksi minuutti per tuotettu kappale kahdessa vuorossa vuoden mittaisella ajanjaksolla.

3.5 Käytettävyys

Jotta tuottavuustavoite yksi minuutti per tuotettu profiili toteutuisi, nousee korkea käytettävyys kriittiseksi tekijäksi. Käytettävyystavoite on 92 % koko kahden vuoron työajasta. Tähän on päädytty seuraavalla laskentakaavalla: $0,98 \times 0,98 \times 0,98 \times 0,98$. Lukuja edustavat eri työvaiheet: taivutus, sahaus, mittaus ja koneistus. Laskenta on tehty siis sarjasysteemin periaatteella, jollainen tämä prosessi on.

4. MITTAUSTULOSTEN ESITTELY

Tässä luvussa esitellään mittaustuloksia eri prosessin vaiheista. Osa on saatu automaattisena tiedonkeruuna prosessin laitteista, osa tiedoista on saatu operaattoreiden tekemän kattavan aineiston pohjalta.

4.1 Käytettävyyssuranta

Tässä luvussa esitellään toimilaittekohtaisen käytettävyyden seurannan tuloksia. Tuloksien avulla määritellään käytettävyys jokaiselle toimilaitteelle. Myöhemmin tulokset yhdistetään keskenään ja saadaan kokonaiskäytettävyys. Yksiköt ovat tunteja. Laskennan perusteena on kaava 14.

Laskennassa käytetään normaalina työaikana 8 h työvuoroa kohden. Konetta oletetaan käytettävän kahdessa vuorossa. Samaa periaatetta on käytetty järjestelmän hankintasopimuksessa käytettävyyden mittaroinnin suhteen. Suunniteltuja huoltoja ei ole ja asetusajat on laskettu tahtiaikaan sovitun suuruisille tuotantoerille.

Käytettävyyssurannassa saatu aineisto on koostettu taulukkoon ja esitetty pylväsmuodossa (liite 1). Seurannassa on päivittäin kirjattu jokainen tuotantolaitteen aiheuttama pysähdys toimilaittekohtaisesti (liite 2). Toimilaitteet on jaettu työvaiheiden mukaisiin kategorioihin. Ongelman alkamishetki ja korjaamishetki on kirjattu ylös pysäytyksen sattuessa. Jokainen syy joka pysäyttää automaattisen järjestelmän toiminnan, on kirjattu ylös. Tässä tarkastelussa jokainen syy on samanarvoinen. Aineiston perusteella saadaan laskettua vian kestot. Tilastollisesti saadaan kaksi tärkeää keskeytyksen tyyppiä. Ensimmäinen on kappalemäärällisesti vikaantuvin laite ja toinen on ajallisesti eniten korjausaikaa (tuotantoaikaa) vaativa laite. Seurantajakso toteutettiin aikavälillä 20.2.2012 – 14.9.2012. Työpäiviä jaksolla oli 150, joista kirjaamispäiviä oli 93 kpl (62 %).

Virheitä voitiin kirjata seuraaville kohteille:

- Kuljetin = materiaalin syöttökuljetin
- Taivutus = taivutuskoneen toimintavirheet
- Lastaus = lastaus taivutuskoneelle
- Saha = päiden sahauksen ja sahakuljettimen virhe
- Hylky = hylkyrännin toimintavirhe
- Mittaus = mittauslaitteen toimintahäiriö
- Plasma = plasmaleikkauslaitteen toimintahäiriö
- Koneistus = robotisoidun koneistuksen virheet
- Harjaus = profiiliputken päiden harjauksen häiriöt
- Lavamakasiini = eurolavojen syöttömakasiinin toimintahäiriö
- Lavaus = profiilien robotisoidun lavauksen toimintahäiriö
- Robotit = robottien toimintahäiriöt, kuten liikevalvonnan aktivoituminen

Seurantajaksolla raportoitu kokonaistuntimäärä virheille oli n. 277 h. Eli tänä aikana kone oli tuotantoajossa, mutta tuotantoa ei voitu ajaa. Tämä on laskennallisesti 18,6% suunnitellusta työajasta. Tarkastelujakson aikana työtunteja oli 1488 tuntia. Luku perustuu 93 raportointipäivään kahdessa vuorossa, jossa kussakin 8 tuntia. Kaavan 14 mukainen käytettävyys on saatu seuraavanlaisesti:

$$\text{Käytettävyys} = \frac{1211,4 \text{ h}}{1211,4 \text{ h} + 276,6 \text{ h}} = 0,81411 = 81 \%$$

Taulukko 19. Käytettävyydet toimilaitteittain.

| TOIMILAITE | VIKA d | VIKA h | VIKA min |
|---------------|--------|--------|----------|
| ROBOTIT | 3,85 | 92,37 | 5542 |
| SAHA | 2,57 | 61,61 | 3697 |
| KONEISTUS | 1,59 | 38,07 | 2284 |
| TAIVUTUS | 0,77 | 18,45 | 1107 |
| LAVAMAKASIINI | 0,69 | 16,62 | 997 |
| PLASMA | 0,68 | 16,42 | 985 |
| MITTAUS | 0,62 | 14,80 | 888 |
| KULJETIN | 0,42 | 10,01 | 601 |
| LVAUS | 0,30 | 7,25 | 435 |
| HYLKY | 0,02 | 0,50 | 30 |
| HARJAUS | 0,02 | 0,50 | 30 |
| LATAUSLAITE | 0,00 | 0,00 | 0 |
| YHT. | 11,53 | 276,60 | 16596 |

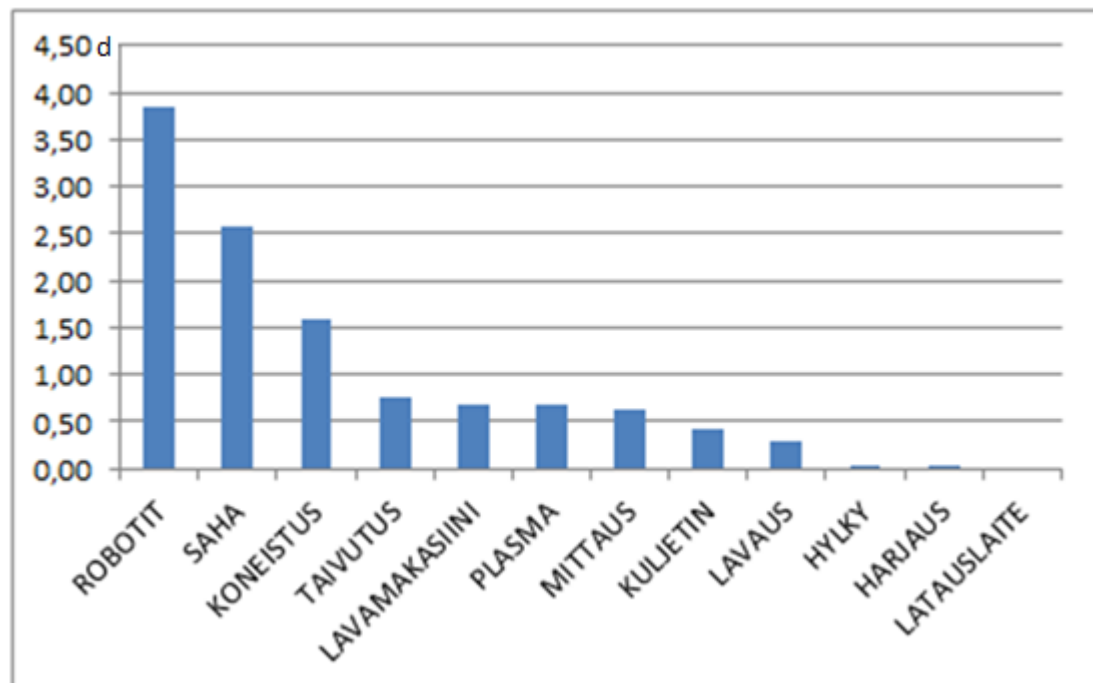
Taulukossa 19 on esitetty viat aikoina toimilaitteiden mukaan jaoteltuna. Taulukon mukaan roboteilla on eniten vika-aikaa joten myös käytettävyys on huonoin. Sahan ongel-

mat ovat seuraavaksi suurin ongelma. Kolmantena on koneistuksen aiheuttama tuotannon pysähtyminen.

Taulukko 20. Vikamäärät toimilaitteittain.

| TOIMILAITE | VIKA kpl | h / vika | min / vika |
|---------------|----------|----------|------------|
| ROBOTIT | 96 | 0,96 | 58 |
| SAHA | 182 | 0,34 | 20 |
| KONEISTUS | 159 | 0,24 | 14 |
| TAIVUTUS | 27 | 0,68 | 41 |
| LAVAMAKASIINI | 12 | 1,39 | 83 |
| PLASMA | 103 | 0,16 | 10 |
| MITTAUS | 46 | 0,32 | 19 |
| KULJETIN | 43 | 0,23 | 14 |
| LAVAUS | 47 | 0,15 | 9 |
| HYLKY | 3 | 0,17 | 10 |
| HARJAUS | 1 | 0,50 | 30 |
| LATAUSLAITE | 0 | 0,00 | 0 |
| YHT. | 719 | | |

Taulukossa 20 on tarkasteltu vikamääriä toimilaitteittain. Taulukossa on esitetty myös keskiarvoiset viankestot toimilaittekohtaisesti sekä tunteina että minuuteiksi muunnettuna. Esimerkiksi robotin viat ovat kestäneet 58 minuuttia vikaa kohden. Keskiarvoinen vian kesto (kaikki toimilaitteet mukaanlukien) oli 23 min per vika.



Kuva 21. Toimilaitteiden korjaamiseen kulunut aika päivinä.

Yllä olevan kuvaajan 21 perusteella ajallisesti eniten pysäytyksiä ovat aiheuttaneet robotit. Seuraavana listalla ovat saha ja koneistus. Robottien yleisin syy pysähtymiseen oli

liikkeenvalvonnan aktivoituminen kappaletta kiinnittimiin viedessä. Tämä voi johtua yli tai alitaipuneesta ahiosta. Väärään taipumaan taas vaikuttaa materiaalin vaihtelu. Sahalla yleisin syy oli kuljettimen jumiutuminen. Tällöin hukkakappale on kiilautunut kuljettimen rakenteiden ja liikkuvan lamellimaton väliin aiheuttaen toimilaitteen pysähtymisen. Toinen lähes yhtä usein toistuva tekijä oli sahanterien hajoaminen tietyn käyttöajan kuluttua. Koneistuksessa yleisin syy oli varsijyrsimen tai poran hallitsematon katkeaminen ja siitä johtuva työstävän robotin työkierron pysähtyminen.

4.2 Operaattorin näkökulma

Laitteisto vaatii yhden operaattorin per vuoro toimiakseen. Käyttäjän haastatteluilla haluttiin saada heidän kokemansa käytettävyysongelmat selville. Haastattelujen perusteella haluttiin selvittää seikkoja, joita ei tilastoinnin ja ongelmaraportoinnin avulla saada mahdollisesti selville. Kysymys on ns. hiljaisesta tiedosta.

Säätämisessä koettiin ongelmaksi säätötuloksen vaikutuksen luotettavuus. Jos jotain parametria muutettiin, ei vaikutus välttämättä ollut heti nähtävissä, vaan tuotantoa täytyi jonkin aikaa ajaa seurausten todentamiseksi. Tähän ei monesti koettu olevan aikaa. Näin järjestelmästä tuli jatkuvasti säädettävä ja liian pienen otannan mukaan säätäminen sai prosessin värähtelemään voimakkaasti. Joskus materiaali on ollut niin huonoa, että se on täytynyt kokonaan hylätä. Myöskään hylkyä ei haluttua määrättömästi tuottaa, mikä nähtiin esteenä ns. keskiarvoiselle säätämiselle.

Eräs huomio joka on tehty käyttäjien puolelta, liittyy materiaalien merkintään. Putkiaihiot toimitetaan Sveitsiläiseltä toimittajalta Suomalaiselle alihankkijalle katkaistavaksi. Materiaalien merkinnät ovat saattaneet mennä sekaisin sahauserien välillä. Tämä on ilmennyt selvänä materiaalin ominaisuuksien muuttumisena ja taivutusten epäonnistumisena, vaikka erän merkintä ei olisikaan muuttunut. Toimittajalla on jostain syystä mennyt FIFO -puskuri (First In – First Out) sekaisin, tai sellaista ei ole. Materiaalit on toisinaan toimitettu käyttöpaikalle väärässä järjestyksessä, johtuen sisäisestä logistiikasta. Tämä taas johtuu selvien käytäntöjen puutteesta.

4.3 Materiaalin ominaisuuksien vaihtelu mittausjaksolla

Materiaaliominaisuuksia voidaan vertailla materiaalityöntekijän antamien vetokokeiden pohjalta. Kokeet on tehty kullekin tuotantoerälle, josta putkimateriaalit valmistetaan. Nauhojen valmistaja toimittaa nämä tiedot profiilin valmistajalle, joka toimittaa tiedot edelleen tilauksen yhteydessä Maaseudun Koneelle. Liitteessä 4 on esitetty taulukkomuodossa materiaaliominaisuuksien vaihtelua. Taivuttamisen vaihtelun kannalta merkittävä plastisoitumisrajan keskihajonta on liikkunut välillä 4,16 ... 28,38 MPa. Tämä suuri vaihteluväli eri materiaalien välillä tukee operaattorien huomioita, joissa erä on

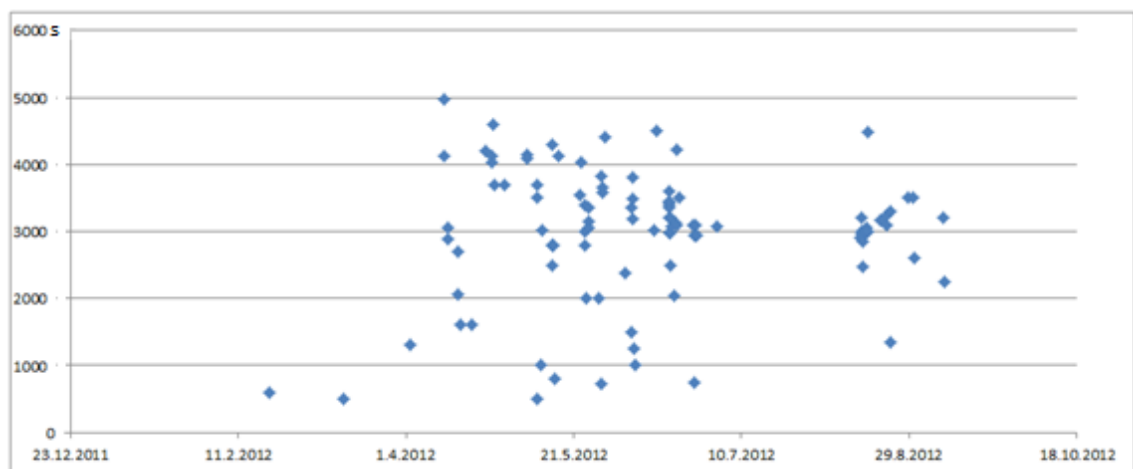
kesken tuotannon vaihdellut merkittävästi. Itse plastisoitumisrajan keskiarvot ovat vaihdelleet suuresti. Toimitusten vaihteluväli on ollut 345,51 ... 537,92 MPa.

Materiaalista johtuen taivutusohjelmien arvoja on jouduttu muuttamaan. Taivutuksessa ohjataan kahta taivutussäteen arvoa. Ne ovat liikkuneet välillä $R1 = 1040 \dots 1160$ mm sekä $R2 = 8900 \dots 10800$ mm. Arvot ovat sidoksissa työkalun konstruktion eivätkä vastaa absoluuttisesti todellisia saatuja arvoja. Kuitenkin periaatteena lujempaa materiaalia joudutaan taivuttamaan pienemmälle taivutussäteelle.

Tutkimuksen yhteydessä tehtiin myös testitaivutukset 60x60x4 – neliöputkelle, jolla haluttiin selvittää taivutusten toistuvuus kahdelle eri materiaalille (S355 ja S420). Tulokset ovat liitteessä 5. Tulosten perusteella nähdään ainoastaan suuruusluokat vaihteleville taivutuskulmassa ja säteessä. Suuremman murtolujuuden omaavalla materiaalilla ei testin yhteydessä ollut saatavilla materiaalitodistusta, vaan liitteessä näkyvät hajonnan arvot ovat toimitusten pitkän ajan keskiarvoja. S355 materiaalilla taivutuskulma oli $93,51^\circ$ hajonnalla $0,33^\circ$. Vastaavasti S420 materiaalilla arvot olivat $88,55^\circ$ ja $0,21^\circ$. Lujemman lujuusluokan materiaalilla saavutettiin suhteessa pienempi taivutuskulman vaihtelu. Molemmat taivutukset tehtiin samalla taivutusohjelmalla. Tämä on hyödyllinen tieto neliöputkiprofiilin siirryttäessä ja soveltuvaa materiaalia valittaessa. Elleivät muut syyt pakota käyttämään pienemmän lujuusluokan materiaalia, ainakin tämän testin perusteella S420:lla päästään parempaan laatuun toistuvuuden kannalta. Lisätutkimusta kuitenkin tarvitaan.

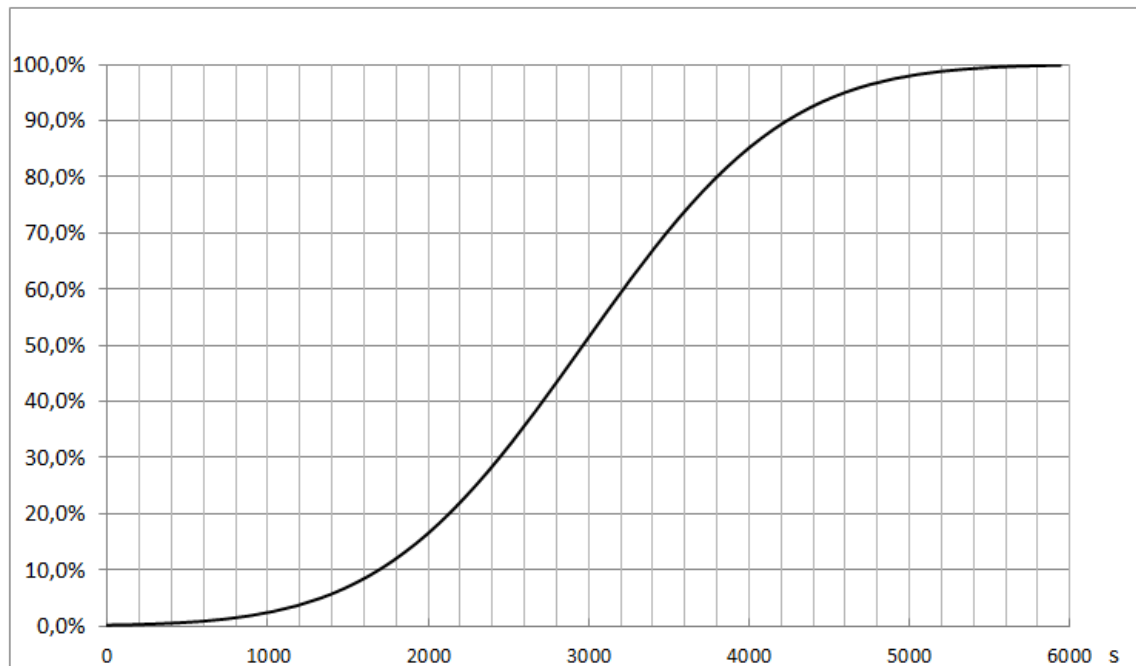
4.4 Varsijyrsimien kestotilastot

Varsijyrsimien kestoa on seurattu koko ajanjaksolla. Kun jyrsin katkeaa, lopettaa se samalla koko solun toiminnan. Vaihtotyö on tehtävä käsin. Työ itsessään kestää noin viisi minuuttia.



Kuva 22. Varsijyrsimien kestotilasto. Pystyakselilla kesto aika sekunteina.

Varsijyrsimien kestoajat on esitetty ajan (raportointipäivien) funktiona (kuva 22) ja tilastoista on poistettu välittömästi vikaantuneet jyrsimet. Raportointi ei ole täysin kattavaa, eli joka jyrsimen katkeamista ei ole aina tilastoitu. Seurantajaksoilla jyrsimiä vaihdettiin tasan sata kappaletta. Kestotilastojen perusteella terän keskiarvoiseksi kestoksi on saatu 2965 s, keskihajonta 980 s. Vaihteluväli on melko suuri. Lyhin terän kestoikä oli 500 s, ja pisin kesto 4972 s. Lyhyimmät kestoajat saavutettiin mittausjakson alkuvaiheilla. Varsijyrsimien kestoikä aivan lyhimpien kestoaikojen suhteen on parantunut. Esimerkiksi alle 1000 s aikoja ei enää seurantajakson loppuvaiheessa ole.



Kuva 23. Jyrsimien kestoajat esitetty todennäköisyyskertymäfunktion avulla.

Kuvaajasta 23 voidaan tulkita että 50 % jyrsimistä kestää 2965 s. Terille olisi hyvä määrittää optimaalinen ennakoitu vaihtoaikaväli, jonka jälkeen voidaan minimoida jyrsimen katkeamisesta johtuva tuotannon pysäytys. Robottijärjestelmä mahdollistaa automaattisen teränvaihdon, joten samanlaisia teriä voidaan automatisoidusti vaihtaa tietyn ajanjakson kuluttua. Sopiva aika voisi olla esim. 2000 s, jolloin seurantajakson perusteella todennäköisyys katkeamisille olisi noin 18 %. Optimoitavat parametrit ajan suhteen olisivat uuden terän hinta sekä tylsyneen terän teroituskustannus. Vaihto aika valitaan pienimmän kokonaiskustannuksen perusteella.

4.5 Päivittäinen säätötarve laitekohtaisesti

4.5.1 Taivutusohjelmien muutostarve

Taivutusohjelmat on laadittu tietylle materiaalierälle. Kun materiaalierä vaihtuu, ilmenee myös taivutusohjelmien säätötarvetta. Säätäminen tapahtuu ohjelmallisesti taivutusäädettä muuttamalla, joko kiristämällä tai loiventamalla sädettä. Jos esimerkiksi ajettava

materiaalierä on normaalia lujempaa, täytyy sitä ylitaivuttaa lisää sekä säteen että taivutuskulman suhteen.

Säätötarvetta on olemassa kahdenlaista. Ensimmäisessä tapauksessa säädetään silloin kun toimittajalta saapuu uutta nimellislujuuutta edustava materiaalierä. Tämä säätötapahtuma tehdään ideaalitapauksessa vain kerran erässä. Toisessa tapauksessa säädetään itse erän sisäisen vaihtelun vuoksi. Tämä vaatisi kuitenkin tiedon seuraavan taivutettavan aihion lujuudesta. Tällaista tietoa ei kuitenkaan ole käytettävissä, joten taivutusohjelman ennakointi aihikohtaisesti (erän sisällä) on mahdoton ajatus. Ainostaan eräkohtainen tilastollinen vaihteluväli tiedetään, joten prosessia on säädettävä tämän tiedon mukaan.

Taivutuksen korjaus erätuotannon alussa on aikaa vievä tapahtuma. Tuotantolaitteistossa ei ole mahdollisuutta syöttää syntynyttä virheellistä taivutustulosta ohjelmaan, joka laskisi korjatut arvot suoraan, vaan käyttäjän on tämä itse kokeiltava. Pahimmillaan oikeaan taivutustulokseen pääseminen voi viedä aikaa useita tunteja, riippuen kappaleen monimutkaisuudesta.

Tärkeämpää kuin materiaalierän nimellislujuus, on itse asiassa materiaalierän sisäinen vaihtelu. Merkittävä parametri materiaaliominaisuuksissa on sen plastisoitumisraja, eli $R_p 0.2$ ja eritoten sen vaihtelu. Valmistaja ilmoittaa jokaiselle toimitetulle materiaalierälle myös keskihajonnan tästä plastisoitumisrajasta.

Taivutettavan profiilin nimellishalkaisijoissa esiintyy myös vaihtelua. On sattunut tapauksia, joissa taivutustyökalun rullaväliä on jouduttu muuttamaan, kun saapunut materiaalierä on ollutkin toleranssien ylärajoilla profiilin halkaisijoiden suhteen. Tällaista profiilia ei ole koskaan ollut toimitettu, joten työkalun säätämisesäkään sitä ei ollut siten huomioitu. Jos kun näin joudutaan menettelemään, vaikuttaa se luonnollisesti kaikkiin jo tehtyihin taivutusohjelmiin. Liitteessä 10 on profiilin halkaisijoiden mittaustuloksia koko materiaalin seurantajaksolta. Teoriassa jokainen halkaisija vaatisi oman taivutusohjelmansa. Myös rullien välystä voitaisiin säätää.

4.5.2 Plasmaleikkausradat

Plasmaleikkausratojen tyypillisin säädettävä muuttujan on leikkausetäisyys kappaleen pinnasta. Kerran hyväksi havaittu leikkausetäisyys ei riitä, jos kappale onkin yli tai alitaipunut. Näin kappaleen ja plasmapolttimen välille jää iso rako tai kappale törmää polttimeen. Plasmaleikkauslaitteiston ohjekirjan mukaan käytettävällä kolmen millimetrin materiaalilla pitäisi leikkausetäisyyden olla 1,5 mm. Väärä leikkausetäisyys aiheuttaa kulutusosien ennenaikaisen kulumisen sekä huonon leikkausjäljen samalla heikentäen tuotelaatua. Leikkausetäisyyden ollessa liian suuri, ei plasmaleikkauslaitteisto edes sytytä valokaarta.

4.5.3 Koneistusohjelmat

Koneistusohjelmat on säädetty robotin käsiajolla perustuen piirteiden tarkistusmittauksiin koordinaattimittauksessa. Kappaleen taivutusmittojen vaihtelun seurauksena, joudutaan valitsemaan kompromissi koneistusetäisyyksille. Kappaleen paikkaa ei ennen koneistusta mitata robotin avulla, vaan reiät ja muut piirteet tehdään mittaamatta robottiohjelman mukaan. Koneistusohjelmia on aika ajoin säädetty hieman muuttuneen taivutuksen mukaan, vaikka oikeampi tapa olisi puuttua virheiden syihin, eli miksi taivutusvirhettä ylipäättään syntyy ja pääsee mittauksen ohi.

5. TULOSTEN ANALYSOINTI

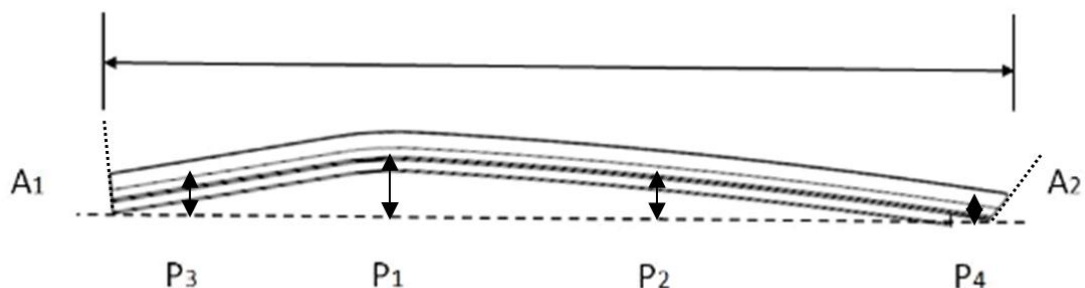
5.1 Suorituskykynäkökulma

Prosessin suunnitteluvaiheessa tavoitetilaksi oli asetettu suorituskyky minuutti jokaista tuotettua putkikappaletta kohti. Tästä on jouduttu teknisistä syistä joustamaan. Tavoite on silti saavuttaa tämä suorituskyky. Suurimmaksi ongelmaksi on noussut koneistus, joka on suorituskykynäkökulmasta pullonkaula. Yksi mahdollisuus olisi siirtää koneistustyötä koneistavalta robotilta prosessin edellisille vaiheille. Eli tehdä ns. linjan tasapainotus. Tämä kuitenkin vaatisi laiteinvestointeja. Laiteinvestoinnin ohella olisi järkevää tuoda toiminnallista lisäarvoa tuotteiden valmistamiseen, kuten esim. kitkaporaus, jolloin tuotteen kokonaiskustannuksissa päästäisiin eroon niittimuttereista.

5.2 Prosessin laaduntuottokyky

Laaduntuottokyky voidaan määritellä prosessille ottamalla riittävän kattava tilastollinen otanta toteutuneiden kappaleiden mittaustuloksista suhteessa vaatimukseen. Idealisella prosessilla kaikki tuotetut kappaleet olisivat tavoitemitoissa ja toleranssialueen keskellä. Käytännön elämässä näin ei kuitenkaan ole, vaan esiintyy hajontaa. Hajonnan suuruus määrää, miten hyvä prosessi käytännössä on. Hajontaan liittyy kahdenlaista virhetekijää, ns. normaalia kohinaa ja erityisestä syystä johtuvaa virhettä. Kohina on prosessin normaalin vaihtelun piirissä, mutta erityisyyden taustalla voi olla esim. laitteistossa vaikuttava mekaaninen vika.

Tarkastellaan seuraavaksi erään tuotetun kappaleen mittaustulosten vaihtelua. Seurattava piirre on arvon P1 vaihtelu koko seurantajaksolla.



Kuva 24. Mitattavan putkikappaleen seurattavat piirteet.

Putkikappaleesta seurataan pisteen P1 etäisyyttä (kuva 24). Kappaleelle on annettu putken pään taipumatoleranssi ± 2 mm. Päistään kiinnitettynä tämä tarkoittaa $\pm 0,5$ mm sallittua virhettä mittalaitteella.

Mittausjaksolla arvon P1 keskiarvo oli 78,47 mm ja keskihajonta 1,39 mm

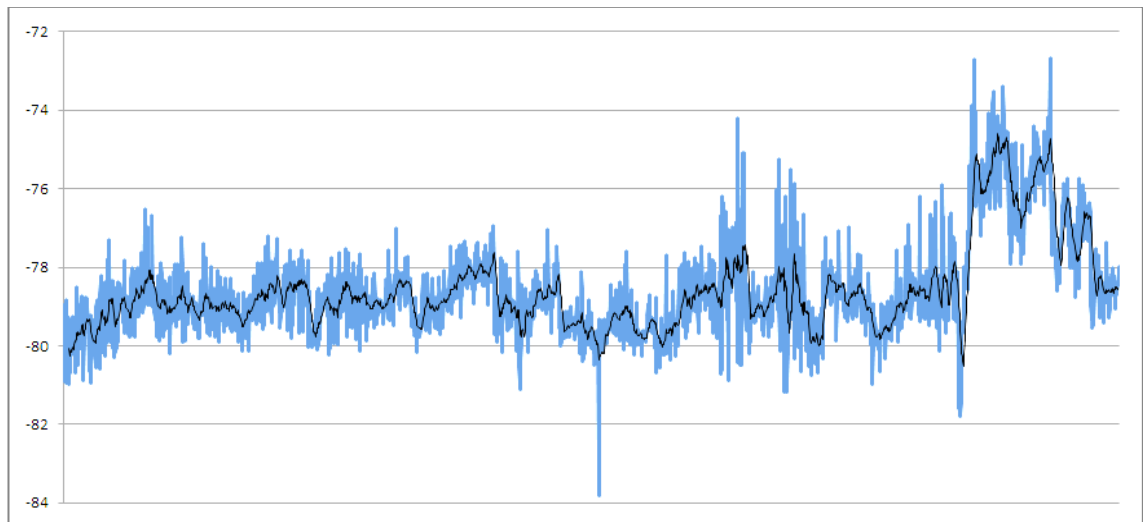
Lasketaan prosessin Cpk (Kaava 2)

$$Cpk = \min\left(\frac{USL - \bar{x}}{3\sigma}; x = \frac{\bar{x} - LSL}{3\sigma}\right)$$

$$Cpk = \min\left(\frac{79,47 - \overline{78,50}}{3 \cdot 1,39}; x = \frac{\overline{78,50} - 77,47}{3 \cdot 1,39}\right)$$

$$Cpk = \min = 0,23, \max = 0,25$$

Prosessin keskiarvo on lähes tavoitemitassa. Prosessin Cpk max. on siis 0,25, joka kertoo huonosta prosessista (Cpk-rajat). Cpk-arvon minimi oli 0,23. Prosessissa on suuri hajonta, mikä kätkee alleen mahdollisesti jopa osan erityisyyistä. Prosessin kyvykkyysongelman voi myös kiertää lieventämällä toleranssivaatimuksia.



Kuvaaja 25. Mittaushistoria, 20.4.2012 - 14.9.2012, 1777 kpl, Tuote 36162600.

Kuvassa 25 näemme mittaustulosten vaihtelun koko ajanjaksolla. Kuvaajan päälle on piirretty 10 mittauksen liukuvan keskiarvon viiva. Suuret tasoerot johtuvat tuotannon vaatimuksista muuttua tuotteen kaarevuutta. Tällöin prosessi ei ole ollut vakio. Osaltaan se johtuu tyytymisestä saavutettuun kaarevuusarvoon, vaikkei se olekaan ollut tavoitemitoissa. Jatkuva sahausliike on taas seurausta materiaalin sisäisestä vaihtelusta, joka täytyy vain hyväksyä.

Alla on eräitä otoksia prosessin mittaustulosten ääritapauksista. Rivillä on esitetty mitauspäivä ja mittaustulos (P1 arvo), sekä käytetyn materiaalierän numero ja materiaaliominaisuudet.

14.6.2012 13:35 -83,83 materiaalierä: 10264752 Rp02=393,87 Rp0.2 s=24,64

13.8.2012 22:31 -74,22 materiaalierä: 10264753 Rp02=393,87 Rp0.2 s=24,64

05.09.2012 7:24 -72,69 materiaalierä: 10264747 Rp02=393,87 Rp0.2 s=24,64

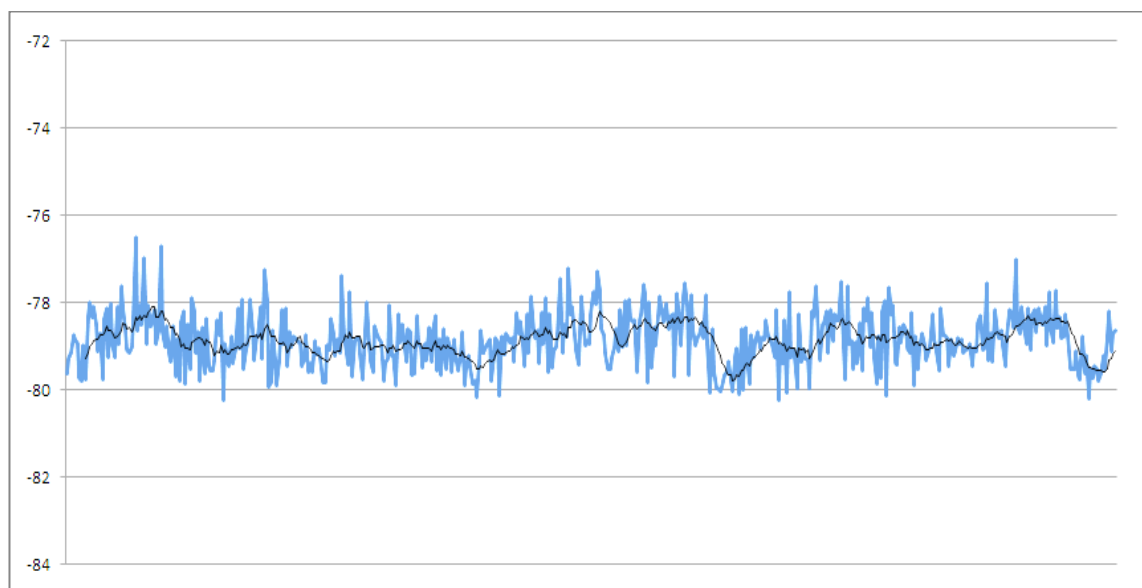
Tarkasteltaessa lyhyempää ajanjaksoa 21.05.2012 16:03:55 - 22.05.2012 13:05:38 sisältäen 300 mittauspistettä, saadaan keskiarvoksi -78,84 ja keskihajonnaksi 0,65 mm.

Tällöin prosessin kyvykkyys paranee laskennallisesti arvoon Cpk max=0,43. Tämä on pitkän ajan seurantaan nähden lähes kaksinkertainen arvo. Prosessin keskiarvo ei ollut kuitenkaan tavoitemitassa. Tällöin oli käytössä materiaalierät:

10264749 Rp02=393,87 Rp0.2 s=24,64

10264753 Rp02=393,87 Rp0.2 s=24,64

Erien välillä ei ole lainkaan materiaalitietojen perusteella lujuseroja joten prosessin mittavaihtelu johtuu normaalista hajonnasta.



Kuvaaja 26. Mittaushistoria, 21.5.2012 – 22.5.2012, 300 kpl. Tuote 36162600.

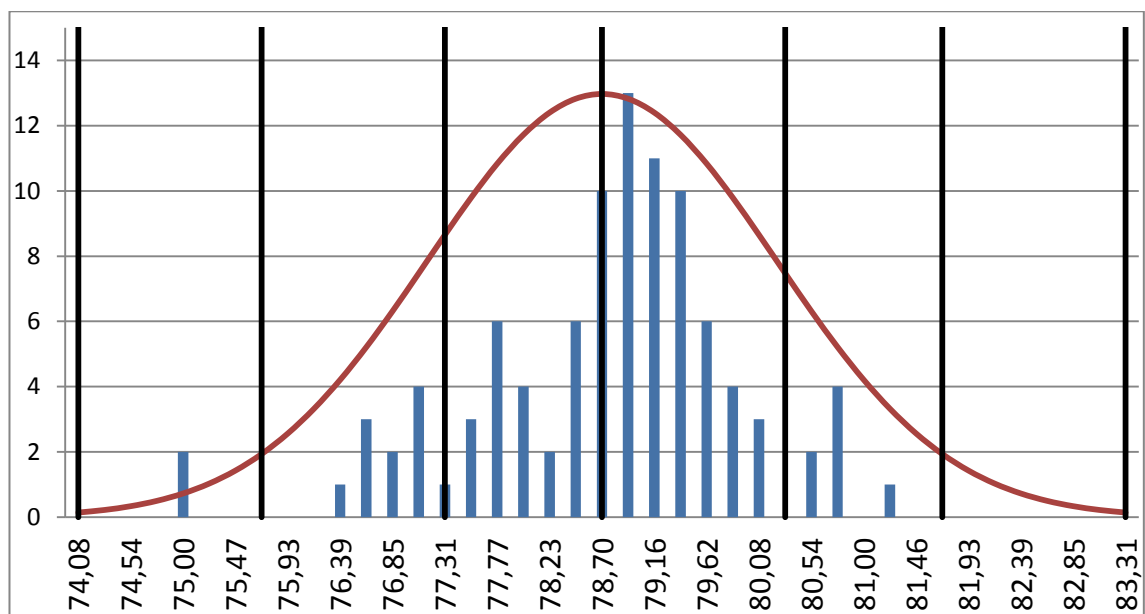
Kuvaajan 26 päälle on piirretty 10 mittauksen liukuvan keskiarvon viiva. Lyhyemmän otannan perusteella prosessin normaali hajonta tulee paremmin esille kuin pitkän ajan seurannassa, jossa esiintyy prosessin ajalehtimistä (tasovaihteluja). Ajelehtiminen aiheutuu todennäköisesti säätämisestä liian harvan otannan perusteella. Eli, kun saadaan yksi mittaustulos lähelle nimellismittaa, aletaan ajaa jo sarjatuotantoa. Säätö saattoi tapahtua yhden piikin perusteella ja on siis pahimmillaan hajonnan verran sivussa. Ratkai-

su olisi säätää riittävän suuren otannan perusteella, kun nähdään mitä tuloksia saadaan. Hyvä käytäntö olisi käyttää esim. valvontakortteja.

Prosessi ei ole lyhyellä aikavälilläkään tarkasteltuna vakaa, mutta siinä ei esiinny pidemmän ajanjakson tapaan tasovaihteluita. Näin Cpk – indeksi nousi tarkasteltuna pitkän aikavälin arvosta 0,25 lyhyen aikavälin arvoon 0,43. Prosessissa on siis mahdollista kaksinkertaistaa laatu, kun käytetään oikeaa valvontaa, kuten valvontakortteja.

Valvontakortin avulla säätämisestä tulee myös systemaattisempaa, eikä yhden mittaus-tuloksen perusteella tehdä vielä mitään muutoksia. Kun materiaalierä on saatu säädettyä paikoilleen, ajetaan se erä loppuun niillä säädöillä jotka on saatu. Valvontakortin rajat kertovat milloin ollaan prosessin normaalin hajonnan ulkopuolella ja taivutukselle pitää tehdä jotain. Säätäminen voisi ideaalitapauksessa perustua esivalituille taivutusohjelmille, jotka valitaan materiaalin nimellislujuusluokan mukaan. Näin ainakin säätäminen tapahtuisi sääntöjen mukaan, eikä se olisi jatkuvaa ja tuntumaan perustuvaa.

Jälkeenpäin mittalaitteelta on laadittu liitteen 6 mukainen x-R kortti. Seurantakortin tuloksista nähdään P1-arvon perusteella, että taivutusprosessi on ajelehtinut valvontarajojen ulkopuolelle useasti. Tuotannon ongelmista kertoo hyvin suuret erot suurimman ja pienimmän taivutusarvon välillä. Tämä ero on ollut suurimmillaan yli neljä millimetriä. Toisesta päästä kiinnitetylle kappaleelle tämä tarkoittaa noin. 16 mm. Tämä menee tuloksena reilusti yli tuotetoleranssien. Keskimäärin suurimman ja pienimmän ero on ollut hieman yli yhden millimetrin luokkaa eli toisesta päästä kiinnitetylle kappaleelle noin neljä millimetriä.



Kuvaja 27. Tuotettujen kappaleiden histogrammi ja normaalijakauma

Kuvassa 27 on esitetty tuotantoprosessin taipuman vaihtelu (liite 8 mukainen tuote) aina erien alussa aikavälillä 20.02.2012 - 31.08.2012 luokkien frekvensseinä. Otos on suuruudeltaan 100 mittapistettä ja se perustuu x-R -korttiin (liite 6). Keskiarvo on 78,7 mm, sekä keskihajonta 1,54 mm. Akselin rajat ovat $\pm 3 \sigma$. Jakauma itsessään on melko tasainen. Lopputulos luultavasti tasoittuisi vieläkin, jos mittauspisteitä lisättäisiin. Keskimäinen pystyviiva on keskiarvo ja sen kummallakin puolella toistuen aina kolmeen keskihajontaan saakka.

Tuotetoleranssit antavat kyseiselle putkikappaleelle toleranssiksi ± 2 millimetriä. Tämä tarkoittaa päistään kiinnitetyille kappaleille mitan P1 toleransseja ± 0.5 tavoitemitalle 78,50 mm. Näiden osuus on 17 kappaletta 100:stä. Eli prosessin saanto on 17 %.

5.3 Järjestelmän kokonaistehokkuus

Pelkän käytettävyyden seuraaminen ei kerro koko totuutta järjestelmän kyvykkyydestä, vaan kun otetaan tuotettu laatu huomioon, saadaan järjestelmän OEE (Overall Equipment Efficiency). OEE:lla tarkoitetaan käytettävyyden, tehokkuuden ja laadun keskinäistä tulovaikutusta.

Käytettävyys on seurannan perusteella 81 %
 suorituskkyky on 44 %
 laatu on 17 %.

Eli kokonaistehokkuus (OEE) on n. 6,1 %.

Kokonaistehokkuuden kannalta huono laatu on merkittävin tekijä. Vaikka laatutaso on tuotetoleransseihin nähden melko huono pitkällä aikavälillä, ei sen merkitys käytännössä ole niin dramaattinen. Suuri laatuero pitkällä aikavälillä johtuu prosessin ajalehtimisestä, eli seurantahistorian aikana kappaleet eivät ole samanlaisia. Laadun seuraaminen pitkällä aikavälillä on kuitenkin perusteltua, sillä myös käytettävyyseuranta on tämän aikavälin arvo. Lyhyellä aikavälillä prosessi kykenee Cpk -indeksillä mitattuna kaksinkertaiseen arvoon (laatuun), joten potentiaalia on olemassa.

5.4 Tutkimusaineiston virhelähteiden arviointi

Tutkimusaineiston eri virhelähteitä arvioitaessa ensimmäinen huomio on syytä kiinnittää raportoinnin tarkkuuteen. Seurantajakson 150 päivän aikana ongelmia on kirjattu vain 97 päivänä. Otanta on hyvä, muttei täysin kattava (65 %).

Oman vaikutuksensa muodostaa mittalaitteen mittausten luotettavuus. Mittalaitteelle on tehty oma toistuvuustesti (Kts. liite 7). Testi on tehty kymmenen kappaleen peräkkäise-

nä mittaussarjana. Mittausten suurimman ja pienimmän arvon erotus oli 2,09 mm. Tässä valossa prosessin säätäminen mittalaitteen avulla on kyseenalaista. Jos mittalaitteen mittaustarkkuus on suurempi kuin tuotetoleranssit, ei säätäminen ole mahdollista.

Materiaalierien jäljittäminen tuotettuihin kappaleisiin on osoittautunut ongelmalliseksi. Materiaalin toimittajalla on heidän oman ilmoituksena mukaan saattanut mennä FIFO – varastoperiaate sekaisin. Tällaisia on raportoitu myös koneen käyttäjien puolelta; erä on saattanut kesken tuotannon muuttua dramaattisesti, mikä on puolestaan aiheuttanut säätötarpeita taivutusprosessiin.

Raportoinnin luetettavuus pienien toistuvien ongelmien kohdalla on myös kyseenalainen. Todennäköisesti jokaista pientä toistuvaa kroonista ongelmaa ei kirjata sen vievän työajan ja vaivan vuoksi.

6. JATKOKEHITYS

6.1 Korjaavat toimenpiteet

6.1.1 Keinot vaihtelun vähentämiseen

Materiaali on keskeinen muuttuja taivutusprosessin kannalta ja varsinkin sen Rp 0.2 – plastisoitumisrajan vaihtelu (keskihajonta). Vaihtelua voidaan pienentää pienentämällä tätä materiaalin tasalaatuisuutta kuvaavaa suuretta. Samoin profiilin dimensiot tulisi olla mahdollisimman tarkoin samat. Tietenkään työkaluista johtuvaa variaatiotakaan ei pidä unohtaa.

6.1.2 Luotettavuuden parantaminen

Lähtökohta luotettavuuden parantamiseksi ovat säännöllisesti ja oikein suoritettut ennakkoivat kunnossapitotoimet kaikille toimilaitteille.

Robotisoidulle koneistukselle ei ollut määritelty käytäntöjä varsijyrsimien vaihtamiseen ennakoivasti, vaan terän katkeaminen estää koneen ajon. Ratkaisuksi ehdotetaan automaattista terän vaihtoa. Terän teroittaminen maksaa tutkimuksen tekohetkellä 13 €, kun taas uusi neliteräinen varsijyrsin maksaa 32 €. Jyrsin voidaan kokemuksen mukaan teroittaa enintään kolme kertaa. Tilastollisen seurannan perusteella keskiarvoinen kesto jyrsimelle oli 2965 sekuntia ja keskihajonta s vastaavasti 980 sekuntia. Optimoimalla vaihtoväli saadaan pienin kokonaishinta hinta koneistussekunnille. Tarvitaan kuitenkin käytännön seuranta onko varsijyrsin teroituskelpoinen 2000 sekunnin kohdalla.

Sahan terälle ei ole olemassa taulukoitua seuranta vaihtoväleistä, joten sellainen tulee ehdottomasti käynnistää. Tällöin samoin kuin jyrsimelle, myös sahan terille voidaan määrittää optimaalinen vaihtoväli.

Kummassakaan tapauksessa ei tule syyllistyä osaoptimointiin pelkän koneistus tai sahauskustannuksen kannalta, vaan laskea kokonaisuuden kannalta edullisinta ratkaisua. Esimerkiksi liian usein vaihdettu sahan terä vie tarpeettomasti työaika ja estää solun toiminnan, ja harvoin eteen tuleva hallitsematon rikkoutuminen voisi ollakin parempi vaihtoehto. Tämä tunnetaan kunnossapitostrategiassakin nimellä run-to-failure (ajaa vikaantumiseen asti). Harkittu vikaantumiseen ajo on parempi kuin harkitsematon.

6.2 Käytettävyyden parantaminen

Käytettävyys oli seurantajaksolla 81 % tasolla. Tavoite alun perin on ollut saavuttaa tässä valossa melko korkea 92 % kokonaiskäytettävyys. Käytettävyyteen vaikuttaa vikaantumisväli ja vian palautumisesta vaadittu aika. Merkittävä tekijä liittyy ennakoiviin toimiin, eli ennen tuotannon aloitusta olisi käytävä läpi tarkistuslista esim. nesteiden ja kulutusosien vaihdosta.

6.3 Parannusehdotukset

6.3.1 Robotit

Suurimman ongelman aiheuttaja on robottien liikevalvonnan aktivoituminen. Tämähän johtui ali tai ylitäipuneesta aiheista, jolloin kappale törmää kiinnittimiin. Materiaalitoimittajan kanssa on neuvoteltu plastisoitumisrajan alentamisesta, ja se on saatu pudotettua ilman lisäkustannuksia arvosta 25 MPa arvoon 7 MPa. Aikaisemmin parempaa materiaalia on saatettu toimittaa, mutta sitä ei ole varsinaisesti oston yhteydessä osattu vaatia. Tähän työhön nämä uudet materiaalien taivutustulokset eivät ehtineet, mutta odotusarvoisesti voidaan olettaa stabiilimpaa taivutusprossia.

Roboteilla liikevalvonnan pysäytys aiheuttaa myös ohjelmasuorittimen pysäytyksen ja virheestä palautuminen vie oman aikansa. Tämä pysähdysaika tulee minimoida panostamalla selviin ohjeistuksiin miten virheestä toivutaan, sillä ainakaan työn kirjoitushetkellä tällaista ohjeistusta ei ollut käytettävissä työpisteillä. Käytännössä kuitenkin koulutusta ja hyviä käytäntöjä esiintyy.

Osaltaan törmäyksiä (virtarajojen aktivoitumista) voitaisiin vähentää muotoilemalla tarttujien leuat sallivimmiksi. Nykyisellään leuat mukailevat profiilin muotoa liiallisestikin. Esimerkiksi ohjausviisteiden lisääminen tarttujiin helpottaisi tilannetta. Toinen mahdollinen ratkaisumalli saattaa löytyä ohjelmallisesti. Kyseisissä kappaleenkäsittelyroboteissa on ns. Soft Move – optio, joka mahdollistaa robotin ranteen (kolme viimeistä akselia) ohjelmallisen pehmennyksen. Näin pienet törmäykset voidaan sallia ja ne ohjaavat robotin tartuntaa. Menetelmän varjopuolina saattaa olla laatutason heikentyminen, joka tässä tapauksessa saattaa merkitä päiden sahaustoleranssien ylitystä. Tästä syystä tämän vaikutusta tulisi myös tutkia tarkemmin.

6.3.2 Saha

Sahan vikaantuminen johtui pääasiallisesti kahdesta syystä. Yleisin syy oli hukkakappaleen kiilaantumisen aiheuttama kuljettimen pysähtyminen. Toiseksi yleisin syy oli terän ennakoimaton hajoaminen. Ensimmäiseen ongelmaan ratkaisuksi on järjestelmätoimittajan kanssa neuvoteltu kuljettimen parannus, joka poistaa tunnetut ongelmat liit-

tyen kappaleen jumiutumisiin. Terän ennakoimattomaan vikaantumiseen ratkaisuksi ehdotetaan terän keston systemaattista seuranta kappalekohtaisesti ja ennakoivaa teränvaihtoa. Teränkeston on huomattu olevan riippuvainen myös tuotetun kappaleen muodosta ja päiden sahauskulmasta.

6.3.3 Koneistus

Varsijyrsimen katkeaminen pysäyttää säännöllisesti tuotannon. Varsijyrsimen kestopiikkejä perusteella on pystytty määrittelemään hyväksyttävä taso, jolloin terä kuuluu vaihtaa. Terän vaihto voidaan automatisoida olemassa olevalla laitteistolla. Tässä järjestyksessä robotti hakisi tietyn ajojakson kuluttua teräkaapista uuden työstöterän. Tällöin todennäköisyys tapin ennakoimattomalle katkeamiselle on merkittävästi pienempi, jolloin terä on todennäköisimmin uudelleen teroitettävissä. Kaikkia katkeamisia ei voida kuitenkaan välttää, joten terän käytönaikaiseen tarkistamiseen joudutaan todennäköisesti lisäämään myös jonkinlainen tunnistus. Tämä voidaan tehdä ennen jokaista työstövaihetta sekä mahdollisesti jopa työstövaiheiden välissä (kriittiset työstökohdat jolloin pidin törmää materiaaliin). Silti terä saattaa katketa kesken työstönkin. Tämän selvittämiseksi tarvittaisiin jokin luotettava anturointiratkaisu.

Itse automatisoitu teränvaihto on kustannuksiltaan ohjelmistotyötä, joten se kannattaa toteuttaa mahdollisimman pian. Automatisoidulla teränvaihdolla myös terän vaihtopahtuma putoaa useista minuuteista alle kymmenen sekunnin tasolle. Nykyisin teränvaihto kaikkine vaiheineen kestää noin viisi minuuttia. Eli tällä järjestelyllä sisäiset asetusajat voidaan muuttaa ulkoisiksi.

6.3.4 Ongelmaseuranta

Ongelmaseuranta on myös kehitettävä. Toistuvista ongelmista olisi hyvä laatia pöytäkirja, jossa ongelma on kuvailtu yksityiskohtaisemmin, mieluiten ongelma per lomake-periaatteella. Raportteja tulisi käydä tuotantotiimin kanssa läpi systemaattisesti ongelmien juurisyiden selvittämiseksi ja raportoida siitä, ratkesiko ongelma. Näin ongelman tullessa myöhemmin esille voidaan vanhaa tietoa käyttää hyödyksi, ja huomata ettei ongelma ratkennut kyseisillä toimenpiteillä, vaikka niin aluksi luultiin. Paremmalla raportoinnilla saadaan myös selville se, miten paljon avoimia ongelmia on olemassa. Toisaalta ongelma ei saa olla liian työläs, vaan se tulee voida joustavasti tehdä tuotannon ohessa. Esimerkiksi silloin kun kone käy automaattiajolla, eikä operaattorilla ole muita töitä.

7. YHTEENVETO

Esitettyjen parannusehdotusten avulla voidaan odottaa parempaa käytettävyyttä ja laatua. Tarvitaan kuitenkin vielä seurantaa ja varsinkin hyvien käytäntöjen vakiinnuttamista ja jatkuvaa parantamista. Ilman jatkuvaa systemaattista seurantaa ei keskeytysten todellisia syitä saada selville, vaan jäädään arvailujen ja tuntuman varaan. Seurantaa voitaisiin systematisoida edelleen syiden tehokkaammalla kirjaamisella. Kirjaaminen voisi olla esimerkiksi pakotettua, jolloin jokaiselle pysähdykselle saataisiin todenmukainen aloitus, kesto sekä selitys. Nyhän osa ongelmista jää kirjaamatta kiireiden ym. syiden vuoksi. Ongelmien syiden kerääminen useista tietolähteistä on aikaa vievää työtä, ja se vaatii resursseja.

Kokonaistehokkuuden (OEE) kasvattaminen erityisesti laatua parantamalla on kustannustehokkain tapa. Panostaminen pelkkään suorituskykyyn nostattaa tietenkin kapasiteettia, mutta vastaavasti vain lisää viallisten tuotteiden absoluuttista määrää. Käytettävyyden parantaminen pienentää kokonaistyövoimakustannuksia, mutta ei suoranaisesti paranna laatua. Suhtautuminen tuotettuun laatuun vaihtelee. Mittareiden mukaan laatu on heikolla tasolla ($Cpk < 1$), mutta käytännössä tilanne ei ole niin kriittinen. Tähän voi olla useita syitä. Tuotetoleranssit eivät perustu todelliseen tarpeeseen, tai sitten mittaus-tuloksissa on virhe. Huono laatutaso näkyy ehkä prosessin myöhemmissä vaiheissa, eikä ole vielä kärjistynyt. Tämä seikka vaatii perusteellista tutkintaa.

Lisäkehitystä tarvitaan erityisesti taivutusohjelmien ja materiaalierien yhteensovittamisessa. Nykyään säätäminen on jatkuvaa ja prosessi ajelehtii. Taivutusohjelmaa säädetään lyhyen otannan perusteella virheen verran toiseen suuntaan ja tyydytään tulokseen jolla päästiin riittävän lähelle optimia. Myös valvontakortin (liite 6) käyttäminen auttaa huomaamaan prosessin pitkän ajan ajalehtimisen ja auttaa erityisesti erän aloittamisen ongelmassa. Käyttökelpoinen taivutuksen säätömenetelmä voisi olla jakaa koko taivutushistorian materiaalihajonta muutamaan erilaiseen perustaivutusohjelmaan, joista vain valittaisiin oikea taivutusohjelma. Valitsemalla materiaalin lujuusluokan mukaan oikea esiasetettu taivutusohjelma, ei säätöä tarvitsisi joka kerta lähteä tekemään alusta, vaan päästäisiin riittävän lähelle oikeaa tulosta. Vaikkei tulos olisikaan optimaalinen, toisi se operaattorille tietynlaista turvaa ja nopeuttaisi huomattavasti säätämistä. Tällöin säätäminen vaatisi huomattavasti vähemmän ammattitaitoa.

Tutkimusta on syytä siis jatkaa materiaalin seurannan suhteen ja pyrkiä eritoten panostamaan materiaalierien jäljitettävyyden kannalta tärkeään FIFO –periaatteeseen, sekä

kehittämään materiaalitoimittajan kanssa yhdessä taivutustekniikan kannalta keskeistä Rp 0.2 – rajan hajontaa pienemmäksi, mikäli se on taloudellisesti kannattavaa.

Toimintakulttuurin kannalta olisi tärkeää pystyä vakioimaan käytännöt, miten virhetilanteista palaudutaan. Näillä ratkaisuilla parannettaisiin tuottavuutta pienentämällä virheen korjaamiseen kuluvaa aikaa. Samalla virheiden syyt paljastuvat ja niistä voidaan oppia ja kehittyä jatkuvan parantamisen hengessä.

Robottien virtarajojen vaikuttamista kappaletörmäyksissä voitaisiin ohjelmallisesti helpottaa ottamalla käyttöön ohjelmallinen tartunnan pehmentäminen (Soft Move). Sen vaikutus kappaleen paikoitustarkkuuteen tulee kuitenkin tarkistaa.

Työstöterän kestoian parantaminen nousee varmasti huomion arvoiseksi asiaksi, kun käyttökustannuksia halutaan pienentää. Tähän voisi keinona olla koneistuskiinnittimien tartunnan vahvistaminen, sillä ainakin nykyisellään värinä työstön aikana rikkoo ennenaikaisesti työstöteriä. Myös sumuvoitelun käyttöönottoa terän kestoian parantamiseksi kannattaa harkita. Sahan teränkesto-ongelmaan saadaan heti parannus kun teriä aletaan vaihtamaan säännöllisesti. Jotta oikea vaihtoväli opitaan tuntemaan, tulee vaihtovälit kirjata tuotekohtaisesti ylös.

Kokonaan oman tutkimuskohteensa ansaitsisi tuotantolaadun vertailu tuotettuun eräkoon nähden. Tuotantofilosofian muuttuminen kohti pienempiä eräkojoja aiheuttaa ongelmia joustavien valmistusjärjestelmien kanssa. Pelkkä asetusten vaihto ja siihen kuluva aika ei ota lainkaan kantaa laaduntuottoon. Asetusaikojen minimointi vaatii jatkuvaa kehitystä. Asetusajat sanelevat tällä hetkellä pienimmän kannattavan tuotettavan eräkoon. Asetusajat eivät ainakaan nykyisellään sisällä aikaa, joka kuluu hyväksyttävään tuotantolaatuun pääsemiseen.

Vain systemaattisella oikeiden asioiden seurannalla voidaan saada aikaan kehitystä. Pelkkiin tuntemuksiin perustuva kehittäminen lisää pahimmassa tapauksessa kustannuksia ilman hyötyjä ja voi haitata päivittäistä toimintaa. Lisätutkimuksia siis tarvitaan monella rintamalla ja jatkuvan parantamisen hengessä tehtävät parannukset vievät kohti korkeaa kokonaistehokkuutta.

8. LÄHTEET

ABB, tuote-esite, Soft Move

[[http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/74f4e5050f189f82c12573f00054efd0/\\$file/data%20sheet%20softmove%20lr.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/74f4e5050f189f82c12573f00054efd0/$file/data%20sheet%20softmove%20lr.pdf)] Viitattu 12.9.2012

Evans, James, Lindsay, William M. The management and control of quality, International edition of 8th revised edition, Cengage Learning, Inc., 2010, 824 s., ISBN: 9780538452601

Haverila M., Uusi-Rauva E., Kouri I., Miettinen A., Teollisuustalous, Kuudes painos, Infacs Oy, 2009, 510 s., ISBN: 9789519676562

Helmi A., Machining technology, 2008, Taylor & Francis, 633 s., ISBN: 9781420043396

Joglekar, Anand M., Practical methods and guidance for improved performance, Wiley, 2010, 283 s., eISBN: 9780470584125

Koch, Arno. OEE industry standard, Makigami BV, 2003, 31 s., ISBN: 9781463550042

Koch, Arno. OEE for the production team: discover the hidden machine, Makigami BV, 2011, 169 s., ISBN: 6781460940204

Morrison, Jim. Statistics for Engineers: An Introduction, Wiley original, 2009, 191 s., ISBN: 9780470746431

Salomäki Rauno. Suorituskykyiset prosessit – Hyödynnä SPC, Metalliteollisuuden Kustannus Oy, Tammer - Paino Oy, Tampere 2003, 426 s, ISBN: 951-817-802-X

Stamatis D. H., Understanding Overall Equipment Effectiveness, Reliability, and Maintainability, The OEE Primer, Productivity Press 2010, s. 21–45, Print ISBN: 978-1-4398-1406-2, eBook ISBN: 978-1-4398-1408-6

The Productivity Development Team, OEE for Operators (Overall Equipment Effectiveness), CRC Press, 1999, 63 s., ISBN: 978-1-56327-221-9

Patrick D. T. O'Connor, Practical reliability engineering, fifth edition, Wiley, 2012, 484 s, ISBN: 9780470979822

Wang, Junwen, Quality analysis in flexible manufacturing systems with batch productions, 2010

University of Kentucky Doctoral Dissertations, paper 51.

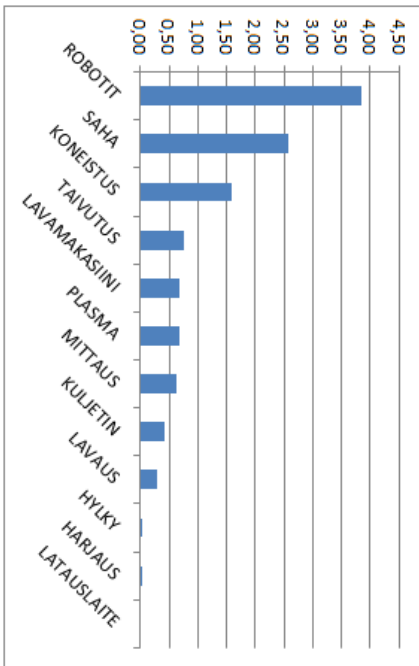
[http://uknowledge.uky.edu/gradschool_diss/51] Viitattu 3.12.2012

9. LIITTEET

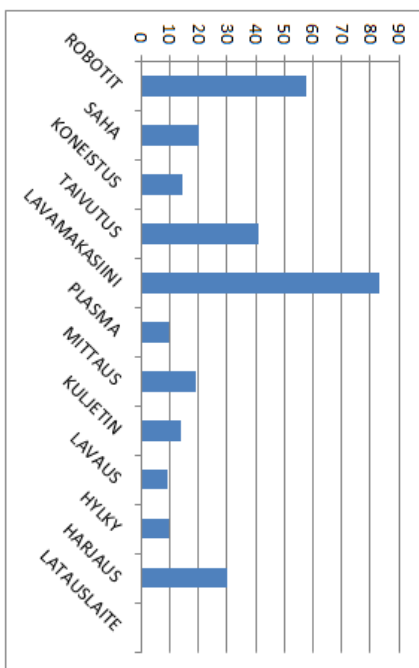
9.1 LIITE 1: ONGELMASEURANTA YHTEENVETO

| KOKONAISTUNNIT | MTBF | MTTR | KÄYTETTÄVYYS |
|----------------|---------|--------|--------------|
| 1348,5 | 1071,90 | 276,60 | 79,49 % |

| TOIMILAITTE | VIKA d | VIKA h | VIKA min | KÄYTETTÄVYYS % |
|---------------|--------|--------|----------|----------------|
| ROBOTIT | 3,85 | 92,37 | 5542 | 93,59 % |
| SAHA | 2,57 | 61,61 | 3697 | 95,63 % |
| KONEISTUS | 1,59 | 38,07 | 2284 | 97,25 % |
| TAIVUTUS | 0,77 | 18,45 | 1107 | 98,65 % |
| LAVAMAKASIINI | 0,69 | 16,62 | 997 | 98,78 % |
| PLASMA | 0,68 | 16,42 | 985 | 98,80 % |
| MITTAUS | 0,62 | 14,80 | 888 | 98,91 % |
| KULETIN | 0,42 | 10,01 | 601 | 99,26 % |
| LAVAUUS | 0,30 | 7,25 | 435 | 99,47 % |
| HYLKY | 0,02 | 0,50 | 30 | 99,96 % |
| HARJAUS | 0,02 | 0,50 | 30 | 99,96 % |
| LATAUSLAITE | 0,00 | 0,00 | 0 | 100,00 % |
| YHT. | 11,53 | 276,60 | 16596 | |



| TOIMILAITTE | VIKA kpl | h / vika | min / vika |
|---------------|----------|----------|------------|
| ROBOTIT | 96 | 0,96 | 58 |
| SAHA | 182 | 0,34 | 20 |
| KONEISTUS | 159 | 0,24 | 14 |
| TAIVUTUS | 27 | 0,68 | 41 |
| LAVAMAKASIINI | 12 | 1,39 | 83 |
| PLASMA | 103 | 0,16 | 10 |
| MITTAUS | 46 | 0,32 | 19 |
| KULETIN | 43 | 0,23 | 14 |
| LAVAUUS | 47 | 0,15 | 9 |
| HYLKY | 3 | 0,17 | 10 |
| HARJAUS | 1 | 0,50 | 30 |
| LATAUSLAITE | 0 | 0,00 | 0 |
| YHT. | 719 | 5,14 | 308,5 |



9.2 LIITE 2: ONGELMASEURANTA

| ALOITUS PV, KLO | LOPETUS PV, KLO | HENKILÖ | Tilaus No. (ALAPPTA) | AIHOKULJETIN | TAIVUTUS | LATAUSLAITE | SAHA | HYLYTRÄNNY | MITTALAITE | PLASMA | KONEISTUS | HARJAUUS | LAVAMAKASHIINI | LAVAUUS | ROBOTIT | SYY |
|-----------------|-----------------|---------|----------------------|--------------|----------|-------------|------|------------|------------|--------|-----------|----------|----------------|---------|---------|--|
| 20.2.2012 9:31 | 20.2.2012 9:49 | 4588 | | | | | | 1 | | | | | | | | rob2 yrittää hakea "mitätöntä" hylkyä |
| 20.2.2012 9:33 | 20.2.2012 9:51 | 4588 | | | | | | 1 | | | | | | | | rob2 yrittää hakea "mitätöntä" hylkyä |
| 20.2.2012 10:01 | 20.2.2012 10:19 | 4588 | | | | | | 1 | | | | | | | | hylkyä priimaputken |
| 20.2.2012 10:05 | 20.2.2012 10:23 | 4588 | | | | | | 1 | | | | | | | | hylkyä priimaputken |
| 20.2.2012 10:08 | 20.2.2012 10:26 | 4588 | | | | | | 1 | | | | | | | | hylkyä priimaputken |
| 20.2.2012 10:12 | 20.2.2012 10:30 | 4588 | | | | | | 1 | | | | | | | | rob2 ja rob3 haki hylkyputkea yhtä aikaa |
| 20.2.2012 12:16 | 20.2.2012 12:34 | 4588 | | | | | | 1 | | | | | | | | rob2 haki turhan hyllyn (huom. mitan mukaan hyvä) |
| 20.2.2012 12:25 | 20.2.2012 12:43 | 4408 | | | | | | | | | | | | 1 | | rob2 akselikonfiguraatio |
| 20.2.2012 12:30 | 20.2.2012 12:48 | 4408 | | | | | | 1 | | | | | | | | mitta rob3 mttahaku DI |
| 20.2.2012 12:40 | 20.2.2012 12:58 | 4408 | | | | | | | | | | | 1 | | | putki tarttui rob3, tippui lattialle |
| 20.2.2012 13:05 | 20.2.2012 13:23 | 4408 | | | | | | | 1 | | | | | | | jiysintappi poikki ei ehtinyt kiihtyä |
| 21.2.2012 7:00 | 21.2.2012 7:18 | 4588 | | | | | | 1 | | | | | | | 1 | rob2 kelkassa korj. poista ensin kappale mittal. (mitta o |
| 21.2.2012 7:38 | 21.2.2012 7:56 | 4408 | | | | | | | | | | | | | 1 | rob3 pyöräytyksessä liikevalvonta |
| 21.2.2012 7:50 | 21.2.2012 8:08 | 4588 | | | | | | | 1 | | | | | | | leikkaus sivussa vaikka putken mitta ok |
| 21.2.2012 7:54 | 21.2.2012 8:12 | 4588 | | | | | | | 1 | | | | | | | leikkaus sivussa vaikka putken mitta ok |
| 22.2.2012 10:08 | 22.2.2012 10:26 | 4408 | | | | | | | | 1 | | | | | | koneistustappi poikki |
| 22.2.2012 10:15 | 22.2.2012 10:33 | 4588 | | | | 1 | | | | | | | | | | lastukuljetin jumissa:putki kuljettimen päässä poikittair |
| 22.2.2012 11:30 | 22.2.2012 11:48 | 4588 | | | | 1 | | | | | | | | | | 1saha: sahaus jäi kesken |
| 22.2.2012 13:17 | 22.2.2012 13:35 | 4588 | | | | 1 | | | | | | | | | | 1saha: sahaus jäi kesken 2117744 |
| 22.2.2012 13:15 | 22.2.2012 13:33 | 4588 | | | | 1 | | | | | | | | | | lastukuljetin jumissa |
| 22.2.2012 13:20 | 22.2.2012 13:38 | 4588 | | | | | | | | 1 | | | | | | tappi poikki |
| 23.2.2012 10:00 | 23.2.2012 10:18 | 4588 | | | | | | | | 1 | | | | | | tappi poikki |
| 23.2.2012 11:00 | 23.2.2012 11:18 | 4588 | | | | | | | | | | | | 1 | | rob3 liikevalvonta "vie rob4" |
| 23.2.2012 11:34 | 23.2.2012 11:52 | 4588 | | | | | | | | 1 | | | | | | tappi pysähtyi saumaan, 588 s |
| 23.2.2012 12:10 | 23.2.2012 12:28 | 4588 | | | | | | | | | | | | 1 | | putki tarttui leukoihin irrottaessa |
| 23.2.2012 12:12 | 23.2.2012 12:30 | 4588 | | | | | | | | | | | | 1 | | törmäys edellisen virheen takia |
| 23.2.2012 12:27 | 23.2.2012 12:45 | 4408 | | | | | | | | | | | | 1 | | putki tarttui leukoihin |
| 23.2.2012 12:50 | 23.2.2012 13:08 | 4588 | | | | | | | | 1 | | | | | | tappi poikki |
| 24.2.2012 6:45 | 24.2.2012 7:03 | 4588 | | | | | | 1 | | | | | | | | rob2:kelkassa korj. tuotteita, poista kpl mitalta--> hylky |
| 24.2.2012 7:15 | 24.2.2012 7:33 | 4408 | | | | | | | | | | | | 1 | | rob 2 ei hakenut uutta kappaletta |
| 24.2.2012 9:00 | 24.2.2012 9:18 | 4588 | | | | | | | | | | | | 1 | | rob2 hmi workperission 0 kun vaihtaa 1, kadottaa aihion |
| 24.2.2012 9:15 | 24.2.2012 9:33 | 4588 | | | | | | 1 | | | | | | | | rob 2 väittää, että mittalaitteessa on hylky |
| 24.2.2012 9:30 | 24.2.2012 9:48 | 4588 | | | | | | 1 | | | | | | | | rob 2 väittää, että mittalaitteessa on hylky |
| 24.2.2012 10:34 | 24.2.2012 10:52 | 4588 | | | | | | | | | | | | 1 | | rob3 putki tarttui leukaan lavauksessa |
| 24.2.2012 11:57 | 24.2.2012 12:15 | 4588 | | | | | | | | | | | | 1 | | rob2 kapula tilitasi, mistään ei tapahdu mitään |
| 5.3.2012 7:30 | 5.3.2012 7:48 | 4588 | | | | 1 | | | | | | | | | | lastukuljetin jumissa, kuljetinnauha voittanut |
| 5.3.2012 8:00 | 5.3.2012 8:18 | 4588 | | | | 1 | | | | | | | | | | lastukuljetin jumissa, kuljetinnauha voittanut |
| 5.3.2012 8:00 | 5.3.2012 8:18 | 4588 | | | | 1 | | | | | | | | | | 1. kiinn. ei aukea |
| 6.3.2012 6:45 | 6.3.2012 7:03 | 4588 | 1 | | | | | | | | | | | | | hammaslaskuri ei toimi |
| 6.3.2012 11:00 | 6.3.2012 11:18 | 4588 | | | | 1 | | | | | | | | | | lastukuljetin jumissa, putki jumissa |
| 6.3.2012 11:30 | 6.3.2012 11:48 | 4408 | | | | | | | | | | | | 1 | | 1. kiinn. ei aukea rob3 |
| 6.3.2012 12:06 | 6.3.2012 12:24 | 4408 | | | | | | | | | | | | 1 | | rob3 liikevalvonta käännössä |
| 6.3.2012 12:11 | 6.3.2012 12:29 | 4408 | | | | | | | | | | | | 1 | | rob3 liikevalvonta käännössä |
| 6.3.2012 12:18 | 6.3.2012 12:36 | 4408 | | | | | | | | | | | | 1 | | rob3 liikevalvonta käännössä |
| 6.3.2012 12:20 | 6.3.2012 12:38 | 4588 | | | | | | | | | | | | 1 | | rob3 liikevalvonta käännössä |
| 6.3.2012 12:22 | 6.3.2012 12:40 | 4588 | | | | | | | | | | | | 1 | | rob3 liikevalvonta käännössä |
| 6.3.2012 12:20 | 6.3.2012 12:38 | 4588 | | | | | | 1 | | | | | | | | lastukuljetin jumissa |
| 6.3.2012 12:21 | 6.3.2012 12:39 | 4588 | | | | | | 1 | | | | | | | | lastukuljetin jumissa |
| 6.3.2012 12:36 | 6.3.2012 12:54 | 4588 | | | | | | 1 | | | | | | | | lastukuljetin jumissa |
| 6.3.2012 13:00 | 6.3.2012 13:18 | 4588 | | | | | | 1 | | | | | | | | lastukuljetin jumissa |
| 6.3.2012 13:20 | 6.3.2012 13:38 | 4588 | | | | | | | | | | | | 1 | | rob3 liikevalvonta "plasma absj" |
| 7.3.2012 6:30 | 7.3.2012 6:48 | 4588 | | | | | | | | | | | | 1 | | rob 2 tarrain ei avaudu |
| 7.3.2012 6:45 | 7.3.2012 7:03 | 4588 | | | | | | | | | | | | 1 | | rob3 liikevalvonta "plasma absj" |
| 7.3.2012 7:10 | 7.3.2012 7:28 | 4588 | | | | 1 | | | | | | | | | | lastukuljetin jumissa, putki jumissa |
| 7.3.2012 7:45 | 7.3.2012 8:03 | 4588 | | | | | | 1 | | | | | | | | 1. mittauksella hylky(34,9) 2. mittauksella hyvä (35.5) |
| 7.3.2012 7:58 | 7.3.2012 8:16 | 4408 | | | | | | | 1 | | | | | | | plasma ei sytytä |
| 7.3.2012 8:49 | 7.3.2012 9:07 | 4408 | | | | | | | 1 | | | | | | | mittalaite mittaa väärin (antaa eri tuloksia) |
| 7.3.2012 9:20 | 7.3.2012 9:38 | 4588 | 1 | | | | | | | | | | | | | induktiivinen anturi takkuua |
| 7.3.2012 9:44 | 7.3.2012 10:02 | 4408 | | | | 1 | | | | | | | | | | sahan tarttuja ei avaudu |
| 7.3.2012 10:22 | 7.3.2012 10:40 | 4408 | | | | | | | | 1 | | | | | | plasma ei sytytä |
| 7.3.2012 12:05 | 7.3.2012 12:23 | 4408 | 1 | | | | | | | | | | | | | induktiivinen anturi takkuua |
| 7.3.2012 12:23 | 7.3.2012 12:41 | 4408 | | | | | | | 1 | | | | | | | mittalaite antaa epäluotettavaa tulosta |
| 7.3.2012 13:15 | 7.3.2012 13:33 | 4408 | | | | 1 | | | | | | | | | | sahan tarttuja tippui ruuvi |
| 7.3.2012 13:22 | 7.3.2012 13:40 | 4408 | 1 | | | | | | | | | | | | | induktiivianturin johtoja irti sähkökaapilla 2 kpl |
| 12.3.2012 6:54 | 12.3.2012 7:12 | 4408 | | | | | | 1 | | | | | | | | mittalaite hylkää, mutta uudelleen mitattuna tulos muu |
| 12.3.2012 6:53 | 12.3.2012 7:11 | 4408 | | | | | | | | | | | | 1 | | rob3 liikevalv. Pysäytys |
| 12.3.2012 7:20 | 12.3.2012 7:38 | 4408 | | | | | | 1 | | | | | | | | mitta hylkäsi, uusi mittaus, tulos muuttui 0,7-->hyvä |
| 12.3.2012 8:00 | 12.3.2012 8:18 | 4588 | | | | 1 | | | | | | | | | | kiin.1. ei avaudu |
| 12.3.2012 12:30 | 12.3.2012 12:48 | 4588 | | | | | | | | | | | | 1 | | rob3 liikevalvonta, sarjan 1. putki |
| 12.3.2012 12:37 | 12.3.2012 12:55 | 4588 | | | | | | | | | | | | 1 | | rob3 liikevalvonta, robotin viedessä kappaletta rob4 |
| 12.3.2012 12:35 | 12.3.2012 12:53 | 4588 | | | | 1 | | | | | | | | | | lastukuljetin jumissa, putki jumissa |
| 12.3.2012 12:38 | 12.3.2012 12:56 | 4588 | | | | 1 | | | | | | | | | | lastukuljetin jumissa, putki jumissa |
| 12.3.2012 12:42 | 12.3.2012 13:00 | 4588 | | | | 1 | | | | | | | | | | lastukuljetin jumissa, putki jumissa |
| 12.3.2012 12:45 | 12.3.2012 13:03 | 4408 | | | | | | | | | | | | 1 | | rob3 liikevalvonta pysäytys |

| | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------------|------|---|--|--|--|---|--|---|---|--|
| 14.6.2012 20:25 | 14.6.2012 20:30 | 4588 | | | | | | | 1 | | tappi kulunut 3480s |
| 18.6.2012 6:35 | 18.6.2012 6:40 | 4588 | | | | | 3 | | | | lastukulj. Jumi |
| 18.6.2012 7:05 | 18.6.2012 7:10 | 4588 | | | | | 1 | | | | lastukulj. Jumi |
| 18.6.2012 7:25 | 18.6.2012 7:30 | 4588 | | | | | 3 | | | | lastukulj. Jumi |
| 18.6.2012 7:45 | 18.6.2012 7:50 | 4588 | | | | | | | | 1 | rob.1 ja rob.2 törmäys |
| 18.6.2012 7:50 | 18.6.2012 7:55 | 4588 | 1 | | | | | | | | kuljetin syötti aihion yli rajan |
| 18.6.2012 8:10 | 18.6.2012 8:15 | 4588 | | | | | 1 | | | | lastukulj. Jumi |
| 18.6.2012 8:20 | 18.6.2012 8:25 | 4588 | | | | | | | 1 | | tappi poikki 1260s |
| 18.6.2012 8:50 | 18.6.2012 9:00 | 4588 | | | | | 2 | | | | lastukuljetin jumii!! |
| 18.6.2012 9:10 | 18.6.2012 12:30 | 4588 | | | | | 1 | | | | lastukuljetin pysähtyi kokonaan |
| 18.6.2012 12:40 | 18.6.2012 12:45 | 4588 | | | | | 2 | | | | lastukulj. Jumi |
| 18.6.2012 12:50 | 18.6.2012 12:55 | 4588 | | | | | | | 1 | | tappi sulii 1000s |
| 18.6.2012 13:20 | 18.6.2012 13:25 | 4588 | | | | | | | | 1 | 2. robotille latautui väärä ohjelma automaatti ajolle lait |
| 18.6.2012 15:45 | 18.6.2012 16:20 | 4408 | | | | | 1 | | | | lastukuljetin pysähteele jumii |
| 18.6.2012 17:55 | 18.6.2012 18:07 | 4408 | | | | | | | 1 | | tappi kulunut 3010 sek. |
| 18.6.2012 19:48 | 18.6.2012 19:54 | 4408 | | | | | | | 1 | | tappi poikki |
| 18.6.2012 20:24 | 18.6.2012 20:49 | 4408 | | | | | 1 | | | | sahaterän voitelu takkuaa |
| 18.6.2012 23:34 | 18.6.2012 23:42 | 4408 | 1 | | | | | | | | kuljetin syötti aihion yli rajan |
| 18.6.2012 23:49 | 18.6.2012 23:58 | 4408 | | | | | | | 1 | | plasma ei syty |
| 19.6.2012 0:09 | 19.6.2012 0:16 | 4408 | | | | | | | 1 | | plasma ei sytytä |
| 19.6.2012 0:32 | 19.6.2012 0:47 | 4408 | 1 | | | | | | | | kuljetin syötti aihion yli rajan |
| 19.6.2012 1:24 | 19.6.2012 1:36 | 4408 | | | | | 2 | | | | lastukulj. Jumi |
| 19.6.2012 7:00 | 19.6.2012 7:02 | 4588 | | | | | | | 3 | | plasma ei syty |
| 19.6.2012 7:30 | 19.6.2012 7:35 | 4588 | | | | | | | 1 | | tappi kulunut 4500s |
| 19.6.2012 19:56 | 19.6.2012 20:06 | 4408 | 1 | | | | | | | | kuljetin syötti aihion yli rajan |
| 19.6.2012 21:15 | 19.6.2012 21:23 | 4408 | | | | | | | 1 | | tappi kulunut 3425 sek. |
| 20.6.2012 7:15 | 20.6.2012 7:20 | 4588 | | | | | | | 1 | | tappi kulunut 3400s |
| 20.6.2012 7:40 | 20.6.2012 7:50 | 4588 | | | | | 1 | | | | terät vaihdettu, 1-sahan terä ei leikannut. Ajettu 2 päivä |
| 20.6.2012 8:10 | 20.6.2012 8:15 | 4588 | | | | | | | 1 | | 6mm pora kulunut |
| 20.6.2012 10:05 | 20.6.2012 10:10 | 4588 | | | | | | | 1 | | tappi kulunut 3600s |
| 20.6.2012 12:55 | 20.6.2012 13:00 | 4588 | | | | | | | 1 | | tappi kulunut 3200s |
| 20.6.2012 16:34 | 20.6.2012 16:42 | 4408 | | | | | | | 1 | | tappi kulunut 3360 sek. |
| 20.6.2012 17:20 | 20.6.2012 17:39 | 4408 | | | | | | | | 1 | robotti 1 hyppäs pois ohjelmasta |
| 20.6.2012 18:40 | 20.6.2012 18:48 | 4408 | | | | | | | 1 | | tappi kulunut 3442 sek |
| 20.6.2012 21:02 | 20.6.2012 21:10 | 4408 | | | | | | | 1 | | tappi kulunut 2984 sek |
| 21.6.2012 7:10 | 21.6.2012 7:20 | 4588 | | | | | 1 | | | | sahan näyttö jumis, vaati päävirran katkaisun |
| 21.6.2012 7:50 | 21.6.2012 7:53 | 4588 | | | | | | | | 1 | rob. 2 tarrain ei avaudu |
| 21.6.2012 9:10 | 21.6.2012 9:15 | 4588 | | | | | | | 1 | | tappi kulunut 3200s |
| 25.6.2012 7:14 | 25.6.2012 7:28 | 4408 | | | | | | | | 1 | rob 2. tarrain ei avaudu |
| 25.6.2012 8:52 | 25.6.2012 9:14 | 4408 | | | | | 1 | | | | sahan terä 1-terä kului täysin loppuun |
| 25.6.2012 10:12 | 25.6.2012 10:20 | 4408 | | | | | | | 1 | | tappi kulunut 2984 sek |
| 25.6.2012 11:28 | 25.6.2012 11:36 | 4408 | | | | | 1 | | | | sahanterä kulunut 1-terä kului loppuun |
| 25.6.2012 13:45 | 25.6.2012 13:50 | 4588 | | | | | | | 1 | | tappi kulunut 2500s |
| 25.6.2012 14:30 | 25.6.2012 14:40 | 4588 | | | | | 1 | | | | 2-sahan terä kulunut |
| 25.6.2012 15:40 | 25.6.2012 15:45 | 4588 | | | | | | | 1 | | pohjanmaan terähuollon tappi: ajettu 3070s, lähes fetta |
| 25.6.2012 16:15 | 25.6.2012 16:20 | 4588 | 1 | | | | | | | | kuljetin syötti aihion yli rajan |
| 25.6.2012 18:45 | 25.6.2012 18:50 | 4588 | | | | | | | | | 10264749-materiaalissa heittoja |
| 25.6.2012 19:20 | 25.6.2012 19:25 | 4588 | | | | | | | 1 | | pohjanmaan terähuollon tappi: ajettu 2040s, testitapeil |
| 25.6.2012 19:40 | 25.6.2012 19:50 | 4588 | | | | | 1 | | | | sumuvoitelun neste vähissä |
| 25.6.2012 19:52 | 25.6.2012 19:55 | 4588 | | | | | | | 1 | | plasma ei syty |
| 26.6.2012 6:48 | 26.6.2012 6:53 | 4408 | | | | | | | 1 | | plasma ei syty |
| 26.6.2012 7:12 | 26.6.2012 7:19 | 4408 | | | | | | | 1 | | tappi kulunut 3122 sek. |
| 26.6.2012 7:35 | 26.6.2012 7:44 | 4408 | | | | | | | | | 1-sahan terä kulunut |
| 26.6.2012 12:33 | 26.6.2012 12:40 | 4408 | | | | | | | | | tappi kulunut 4226 sek. |
| 26.6.2012 10:30 | 26.6.2012 10:40 | 4408 | | | | | | | | | kuljetin syötti aihion yli rajan |
| 26.6.2012 12:10 | 26.6.2012 12:20 | 4408 | | | | | | | | | kuljetin syötti aihion yli rajan |
| 26.6.2012 14:20 | 26.6.2012 14:25 | 4588 | | | | | | | | 1 | liikevalvonta lavauksessa |
| 26.6.2012 16:35 | 26.6.2012 16:40 | 4588 | | | | | | | 1 | | tappi kulunut 3100s |
| 26.6.2012 17:10 | 26.6.2012 17:13 | 4588 | | | | | | | | 3 | liikevalvonta lavauksessa |
| 26.6.2012 21:10 | 26.6.2012 21:15 | 4588 | | | | | | | 1 | | tappi kulunut 3500s |
| 26.6.2012 21:15 | 26.6.2012 21:20 | 4588 | | | | | | | 1 | | 6mm pora kulunut |
| 2.7.2012 13:20 | 2.7.2012 13:30 | 4588 | | | | | 1 | | | | sumuvoitelun neste vähissä, lastukulj. Jumi |
| 2.7.2012 15:15 | 2.7.2012 15:26 | 4408 | | | | | 1 | | | | lastun kulj.jumi pitkä palikka poikittain |
| 2.7.2012 16:28 | 2.7.2012 16:38 | 4408 | | | | | | | 1 | | tappi kulunut 3084 sek teroitettu tappi |
| 2.7.2012 19:37 | 2.7.2012 20:03 | 4408 | | | | | 1 | | | | sahanterät kuluneet loppuun |
| 2.7.2012 20:28 | 2.7.2012 20:39 | 4408 | | | | | | | | 1 | robotti 1. pudotti putken maahan |
| 2.7.2012 21:09 | 2.7.2012 21:19 | 4408 | 1 | | | | | | | | kuljetin syötti aihion yli rajan |
| 3.7.2012 10:05 | 3.7.2012 10:07 | 4408 | | | | | | | 1 | | Plasma ei syty, profiilissa jäystettä sahuksesta |
| 13.8.2012 7:35 | 13.8.2012 7:45 | 4588 | | | | | 3 | | | | lastukulj. Jumi |
| 13.8.2012 8:00 | 13.8.2012 8:05 | 4588 | | | | | | | 1 | | tappi poikki 750s |
| 13.8.2012 8:10 | 13.8.2012 8:20 | 4588 | | | | | 1 | | | | sahan terien vaihto |
| 13.8.2012 10:25 | 13.8.2012 10:30 | 4588 | | | | | | | 1 | | tappi kulunut 2940s |
| 13.8.2012 16:20 | 13.8.2012 16:30 | 4408 | | | | | | | | 1 | työstörobotti keskeytti sarjan ajon ilman syytä |
| 13.8.2012 19:00 | 13.8.2012 19:07 | 4408 | | | | | | | 1 | | tappi kulunut 3090 sek. |
| 14.8.2012 6:50 | 14.8.2012 6:55 | 4588 | | | | | | | 1 | | tappi kulunut 2940s |
| 14.8.2012 7:40 | 14.8.2012 7:48 | 4588 | | | | | | | 1 | | 5mm ja 6mm porien vaihto |
| 14.8.2012 8:05 | 14.8.2012 8:45 | 4588 | | | | | | | | 1 | hmi ei saa yhteyttä robotteihin |
| 14.8.2012 9:05 | 14.8.2012 9:08 | 4588 | | | | | | | | 1 | liikevalvonta kappaleen käännessä |
| 14.8.2012 11:00 | 14.8.2012 11:00 | 4588 | | | | | | | | | 10264749-materiaalissa heittoja |
| 14.8.2012 12:10 | 14.8.2012 12:15 | 4588 | | | | | | | 1 | | tappi kulunut 2940s |
| 14.8.2012 16:40 | 14.8.2012 16:57 | 4408 | | | | | 1 | | | | kuljetin pysähteele |
| 14.8.2012 17:03 | 14.8.2012 17:32 | 4408 | | | | | | | 1 | | plasma ei syty x6 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------------|------|--|--|--|---|---|--|--|--|---|---|--|--|--|--|--|---|---|
| 14.8.2012 18:30 | 14.8.2012 18:45 | 4408 | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | sahan terät kuluneet |
| 14.8.2012 19:30 | 14.8.2012 19:45 | 4408 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | robotti kaatoi tuen |
| 14.8.2012 22:03 | 14.8.2012 22:46 | 4408 | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | aihion kuljetin pysähtyi väärään paikkaan,robotti törmäsi |
| 15.8.2012 6:15 | 15.8.2012 6:20 | 4588 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | rob.2 tarrain ei avaudu |
| 15.8.2012 6:23 | 15.8.2012 6:25 | 4588 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | rob.3 liikevalvonta kappaleen käännössä |
| 15.8.2012 6:55 | 15.8.2012 7:00 | 4588 | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | tappi kulunut 3070s |
| 15.8.2012 7:20 | 15.8.2012 7:20 | 4588 | | | | | | | | | | | | | | | | | 10264749-materiaalissa heittoja |
| 15.8.2012 7:35 | 15.8.2012 7:40 | 4588 | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | plasma ei syty |
| 15.8.2012 9:50 | 15.8.2012 9:53 | 4588 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | liikevalvonta lavauksessa |
| 15.8.2012 14:18 | 15.8.2012 14:28 | 4408 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | rob.3 liikevalvonta kappaletta työstöön viedessä |
| 15.8.2012 14:31 | 15.8.2012 14:38 | 4408 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | rob.3 liikevalvonta kappaleen käännössä |
| 15.8.2012 14:40 | 15.8.2012 14:47 | 4408 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | rob.3 liikevalvonta kappaleen käännössä |
| 16.8.2012 6:15 | 16.8.2012 6:17 | 4588 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | rob.3 liikevalvonta kappaleen käännössä |
| 16.8.2012 6:17 | 16.8.2012 6:20 | 4588 | | | | | | | | | | | | | | | | 5 | rob.3 liikevalvonta kappaletta työstöön viedessä |
| 16.8.2012 6:20 | 16.8.2012 6:24 | 4588 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | rob.2 tarrain ei avaudu |
| 16.8.2012 6:45 | 16.8.2012 6:50 | 4588 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | tappi kulunut 2900s |
| 16.8.2012 7:50 | 16.8.2012 8:10 | 4588 | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | mittalaitteen laser sammuu kesken mittauksen, ei anna |
| 16.8.2012 9:20 | 16.8.2012 9:20 | 4588 | | | | | | | | | | | | | | | | | 10264748-materiaalissa heittoja |
| 16.8.2012 11:20 | 16.8.2012 11:23 | 4588 | | | | | | | | | | | | | | | | 5 | rob.3 liikevalvonta kappaletta työstöön viedessä |
| 16.8.2012 11:55 | 16.8.2012 11:59 | 4588 | | | | | | | | | | | | | | | | 5 | plasma ei syty |
| 16.8.2012 12:15 | 16.8.2012 12:20 | 4588 | | | | | | | | | | | | | | | | 6 | plasma ei syty |
| 16.8.2012 12:25 | 16.8.2012 12:35 | 4588 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | sahan terien vaihto |
| 16.8.2012 12:37 | 16.8.2012 12:42 | 4588 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | tappi kulunut 3000s |
| 17.8.2012 10:02 | 17.8.2012 10:07 | 4588 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | tappi kulunut 2960s |
| 20.8.2012 9:00 | 20.8.2012 9:05 | 4408 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | tappi kulunut 3200 sek. |
| 21.8.2012 9:30 | 21.8.2012 9:40 | 4408 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | sahanterät vaihdettu |
| 21.8.2012 10:05 | 21.8.2012 10:10 | 4408 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | tappi kulunut 2850 sek. |
| 22.8.2012 7:22 | 22.8.2012 7:28 | 4408 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | pora kulunut ajettu 11304 sek! |
| 22.8.2012 8:24 | 22.8.2012 8:29 | 4408 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | tappi kulunut 2470 sek. |
| 22.8.2012 8:58 | 22.8.2012 9:10 | 4408 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | sahan leikkuneste vähissä |
| 22.8.2012 10:05 | 22.8.2012 10:26 | 4408 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 2 rob. Vei putkia hylkyyn vaikka 2hyväksy kaikki" komer |
| 22.8.2012 10:28 | 22.8.2012 10:37 | 4408 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 2 ja 3robotin välillä jumi. |
| 22.8.2012 13:42 | 22.8.2012 13:52 | 4408 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 2-sahan terä vaihtoon |
| 23.8.2012 6:00 | 23.8.2012 8:05 | 4408 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | sähkökatko, koeet kaatui ja ei hyväksynyt salasanaa ylö |
| 23.8.2012 9:00 | 23.8.2012 9:05 | 4408 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | tappi kulunut 3002 sek. |
| 23.8.2012 11:10 | 23.8.2012 11:29 | 4408 | | | | | | | | | | | | | | | | 4 | lavauksessa törmäys 4kerta |
| 23.8.2012 11:45 | 23.8.2012 11:49 | 4408 | | | | | | | | | | | | | | | | | tappi kulunut 2974 sek. |
| 24.8.2012 6:30 | 24.8.2012 7:20 | 4408 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | lastun kulj.jumi pitkä palikka poikittain |
| 24.8.2012 8:20 | 24.8.2012 8:25 | 4408 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | tappi kulunut 3049 sek. |
| 24.8.2012 9:35 | 24.8.2012 9:45 | 4408 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | plasma ei sytytä vaati puhdistuksen |
| 24.8.2012 12:05 | 24.8.2012 13:03 | 4408 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | lastunkuljetin jumissa jouti vetää pois paikoiltaan ja ott |
| 24.8.2012 13:10 | 24.8.2012 13:15 | 4408 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | tappi kulunut 4484 sek. |
| 27.8.2012 6:50 | 27.8.2012 6:55 | 4588 | | | | | | | | | | | | | | | | 3 | lastukulj. Jumi |
| 27.8.2012 8:05 | 27.8.2012 8:10 | 4588 | | | | | | | | | | | | | | | | 4 | lastukulj. Jumi |
| 27.8.2012 9:35 | 27.8.2012 9:45 | 4588 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | tappi kulunut 3000s (mapal) |
| 27.8.2012 13:20 | 27.8.2012 15:10 | 4408 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | lastunkuljetinta korjataan |
| 27.8.2012 15:45 | 27.8.2012 15:55 | 4408 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | aihionkuljetin pysähtyy väärään paikkaan ja robotti törmäsi |
| 27.8.2012 19:00 | 27.8.2012 19:05 | 4408 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | tappi kulunut 3170 sek. |
| 27.8.2012 20:40 | 27.8.2012 20:48 | 4408 | | | | | | | | | | | | | | | | 2 | 3.rob. Törmäsi lavauksessa |
| 28.8.2012 8:00 | 28.8.2012 8:10 | 4497 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | terien vaihto. |
| 28.8.2012 10:05 | 28.8.2012 10:10 | 4588 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | tappi kulunut 3100 (mapal) |
| 28.8.2012 12:05 | 28.8.2012 12:06 | 4588 | | | | | | | | | | | | | | | | 4 | liikevalvonta rob.3 käännössä |
| 28.8.2012 14:00 | 28.8.2012 15:00 | 4408 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | taivutus koneen c-akselin pois referenssipisteestä |
| 28.8.2012 17:15 | 28.8.2012 17:19 | 4408 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | tappi kulunut 3245 sek. |
| 28.8.2012 17:30 | 28.8.2012 17:38 | 4408 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | sahanterä kulunut loppuun |
| 29.8.2012 11:30 | 29.8.2012 11:40 | 4588 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | kiinnitin ei avaudu |
| 29.8.2012 11:00 | 29.8.2012 11:20 | 4588 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | plasman osien vaihto! |
| 29.8.2012 11:30 | 29.8.2012 11:45 | 4588 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | sumuvoitelu nesteen lisäys. |
| 30.8.2012 7:30 | 30.8.2012 7:35 | 4497 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | tappi kulunut 3300s (mapal) |
| 30.8.2012 9:00 | 30.8.2012 9:05 | 4588 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | tappi poikki 1350s (mapal) |
| 30.8.2012 11:55 | 30.8.2012 12:00 | 4588 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 6mm pora kulunut |
| 30.8.2012 12:40 | 30.8.2012 12:45 | 4497 | | | | | | | | | | | | | | | | | 10264747 materiaalissa heittoja. |
| 5.9.2012 6:00 | 5.9.2012 6:15 | 4497 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | poranterät kulunut ajettu 6600s |
| 5.9.2012 11:00 | 5.9.2012 11:20 | 4588 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | putki jäi jumiin, alarulla pyörii huonosti! |
| 5.9.2012 11:30 | 5.9.2012 11:40 | 4588 | | | | | | | | | | | | | | | | | 10264747-materiaali epätasaista!!! |
| 5.9.2012 12:00 | 5.9.2012 12:50 | 4588 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | etutyökalan alarullan vaihto |
| 5.9.2012 13:00 | 5.9.2012 13:30 | 4588 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | mittalaite hylkää vaikka mitta on ohitettu |
| 5.9.2012 13:35 | 5.9.2012 13:45 | 4588 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 2. ja 3. rob. Hakee kappaleen mitalta yhtä aikaa |
| 6.9.2012 6:45 | 6.9.2012 6:55 | 4588 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 2. ja 3. rob. Hakee kappaleen mitalta yhtä aikaa |
| 6.9.2012 9:10 | 6.9.2012 9:20 | 4588 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | kuljetin syötti aihion yli rajan |
| 6.9.2012 9:35 | 6.9.2012 9:45 | 4588 | | | | | | | | | | | | | | | | 2 | putki jäi jumiin |
| 6.9.2012 13:20 | 6.9.2012 13:30 | 4588 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | sahan terien vaihto |
| 8.9.2012 6:15 | 8.9.2012 6:25 | 4497 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | happipullon vaihto |
| 8.9.2012 7:00 | 8.9.2012 7:15 | 4497 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | saha 1 karan ylikuormitus |
| 8.9.2012 7:50 | 8.9.2012 7:55 | 4497 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | saha 1 hälytys z1 17744 |
| 8.9.2012 8:40 | 8.9.2012 8:50 | 4497 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | saha 1 terän vaihto |
| 8.9.2012 9:00 | 8.9.2012 9:05 | 4497 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | saha 1 karan ylikuormitus |
| 8.9.2012 9:40 | 8.9.2012 9:50 | 4497 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | jiyrintappi vaihdettu 3500s |
| 9.9.2012 8:00 | 9.9.2012 8:30 | 4497 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | sahan näyttö jumis, vaati päävirran katkaisun |
| 9.9.2012 9:00 | 9.9.2012 9:15 | 4497 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | plasma ei syty |
| 9.9.2012 9:20 | 9.9.2012 9:50 | 4497 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | sahan näyttö jumis, vaati päävirran katkaisun |
| 9.9.2012 11:30 | 9.9.2012 11:40 | 4497 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | jiyrintappi vaihdettu 3500s |

9.3 LIITE 3: KÄYTETYT TAIVUTUSOHJELMAT

RAPORTOIDUT TAIVUTUSOHJELMAT AJANJAKSOLLA 20.2.2012 - 14.9.2012

| PVM | MATERIAALIERÄ | NIMIKE | R1 | R2 |
|-----------|------------------------------|----------|------|-------|
| 20.2.2012 | 10234661 | 36162600 | 1160 | 10800 |
| 24.4.2012 | 10234664 | 36165800 | 7200 | 7200 |
| 24.4.2012 | 10264746 | 36193900 | 7100 | 7100 |
| 9.5.2012 | 10234663 | 36162600 | 1060 | 8900 |
| 15.5.2012 | 10234662, 10264751 | 36193300 | 9700 | 1100 |
| 15.5.2012 | 10264746 | 36162600 | 1060 | 8900 |
| 15.5.2012 | 10234663 | 10234663 | 6900 | 6900 |
| 15.5.2012 | 10264746 | 36165800 | 7200 | 7200 |
| 15.5.2012 | 10264751, 10264752 | 36193900 | 7100 | 7100 |
| 23.5.2012 | 10264753, 10264749 | 36162600 | 1060 | 9100 |
| 15.5.2012 | 10264749, 10264753, 10264751 | 36193300 | 9700 | 1060 |
| 15.5.2012 | 10264747 | 36193300 | 9700 | 1080 |
| 5.6.2012 | 10264747 | 36162600 | 1130 | 9100 |
| 25.6.2012 | 10264573, 10264749, 70164751 | 36165800 | 7190 | 7190 |
| 2.7.2012 | 10264573, 10264749, 10264751 | 36165800 | 7190 | 7190 |
| 2.7.2012 | 10264753 | 36162600 | 1040 | 9100 |
| 14.9.2012 | 10264748 | 36162600 | 1060 | 9150 |
| 14.9.2012 | 10264748 | 36162600 | 1040 | 9100 |
| 14.9.2012 | 10264748 | 36165800 | 6700 | 6700 |
| 14.9.2012 | 10264748 | 36193300 | 9700 | 1065 |
| 14.9.2012 | 10264749 | 36193900 | 6900 | 6900 |

9.4 LIITE 4: MATERIAALIOMINAISUUDET 1/2

| ERÄNUMERO | Keskiarvot | | | Hajonnat | | |
|-----------|------------|--------|--------|----------|--------|-------|
| | ReH | Rp 0.2 | Rm | Reh | Rp 0.2 | Rm |
| 10086815 | 356,36 | 355,87 | 449,76 | 12,52 | 12,21 | 8,47 |
| 10086816 | 356,36 | 355,87 | 449,76 | 12,52 | 12,21 | 8,47 |
| 10115960 | 406,79 | 403,51 | 422,42 | 15,86 | 17,5 | 7,23 |
| 10115961 | 406,79 | 403,51 | 422,42 | 15,86 | 17,5 | 7,23 |
| 10115962 | 406,79 | 403,51 | 422,42 | 15,86 | 17,5 | 7,23 |
| 10115963 | 406,79 | 403,51 | 422,42 | 15,86 | 17,5 | 7,23 |
| 10115964 | 406,79 | 403,51 | 422,42 | 15,86 | 17,5 | 7,23 |
| 10115965 | 406,79 | 403,51 | 422,42 | 15,86 | 17,5 | 7,23 |
| 10115966 | 406,79 | 403,51 | 422,42 | 15,86 | 17,5 | 7,23 |
| 10127495 | 390,78 | 387,05 | 456,81 | 36,97 | 28,38 | 19,19 |
| 10127496 | 390,78 | 387,05 | 456,81 | 36,97 | 28,38 | 19,19 |
| 10127497 | 390,78 | 387,05 | 456,81 | 36,97 | 28,38 | 19,19 |
| 10127500 | 390,78 | 387,05 | 456,81 | 36,97 | 28,38 | 19,19 |
| 10127501 | 390,78 | 387,05 | 456,81 | 36,97 | 28,38 | 19,19 |
| 10127502 | 390,78 | 387,05 | 456,81 | 36,97 | 28,38 | 19,19 |
| 10127503 | 390,78 | 387,05 | 456,81 | 36,97 | 28,38 | 19,19 |
| 10166335 | | 381,29 | 440,33 | | 6,43 | 3,52 |
| 10166337 | | 381,29 | 440,33 | | 6,43 | 3,52 |
| 10166338 | | 381,29 | 440,33 | | 6,43 | 3,52 |
| 10166339 | | 381,29 | 440,33 | | 6,43 | 3,52 |
| 10166340 | | 381,29 | 440,33 | | 6,43 | 3,52 |
| 10167575 | | 381,29 | 440,33 | | 6,43 | 3,52 |
| 10173245 | 395,77 | 390,42 | 496,16 | 14,41 | 15,37 | 11,85 |
| 10173246 | 387,99 | 382,62 | 490,05 | 11,6 | 12,97 | 12,43 |
| 10173247 | 387,99 | 382,62 | 490,05 | 11,6 | 12,97 | 12,43 |
| 10173248 | 387,99 | 382,62 | 490,05 | 11,6 | 12,97 | 12,43 |
| 10173249 | 387,99 | 382,62 | 490,05 | 11,6 | 12,97 | 12,43 |
| 10173250 | 387,99 | 382,62 | 490,05 | 11,6 | 12,97 | 12,43 |
| 10174455 | 397,83 | 394,17 | 493,01 | 0,43 | 2,31 | 0,59 |
| 10189066 | 377,74 | 385,41 | 479,91 | | 7,22 | 7,15 |
| 10189067 | 377,74 | 385,41 | 479,91 | | 7,22 | 7,15 |
| 10189068 | 377,74 | 385,41 | 479,91 | | 7,22 | 7,15 |
| 10189069 | 377,74 | 385,41 | 479,91 | | 7,22 | 7,15 |
| 10190206 | 396,78 | 394,63 | 411,63 | 12,55 | 11,44 | 11,34 |
| 10190207 | 396,78 | 394,63 | 411,63 | 12,55 | 11,44 | 11,34 |
| 10190208 | 396,78 | 394,63 | 411,63 | 12,55 | 11,44 | 11,34 |
| 10190209 | 396,78 | 394,63 | 411,63 | 12,55 | 11,44 | 11,34 |
| 10190210 | 396,78 | 394,63 | 411,63 | 12,55 | 11,44 | 11,34 |
| 10190211 | 396,78 | 394,63 | 411,63 | 12,55 | 11,44 | 11,34 |
| 10190212 | 396,78 | 394,63 | 411,63 | 12,55 | 11,44 | 11,34 |
| 10200201 | | 482,9 | 523,44 | | 7,25 | 6,66 |
| 10201760 | | 345,51 | 451,93 | | | 14,64 |
| 10201761 | | 348,77 | 440,02 | | 7,3 | 6,91 |
| 10207955 | 360,66 | 363,32 | 449,18 | 4,44 | 11,56 | 12,94 |
| 10207956 | 373,61 | 377,15 | 449,98 | 13,87 | 8 | 14,07 |
| 10207957 | 374,74 | 375,35 | 455,42 | 12,27 | 10,54 | 6,39 |
| 10210090 | 407,88 | 404,34 | 423,66 | 3,06 | 5,41 | 6,5 |
| 10210091 | 407,88 | 404,34 | 423,66 | 3,06 | 5,41 | 6,5 |

9.5 LIITE 4: MATERIAALIOMINAISUUDET 2/2

| | | | | | | | |
|----------|--------|--------|--------|--|-------|-------|-------|
| 10210092 | 407,88 | 404,34 | 423,66 | | 3,06 | 5,41 | 6,5 |
| 10210093 | 407,88 | 404,34 | 423,66 | | 3,06 | 5,41 | 6,5 |
| 10210094 | 407,88 | 404,34 | 423,66 | | 3,06 | 5,41 | 6,5 |
| 10210095 | 407,88 | 404,34 | 423,66 | | 3,06 | 5,41 | 6,5 |
| 10210096 | 407,88 | 404,34 | 423,66 | | 3,06 | 5,41 | 6,5 |
| 10210097 | 407,88 | 404,34 | 423,66 | | 3,06 | 5,41 | 6,5 |
| 10212558 | 554,33 | 537,92 | 551,21 | | | 7,8 | 4,4 |
| 10217176 | 373,64 | 372,3 | 455,03 | | 2,91 | 4,16 | 7,42 |
| 10217177 | 373,64 | 372,3 | 455,03 | | 2,91 | 4,16 | 7,42 |
| 10217178 | 373,64 | 372,3 | 455,03 | | 2,91 | 4,16 | 7,42 |
| 10217179 | 373,64 | 372,3 | 455,03 | | 2,91 | 4,16 | 7,42 |
| 10234661 | 400,28 | 404,73 | 496,56 | | 31,16 | 21,61 | 14,01 |
| 10234662 | 400,28 | 404,73 | 496,56 | | 31,16 | 21,61 | 14,01 |
| 10234663 | 400,28 | 404,73 | 496,56 | | 31,16 | 21,61 | 14,01 |
| 10234664 | 400,28 | 404,73 | 496,56 | | 31,16 | 21,61 | 14,01 |
| 10234665 | 400,28 | 404,73 | 496,56 | | 31,16 | 21,61 | 14,01 |
| 10234666 | 400,28 | 404,73 | 496,56 | | 31,16 | 21,61 | 14,01 |
| 10234667 | 400,28 | 404,73 | 496,56 | | 31,16 | 21,61 | 14,01 |
| 10234668 | 400,28 | 404,73 | 496,56 | | 31,16 | 21,61 | 14,01 |
| 10234669 | 400,28 | 404,73 | 496,56 | | 31,16 | 21,61 | 14,01 |
| 10248861 | 427,55 | 425,86 | 439,21 | | 15,55 | 14,95 | 15,77 |

9.6 LIITE 5: MATERIAALITESTI 60X60X4 PROFIIILLE

MATERIAALITESTI 17.10.2012
TAIVUTUSKONEKONE J.NEU GmbH

60X60X4 NELIÖPROFIILI RULLATYÖKALUILLA ILMAN TUURNAA

420 DOUBLE GRADE

| aste | D | R |
|--------|----------|----------|
| 89,059 | 1742,071 | 871,0355 |
| 88,417 | 1751,753 | 875,8765 |
| 88,309 | 1754,276 | 877,138 |
| 88,553 | 1755,046 | 877,523 |
| 88,557 | 1752,126 | 876,063 |
| 88,484 | 1759,193 | 879,5965 |
| 88,411 | 1753,575 | 876,7875 |
| 88,716 | 1750,233 | 875,1165 |
| 88,582 | 1750,517 | 875,2585 |
| 88,439 | 1756,624 | 878,312 |

S355

| aste | D | R |
|--------|----------|----------|
| 93,159 | 1660,582 | 830,291 |
| 93,167 | 1662,005 | 831,0025 |
| 93,266 | 1663,613 | 831,8065 |
| 93,224 | 1670,179 | 835,0895 |
| 93,895 | 1650,646 | 825,323 |
| 93,666 | 1657,475 | 828,7375 |
| 93,895 | 1651,039 | 825,5195 |
| 93,821 | 1653,22 | 826,61 |
| 93,293 | 1658,976 | 829,488 |
| 93,251 | 1664,475 | 832,2375 |
| 93,929 | 1650,726 | 825,363 |

KA 88,55 1752,54 876,27
s 0,21 4,61 2,30

93,51 1658,45 829,22
0,33 6,49 3,25

Taivutusohjelma: R800 T=88°

S355

Rp0,2: 423...430 MPa

Rm: 462..469 MPa

A5: 24...30%

S420

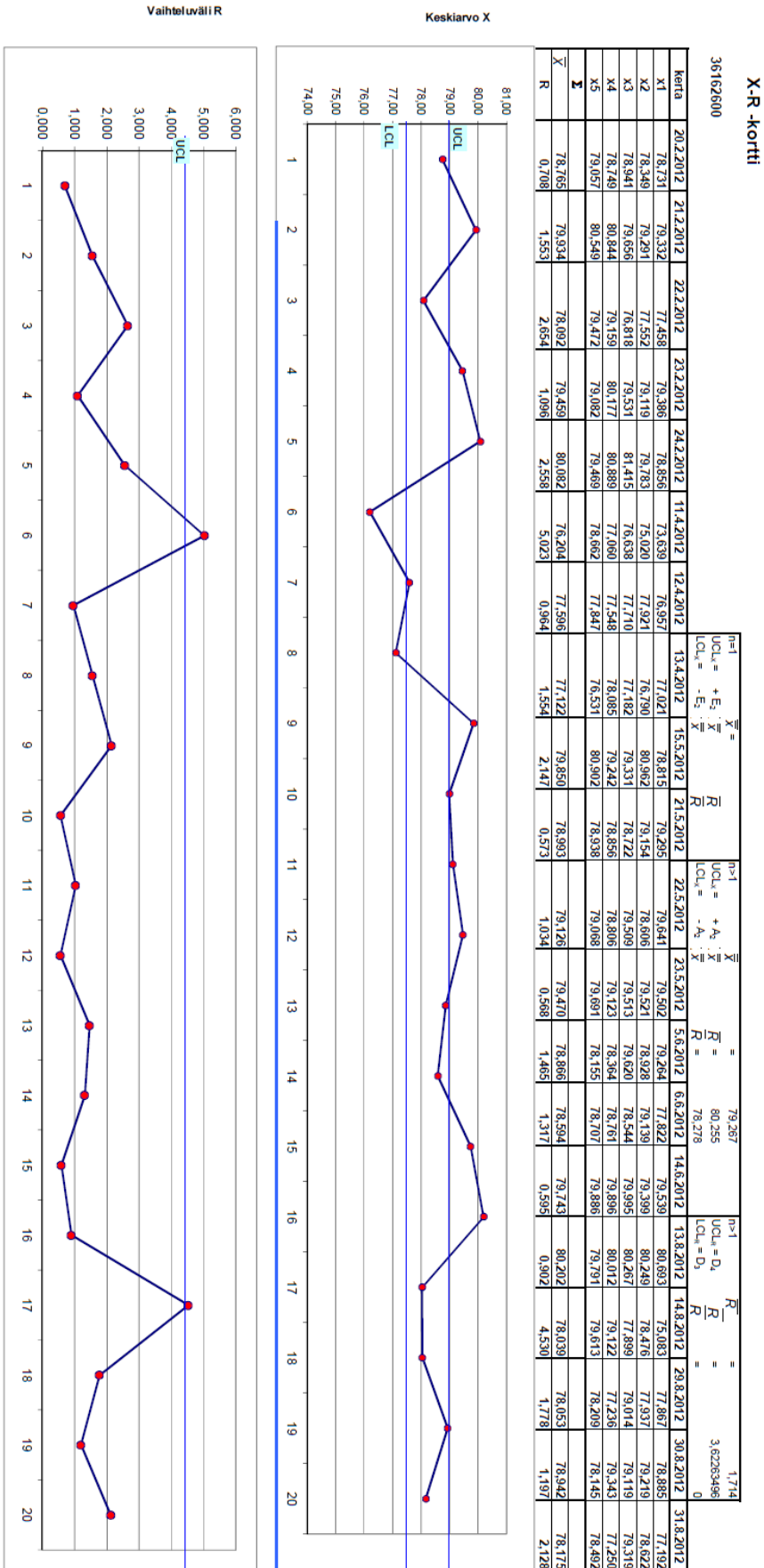
Rp0,2: 470...511 MPa

Rm 500...630 Mpa

A5: 20%

Paikalla: Jyri Tuomaala, Timo Tuominen, Kalle Majamäki (RUUKKI)

9.7 LIITE 6: x-R valvontakortti



9.8 LIITE 7 Mittaustulosten toistettavuustesti

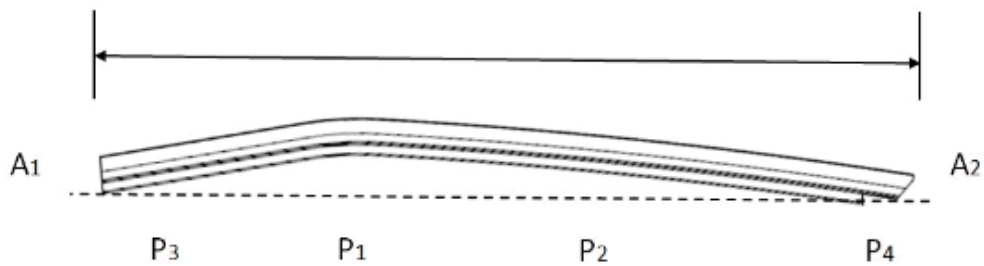
MITTALAITTEEN TOISTUVUUSTESTI DELTA ENTERPRISE

29.10.2012 36193300

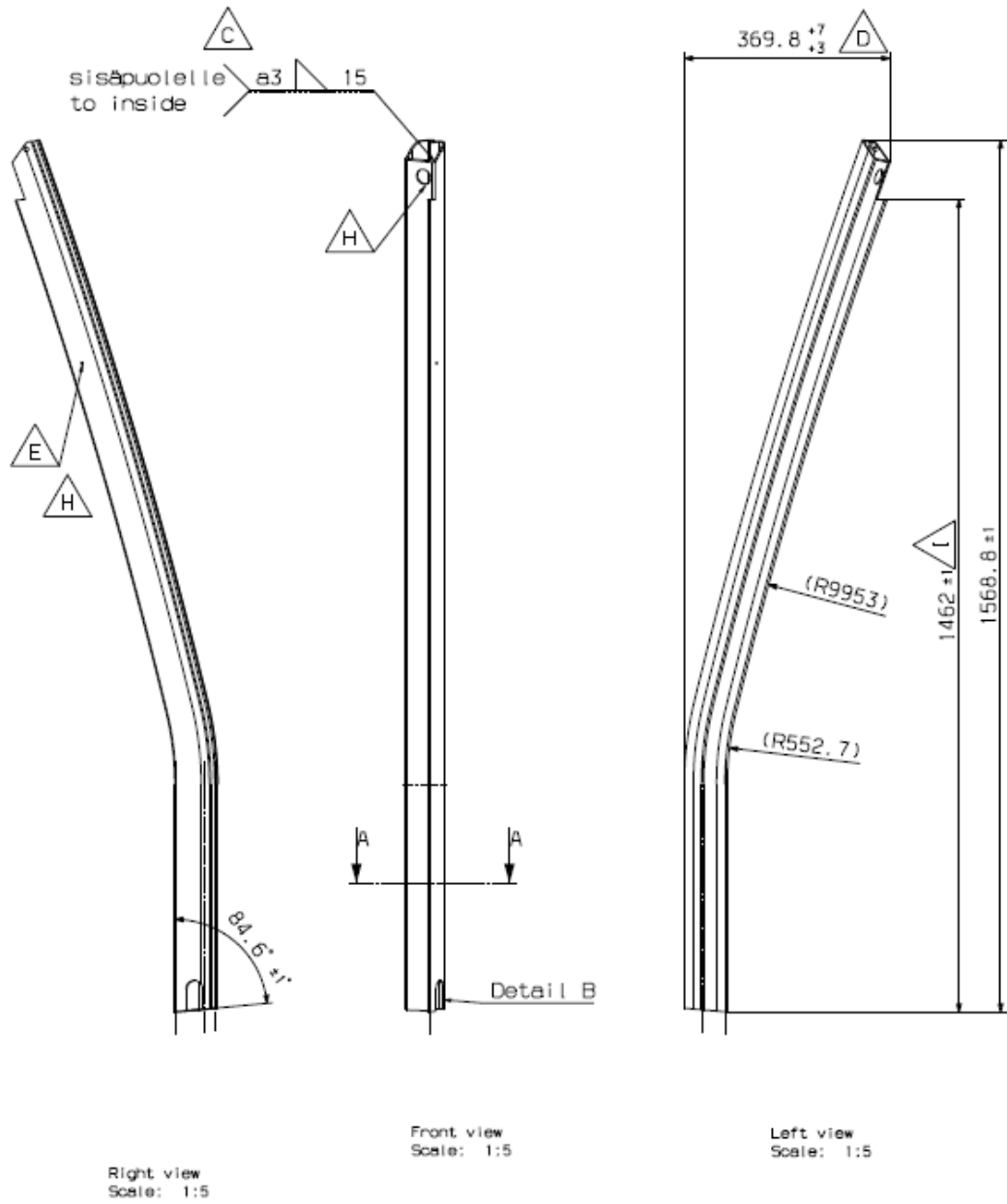
| No. | TULOS | ERO | ERO % |
|-----|----------|---------|---------|
| 1 | -75,2724 | 0,0876 | -0,12 % |
| 2 | -75,8257 | -0,4657 | 0,62 % |
| 3 | -75,8354 | -0,4755 | 0,63 % |
| 4 | -75,3420 | 0,0179 | -0,02 % |
| 5 | -75,3996 | -0,0397 | 0,05 % |
| 6 | -74,8951 | 0,4649 | -0,62 % |
| 7 | -76,2614 | -0,9015 | 1,20 % |
| 8 | -74,1739 | 1,1861 | -1,57 % |
| 9 | -75,5592 | -0,1992 | 0,26 % |
| 10 | -75,0349 | 0,3250 | -0,43 % |

| MIN | MAX | ERO | KA | s |
|--------|--------|------|--------|------|
| -74,17 | -76,26 | 2,09 | -75,36 | 0,58 |

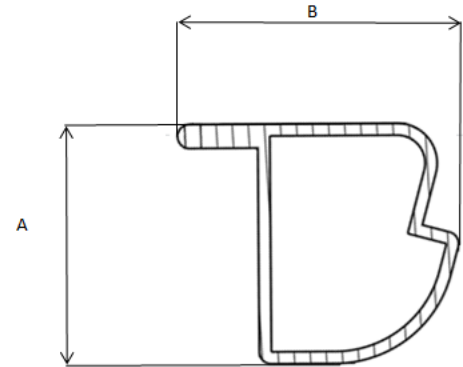
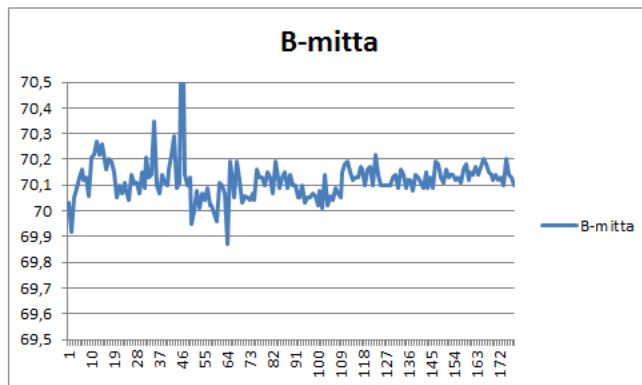
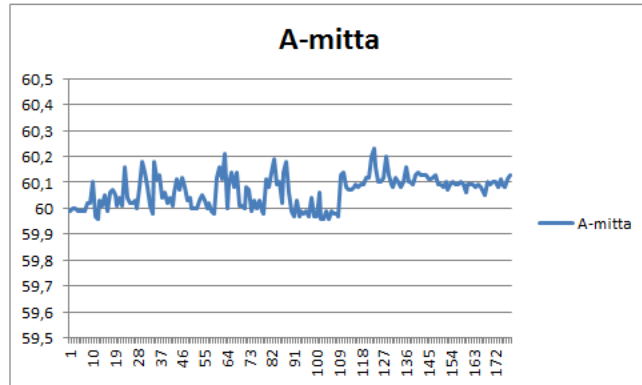
Mittaustulos on kohdan P1 arvo, eli putken päiden välille vedetyn janan ja keskikohdan suurimman poikkeaman välinen etäisyys.



9.9 LIITE 8 Tuotteen 36162600 mittapiirustus



9.10 LIITE 9: PROFILIN NIMELLISHALKAISIJAN VAIHTE- LU



| | A | B |
|--------------|-------|-------|
| Keskiarvo | 60,07 | 70,12 |
| Keskihajonta | 0,06 | 0,09 |
| Suurin | 60,23 | 70,88 |
| Pienin | 59,96 | 69,87 |
| Ero | 0,27 | 1,01 |