

Jyrki Niemi

Sandwich-paneelin laadun optimointi

OPINNÄYTETYÖ

Syksy 2011

Tekniikan yksikkö, Seinäjoki

Teknologiaosaamisen johtamisen koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Teknologiaosaamisen johtamisen koulutusohjelma

Tekijä: Jyrki Niemi

Työn nimi: Sandwich-paneelin laadun optimointi

Ohjaajat: Lasse Tarhala, Pasi Junell ja Kimmo Kitinoja

Vuosi: 2011

Sivumäärä: 73

Liitteiden lukumäärä: 13

Työn tarkoituksena oli selvittää Ruukki Construction Oy Alajärven toimipisteen sandwich-paneelien liimausprosessia ja kartoittaa siihen liittyviä mahdollisia ongelmia. Yritys haluaa parantaa työntekijöiden osaamista ja uudistuneen prosessilaitteiston hallintaa. Tutkimuksen päätavoitteena oli löytää ne tekijät, jotka vaikuttavat merkittävästi sandwich-paneelien laatuun, kun käytössä on uutta tekniikkaa. Työssä perehdyttiin kirjallisuuden, internetin, yhteispalaverien, laboratoriotestien sekä SPC-tutkimusmenetelmän avulla polyuretaaniin, sandwich-paneelin valmistusprosessiin, liimaustekniikkaan ja liimauslaitteiston huoltoon.

SPC-tutkimusmenetelmän avulla kartoitettiin prosessista neljä epäkohtaa, jotka tulisi korjata. Liimasuuttimien osalta tarvitaan lisää testejä eri asetusparametreja käyttäen. Näitä testeistä saatuja tuloksia tulee hyödyntää mahdollisuuksien mukaan myös tuotannossa. On myös mahdollista, että suuttimet joudutaan vaihtamaan toisen tyyppiin. Sekä päivätankkien että liimaustrapetsien letkujen lämmitimiin tulee pyytää korjausehdotusta liimalaitevalmistajalta. Myös kierrätyspumppu tulee vaihtaa uudentyyppiseen malliin, joka kestää paremmin kulutusta.

Tutkimuksessa tuli ilmi, että yrityksen kannalta tärkeintä on panostaa työhajeisiin ja työnopastukseen. Näin taataan työntekijöiden ammattitaito sekä valmistettavan tuotteen korkea laatu. Lisäksi yrityksen tulee kehittää yhdessä ydinmateriaaleja niiden valmistajien kanssa. Tutkimuksessa on pohdittu myös kehitysideoita, joita yrityksen tulisi tarkastella ja mahdollisesti toteuttaa tulevaisuudessa. Tutkimuksen myötä ilmeni puutteita ja ongelmakohtia etenkin liimausprosessin huolto-ohjeissa. Näiden epäkohtien korjaamista varten on annettu perustellut jatkotoimenpidesuosituksia, joita noudattaen tilanne saataisiin paremmaksi.

Avainsanat: sandwich-paneeli, polyuretaani, SPC-menetelmä, liimausprosessi, laatu, mineraalivilla

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Master's Degree in Technology Competence Management

Author: Jyrki Niemi

Title of thesis: Optimization of sandwich panel quality

Supervisors: Lasse Tarhala, Pasi Junell and Kimmo Kitinoja

Year: 2011

Number of pages: 73

Number of appendices: 13

The intention of the thesis was to prepare a clarification of the adhesive process for the sandwich panels and its possible problems at the Ruukki Construction corporation Alajärvi unit. The company's target is to improve the employees' skills and renewed process equipment management. The main objective of the thesis was to define the factors that significantly affect the sandwich panel's quality when using the new technology. With the help of literature, the Internet, joint meeting, laboratory tests and the statistical process control method of the polyurethanes and sandwich panel manufacturing process and gluing and its maintenance were acquainted with.

Four process disadvantages which should be corrected were identified with the help of the statistical process control method. The gluing nozzles need further tests using different configuration parameters. These test results should be utilized in the production where possible. It is also possible that the nozzles have to be replaced with another type. For day tanks as well as hose heaters a repair proposal from gluing machine producer must be requested. The recycling pump should be replaced with a new type which is more resistant to the exertion.

The study revealed that from the company's point of view the most important thing is to invest in the work instructions and occupational instructions and guidance. This ensures employees' skills and also the high quality product. The company will develop mineral wools jointly with their manufacturers. The study also discusses the development ideas that the company should consider and possibly implement in the future. The study result revealed the shortcomings and problem areas, especially in the bonding maintenance instructions. In order to correct these deficiencies the legitimate follow-up recommendations for action are given which would improve the situation.

Keywords: sandwich panels, polyurethane, statistical process control, gluing process, quality, mineral wool

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet	7
1 JOHDANTO.....	9
1.1 Työn tausta	9
1.2 Työn tavoite ja rajaus	10
1.3 Työn rakenne	11
1.4 Yritysesittely.....	12
2 POLYURETAANI	15
2.1 Historiaa	15
2.2 Kaksikomponentti-PUR-liimat.....	16
2.3 PU-kemian peruseriaatteet.....	17
2.4 Polyolit.....	20
2.5 Isosyanaatti.....	22
2.6 Lisäaineet.....	23
2.7 PU-prosessimetodit.....	26
3 SANDWICH PANEL SPA	29
3.1 Yleistä	29
3.2 Valmistusprosessi	31
4 TUTKIMUS	35
4.1 Lähtökohdat	35
4.2 Toteutus	37
4.2.1 Alustavat selvitykset.....	38
4.2.2 Laboratoriotestit	40
4.2.3 Havainnot tuotantoprosessissa	41
4.2.4 Kosteus ja lämpötila	42
4.2.5 Lämpötilojen mittaukset	43
4.2.6 Ydinmateriaali	43

5	TILASTOLLINEN PROSESSIN OHJAUS.....	45
5.1	SPC:n perusteet ja alkuvaiheet.....	45
5.1.1	Käsitteitä ja lyhenteitä	45
5.1.2	Laaduntuottokyky	46
5.1.3	SPC:n soveltaminen käytäntöön	46
5.1.4	SPC:n päätyökalut	49
5.2	Analysointi SPC:n avulla	59
5.3	Liimalaitteen käyttö ja huolto	63
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	65
7	YHTEENVETO.....	69
	LÄHTEET.....	72
	LIITTEET	74

Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Rautaruukin ensimmäinen liikemerkki. (Historia 2010.)	12
Kuvio 2. Rautaruukin toinen liikemerkki vuoteen 2003 saakka. (Historia 2010)....	13
Kuvio 3. Rautaruukin nykyinen liikemerkki. (Historia 2010.).....	13
Kuvio 4. Uretaanisidos. (Hartshorn 1986, 182.)	17
Kuvio 5. Kontaktikulmaan vaikuttavat voimat. (Pisara 2011.).....	19
Kuvio 6. Polyeetterit polykondensaation kautta. (Leppkes 2003, 15.).....	21
Kuvio 7. Isosyanaatin synteesi amiinista ja fosgeenista. (Leppkes 2003, 10.).....	22
Kuvio 8. Katalyytit ja ketjunjatkajat. (Leppkes 2003, 16.)	24
Kuvio 9. Vaahtoamisprosessin kahden komponentin mittaaminen, sekoitus, tilavuuden kasvu ja lopputilanne. (Leppkes 2003, 17-18.)	25
Kuvio 10. Ruukin sandwich-paneelin ponttiliitos. (Sandwich-paneelit 2010.).....	30
Kuvio 11. SPA-ponttinosimet. (Sandwich-paneelit 2010.).....	30
Kuvio 12. Sandwich-paneelin valmistusperiaatteet. (Thiele 2007, 121.).....	31
Kuvio 13. Ruukin vakiovärit. (Sandwich-paneelit 2010.)	32
Kuvio 14. Ruukin SPA-pintaprofiloinnit. (Sandwich-paneelit 2010.).....	33
Kuvio 15. Pareto-analyysi. (Pareto Chart Template 2009.).....	50
Kuvio 16. Esimerkki valvontakortista. (Laatuakatemia 2010.).....	54
Kuvio 17. Erilaisia hajontadiagrammeja. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 19.)	55
Kuvio 18. Graafinen yhteenveto datasta. (Laadunperustyökalut 2007.).....	56
Kuvio 19. Syy-seuraus-kaavio. (Laatuakatemia 2010.).....	57
Kuvio 20. Vuokaavioesimerkki. (Laatuakatemia 2010.).....	58
Taulukko 1. Fordin asteikko vikatiheyden määrittämiseen. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 30).....	52
Taulukko 2. Fordin asteikko vakavuusasteen määrittämiseen. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 30.)	52
Taulukko 3. Fordin asteikko löydettävyydelle. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 30.).....	53

Käytetyt termit ja lyhenteet

θ	Kontaktikulma
Alifaattinen	Orgaaninen yhdiste.
Butaanidioli	Orgaaninen yhdiste.
FMEA	FMEA on työkalu, jonka avulla opitaan tunnistamaan ja ymmärtämään tuotteeseen tai prosessiin sisältyvät riskit.
HDI	Heksametyleenidi-isosyanaatti.
IPDI	Isoforonidi-isosyanaatti.
MDI	Metyleenidifenyylidi-isosyanaatti.
NCO	Isosyanaatti-ryhmä.
PMDI	Polymeerinen metyleenidififenyylidi-isosyanaatti.
Polyuretaani	Polyuretaani muodostuu polyolin ja isosyanaatin reaktios- ta.
PU	Polyuretaani.
PUR	Polyuretaani.
SPA	Sandwich-paneeli.
SPC	Tilastollinen prosessinohjaus.
Suutin	Suuttimen avulla ruiskutettava neste, saadaan halutun tyyppinen suihku ja pisaran koko.
TDI	Tolyeenidi-isosyanaatti.
Valvontakortti	Valvontakorttien avulla valvotaan ja seurataan prosessia.

Vuokaavio	Vuokaaviota (prosessikartta) käytetään prosessin eri vaiheiden kehittämisen tukena.
X-R-kortti	X-R-valvontakortissa prosessin jakauman paikan valvontaan käytetään näyte-erien keskiarvoa.
X-S-kortti	Keskiarvon ja -hajonnan valvontakortti.
XY-matriisi	Syy-seuraus-analyysin avulla prosessin ongelmakohtia fokusoidaan ja pohjustetaan FMEA:ta.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Tämän tutkimuksen toimeksiantajana on Ruukki Construction Oy, joka on yhtiöitetty erilleen Rautaruukki Oyj:stä. Rautaruukki Oyj käyttää markkinointinimeä Ruukki. Yritys toimittaa metalliin perustuvia komponentteja, järjestelmiä ja kokonaistoimintuksia rakentamiseen ja konepajateollisuudelle. Yhtiöllä on Euroopan markkina-alueella metallituotteissa laaja tuote- ja palveluvalikoima. (Tietoa yhtiöstä 2010.)

Työn tutkimuksessa keskitytään Suomessa, Ruukin Alajärven tehtaalla valmistettavaan villapaneelien valmistukseen liimausprosessin osalta. Villapaneeli tunnetaan paremmin nimellä sandwich-paneeli (SPA). Ruukin Alajärven tehtaalla valmistettuja sandwich-paneeleja käytetään pääasiassa julkisivuissa, kattorakenteissa, osastoiduissa rakenteissa, väliseinissä ja sisäkatoissa. Eri paneelityypit erotetaan toisistaan kirjaimilla E, F, S ja I. SPA E -tyyppi soveltuu ulkoseiniin ja SPA F puolestaan kohteisiin, joissa vaaditaan erittäin hyviä palonkesto-ominaisuuksia. Tyyppi SPA S soveltuu erinomaisesti kohteisiin, joissa käytetään poikkeuksellisen pitkiä jännevälejä. SPA I on tarkoitettu käytettäväksi sisäseiniin. (Sandwich-paneelit 2010.)

Rautaruukki investoi Alajärvelle 20 miljoonaa euroa uuden sandwich-paneelitehtaan rakentamiseen. Tehdas otettiin käyttöön syksyllä 2009, jonne varsinainen tuotanto siirrettiin lopullisesti vuoden 2010 alussa. (Heinonen 2008.)

Uudessa sandwich-paneelitehtaassa käytetään valmistusprosessissa uusinta ja nykyaikaisinta tekniikkaa. Valmistusmenetelmät ovat ennestään tuttuja, mutta prosessilaitteet ovat teknisempiä vanhaan tuotantoon verrattuna. Vanhaan tuotantoon verrattuna myös liimaustekniikka on uutta. Liimausprosessin yhtenä suurena haasteena on sopivien parametriasetusten löytäminen laadukkaan tuotteen takaamiseksi.

1.2 Työn tavoite ja rajaus

Alajärven Luoma-ahon kylään valmistuneen uuden sandwich-paneelitehtaan ja sen uusien prosessilaitteiden myötä valmistus jouduttiin opettelemaan uudestaan. Tekniikka on nykyaikaista ja paljon automaattisempaa kuin aiemmin. Sandwich-paneelituotannossa syntyy luonnollisesti prosessiromua. Romua syntyy, kun esimerkiksi vaihdetaan pintateräksiä tilauksen sisällä tai tilauksen vaihtuessa toiseen. Lisäksi romua syntyy, jos prosessi on jouduttu keskeyttämään kauemmaksi aikaa, kuin liiman avoin aika antaa myöten.

Tutkimusongelmaksi on muodostunut se, että sandwich-paneelin laatu ei ole aina yhtä tasalaatuista samassa tuotantoerässä. Kun valmistetaan samaa elementtipaksuutta ydinmateriaalin ollessa samaa valmistuserää, voi joskus tulla pidemmän aikaa tasalaatuista elementtiä. Toisinaan käy niin, että laatu vaihtelee, vaikkei mitään prosessiparametreja muuteta tuotannon aikana.

Sandwich-paneeliprosessia ei oltu vielä tutkittu tarkemmin tutkielman alkaessa, koska prosessituntemusta on haettu tuotannon ylösajovaiheessa pääasiassa kokemuksen ja kokeilujen kautta. Kaikki työntekijät ovat olleet vanhan sandwich-paneelin tuotannossa töissä, joten heillä on ennestään perustuntemusta valmistusprosessista. Kaikki vuosien varrella opitut ja koetut asiat eivät välttämättä päde uudessa tuotannossa.

Yritys on panostanut paljon uuteen tuotantoprosessiin ja tämän työn tarkoituksena on tutkia sandwich-paneeliprosessia ja miettiä lopputuotteen laadun näkökannalta kuinka se saadaan paremmaksi ja tasalaatuisemmaksi. Tutkimuksen päätavoitteena on löytää tekijät, jotka vaikuttavat merkittävästi sandwich-paneelien laatuun sekä parantavasti että heikentävästi, kun käytössä on uutta tekniikkaa.

Tutkimuksen aihe on rajattu koskemaan sandwich-paneeliprosessissa liimausta, koska uuteen liimausprosessiin täytyy tutustua paremmin. Sandwich-paneelin laatuun vaikuttavat monet muutkin asiat prosessissa, mutta ne jäävät pääasiassa työn ulkopuolelle. Liimausprosessin lisäksi työssä kuvataan muun muassa mineraalivillaa ja teräksiä, koska sandwich-paneeli koostuu näistä prosessin osatekijöistä.

Kunnollisen laadun myötä hukan määrä saadaan pienemmäksi sekä ylimääräiset testaukset jäävät pois säästäten työaikaa ja kustannuksia. Ruukin imagon kannalta on tärkeää, että asiakkaille toimitetaan laadukkaita tuotteita. Näiden merkittävien tekijöiden kautta sandwich-paneeleita valmistetaan jatkossakin Ruukin Alajärven tehtaalla.

Tutkimuksen tarkoituksena on löytää vastauksia myös seuraaviin kysymyksiin:

- liimavarastossa huomioon otettavat tekijät
- liimauksen tasaiseen levitykseen vaikuttavat tekijät (kattava peittoalue)
- liiman sekoittumiseen vaikuttavat tekijät
- liiman kulku liimavarastosta pellille - mitä tulee ottaa huomioon
- peltien lämmittimien vaikutukset
- muut mahdolliset liimaukseen vaikuttavat tekijät
- mitkä ovat liimauksen optimaaliset asetukset laadun takaamiseksi eri variaatioilla (elementin paksuus ja ydinmateriaali).

1.3 Työn rakenne

Tutkielma koostuu johdannosta, teoriaosuudesta, empiriaosuudesta ja yhteenvedosta. Johdannossa esitellään työn taustaa tavoitteineen ja rakennetta. Siinä esitellään tutkimuksen kannalta oleellimmat tutkimuskysymykset. Johdannossa esitellään myös Ruukki Construction Oy:tä.

Teoriaosuus voidaan jakaa kolmeen päälukuun. Ensimmäinen luku käsittelee polyuretaanin historiaa, koostumusta ja sen käyttöä eri prosesseissa. Toisessa luvussa keskitytään sandwich-paneelien valmistusprosessiin ja käyttöön. Teoriaosuuden viimeisessä luvussa käsitellään SPC:n perusteita, käsitteitä ja lyhenteitä sekä SPC:n soveltamista käytäntöön.

Tutkielman empirian osuudessa analysoidaan kerättyä tutkimusaineistoa teoreettisen viitekehyksen/käsitteistön avulla. Yhteenvedossa esitellään tutkimustulokset ja pohditaan mahdollisia jatkotutkimusaiheita.

1.4 Yritysesittely

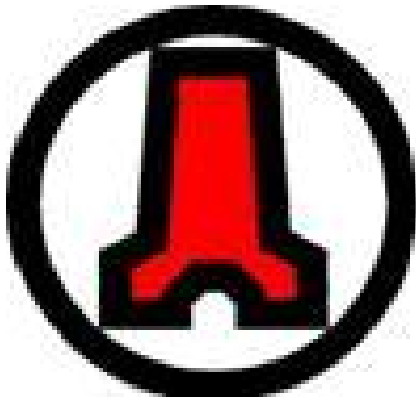
Rautaruukki Oyj on pörssiyhtiö, jonka pääkonttori sijaitsee Helsingissä. Liikevaihto vuonna 2010 oli 2 403 miljoonaa euroa ja henkilöstöä oli keskimäärin 11 693. (Rautaruukki Oyj tilinpäätöstiedote 2010.)

Rautaruukki Oyj:n perustamisesta tuli vuonna 2010 kuluneeksi 50 vuotta. Vuonna 1960 yhtiö perustettiin Suomen valtion toimesta hyödyntäen kotimaisia raaka-aineita. Tuolloin oli tarve turvata Suomen metalliteollisuuden raaka-ainehuolto. Aiemmin yksikään länsimainen terästehdas ei ollut valmistanut terästä jatkuvavalumenetelmänä. Ruukin Raahen tehdas aloitti valmistuksen kustannustehokkaasti tällä menetelmällä. Kuviossa 1 on esitelty Rautaruukin ensimmäinen liikemerkki, joka oli käytössä aina vuoteen 1975 saakka. (Historia 2010.)



Kuvio 1. Rautaruukin ensimmäinen liikemerkki. (Historia 2010.)

Jatkojalostukseen panostettiin yhtiön Hämeenlinnan tehtaalla 1970-luvulla. Tuolloin tuotteena olivat ohutlevy- ja putkituotteet. Vuonna 1976 Raahessa käynnistettiin toinen masuuni, ja Rautaruukin liikemerkkiä uudistettiin kuvion 2 mukaiseksi. Henkilöstömäärä Rautaruukissa 1970-luvun lopussa oli yli 7000 henkeä. (Historia 2010.)



Kuvio 2. Rautaruukin toinen liikemerkki vuoteen 2003 saakka. (Historia 2010).

Yhtiöllä oli tarve oli laajentaa toimintaansa Suomen ulkopuolelle 1980-luvulla. Myyntiyhtiöitä perustettiin Länsi-Eurooppaan, sekä yrityskauppoja tehtiin ja saatiin vahvempaa markkinaosuutta. Onnistuneiden yrityskauppojen myötä Ruukki jatkoi investointeja myös kotimaassa 1990-luvulla tuotannon jalostusasteen nostamiseksi. Yhtiö osti Vimpelissä kattovalmistajana toimineen Paavo Rannila Oy:n. Tämän yritysoston kautta yhtiön markkinat avautuivat Itä-Eurooppaan. (Historia 2010.)

2000-luvulla Ruukki on jatkanut kilpailijoidensa ostamista kehittyen entisestään kansainvälisemmäksi yhtiöksi. Vuodesta 2004 lähtien Rautaruukki Oyj on käyttänyt markkinointinimeä Ruukki. Kuviossa 3 on esitelty Ruukin nykyinen liikemerkki. (Historia 2010.)



Kuvio 3. Rautaruukin nykyinen liikemerkki. (Historia 2010.)

Ruukin konsernirakenne sisältää Ruukki Constructionin, Ruukki Engineeringin sekä Ruukki Metalsin. Edellä mainitut ovat yhtiöitetty erilleen Rautaruukki Oyj:stä Suomessa. Ruukki Construction keskittyy rakentamisen liiketoimintaan, Ruukki Engineering konepajaliiketoimintaan, sekä Ruukki Metals teräsliiketoimintaan. Näiden kolmen eri liiketoiminta-alueen tehtävänä on tuottaa metalliin perustuvia

komponentteja, järjestelmiä ja kokonaistoimituksia rakentamiseen ja konepajateollisuudelle. (Konsernirakenne 2010.)

2 POLYURETAANI

2.1 Historiaa

Polyuretaani on historiallisesti katsottuna melkoisen uusi materiaali muovimarkkinoilla. Se keksi kemisti Otto Bayer ja hänen I. G. Farbenindustrien kollegansa 1930-luvun lopulla. Polyuretaanin omaksuivat itselleen sellaiset yritykset, jotka panostivat suunnitteluun ollen samalla innovatiivisia. Uudenlaisen polyuretanutuotannon mahdollisti, kun useimmat yritykset alkoivat ymmärtämään paremmin polyuretaanin mahdollisuuksia. (Hartshorn 1986, 181.)

I.G. Farbenindustrien kehittänyt polyuretaani oli ensimmäinen markkinoille tullut. Ensimmäiset tuotteet saatiin alifaattisen isosyanaatin reaktiolla, joko alifaattisen diamiinin tai diolin kanssa. Muovien kaupanimenä käytettiin nimikettä Irgamid U, ja synteettisten kuitujen sekä harjasten kaupanimeksi tuli Perlon U. Markkinoille löysivät tiensä myös pehmeämmät polyuretaanit ja polyuretaanivaahdot. (Hartshorn 1986, 181.)

Polyuretaanin hyvät ominaisuudet huomasivat myös Dupont ja ICI. Heidän myötä polyuretaanin tuotanto kasvoi moninkertaiseksi vuonna 1940. Ketjunjatkajana polyuretaanissa oli vesi ja isosyanaattina naftaleeni-1.5-di-isosyanaatti (NDI). (Szycher 1999, 1-1.)

Polyuretaaniteknologian johtoaseman Dupont saavutti USA:ssa pitäen omana tietonaan selvittämänsä di-isosyanaattireaktiot. Patentit hän sai tuotteilleen vuonna 1942. Polyuretaani on kehittynyt näin vaatimattomista lähtökohdista. Nykyisin polyuretaani tunnetaan myös lyhenteillä PU tai PUR. (Szycher 1999, 1-2.)

Vuonna 1994 polyuretaanin vuotuinen kulutus maailmanlaajuisesti oli yli 6 miljonnaa tonnia. Polyuretaanit ovat kaupallisesti merkittävimpiä erikoismuoveja. (Leppes, 6.) Polyuretaania käytetään nykyisin muun muassa pehmeinä patjoina, lämmöneristysmateriaaleina, kenkien pohjallisissa, urheilukentissä, autojen erilaisissa osissa, kuten ohjauspyörissä, kojetauluissa, puskureissa. (Yleistä polyuretaanista 2003.) Sandwich-paneelien valmistusprosessissa käytetään liuotinvapaata kaksikomponenttiliimaa, jonka pohjana on polyuretaani ja kovettajana toimii isosyanaat-

ti. Sekoittamalla molemmat osat saadaan kemiallisen reaktion kautta vaahtoava liima.

Polyuretaanin merkittävyys johtuu erityisesti kahdesta ominaisuudesta, jotka erottavat ne monista muista muoveista:

- Polyuretaanituotteita voidaan valmistaa vaativassa muodossa intensiivisesti sekoittaen reaktiivisia nestemäisiä komponentteja. Näitä tuotteita voidaan valmistaa investoimalla mahdollisimman vähän tuotantolaitteisiin.
- Komponenttien laaja valikoima mahdollistaa räätälöityjen materiaalien valmistuksen. Materiaalit sisältävät laajan kirjon erilaisia ominaisuuksia: jäykästä tuotteesta joustavaan (elastomeerinen), tai vaahdotetusta (huokoinen) kiinteään (kompakti). (Leppkes 2003, 6.)

2.2 Kaksikomponentti-PUR-liimat

Kaikista PUR-liimoista kaksikomponentti-PUR-liimalla on eniten erilaisia ominaisuuksia. Vaikka tämän liiman haittapuolena on se, että joudutaan valmistamaan kaksikomponenttisekoitusta, sen hyötynä on erittäin laaja käyttöalue ja suurin myyntivolyymi kaikista PUR-pohjaisista liimoista. (Thiele 2007, 112.)

Kaksikomponentti-PUR-liimat koostuvat tyypillisesti kahdesta perusaineesta (polyoli ja isosyanaatti), jotka sekoitettaessa keskenään reagoivat kemiallisesti tuottaen kovettuneen tuotteen. Nämä kaksi perusainetta ovat erivärisiä, minkä avulla voidaan havaita, kun sekoittuminen on tapahtunut. Eri liimoilla on omat sekoitussuhteensa, jolloin saadaan kyseisen seossuhteen paras mahdollinen reaktio. (Hartshorn 1986, 195.)

Kaksikomponentti-PUR-liimoja hyödynnetään ohuiden kerrosten laminoinnissa. Toisena tärkeänä sovellusalueena ovat erisuuruisten ja eri käyttöön tarkoitettujen sandwich-paneelien tuotanto. Koska nämä tuotteet ovat ominaisuuksiltaan korkeaa tasoa, ne soveltuvat moniin kokoonpanoihin. Kaksikomponentti-PUR-liimat ovat saamassa yhä enemmän jalansijaa myös suksien ja lumilautojen tuotannossa. (Thiele 2007, 112.)

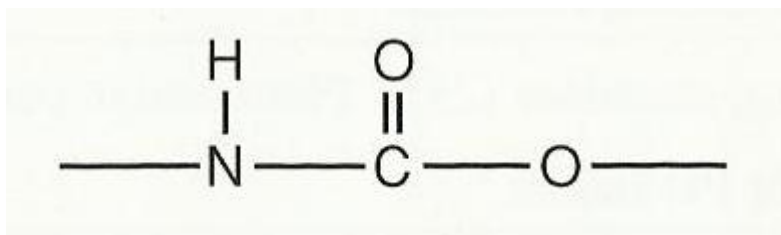
Kaksikomponenttisten-PUR-liimojen valmistuksessa käytetään runsaasti risiiniöljyä. Jos tähän sekoitetaan vastaava määrä MDI-polymeeriä (MDI), tuloksena on yksinkertainen muoto kaksikomponentti-PUR-liimaa. Liiman koostumusta on parannettava, jotta saataisiin hyviä tartuntatuloksia. Risiiniöljyn ja MDI:n sekoituksen on todettu vaahtoavan hieman prosessin aikana. Tämän vaikutuksen poistamiseksi vettä imevää ainetta lisätään risiiniöljyyn. (Thiele 2007, 113.)

Jos tätä tuotetta käytetään liimaukseen, saadaan kompakti liimakerros. Tämä johtuu siitä, että ohut kerros liimaa annostellaan ilmankosteuden alaisena jonka seurauksena alustan pintoihin imeytyy vesimolekyylejä. Isosyanaatti ei reagoi pelkästään risiiniöljyn kanssa, vaan se reagoi myös veden kanssa. Lisääntynyt veden määrä prosessissa kompensoidaan lisäämällä isosyanaatin määrää. (Thiele 2007, 113-114.)

Saavutettu liimalaatu ei täytä kuin muutaman sovelluksen vaatimukset. Toinen askel kohti laadun parantamista on täyteaineiden, kuten kalsiumkarbonaatin tai kalsium-magnesiumkarbonaatin lisääminen. Tämä tapahtuu paitsi kustannussyistä, myös viskositeetin lisäämiseksi ja leikkausvetolujuuden parantamiseksi. On selvää, ettei leikkausvetolujuutta voida nostaa yksinkertaisesti lisäämällä täyteainetta. (Thiele 2007, 114.)

2.3 PU-kemian peruseriaatteet

Polyuretaaniksi nimitetään muoveja, jotka on valmistettu polyfunktionaalisten isosyanaattien polyaddition reaktiosta sisältäen vähintään kaksi hydroksyyliiryhmää. PU on johdettu uretaanisidoksesta, joka on pääasiassa muodostunut kuvion 4 mukaisesta kaavasta. (Hartshorn 1986, 182.)



Kuvio 4. Ureaanisidos. (Hartshorn 1986, 182.)

Polyuretaanin peruskemiassa on korkeasti reaktiivisia isosyanaatteja. Ne reagoivat lievissä olosuhteissa kaikkien yhdisteiden kanssa, jotka sisältävät aktiivisia vetyatomeja. Näitä ovat pääasiassa alkuaineyhdisteet, jotka sisältävät OH- ja NH-ryhmiä (esim. alkoholit, amiinit ja vesi). (Leppkes 2003, 7.)

Yhteys muodostuu, kun isosyanaattiryhmä (NCO) reagoi alkoholien, amiinien, karboksyylihappojen, veden, uretaanin, urean ja amidiryhmien kanssa. Isosyanaatin reaktio veden kanssa on tärkeä solumuovien tuotannossa, koska tämän reaktion aikana muodostuu kaasumainen CO₂-ryhmä, joka toimii tämän jälkeen kemiallisena paisuteaineena. (Leppkes 2003, 7.)

Sandwich-paneelien liimausprosessissa on kuitenkin huomioitava, etteivät liimakomponentit pääse kosketuksiin kosteuden kanssa säilytyksen, eivätkä levityksen aikana. Kosteus edistää liiman vaahtoamista (vesihöyry) heikentäen samalla liimasidosta. Varastoitaessa kaksikomponentti-PUR-liimojen perusosia kontit tulisi sulkea tiiviisti suojaten ne kosteudelta.

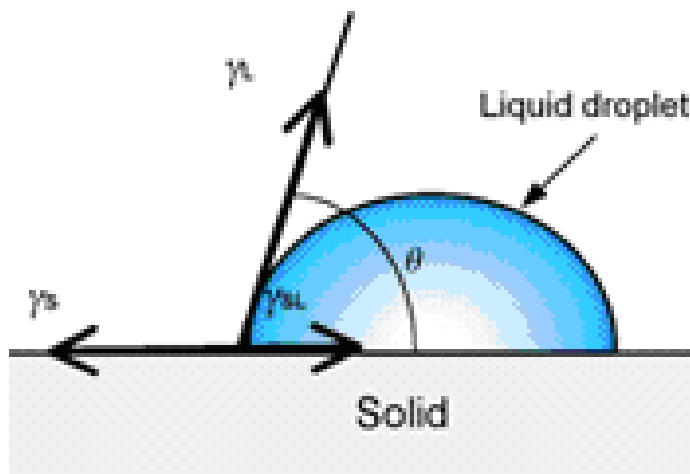
Liimojen tehtävänä on kiinnittää pinnat toisiinsa yhteen siten, että mekaaniset voimat voidaan siirtää koko liitokseen. Tämä ei ole enää mahdollista, jos vakaus vähenee ja alittaa tietyn rajan, joka on annettu liimasidokseen kuuluvista voimista. Voiman, joka on kohtisuorassa alustaan tai liimapintaan nähden, kutsutaan pintajännitykseksi. Liimattavien pintojen pintajännitys täytyy olla suurempi kuin käytettävän liiman. Liimasidoksen lopullinen lujuus määräytyy liimattavien materiaalien lujuuden, liimamolekyyleistä muodostuneiden liimakerrosten sekä liimojen sisäisen lujuuden yhteistuloksena. Liimakerrosten liimamolekyyleillä on suurin vaikutus liimasidosten lujuuteen, koska ne ovat suoraan kontaktissa pintojen kanssa. Nämä voimat eivät kuitenkaan tavoita itse liimakerrosta. (Thiele 2007, 13-15.)

Pinnankarheuden kasvaessa atomi- tai molekyylirakenteisiin kohdistuu vetovoimaa, mikä parantaa liitoksen lujuutta. Liimattavien pintojen puhtaus ei vielä takaa hyvän liitoksen syntymistä. Hyvän liitoksen syntyminen edellyttää myös, että alustojen pinnat ovat kostutettu liimoilla. Tämä saavutetaan, jos lujuus toimii yhdessä liimattavan pinnan ja liiman välillä, kun liiman suunta pintaan nähden on vallitseva. Hyvä tartunta ei yksin vielä takaa vakaata liitosta. Liitosten liimakerroksissa ja lii-

mattavissa pinnoissa on myös oltava riittävä luontainen lujuus, joka tunnetaan koheesiona. Koheesio sisältää pelkästään voimat pinnan ja liiman sisällä. (Thiele 2007, 15.)

Kontaktikulma. Kun halutaan tutkia nesteen ja pinnan välistä vuorovaikutusta, kontaktikulmamittaus on luotettava menetelmä. Tätä niin kutsuttua Young-Laplace-menetelmää käytetään, kun tutkitaan pintafysiikkaan ja -kemian liittyviä ilmiöitä. (Kontaktikulma, [viitattu 17.10.2011].)

Kontaktikulmaksi voidaan kutsua nesteen pintajännityksen sekä näytteen vapaan pintaenergian funktiota. Nesteen ja näytteen rajapinnalle muodostuu kontaktikulma θ nestepisaran asetuttua näytteen pinnalle. Helmen kaltainen pisara ei kastele, kun sen kontaktikulma on suurempi kuin 90 astetta. Sen sijaan, jos kontaktikulma on pienempi kuin 90 astetta, pisara leviää näytteen pinnalle ja näyte kastuu (Kuvio 5). (Kontaktikulma, [viitattu 17.10.2011].)



Kuvio 5. Kontaktikulmaan vaikuttavat voimat. (Pisara 2011.)

Kemialliset prosessit sisältävät kemiallisten sidosten muodostumista reaktiivisista alustojen pinnoista sekä itse liimojen atomeista ja molekyyleistä. Puoleensavetävi- en voimien muodostumiselle ja kemiallisten sidosten edellytyksenä alustojen pinto- jen ja liimojen välillä on, että atomit ja molekyylit voivat lähestyä toisiaan erittäin tiiviisti. Tämä on mahdollista vain, jos liima on annosteltu puhtaalle alustan pinnalle. Näin ollen monet liimausprosessit vaativat, että pinnat puhdistetaan en- sin. Koko tuotanto on suunniteltava siten, että vältetään pintojen likaantuminen

varastoinnissa tai kuljetusten aikana. Monille materiaaleille välivarastointi on epäsuotuisa muutenkin. Ne johtavat usein pintojen hapettumiseen tai rakenteellisiin muutoksiin, jolloin seurauksena on liimaukseen huonontava vaikutus. (Thiele 2007, 13.)

Vuorovaikutusta voidaan luonnehtia staattisella kontaktikulmalla, jos pinta on sileää ja tasa-aineinen, eikä nestepisara tunkeudu näytteeseen. Sen sijaan dynaamisella kontaktikulmalla ajan funktiona voidaan luonnehtia sellaista vuorovaikutusta, jossa neste tunkeutuu tai leviää näytteen pinnalle. Pinnan kastumishystereesiä voidaan kuvata kasvavilla/pienenevillä kontaktikulmilla, jotka kuvaavat pinnan kastumis- ja kuivumisominaisuuksia. (Kontaktikulma, [viitattu 17.10.2011].)

Staattisella kontaktikulmalla tarkoitetaan sitä, kun nestepisara asetetaan tiiviille, absorboimattomalle pinnalle ja saavuttaa tasapainotilan, jolloin se ei enää leviä pinnalla. Jos kyseessä on korkeaviskositeettinen neste, tulee odottaa ennen kulman mittausta, että pisaran leviäminen lakkaa. Kun halutaan mitata mahdollisimman oikea kontaktikulma, on tärkeää applikoida pisara varovasti näytteen pinnalle. Todellista alhaisempi arvo kontaktikulmalle saadaan silloin, jos pisaraa painetaan näytepinnalle niin että se leviää. (Kontaktikulma, [viitattu 17.10.2011].)

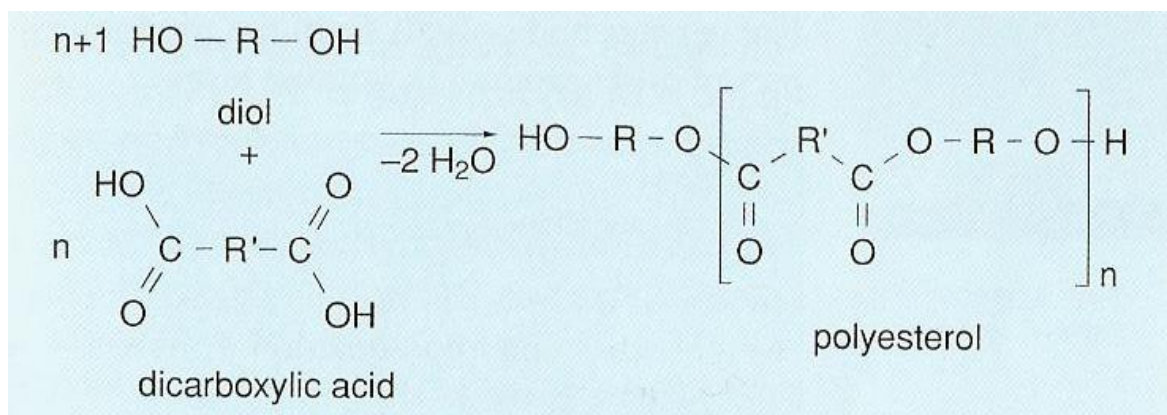
Dynaamisen kontaktikulman mittaaminen tapahtuu, kun pisara leviää näytteen pinnalla. Pisara tulee applikoida näytteen pinnalle varovasti, että saadaan oikea kontaktikulma näytteen pinnan kanssa. Kulman onnistuneeseen mittaamiseen tarvitaan myös koko tapahtuman ajalta kuvasarja, missä otetaan 15 kuvaa sekunnissa. Kontaktikulma muuttuu ajan funktiona jatkuvasti absorboivilla materiaaleilla. Näissä materiaaleissa neste imeytyy näytteeseen. (Kontaktikulma, [viitattu 17.10.2011].)

2.4 Polyolit

Isosyanaatin hallitsevat reaktiokumppanit ovat polyoksidihdisteet (polyolit). Nämä on karakterisoitu hydroksyylliluvulla, joka on kääntäen verrannollinen molekyylien painoon. Polyolien kaksi pääluokkaa ovat polyeetterit ja polyesterit. Nykyisin käytetyistä polyoleista 80 - 90 % on polyeettereitä. (Leppkes 2003, 14.) Sandwich-

paneeli prosessissa polyolit muodostavat kaksikomponenttiliiman perusosan koostuen orgaanisista yhdisteistä, jotka sisältävät hydroksidiryhmiä.

Polyeetterit. Polyeetterit valmistetaan eteenioksidin ja propyleenioksidin alkali-katalysoiduista polymerisaatioista (polyeetterit). Pienen molekyylipainon di- ja polyfunktionaalisia alkoholeja tai amiineja käytetään initiaattoreina (käynnistin). Ne toimivat alkeenioksidien reaktikumppaneina ja myös eetteriketjun kiinnikkeinä, kuten kuviossa 6 on esitetty. (Leppkes 2003, 14-15.)



Kuvio 6. Polyeetterit polykondensaation kautta. (Leppkes 2003, 15.)

Joustavissa vaahdoissa polyeetterit perustuvat kolmitoimisiin käynnistimiin, joista yleisimmin ovat käytössä glyseroli ja trimetylolipropaani, joiden molekyylipaino on noin 6000 g/mol. Jäykkien vaahtojen polyolit on järjestetty niiden toiminnallisuuden ja polyeetteriketjujen mukaan. Käynnistiminä käytetään pääasiassa luonnossa esiintyviä hydroksyyliyhdisteitä, kuten sokerityyppejä. (Leppkes 2003, 15.)

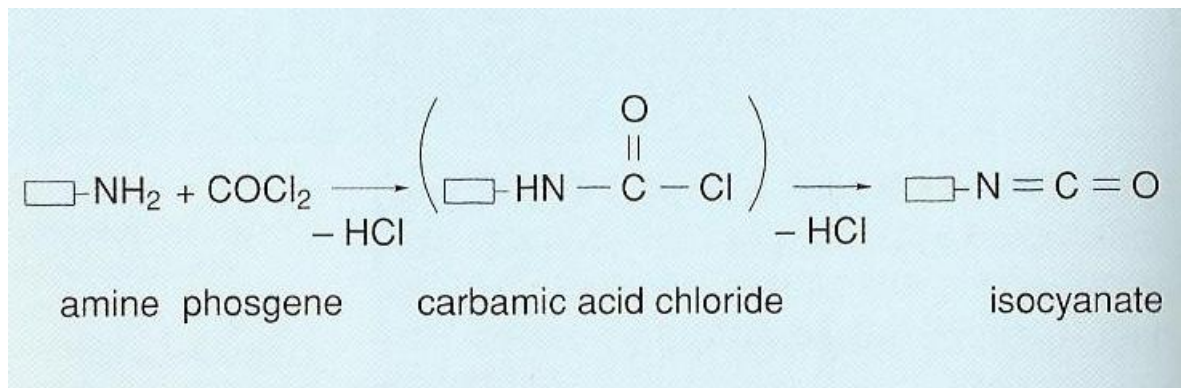
Polyesterit. Polyesterit tuotetaan di- tai polykarboksyylihappojen polykondensaattona, tai niiden anhydridinä di- tai polyalkoholien kanssa (kuvio 6). Tärkeitä käyttökohteita ovat elastomeerit, joustavat vaahdot ja kiinteät vaahdot. Polyestereistä valmistetut polyuretaanit on järjestetty mekaanisten ominaisuuksien mukaan, mutta ne ovat vain kohtalaisen hydrolyyttisesti vakaita. Vertailun vuoksi polyeetteripohjaiset tuotteet ovat vakaampia hydrolyysiin, mutta herkempiä hapettumiselle. (Leppkes 2003, 15-16.)

2.5 Isosyanaatti

Sandwich-paneelin liimausprosessissa käytettävän kaksikomponenttiliiman kovetajaosa on isosyanaattipohjainen. Kun se sekoitetaan polyolin kanssa saadaan kemiallisen reaktion kautta vaahtoava liima.

Isosyanaatit ovat avaintuotteita polyuretaani kemiassa. Isosyanaatit eroavat toisistaan NCO-toimintoja kuljettavien ryhmien rakenteiden mukaan. Kaksi eniten käytettyä aromaattista isosyanaattia tunnetaan niiden lyhenteistä: MDI (diphenylmethane diisocyanate) ja TDI (toluene diisocyanate). Isosyanaatit voidaan järjestää niiden NCO-sisältöprosentin ja niiden toiminnallisuuksien mukaan, jotka osoittavat kuinka monta NCO-ryhmää molekyyli sisältää. (Leppkes 2003, 10.)

Kuviossa 7 on esitelty, kuinka isosyanaattien teollisessa tuotannossa seurataan kaksivaiheista synteesireittiä, jonka Hentschel keksi vuonna 1887. Ensimmäisessä vaiheessa karbamidihappokloridi muodostuu ensisijaisen amiinin reagoitessa fosgeenin kanssa, jolloin suolahappo eliminoituu. Tätä karbamidihappokloridia ei eristetä, vaan se tuottaa isosyanaatin suolahappoa sisältävän molekyylin poistamisen jälkeen. (Leppkes 2003, 10.)



Kuvio 7. Isosyanaatin synteesi amiinista ja fosgeenista. (Leppkes 2003, 10.)

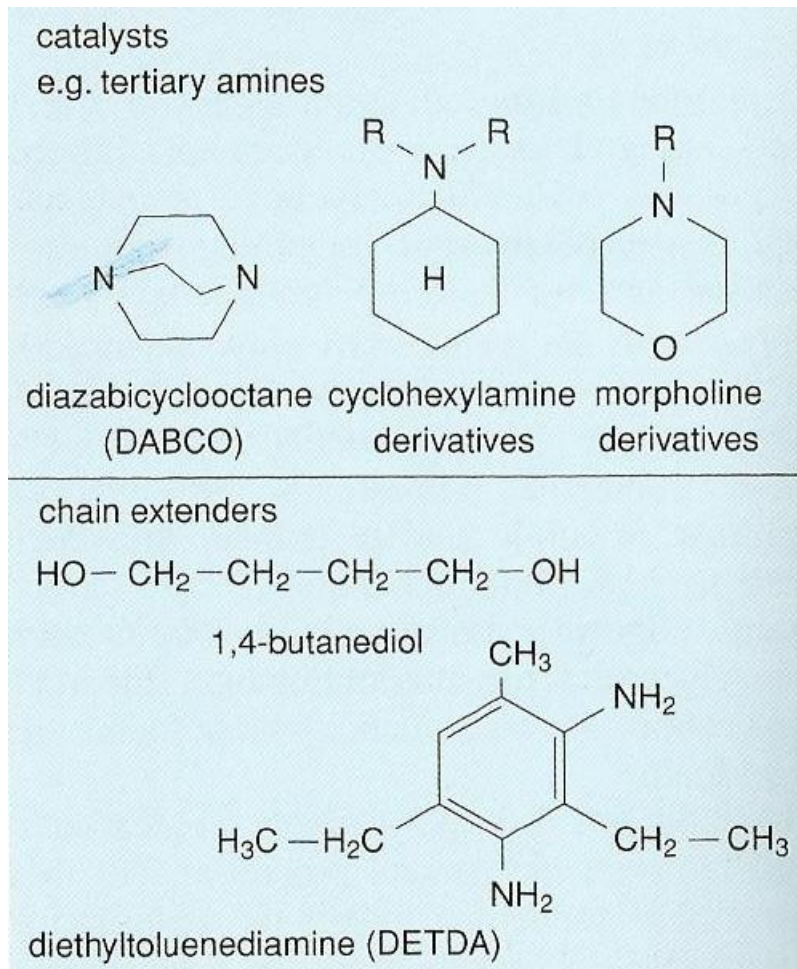
Monissa eri menetelmissä vaaditaan niin kutsuttuja esipolymeereja. NCO-ryhmän kanssa esiintyvät esipolymeerit muodostuvat, kun polyoli reagoi isosyanaatin ylijäämän kanssa. Tässä prosessissa osa polyadditiosta on tietoisesti toteutettu etukäteen valvotuissa olosuhteissa. (Leppkes 2003, 13.)

Tämä toimenpide sisältää seuraavat tärkeät edut:

- Esipolymeerien molekyylipaino on korkeampi ja höyrynpaine on alhaisempi.
- Prosessia voidaan kontrolloida paremmin, niin että PU-osan tuotettuja ominaisuuksia voidaan säätää helpommin. Reaktiosta vapautuvaa energiaa vähennetään vähitellen käsittelyvaiheissa.
- Välttyään kiteytymiseltä ja dimeroinnilta. (Leppkes 2003, 13-14.)

2.6 Lisäaineet

PU-tuotteen kokonaismäärästä isosyanaatit ja polyolit muodostavat suurimman osan. Lisäaineita käytetään riippuen tuotteen tyypistä ja vaadittavista ominaisuuksista. Katalyytit ovat kuitenkin välttämätön osa kaikissa PU-muodoissa. Orgaanisia emäksiä, kuten kuviossa 8 esimerkkinä on tertiäärisiä amiineja, tai organometallisia yhdisteitä käytetään katalyytteinä polyaddition nopeuttamiseksi ja erilaisten kilpailevien reaktioiden ohjaamiseksi. (Leppkes 2003, 16-17.)



Kuvio 8. Katalyytit ja ketjunjatkajat. (Leppkes 2003, 16.)

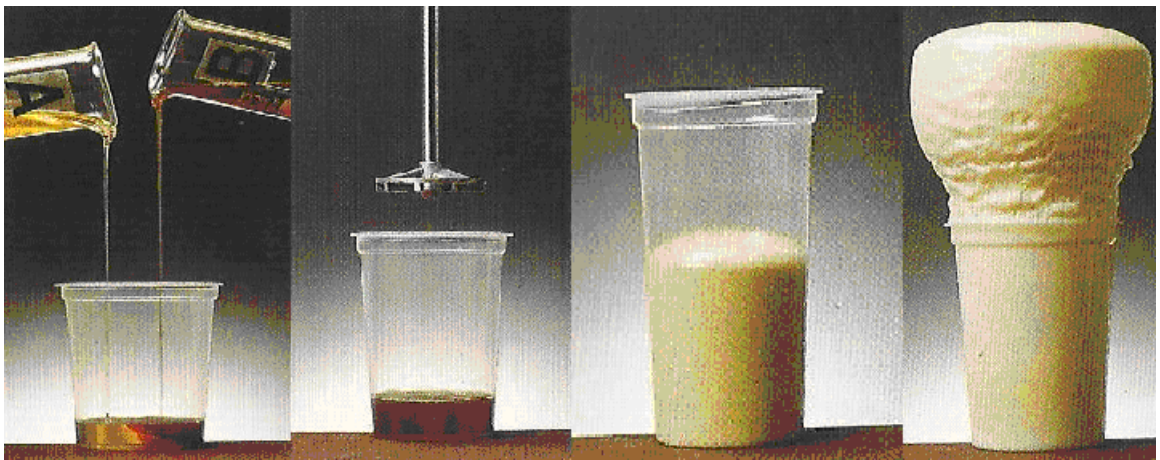
Monissa PU-kaavoissa polyfunktionaalista alifaattia, aromaattisia alkoholeja tai amiineja käytetään ketjun jatkoaineina tai silloittajina. Näillä on tärkeä vaikutus polymeeriseen rakenteeseen ja sitä kautta PU-tuotteiden mekaanisiin ominaisuuksiin. Tärkeät ketjusilloittajat sisältävät 1,4-butaanidiolia, etyleeniglykolia tai dietyylitolueenidiamiinia, mikä on tärkeää RIM-sovelluksille. (Leppkes 2003, 17.)

Huolimatta moninaisista muodoista, joihin PU:ta käytetään, vaahdot ovat sen tärkein sovellus. PU-vaahdon tuottamiseen tarvitaan vaahdotusaineita. Kuvioista 9 voidaan havaita, kuinka PU-vaahdot syntyy, kun kaasukuplia muodostuu neste-mäisen seoksen reaktiossa, ja kuinka ne sulkeutuvat perusmassaan, kun PU kovettuu. Tuoreen vaahdon romahtamisen estämiseksi on tärkeää tasapainottaa kaasun muodostumista ja vaahdon kovettumista (silloittuminen) valitsemalla

asianmukainen tyyppi ja määrä vaahdon stabilointiainetta ja katalyyttiä. (Leppkes 2003, 17.)

Vaahtoamisprosessin eri vaiheet on identifioitu kolmeen eri vaiheeseen alkaen sekoituksen aloittamisesta:

- cream time: materiaali alkaa kasvaa (Kuvio 9)
- rise time: vaahtoamisen loppuminen (Kuvio 9)
- tack-free time: pintavaahto on kosketuskuiva (Leppkes 2003, 17.)



Kuvio 9. Vaahtoamisprosessin kahden komponentin mittaaminen, sekoitus, tilavuuden kasvu ja lopputilanne. (Leppkes 2003, 17-18.)

Varastossa olevat kaksikomponenttiliimat tulee käyttää rajoitetun ajan sisällä. Liimavalmistajilla on yleensä suositukset viimeiselle käyttöpäivälle. Viimeisen käyttöpäivämäärän jälkeen perusaineet eivät enää sovellu käytettäväksi tuotantoprosessissa. Kaksikomponenttiliima kovettuu sandwich-paneeliprosessissa noin 60 celsiusasteen lämpötilassa. Liitoksen paikallaan pysymisen takaamiseksi kovettumisen aikana kontaktipaineen (painot, puristimet) ja kiinnityksen tulee olla riittävä.

Kun kovettuminen on valmis, vahto on riittävän vakaata käsiteltäväksi. Kaasun muodostumista varten on olemassa kaksi erityyppistä paisutusainetta:

- Kemialliset ponneaineet muodostuvat polyadditioreaktion aikana. Vesi tai myös karboksyylihapot polyoliin lisättäessä aiheuttavat kaasumaista hiilidioksidia (CO₂) reaktiossa isosyanaatin kanssa.

- Fyysiset ponneaineet ovat matalassa lämpötilassa kiehuvia yhdisteitä, jotka höyrystyvät lämmitessään. Ne on joko sekoitettu polyolikomponentin kanssa tai lisätty erikseen. (Leppkes 2003, 18.)

Vaahdon stabilisointiaineet mahdollistavat vaahdon solukoon säännöstelyn, edistävät vaahdon rakenteen homogeenisuutta, ja ennen kaikkea vakauttavat solujen muodostumisen vasta sitten, kun polymeerimatriisi on kovettunut. Stabilisointiaineina käytetään yleisesti polysiloxane-polyeetterikopolymeerejä. (Leppkes 2003, 18.)

Palonestoaineita lisätään PU:hun syttyvyyden vähentämiseksi, erityisesti rakentamisen sovelluksissa. Fosforia, halogeenia ja tyypeä sisältävillä aineilla on palonestovaikutus. Joissakin sovelluksissa orgaaniset, tai epäorgaaniset täyteaineet, ovat pakollisia. Nämä vaikuttavat homogeenisesti vaahdon solurakenteeseen, polymeerirungon vahvuuteen ja siten myös polyesterimateriaalin mekaanisiin ominaisuuksiin. Muita tärkeitä lisäaineita valituille sovelluksille ovat UV ja hydrolyysistabiilaattorit, hapettumista estävät aineet, sekä väriaineet. (Leppkes 2003, 18-19.)

2.7 PU-prosessimetodit

Polyesterituotteet valmistetaan peruskomponenttien polyadditiosta. Yleisesti niitä valmistavat raaka-aineiden jalostajat. Käsittely ei vain sisällä muottia, kuten monien muovisten perushyödykkeiden valmistuksessa, vaan se alkaa polymeerin synteesistä, joka toteutetaan sekoittamalla reaktiivinen nestemäinen polyoli ja isosyaanaattikomponentteja. Tämän ominaisuuden vuoksi on ollut tärkeää kehittää erityistä prosessointitekniologiaa polyesterituotteiden valmistukseen. Annostelukoneet ja muotit ovat keskeisiä tekijöitä käsittelylaitoksessa. (Leppkes 2003, 23.) Tämän tutkimuksen tarkastelukohteena on sandwich-paneelien tuotannossa käytetty korkeapaineinen annostelukone.

Annostelukoneet. Annosteluyksiköt polyesteriprosessissa käsittävät seuraavat toiminnot:

- Nestemäisten komponenttien valmistelu sekoitusta varten: Komponentit saatetaan tarvittavaan prosessointilämpötilaan erillisissä säiliöissä. Hi-

taasti toimiva sekoittaja takaa tasaisen lämpötilan jakautumisen ja komponenttien homogenisoinnin. Pääsääntöisesti komponentit myös kierrätetään annostelupumppujen kautta, kun kone on käyttämättömänä. Nämä pumput, jotka ovat täsmällisiä ja itsenäisesti kontrolloituja, välittävät komponentteja säiliöistä putkia tai letkuja pitkin sekoituspäähän ja sieltä takaisin säiliöihin.

- Aloituskomponenttien annostelu läpi sekoituspään vaaditussa suhteessa ja sekoituksessa: Komponentit sekoitetaan esivalitussa suhteessa sekoituspäässä, joka on olennainen osa mitä tahansa annosteluyksikköä. Polyadditioreaktio alkaa, kun polyoli- ja isosyanaattikomponentit syötetään sekoituskammioon ja "ammus" päästetään muottiin.
- Reaktioseoksen annostelu: Nestemäinen reaktioseos lähtee sekoituskammioista, ennen kuin polymerisaatio on valmis. Tyypillisesti seos syötetään jaksoittain avoimeen tai suljettuun muottiin, joka voi olla paikallaan tai liikkua radalla. Valun jälkeen PU-tuote on saavuttanut lopullisen muotonsa. Jatkuvassa valussa puolivalmisteiset tuotteet jatkokäsitellään vaiheittain kuljettimilla. (Leppkes 2003, 23-24.)

Aloituskomponenttien sekoittaminen sekoituspäässä voidaan toteuttaa kahden eri periaatteen mukaan:

- matalapaineprosessi (LP = low-pressure process): sekoittamalla mekaanisesti sekoituskammiossa.
- korkeapaineprosessi (HP = high-pressure process): vastavirtapumppaus kovassa paineessa. (Leppkes 2003, 24.)

Matalapaineekoneet. Matalan paineen koneissa kaksi komponenttia ovat erikseen kierrätetty matalassa paineessa (3 - 40 bar) sekoituspään läpi ennen sekoittamista. "Ammuksen" vapauttamisen aikana sekoituspään venttiilit aukeavat automaattisesti ja synkronisesti vapauttavat komponentit vaaditussa sekoitussuhteessa sekoituskammioon. Tämä koostuu ontosta sylinteristä, joka pitää sisällään korkeatehoisen sekoittimen, josta sekoittamisen jälkeen reaktiosekoitus johdetaan ulos. Sekoittaja on puhdistettava säännöllisesti huuhteluaineilla jäljelle jääneen reaktioseoksen poistamiseksi. Vaikka tämä tapahtuu automaattisesti, puhdistusseisokit ovat LP-koneissa väistämättömiä. Usein halogeenia sisältävien huuhteluaineiden

hävittäminen on ympäristösyistä vaikeaa. Nykyisin on kuitenkin olemassa sopivia vesipohjaisia huuhteluaineita. Pieniä osia ja sovelluksia valettaessa matalapainekoneiden käyttö on korkeapainekoneisiin verrattuna käytännöllisempää. (Leppkes 2003, 24-25.)

Korkeapainekoneet. Korkean paineen koneissa annostelupumput välittävät komponentit erikseen 100 - 200 baarin paineella sekoituspäähän ja kierrättävät ne takaisin välisäiliöihin. Kun "ammus" on tehty, sekoituspään ohjausmäntä vedetään sisään. Tämä antaa komponenteille synkronisen pääsyn sekoituspään suuttimiin. Polyoli- ja isosyanaattikomponentit törmäävät noin 200 baarin paineella sekoituskammioon sekoittuen perusteellisesti. Kun valittua materiaalia on ruiskutettu oikea määrä, ohjausmäntä sulkeutuu ja samanaikaisesti aukot avautuvat, jotta käyttämättömiä komponentteja voidaan kierrättää. Tämä välittää jäljelle jääneet reaktioseokset ulos sekoituskammioista. Korkean paineen koneet toimivat ilman sekoitinta, joten niitä voidaan käyttää suurempiin kapasiteetteihin kuin matalan paineen koneita, koska sekoituskammion puhdistus ei ole tarpeen. Korkean viskositeetin omaavien polyesterikomponenttien valmistuksessa voidaan käyttää myös sylinterin annosteluyksikköjä, jotka toimivat korkeapainekoneiden periaatteen mukaisesti. Roiskevapaatäytteisiä, avoimia muotteja varten sekoituspäät ovat suunniteltu sallimaan laminaarisen ruiskeen sekoituspäästä. Kaksoissekoitinpää mahdollistaa useamman kuin kahden komponentin samanaikaisen syötön sekoituskammioon. (Leppkes 2003, 25-26.)

3 SANDWICH PANEL SPA

3.1 Yleistä

Rakennusteollisuudessa käytetään sandwich-paneeleja muun muassa julkisivuissa, väliseinissä, katoissa, ovissa ja porteissa. Metalliset pintakerrokset ovat sandwich-paneelien tärkein pintamateriaali, joita käytetään rakennusten julkisivuissa, sekä seinä- ja kattopaneeleissa. Suosituimmat ydinmateriaalit ovat PUR, PS-vaaho ja mineraalivilla. Palosuojatut paneelit teollisiin ja julkisiin rakennuksiin on valmistettu teräslevyjen ja mineraalivillan yhdistelmästä. Vaahtoavat liimat soveltuvat erityisesti tämän tyyppin paneeleihin. Ne tunkeutuvat syväälle mineraalivillan ja jäähmettävät siten paneelin lujaksi, verrattuna vaahtoamattomiin liimoihin. Palomääräysvaatimukset rajaavat kuitenkin neliötä kohti käytettävän liimamäärän. (Thiele 2007, 88-89.)

Toukokuun 26. päivänä vuonna 2008 Euroopan yhteisön komissio antoi ehdotuksen rakennusdirektiivin korvaamisesta. Olennaisin muutos Suomen kannalta oli CE-merkinnän tuleminen pakolliseksi ilmoitettaessa yhdenmukaistettujen standardien piiriin kuuluvien tuotteiden suoritustaso. CE-merkintä on ainoa merkintä, jolla todistetaan rakennustuotteen olevan ilmoitetun suoritustason ja soveltavien eurooppalaisten vaatimusten mukainen. (Rakennustuotteiden kelpoisuuden osoittaminen ja hyväksyntä 2009.)

Mineraalivillaytimiset sandwich-paneelit soveltuvat käytettäväksi julkisivuihin, joiden rakennusvaatimukset ovat korkeat. Sandwich-paneelit ovat monikäyttöisiä rakennettaessa ulko- ja väliseiniä, sekä myös sisäkattoja. Kuviossa 10 on esitelty sandwich-paneelin ponttirakenne. Ponttirakenteiden, sekä paneeleille kehitetyn ponttinosimen avulla paneelien asennettavuus paikoilleen on erittäin helppoa (Kuvio 11). Sandwich-paneelit ovat kevyitä, minkä vuoksi rakentaminen onnistuu helposti. Kevyen rakenteen ansiosta kustannussäästöjä saadaan rakentamisen eri vaiheissa: perustus-, runko- ja asennuskustannuksissa. Alkutestausten ja jatkuvan laaduntarkkailun kautta paneeleille voidaan taata hyvät lujuus- ja jäykkyysominaisuudet. Tätä valvoo myös ulkoinen osapuoli, kuten esimerkiksi Suomessa Valtion teknillinen tutkimuslaitos. (Sandwich-paneelit 2010.)



Kuvio 10. Ruukin sandwich-paneelin ponttiliitos. (Sandwich-paneelit 2010.)

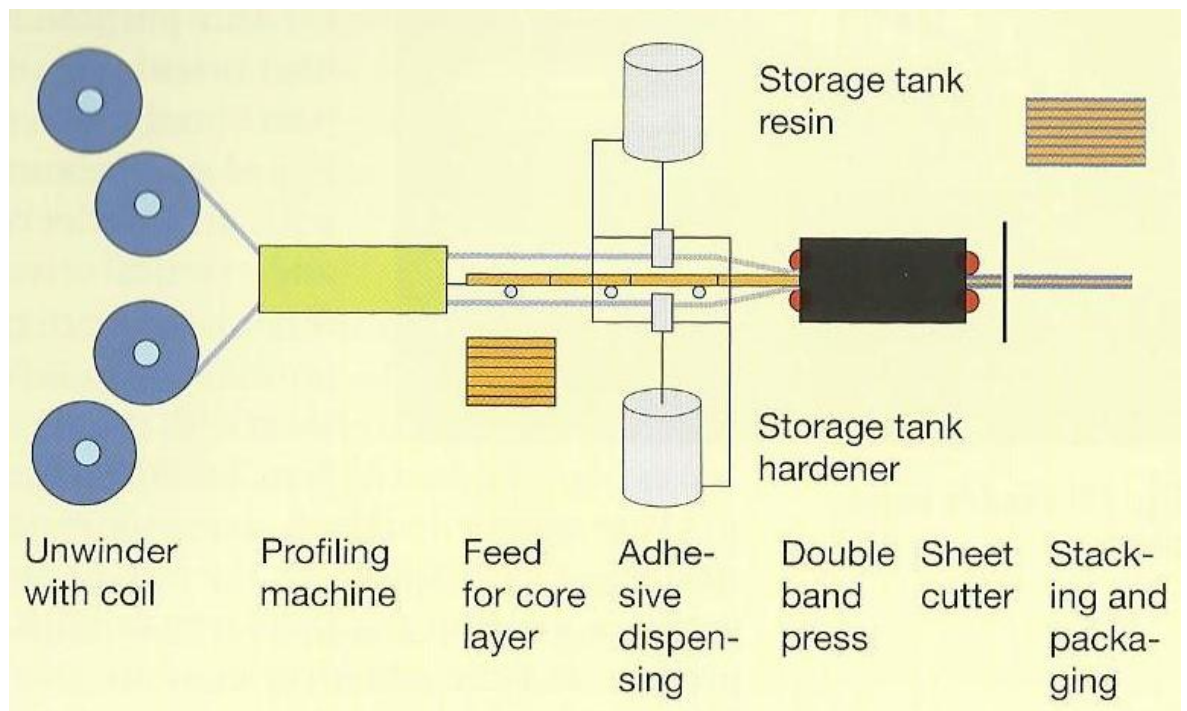


Kuvio 11. SPA-ponttinostimet. (Sandwich-paneelit 2010.)

Vuoden 2010 alusta tulivat voimaan tiukemmat lämmöneristävyyksvaatimukset ($0.17 \text{ W/m}^2\text{K}$), tällöin Ruukin tuotevalikoimaan otettiin SPA230. Ruukin laajasta paneelivalikoimasta löytyy eri vaihtoehtoja vaatimustason mukaan u-arvoluokista. Sandwich-paneelit ovat asennettuina tiiviitä, jolloin myös saadaan energiatehokkuutta. Ruukissa on käytössä ISO 14001 -sertifikaatti, ja jokaisella sandwich-paneelitehtaalla kiinnitetään erityistä huomiota energiatehokkuuteen. Valmistusprosessin aikana käytettävät materiaalit ovat kaikki kierrätettäviä. Sandwich-paneelit ovat pitkäikäisiä ja vaativat hyvin vähän huoltoa. (Ympäristöministeriön asetus rakennusten lämmöneristyksestä 2008; Sandwich-paneelit 2010.)

3.2 Valmistusprosessi

Sandwich-paneelit valmistetaan nykyisin täysin automatisoiduissa tuotantoprosesseissa. Pintakerroksissa käytetyt teräkset syötetään avoimista teräskeloista ja vaahtomuovi- tai mineraalivillaydinkerros syötetään mekaanisesti prosessin sivusta kaksoislamellipuristimeen. Puristimien tuotantonopeus voi olla jopa 20 m/min. Kuviossa 12 on esitelty sandwich-paneelin valmistusperiaatteet. (Thiele 2007, 121.)



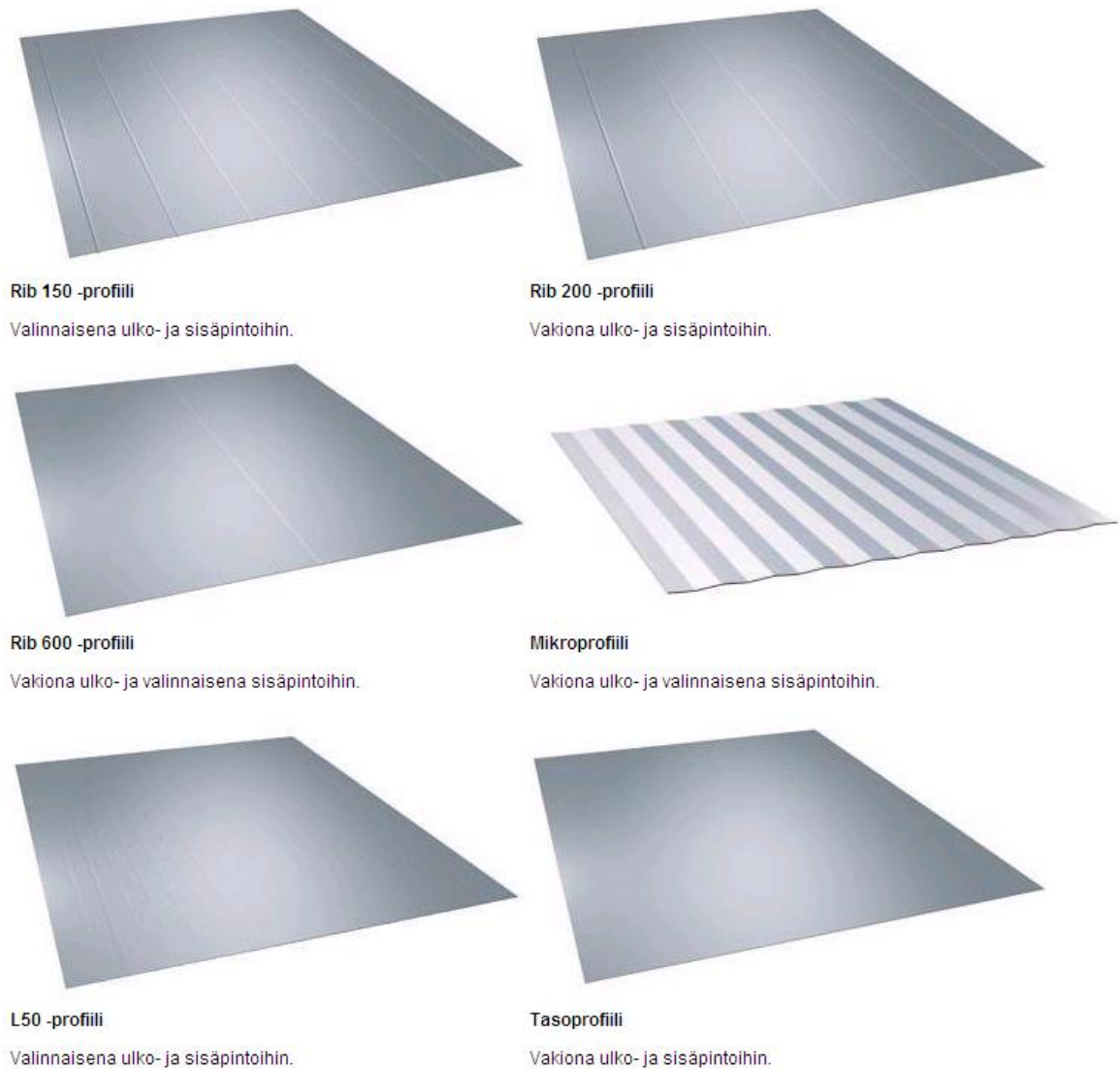
Kuvio 12. Sandwich-paneelin valmistusperiaatteet. (Thiele 2007, 121.)

Pintamateriaaleina voidaan käyttää eri paksuisia ja värisiä teräksiä. Kuviossa 13 on esitetty Ruukin vakiovärit. Automatisoidut nauhansyöttölaitteet varustetaan tilausten mukaan asiakkaan haluamalla teräslaadulla ja pinnoitteella. Teräskelojen vaihtaminen nauhansyöttölaitteisiin kesken tuotannon ei saa aiheuttaa tuotantokatkoksia, jos tuotannon halutaan olevan tehokasta. Siksi tuotantoprosesseissa on kaksi nauhansyöttölaitetta, sekä tuotannon ala- että yläpinnoille. Vaikka pintateräs loppuisi kesken ajon, voidaan toiselta nauhansyöttölaitteelta jatkaa peltiä tuotantoa keskeyttämättä. (Thiele 2007, 121; Sandwich-paneelit 2010.)



Kuvio 13. Ruukin vakiovärit. (Sandwich-paneelit 2010.)

Kun teräs on avoinkelattu nauhansyöttölaitteelta rullaradalle, teräs menee profiointiyksikön läpi. Sekä ylä- että alaterästen molemmat reunat profiloidaan naaras- ja urosponteiksi. Näin paneelit voidaan myöhemmin liittää yhteen, kun rakennetaan suuria julkisivuja, seiniä tai kattorakenteita. Terästen pinnat voidaan profiloida erilaisilla varjourilla, kuten kuviossa 14 nähdään. Profiointitelastot voidaan vaihtaa nopeasti tekemään erilaista pintakuviointia sekä ylä- että alateräksille. (Thiele 2007, 121; Sandwich-paneelit 2010.)



Kuvio 14. Ruukin SPA-pintaprofiloinnit. (Sandwich-paneelit 2010.)

Kaksoislamellipuristintuotantolinjoja käytetään pääasiassa palontorjuntapaneelien valmistukseen mineraalivillaytimisinä. Ydinkerros (vaahtomuovia tai mineraalivillaa) syötetään tuotantoprosessiin varastosta levyinä, jonka jälkeen ne siirretään tarraimilla kuljettimille. Mineraalivillojen kuitukerrokset ovat villalevyissä vertikaalisesti. Mineraalivillalevyt sahataan lamelleiksi tuotannossa valmistettavan paneelityypin mukaisesti. Tämän jälkeen lamellit käännetään 90° , jolloin kuitukerrokset kääntyvät pystyyn antaen paneeleille riittävän lujuuskestävyyden. (Thiele 2007, 88, 121-122.)

Liima annostellaan lämpösäädelyihin pintakerrokseen ruiskuttamalla se korkeapaineyksiköllä, edestakaisin kulkevaa sekoitinyksikköä apuna käyttäen. Liimausprosessissa käytetään nestemäisesti vaahtoavia liimoja, joiden avoin aika on vähin-

tään yksi minuutti. Pintaterästen liittyessä yhteen ydinmateriaalin kanssa loputon "nauha" paneeleita kulkee kaksoislamellipuristimen läpi, joka puristaa materiaalit yhteen muodostaen sandwich-paneelin. (Thiele 2007, 121.)

4 TUTKIMUS

4.1 Lähtökohdat

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää Ruukki Construction Oy:n Alajärven sandwich-paneelitehtaan tuotantoon liittyviä laatuvariaatioita. Tämän lisäksi tutkimuksen kautta pyrittiin perehtymään työhajeisiin ja tekemään tarvittaessa ehdotuksia mahdollisten puutteiden korjaamiseksi. Tarkoituksena oli huomioida myös muita mahdollisia toiminnan kehittämisen ratkaisuja, jotka vähentäisivät liimausprosessista johtuvia häiriöitä ja sitä kautta parantaisivat yrityksen tuottavuutta.

Tutkimuksen aihe on rajattu koskemaan erityisesti sandwich-paneeliprosessissa tapahtuvaa liimausta. Tämä rajausta johtuu pääosin siitä, että jo ennen tutkielman aloittamista perustettiin kehitystyöryhmä, jonka tarkoituksena oli pohtia, miten sandwich-paneelin tuotantoprosessia voitaisiin entisestään tehostaa vastaamaan asetettuja tavoitteita. Kehitystyöryhmä kokoontuu edelleen säännöllisesti. Se arvioi tarvittavia toimenpiteitä, joita prosessissa vaaditaan. Nämä erilaiset tutkimukset ja niistä seuranneet mahdolliset toimenpiteet ovat myös rajanneet ja selkeyttäneet liimausprosessin tutkimustyötä.

Työni tarkoituksena oli löytää optimaaliset olosuhteet, jotka takaisivat hyvän liimaustuloksen. Prosessin yksi merkittävimmistä haasteista on ollut uuden tuotantolaitoksen vasta muutaman vuoden toiminnassa ollut nykyaikainen liimauslaitteisto käyttö, joka on vaatinut käyttäjiltä paljon käytännön harjoittelua.

Laadukkaiden sandwich-paneelien valmistus on tärkeää, koska se vaikuttaa ensinnäkin Ruukin imagoon ja ennen kaikkea siihen, että asiakas voi olla varma tuotteen kestävästä laadusta. Huonon laadun seurauksena yritys voi menettää tärkeitä asiakkaita ja pahimmassa tapauksessa voi tapahtua sandwich-paneeleista rakennetun seinän rikkoontuminen erilaisine seurauksineen.

Hyvälaatuisen sandwich-paneelin takaamiseksi Ruukissa noudatetaan ISO 9001- (laatu) ja 14001 (ympäristö) -standardeja. Lisäksi sandwich-paneeleissa on CE-

merkintä standardin EN 14509 mukaisesti. CE-merkintä osoittaa tuotteen täyttävän viranomaisten asettamat vähimmäisvaatimukset aiotuissa käyttökohteissa.

Standardin EN 14509 pohjalta on kehitetty myös laadunvalvontaa, sillä se velvoittaa tekemään seuraavia sisäisen laadunvalvonnan testejä tuotannossa vähintään kerran viikossa:

- ydinmateriaalin tiheys
- elementin poikittainen vetolujuus ja vetokimmokerroin (pintakerrosten kanssa)
- ydinkerrosmateriaalin puristuslujuus ja puristuskimmokerroin
- ydinkerrosmateriaalin leikkauslujuus ja liukukerroin
- lommahduslujuus.

Lisäksi sisäiseen laadunvalvontaan kuuluvat seuraavat mittaukset vähintään kerran työvuorossa:

- elementin paksuus
- poikkeama tasomaisuudesta
- elementin pituus
- hyötyleveys
- poikkeama suorakulmaisuudesta
- poikkeama suoruudesta
- kaareutuminen (kaarevuus).

Sadwich-paneelin prosessin pitäisi toimia moitteettomasti, koska tehtaan ylösajovaiheessa prosessia testattiin monilla eri säädöillä parhaimman laadun saamiseksi. Näin ei kuitenkaan ole, sillä välillä laatu heittelee saman tuotannon aikana vaikka asetukset eivät muutu. Laadun vaihtelut saadaan selville, kun paneeleille tehdään edellä mainittuja testejä. Parhaiten laatuvariaatiot havaitaan, kun paneeleille tehdään lommahdus-, leikkaus-, veto- ja puristuskokeet. Varsinkin vetokokeissa voidaan havaita kuinka hyvin tai huonosti liimaus on onnistunut. Sama voidaan todeta visuaalisesti, kun tuotannosta otetaan lyhyt paneeli ja siitä revitään pellit molemmiin puolin irti.

Liiman ainesosien varastointiolosuhteet voivat olla vaihtelevat, ellei niitä osata ottaa huomioon. Valmistaja suosittelee varastointilämpötilaksi 15 °C - 25 °C, koska varsinkin isosyanaatti on arka kylmälle. Isosyanaatti alkaa kristallisoitumaan alle 15 °C lämpötilassa. Liimavaraston lämpötilan varmistusmittaus ja säätö tehdään tarvittaessa. Polyolikontteihin tulee laittaa sekoittajat, kun ne liitetään tuotantoprosessin putkistoon. Isosyanaattikontteihin tulee puolestaan asettaa silikageeli-patruunat keräämään kosteutta. Putkistoihin ja itse liimausprosessiin voi päästä epäpuhtauksia ellei silikageeli-patruuna ole käytössä.

Lämpötilat ovat liimausprosessin tärkeitä parametreja. Polyoli- ja isosyanaattiputkistot lämmitetään varaston ja liimalaitteiston välillä, mutta lämmittimet eivät ole riittävän tehokkaita pitämään yllä haluttua lämpötilaa. Tarkoituksena on, että nämä perusaineet voitaisiin lämmittää etukäteen ennen päivätankkeja. Päivätankeissa on myös lämmittimet, mutta niiden teho ei siirry riittävän hyvin polyoliin ja isosyanaattiin. Lisäksi letkulämmittimet suutinyksiköiden läheisyydessä ovat riittämättömät.

4.2 Toteutus

Sopimus opinnäytetyöstäni solmittiin tammikuussa 2011 Rautaruukki Oyj:n (nykyinen Ruukki Construction Oy), sekä Seinäjoen ammattikorkeakoulun kanssa. Tutkimustyön arvioitiin valmistuvan heinäkuun loppuun, sekä itse kirjoitustyön joulukuuhun 2011 mennessä. Samassa tapaamisessa tutkielma rajattiin koskemaan pelkästään liimausprosessia, aina siitä lähtien, kun liimakontit saapuvat varastoon liiman toimittajalta ja päätyvät sandwich-paneelin valmistusprosessiin.

Tutkielman rajauksen jälkeen kutsuttiin tiimi palaveriin, johon kuului henkilöitä tuotannon eri osaamisalueilta, jotka liittyvät liimausprosessiin. Tässä alkupalaverissa kerrottiin tulevasta tutkimustyöstä ja samalla käytiin läpi aikataulu (Liite 1), jonka puitteissa tutkimus suoritettaisiin. Lisäksi käytiin läpi tutkimusmenetelmää ja tutkimuksen etenemistä.

Seuraavassa palaverissa aloitettiin prosessikartan (Liite 2) ja kalanruotokaavion (Liite 3) luominen tuotannosta, liimauksen osalta. Prosessikarttaa tehtäessä käytiin

läpi prosessin eri vaiheita ja prosessiin vaikuttavia muuttujia (inputit). Näitä muuttujia ovat esimerkiksi ihmiset, materiaalit, mittausjärjestelmät, ympäristö, sekä erilaiset laitteet ja menetelmät. Nämä erilaiset muuttujat luokiteltiin sen mukaan, ovatko ne kriittisiä, ohjattavia, perustoimintatavan mukaisia, vai mahdollisia häiriötekijöitä. Kun prosessikartta saatiin valmiiksi, tehtiin XY-matriisi (Liite 4), johon merkittiin kerätyt muuttujat. Matriisiin kirjattiin prosessimuuttujat (x) ja vastemuuttujat (y).

Jokainen vastemuuttuja (y) pisteytettiin numeerisesti käyttäen asteikkoa 1 - 10. Tärkein muuttuja sai suurimman pistemäärän ja vähiten tärkeä pienimmän. Tämän jälkeen listattiin prosessikartasta kaikki prosessiin vaikuttavat tekijät (x), jotka voivat vaikuttaa vastemuuttujiin. Se miten paljon x vaikuttaa y:hyn pisteytettiin asteikolla 1, 3, tai 10. Lopuksi pisteiden avulla priorisoitiin (Liite 5), mihin prosessimuuttujiin tiimin tulisi keskittyä luodessaan FMEA-analyysin.

FMEA-analyysissä (Liitteet 6 - 7) keskityttiin neljään prosessimuuttujaan, jotka saivat XY-matriisissa korkeat pisteet. Näitä valittuja muuttujia tarkasteltiin tarkemmalta tasolla eri vikamuotojen merkittävyyden, esiintyvyyden ja löydettävyyden osalta. Luvussa 5.2 esitellään tarkemmin FMEA-analyysin tuloksia.

SPC-menetelmään kuuluu myös koesuunnittelu, jonka avulla voidaan kerätä tuloksia eri asetusparametreilla. Tässä tutkimuksessa tämä osoittautui kuitenkin mahdottomaksi toteuttaa, sillä muuttujia olisi pitänyt ottaa mukaan niin paljon, että koesuunnitelmasta olisi tullut aivan liian suuri. Myös muuttujien hallinta olisi ollut hankalaa ja aikaa vievää. Nämä kokeet olisivat haitanneet oleellisesti itse tuotantoa.

4.2.1 Alustavat selvitykset

Tutkimustyön ohessa tehtiin myös muita selvityksiä. Ajatuksena oli, että liimalaitevalmistajan luona tulee tehdä laboratoriotestit käytössä olevalla liimalla. Kokeiden järjestäminen tuotannossa olisi ollut käytännön kannalta hankalaa. Liimalaitevalmistajan asiantuntijaa pyydettiin tutustumaan Alajärvelle sandwich-paneelin tuotantoon. Selostus tehtiin siitä, mitä oli tarve testata. Lisäksi tarvittiin tietoa tasaisemman sekoituksen ja paremman levityksen tarkkuudesta. Tarkoituksena oli

saada tietoa saatavilla olevista erilaisista suuttimista. Hänelle kerrottiin myös, että päivätankkien ja letkulämmittimien lämmitystehot eivät ole riittävät, koska liiman lämmöt vaihtelevat tuotannon aikana liikaa. Tehtiin myös suunnitelma, jonka mukaan tuotannossa tehtäisiin alustava testisarja eri parametreilla ennen laboratoriotestejä.

Testien päätavoite oli parantaa liiman levityksen toimivuutta ja varmistaa liiman kunnollinen sekoittuminen. Asiantuntijalta odotettiin, että hänen avullaan löydettäisiin nykyistä paremmat säätöarvot ja tarvittaessa paremmin toimiva sekoitussuutin. Uuden suuttimen avulla saataisiin liimaus toimimaan mahdollisesti myös maksiminopeudella minimoiden ohiruisikutuksen, kun nykyisin siihen ei päästä ohiruisikutuksen takia. Parannusten toimivuus ja vaikutus varmistettiin sandwich-paneelien lujuustesteillä.

Ohiruisikutuksella tarkoitetaan liimasuihkun leviämistä pellin reunoilta ohi, jolloin kaikki tavoiteltu liimamäärä ei jää pellille. Liimahukan kustannuksia saataisiin pienennettyä huomattavasti, kun liimat saataisiin osumaan tavoitetulle alueelle. Ohiruisikutettu liima sotkee myös työympäristön. Lisäksi saataisiin sandwich-paneeliin lisää lujuutta, kun kaikki liima jäisi pellille.

Tuotannossa tehtyjen esitestien perusteella arvio oli, että sekoitus kuitenkin toimii. Liima jäi kuitenkin pehmeäksi, koska liiman reaktio pysähtyi, kun liimaa ruiskutettiin lämmittämättömään peltiin. Myös liiman pieni massa korosti vaikutusta. Lujuuskokeista havaittiin, että osa testituloksista oli ristiriidassa muiden mittausten ja havaintojen kanssa. Korotettu esilämmitys, esimerkiksi yläpinnan lämpötila 55 °C, sekä alapinnan lämpötila 55 °C vaikutti olevan yksi reaktiota nopeuttava ja liiman kovettumista parantava tekijä. Vaahtoavuuteen esilämmityksellä ei saatu vaikutusta.

Liimalaitevalmistajan asiantuntijan vierailun aikana saatiin lisäksi hyödyllistä lisätietoa laitteen asetusparametrien osalta, sekä erilaisten suuttimien ominaisuuksista. Lämpöjen ja paineiden tasaisuuden osalta tarvittiin vielä selvitystä ja parannusta. Tulevaa laboratoriotestausta varten pyydettiin asiantuntijaa selvittämään mahdollisimman sopiva suutin liiman levitystä varten, millä voitaisiin mahdollisesti minimoida ohiruisikutus nykytuotannossa.

Liimalaitevalmistajalta saatiin koesuutin käyttöön tuotantokokeilua varten. Suutinta testattiin ja tehtiin liimamäärämittaus, levitysjäljen ja avoimen ajan mittaus sekä paneelien testit. Suutintyyppi otettaisiin käyttöön tuotannossa, jos se toimisi hyvin. Protosuutinta kokeiltiin tuotannossa ensin alapintaan ja sen jälkeen yläpintaan, koska käytössä oli vain yksi protosuutin. Mittausten ja testien perusteella protosuutin toimi hyvin, kunhan kulma oli säädetty sopivaksi. Protosuutin toimi vähintään vakiosuuttimen nopeuteen asti. Koesuutin jätettiin linjalle tuotantokäyttöön ja muutamana päivänä käytön jälkeen se alkoi sumuttamaan hieman enemmän kuin alussa. Silti hallittavuus oli kohtuullinen ja muutenkin toimivuus oli kohtalainen. Suuttimien tilaamisesta päätettäisiin vasta kun laboratoriotestit olisi saatu tehtyä.

4.2.2 Laboratoriotestit

Liimalaitevalmistajan tiloissa järjestettiin laboratoriotesti omien tuotantotestien jälkeen. Liimantoimittajalta ja Ruukilta oli omia asiantuntijoita mukana. Neljän pitkän päivän aikana suoritettiin kaikkiaan yli 70 erilaista testausta, mittausta tai kokeilua. Laboratorio-olosuhteissa optimaalisten parametrien hakeminen on paljon helpompaa, kuin tuotantoympäristössä, koska silloin ei viedä arvokasta tuotantoaikaa tai -kapasiteettia. Laboratorio-oloissa testattiin eri laitesäädöillä neljää eri ydinmateriaalia, joita käytetään nykyisessä tuotannossa. Testien aikana pidettiin säännöllisesti kirjaa tehdyistä toimenpiteistä, laboratorion kosteusprosentista sekä lämpötilasta.

Liiman avointa aikaa mitattiin pienillä villapaloilla (Liite 8) sekä tarkastettiin säännöllisesti liimamääriä neliötä kohden. Lisäksi tehtiin koepaneeleita, joista osasta revittiin pellit irti, jotta nähtäisiin liiman toimivuus. Osa paneeleista lähetettiin Alajärvelle materiaalikokeisiin. Eri säädöillä ei ollut vaikutusta lopputulokseen. Neljän testipäivän aikana käytettiin aikaa ruiskutuksen tarkkuuteen vaikuttavien säätöjen testauksiin ja selvittelyyn. Päivät aloitettiin ilman polyolin ja isosyanaatin lämmityksiä (lämmitys oli pois päältä yön ajan) ja aamulla lämmöt olivat noin 26 °C. Havaittiin että 6° ruiskutuskulma antoi vielä hyväksyttävän levitysjäljen ja että 35 °C lämpötilaan asti levityksen tarkkuus oli melko hyvä. Korkeammilla lämpötiloilla tarkkuus kuitenkin selkeästi heikkeni ja suihku hajosi. Matalat lämpötilat eivät hidasta-

neet olennaisesti avointa aikaa. Yksi parannus levityksen tarkkuuteen voisi olla, että käytettäisiin korkeaa esilämmityslämpötilaa pintapelleissä, mutta maksimissaan 35 °C lämpötilaa polyoliin ja isosyanaattiin.

Liitteessä 8 on havainnollistettu, kuinka liima ei ole kunnolla sekoittunut sekoituskammiossa. Pellille levittämisen jälkeen sekoitettiin liimaa vielä käsin, jonka seurauksena saatiin aikaan liiman kemiallinen kovettumisreaktio. Tämä havainto oli laboratoriotestiä aikana merkittävin löytö, mitä ei oltu aiemmin osattu ottaa huomioon.

Koska liima ei sekoittunut tarpeeksi hyvin, liima jäi pehmeäksi ja tarraavaksi. Testien aikana tähän ongelmaan ei löydetty parantavaa ratkaisua, eikä mikään säätömuutos tai sekoitinpään vaihto vaikuttanut olennaisesti lopputulokseen. Isosyanaatti erottui seoksesta ja sen pystyi havainnoimaan, kun levitetty liima oli tuoretta. Tämän reaktion arvioitiin johtuvan siitä, että polyolin ja isosyanaatin sekoitus tapahtui liian nopeasti (liian nopea virtaus), jolloin sekoittuminen jäi kesken. Siitä syystä reaktio ei ollut täydellinen. Liima kovettui kunnolla myös, jos se ruiskutettiin kuppiin, tai jos se sekoitettiin ja levitettiin käsin. Myös kovettuneen liiman väri oli selkeästi erilainen (valkoisempi) verrattuna ruiskutettuun liimaan.

Liimalaitevalmistajan ja liimatoimittajan tehtäväksi jäi miettiä ja kehittää ratkaisua tähän ongelmaan. Liimalaitevalmistajalle annettiin lisäksi tiedoksi, että liimaa varten tarvitaan sekoitussuutin, jonka virtauksen tulee olla tietyllä tasolla. Tällöin paineet ja virtausnopeudet eivät nouse liian korkeiksi.

4.2.3 Havainnot tuotantoprosessissa

Laboratoriotestien jälkeen otettiin liimanäytteitä sandwich-paneelilinjalta. Otetuissa näytteissä ruiskutetun liiman ilmiö oli sama (tarraava ja pehmeä liima). Myös liimauksen lopputulos oli sama, vaikka ruiskutettu liima meni puristimen (lämmityksen) läpi. Puristimen läpi menneiden näytepalojen liiman väri oli kuitenkin ehkä hieman vaaleampi, kuin alkukesällä otetuissa näytteissä.

Lisäksi kokeiltiin sandwich-paneelilinjalla pellille ruiskutetun liiman käsin sekoittamista (puukonkärjellä). Havainto ja tulos olivat samanlaiset, kuin liimalaitevalmista-

jan luona tehdyissä laboratoriotesteissä. Käsin sekoitettu liima kovettui kunnolla ja oli väriltään vaaleampaa.

4.2.4 Kosteus ja lämpötila

Sandwich-paneelituotannossa huomattiin talvella 2010, että ilma oli erittäin lämmin ja kuivaa. Liimavalmistajalta saadun tiedon mukaan kaksikomponentti PUR-liima vaatii reagoinnin takia vähintään 40 - 45 RH%:n kosteuden, joten tuli miettiä korjaavia toimenpiteitä.

Tuotannossa ei ollut RH%-mittausanturointia ja hallin sisätilan lämpöanturi puuttui. Oikean tyyppinen mittausanturi hankittiin ja sen avulla voidaan mitata myös lämpötilaa. Mittausanturin tuli olla myös helposti kalibroitu.

Liimaustesteissä voitiin havaita muun muassa se, että kosteampi ilma parantaa liiman vaahtoavuutta. Liimantoimittajan mukaan kuiva ilma heikentää ja hidastaa liiman reaktiota joka suhteessa. Liimantoimittajalta on saatu yleinen käyrästäöesitys kosteuden vaikutuksesta erään kaksikomponentti-PUR-liiman avoimen ajan osalta 45 - 80 RH%:n alueella eri lämpötiloissa (Liite 9).

Ilmankosteuden parantamista liimauspisteiden ympäristössä selvitettiin. Ilmankostuttimen valmistajan mielipide oli, että RH% voitaisiin hallita liimanlevityksen osalta riittävästi ilman erillistä suojarakennetta. Liimauspisteiden ympärille päätettiin kuitenkin rakentaa suojakoppi. Virtaustietojen ja suojarakenteen tietojen perusteella hankittiin sopivasti mitoitettu ilmankostutin. Tavoiteolosuhteet asetettiin siten, että suojarakenteen sisäilman lämpötilaksi tuli 25–30 °C ja ilmankosteudeksi 65 RH% (Liite 10). Olosuhteet tulivat näillä toimenpiteillä stabiilimmaksi, joten prosessissa oli yksi muuttuja vähemmän.

4.2.5 Lämpötilojen mittaukset

Tehtiin havaintoja, että polyolin ja isosyanaatin lämpötilavaihtelut suuttimien vieressä tulee mitata siirrettävillä antureilla. Liimauslaitteen sekoittimen lämpötilavaihtelut mitattiin liimaussuuttimista viikon ajalta. Nämä mitatut lämpötilat löytyvät liit-

teistä 11 ja 12. Tuotannon aikana polyolin ja isosyanaatin lämmöt vaihtelivat seurantamittausten perusteella melko paljon. Mittaustulokset lähetettiin liimalaitevalmistajalle. He analysoivat ja vertasivat kerättyä dataa omiin datatiedostoihinsa. Vaihtelua ei esiintynyt heidän laitteensa keräämässä datassa. Tästä huolimatta heille kuitenkin annettiin tehtäväksi suunnitella ja ehdottaa parannusta prosessiin.

Lisäksi tuli selvittää päivätankkien lämmitysteho. Tuotannon alussa sekoitus toimii hyvin, kun viskositeetti on riittävän matala. Komponenttien jäähtyessä levitysjälki ja ehkä myös seossuhde heikkenee. Päivätankit ovat kaksikerrostankkeja, joiden sisällä oleva öljy toimii lämmittäjänä. Havaittiin melko pian, että todellisia lämpöjä on hankala varmistaa mittaamalla. Järjestelmä säätää vaipan lämmitysöljyn lämpötilaa, mutta lämpö ei siirry tuotannon aikana riittävästi polyoliin tai isosyanaattiin. Selvitettiin, että voiko päivätankkeihin lisätä lämmityskierukka, joka pitää lämmön jatkuvasti myös ajon aikana lähellä 47 °C (liimatoimittajan suositus).

Kaksoislamellipuristimen lämpötilat mitattiin, kun havaittiin lämpötilojen olevan muualla prosessissa pielessä. Puristimen lamelleihin laitettiin lämpötilamittausanturit. Liimauspintojen lämpötilat mitattiin tuotannon eri nopeuksilla. Kerättyä dataa tullaan hyödyntämään jatkokehittelyissä.

4.2.6 Ydinmateriaali

Ydinmateriaaleina käytettävät mineraalivillat otettiin kevään 2011 aikana erityis-tarkkailuun, koska välillä laadunvalvonnassa havaittiin ongelmia. Ruukin asiantuntija aloitti selvityksen tutustumalla sandwich-paneelin veto- ja puristuslujuuteen vaikuttaviin parametreihin. Hänelle kerrottiin analyysin alkuvaiheessa, että mineraalivillan ominaisuudet vaihtelevat erittäin paljon. Ruukin asiantuntijan analyysissä ei päästy lopulta riittävän tarkalle tasolle johtuen monesta eri epätarkkuustekijästä. Olennaisin havainto oli, että lujuushajonta peittää sandwich-paneeliin vaikuttavat muut mahdolliset tekijät.

Mineraalivillat ovat lujuusominaisuuksiltaan varsin epästabiileja. Keskimääräiset lujuusarvot ovat vaatimusrajoissa, mutta hajonta on aivan liian suurta. Valmistajien tulee tehdä toimenpiteitä villan lujuushajonnan pienentämiseksi. Analyysissä tuli

selvästi esille, että villan tiheydellä on selkeä vaikutus villan muihin ominaisuuksiin, kuten esimerkiksi lämmönjohtavuuteen.

Ruukin asiantuntijan johtopäätös oli, että meidän tulee olla varmoja siitä, että sandwich-paneeleissa käytettävä ydinmateriaali itsessään on riittävän laadukasta, ennen kuin yritämme kehittää omaa prosessiamme. Lisäksi hän ehdotti, että tulevaisuudessa seuranta- ja analysointitarpeita varten tulee kehittää ja ottaa käyttöön toimivat seurantakäytännöt ja sopivat työkalut.

5 TILASTOLLINEN PROSESSIN OHJAUS

5.1 SPC:n perusteet ja alkuvaiheet

Walter Andrew Shewhart (1891 - 1967) kehitti Yhdysvalloissa tilastolliset menetelmät (SPC) periaatteen vuosina 1925 - 31 työskennellessään Western Electricin tehtaalla. Ensimmäisen valvontakortin hän esitteli esimiehelleen toukokuun kuu-dentenatoista päivänä vuonna 1924. Tätä päivää voidaan pitää historiallisena päivänä. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 2; Salomäki 1999, 167-171.)

Tutkiessaan tilastollisesti laadunvalvonnan tuloksia Shewhart huomasi tulosten käyttäytyvän normaalijakauman mukaisesti. Hänen mielestään ongelmat johtuivat prosessin suuresta vaihtelusta. Vuonna 1931 W. A. Shewhart julkaisi ”Economic Control of Quality of Manufactured Product” -kirjan. Kirjassaan hän toi esiin sen, kuinka tilastollisia menetelmiä voidaan hyväksikäyttää tuotantoprosessissa. Shewhartin sanoma olikin: ”Laatu ja tuottavuus nousevat, kun hajonta pienenee”. (Oulun yliopisto, [viitattu 9.2.2011], 2; Salomäki 1999, 167-171.)

W. Edwar Demingin ja Shewhartin johdolla aloitettiin muun muassa Englannissa virallinen koulutusohjelma toisen maailmasodan aikana. Esimerkiksi Normandian maihinnousuun käytetyt patruunat testattiin SPC:tä hyväksikäyttäen. Ford Motor Company on soveltanut Euroopan autoteollisuudessa erityisesti SPC:tä, ja edellyttänyt myös alihankkijoiltaan järjestelmällistä soveltamista. Japanilaiset omaksuivat SPC:n 1950-luvulla ja länsimaissa se otettiin käyttöön vasta 1970-luvulla. Suomessa SPC tuli kansainvälisen ja asiakkaiden vaatimusten myötä käyttöön 1980- ja 1990-lukujen vaihteessa. (Oulun yliopisto, [viitattu 9.2.2011], 2; Salomäki 1999, 167-171.)

5.1.1 Käsitteitä ja lyhenteitä

Statistical process control (SPA) on suomennettuna ”Tilastollinen prosessin ohjaus”. SPC:n käytössä tulevat tutuiksi erilaiset lyhenteet ja käsitteet. Lyhenteet ovat pääasiassa englanninkielisiä, sillä kirjallisuudessa ja tietokoneohjelmissa niiden

omaksuminen on helpompaa. Esimerkiksi englanninkielinen termi UCL (Upper Control Limit) tuntuu paljon luontevammalta, kuin jos sama käännettäisiin suomeksi, YOR (YläOhjausRaja). Tärkein työkalu tilastollisen prosessin ohjauksessa on valvontakortti, joka tunnetaan myös nimellä ohjauskortti tai säätökortti. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 2; Salomäki 1999, 177-178.)

5.1.2 Laaduntuottokyky

Prosesseille, tai tuotantokoneille voidaan laskea erillinen laaduntuottokyky. Vertaamalla prosessin tai tuotantokoneen suorituskykyä asetettuihin toleranssirajoihin, saadaan lasketuksi laaduntuottokykyindeksi. Tämä merkitään C_p - tai C_{pk} -indeksillä. Prosessin hajontaa toleranssialueeseen verrataan C_p -indeksillä (Capability index). Jos käytetään puolestaan C_{pk} -indeksiä, voidaan ottaa huomioon jakauman sijainti toleranssiin nähden, toisin kuin C_p -indeksillä verrattaessa. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 9; Salomäki 1999, 195.)

5.1.3 SPC:n soveltaminen käytäntöön

Kun halutaan tunnistaa prosesseista vaihtelut tai ongelmat, niin SPC:stä saa helposti tehokkaan ja helppokäyttöisen työkalun prosessin tarkkailuun, hallintaan ja laadun jatkuvaan parantamiseen. Jos SPC:tä sovelletaan väärin, tai väriin kohteisiin, sen käyttö voi olla vaikeaa ja vastenmielistä. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 10.)

Jotta SPC:stä saadaan kaikki hyöty irti, tarvitaan tiimi. Useamman ihmisen avulla kyetään luomaan paljon kattavampi lista mahdollisista vioista. Tiimiin voi kuulua muun muassa henkilöitä tuotannosta, suunnittelusta, ostosta, kunnossapidosta, asiakkaista ja niin edelleen. Täytyy kuitenkin muistaa, ettei SPC:n avulla seurata prosessin tuotetta, vaan itse prosessia missä tuotteet valmistetaan. Tuotantoprosessin jaon määrittelyssä on hyvä käyttää apuna syy-seuraus-diagrammia. Tällöin tuotantoprosessi saadaan selkeästi jaettua osaprosesseihin. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 10; Ekman 2011, 2.)

Perustaksi syy-seuraus-diagrammille on kuitenkin hyvä tehdä prosessikuvaus. Se on selkeä työkalu prosessien määrittämiseen kaikkien prosessimuuttujien (X) ja vastemuuttujien (Y) tunnistamiseksi. Prosessikuvaus helpottaa myös prosessiin osallistuvia ihmisiä ymmärtämään prosessin kaikki eri vaiheet, tunnistamaan prosessin potentiaaliset parannuskohteet ja tunnistamaan prosessivaiheet, joissa dataa kerätään, ja joissa sitä pitäisi kerätä. (Ekman 2011, 4-5.)

Kun prosessit tai osaprosessit ovat tunnistettu, tulee tarkastelukohteen prosessi määritellä. Määrittelyn apuna voidaan käyttää seuraavaa muistisääntölistaa:

1. Määritä prosessi, mitä haluat tarkastella kriittisine tuotoksineen (Y), sekä lopputuotteen parametrit, joita voidaan mitata tai arvioida.
2. Kuvaa prosessin kaikki päävaiheet (X) läpimenoaikoineen.
3. Listaa jokaisen prosessivaiheen tuotokset (y).
4. Listaa kaikki prosessiin vaikuttavat parametrit (x) päävaiheittain.
5. Luokittele parametrit (x) seuraaviin luokkiin:
 - C = kontrolloitavat tekijät, joita voidaan ohjata/säätää prosessin toiminnassa.
 - Cr = kriittiset tekijät, jotka selvitetään muun muassa FMEA:n avulla.
 - S = standardi toimintatapa, jota käytetään kontrolloitavien tekijöiden määrittämiseen tai ohjaamiseen.
 - N = taustatekijät, joita ei voida tai haluta ohjata vaikeutensa tai kalteutensa takia. (Oulun yliopisto, 10; Ekman 2011, 6-8.)

Tiedonkeruun määrittelyssä tulee selvittää, onko kyse mitattavista muuttujista vai attribuuttitiedon keräyksestä. Kappaleen paino ja pituus, sekä kemiallisen aineen tiheys ja pitoisuus, ovat esimerkiksi mitattavia muuttujia. Attribuuttitietoa ovat puolestaan esimerkiksi tuotteen visuaalinen tarkastus (hyväksyty/virheellinen) ja virheiden lukumäärä. Tiedonkeruuseen soveltuva näyttekoon suuruus ja näytteenototaajuus on määriteltävä molemmissa tapauksissa. Tyypillinen eräko mitattavien muuttujien seurannassa on viisi. Tyypillisesti attribuuttitiedon keräyksessä eräko on suurempi. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 10.)

Johtopäätöksiä ei tule tehdä yhden näytteen, tai näyte-erän perusteella, koska näytteitä on aluksi otettava tiheämmin, jotta prosessissa tapahtuvat muutokset

näkyisivät paremmin. Näytteenottotaajuus tapahtuu tyypillisesti muutaman kerran tunnissa. Sen jälkeen kun prosessi on saatu stabiilimpaan tilaan, näytteenottotaajuutta voidaan vähentää otettavaksi muutaman kerran työvuorossa. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 10.)

Tiimin tulee päättää, miten tiedonkeruu toteutetaan. Tiedonkeruu voidaan suorittaa manuaalisesti perinteisiä valvontakortteja käyttäen, tai toinen vaihtoehto on käyttää esimerkiksi kaupallista SPC-ohjelmistoa. Valvontakortteja käytettäessä, tulee määrittää millaisia asioita ja millaisilla mittareilla niitä aiotaan mitata. Mitattaessa tutkittavaa ominaisuutta tulee määritellä, onko tieto ominaisuuksien määrätietoa vai ominaisuuden sisältävien tuotteiden määrätietoa. Jos puolestaan kerätään muuttujatietoa, tulee määritellä, onko tieto jatkuvasta prosessista vai erävalmistuksesta. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 10; Salomäki 1999, 220.)

Kun SPC:tä sovelletaan käytännössä, tulee huomioida, että vastuu prosessin laadusta on sen tekijöillä. Virheisiin voidaan reagoida nopeasti ja välittömiin toimenpiteisiin voidaan ryhtyä, virheiden aiheuttajien löytämiseksi ja niiden korjaamiseksi. Lisäksi työntekijä saa näin palautetta omasta työstään. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 10-11.)

Kun näytteitä analysoidaan, niitä pitäisi olla kerättynä vähintään 25 kappaletta (noin 100 mittausta), jotta mittaustuloksista tehtävillä johtopäätöksillä olisi tilastollista luotettavuutta. Myös prosessin valvontarajojen laskemisessa on järkevää kerätä vähintään kahdenkymmenen näyte-erän tulokset, ennen kuin lasketaan käytettävät rajat. Näin minimoidaan yksittäisten poikkeavien arvojen vaikutus valvontarajoihin. Kun prosessin valvontarajat ovat kerran määritetty, niitä ei saa muuttaa, ellei itse prosessi muutu. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 11.)

SPC:n hyödyt prosesissa:

- Prosessin muutokset havaitaan nopeasti → nopeat korjaustoimenpiteet.
- Löydetään helposti kriittiset prosessiparametrit ja korjaustoimenpiteitä vaativat kohteet.
- Prosesseille saadaan yhtenäiset laatumittarit (→ jatkuva parantaminen).

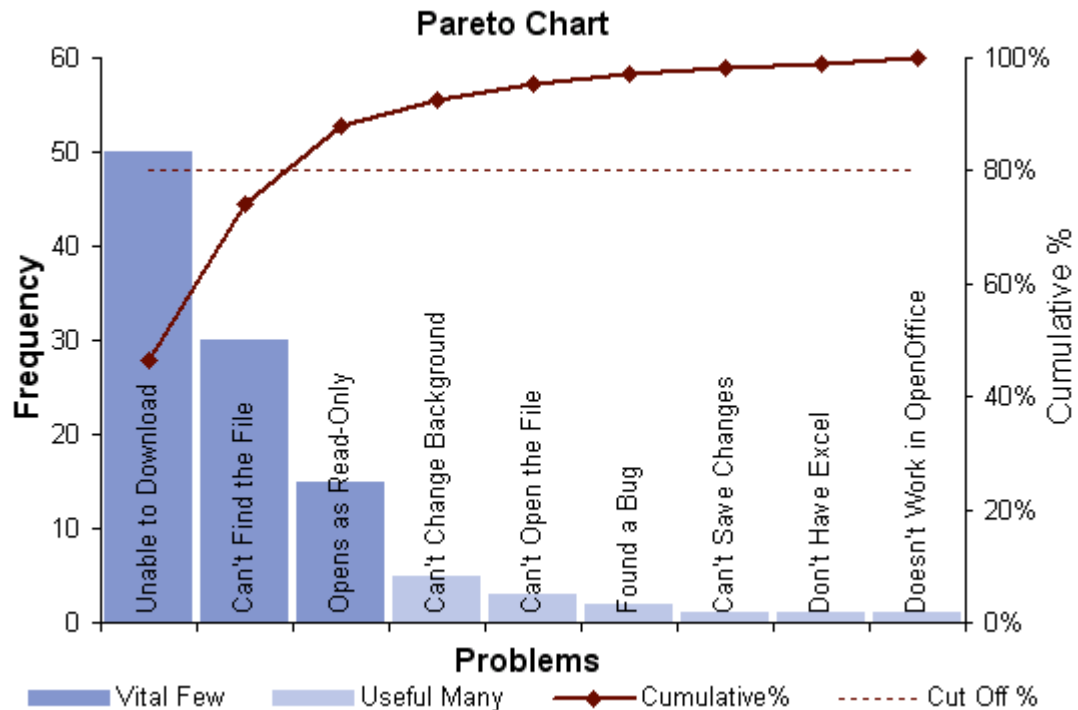
- Opitaan tuntemaan paremmin oma tuotantoprosessi.
- Ihmiset saavat palautteen omasta työstään. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 11.)

5.1.4 SPC:n päätyökalut

Tunnettu japanilainen professori Ishiwaka on kehittänyt SPC:n niin kutsutun ”loistavan seitsikon”, päätyökalun, jonka avulla laatuongelmista voidaan ratkaista 95 %. Nämä seitsemän työkalua ovat:

1. Pareto-analyysi
2. FMEA-analyysi
3. Valvontakortti
4. Hajontadiagrammi
5. Histogrammi
6. Syy-seuraus-analyysi
7. Vuokaavio. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 12; Mellin 2010, 40.)

Pareto-analyysi. Pareto-analyysiksi voidaan kutsua menettelytapaa, jonka avulla pyritään selvittämään yleisin vikatyyppejä. Tämän menettelytavan avulla voidaan kerättävästä datasta havaita nopeasti ja yksinkertaisesti mahdolliset virheet. Kuviossa 15 on esimerkki Pareto-analyysistä. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 32; Pareto-analyysi 2009.)



Kuvio 15. Pareto-analyysi. (Pareto Chart Template 2009.)

Pareto-analyysia käytettäessä tietoa järjestetään sen prioriteetin mukaan. Tämän menetelmän avulla saadaan helposti selville ne tekijät, jotka ovat aiheuttaneet suurimmat virheet:

1. Kaikki vaihtoehdot (elementit) listataan.
2. Elementit mitataan. Mittaamisessa on huomattava, että kaikkia vaihtoehtoja täytyy arvioida yhteismitallisesti esiintymistiheyden, rahan, ajan tai muun tekijän suhteen.
3. Elementit järjestetään. Luokittelu tapahtuu mittauksen mukaisesti siten, että analyysiä tehtäessä esiintymistiheyden mukaisesti, kohteet luokitellaan esiintymistiheyden mukaan laskevaan järjestykseen. Vastaava luokittelu tehdään kustannusten suhteen.
4. Kumulatiiviset jakaumat lasketaan. Edellä mainitun luokittelun perusteella lasketaan kumulatiiviset esiintymistiheydet ja kustannukset. Nämä annetaan myös prosentteina kokonaisarvoista.
5. Pareto-käyrät piirretään.
6. Pareto-käyrien tulkinta. Yleisesti käyrien tulkinnessa käytetään 20/80-sääntöä; esimerkiksi 20 % vioista aiheuttaa 80 % kustannuksista. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 32; Pareto-analyysi 2009.)

FMEA-analyysi. Kun halutaan määritellä ja tunnistaa sekä eliminoida tunnetut ja potentiaaliset virheet prosessissa, käytetään FMEA-analyysitekniikkaa. Lyhenne FMEA tulee sanoista Failure Mode and Effect Analysis, eli vika- ja vaikutusanalyysi. FMEA-analyysin kaksi päätyyppiä ovat:

- DFMEA (Design FMEA)
- PFMEA (Process FMEA). (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 30-31.)

Päätyypeistä DFMEA-tapaa käytetään silloin, kun halutaan tietää, mitä mahdollisia suunnittelusta johtuvia heikkouksia/virheitä tuotteessa on. Näin pyritään estämään tuotteen vioittuminen valmistusprosessin aikana. Analyysia voidaan käyttää myös suunnitteluvaiheen laadunvarmistuksessa. Toista FMEA-analyysin päätyyppiä, PFMEA:ta käytetään valmistusprosessin vika- ja vaikutusanalysoinnissa. Tämän tarkoituksena on karsia pois kaikki virheiden aiheuttajat. PFMEA:n avulla pyritään myös kartoittamaan, kuinka valmistusta pitäisi ohjata ja valvoa, jotta virheiltä vältyttäisiin. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 30-31.)

FMEA-analyysissa voidaan jokaisen vian jokaiselle alkusyyllle laskea riskin suuruutta kuvaava lukuarvo, niin kutsuttu Risk Priority Number (RPN). Tämä lukuarvo voidaan laskea seuraavan yhtälön mukaan: $RPN = \text{vikatiheys} * \text{vakavuusaste} * \text{löydettävyys}$. Yhtälössä vikatiheys tarkoittaa vikatyypin esiintymistiheyttä tietyn suuruudessa erässä. Tämän vikatiheyden määrittäminen voidaan selvittää monin eri tavoin. Taulukossa 1 on esitetty niin kutsuttu Fordin asteikko. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 30-31.)

Taulukko 1. Fordin asteikko vikatiheyden määrittämiseen. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 30)

ESIINTYMISTODENNÄKÖISYYS	VIKATIHEYS
1 : 100 000	1
1 : 20 000 – 1 : 10 000	2 – 3
1 : 2 000 – 1 : 1 000 – 1 : 200	4 – 5 – 6
1 : 100 – 1 : 20	7 – 8
1 : 10 – 1 : 2 tai suurempi	9 – 10

Vakavuusasteen määrittelyssä voidaan käyttää esimerkiksi Fordin asteikkoa (taulukko 2). Se miten vakavaksi virhetyyppi koetaan, määräytyy käsittelijän/käyttäjän mukaan. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 30-31.)

Taulukko 2. Fordin asteikko vakavuusasteen määrittämiseen. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 30.)

VAKAVUUSASTE	VAKAVUUSASTE
Ei vaikutus tuotteeseen tai prosessiin	1
Vähäinen vaikutus	2 – 3
Tuotteen tai prosessin toimintahäiriö	4 – 5 - 6
Suuri toimintahäiriö tuotteessa tai prosesseissa	7 – 8 - 9
Henkilövahinkoriski	10

Aiemmin esitetystä yhtälöstä löydettävyydellä tarkoitetaan sellaista todennäköisyyttä, että mahdollinen virhe havaitaan jo itse valmistusprosessin aikana. Seu-

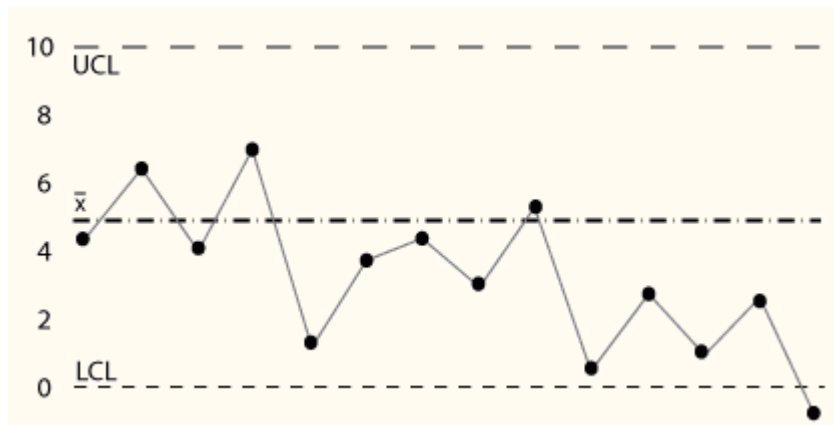
raavassa taulukossa (taulukko 3) on esitettyä Fordin asteikko löydettävyydelle. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 30-31.)

Taulukko 3. Fordin asteikko löydettävyydelle. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 30.)

LÖYTYMISTODENNÄKÖISYYS (%)	LÖYDETTÄVYYS
99,99	1
99,97	2 – 3
98	4 – 5 - 6
95,4	7 – 8
68,3	9 – 10

Risk Priority Number (RPN) on painoarvoluku, joka ilmaisee virheen aiheuttajien kriittisyyden. Tämän luvun perustella korjaukset voidaan kohdistaa suurimpiin riskeihin. Toimenpiteitä ei tarvita, jos RPN-luku on alle 60. Sen sijaan jos luku on yli 120, vaaditaan välittömiä toimenpiteitä. Tällaisissa tilanteissa SPC on usein hyödyllinen työväline. Sen avulla voidaan pienentää RPN:n vikatiheyttä ja löydettävyyttä, tosin vakavuusastetta ei kuitenkaan pystytä muuttamaan. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 30-31.)

Valvontakortit. SPC:n tärkeimmäksi työvälineeksi voidaan kutsua valvontakortteja (kuvio 16). Näiden valvontakorttien avulla voidaan valvoa ja seurata prosessia ja siinä tapahtuvia muutoksia. Valvontakortit voidaan jakaa kahteen päätyyppiin: muuttujien eli mitattavien suureiden valvontaan tarkoitettuihin kortteihin ja kortteihin, jotka valvovat attribuuttitietoa (on/ei). Muuttujilla tarkoitetaan jotakin tiettyä tuotteen tai prosessiparametrin ominaisuutta, joka voidaan mitata ja ilmaista numeerisena suureena. Muuttujilla voidaan ilmaista esimerkiksi tuotteen fyysistä mitaa, painoa tai lämpötilaa. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 21.)



Kuvio 16. Esimerkki valvontakortista. (Laatuakatemia 2010.)

Näiden muuttujien valvontakorttien perusajatuksena on valvoa prosessin tilaa piirtämällä käyrä prosessissa otettujen näyte-erien perusteella. Valvontakortit sisältävät niin kutsutut valvontarajat, jotka yleensä ovat kolmen standardipoikkeaman etäisyydelle keskiarvosta. Näiden valvontarajojen perusteella tiedetään, jos jokin valvontakäyrän piste on valvontarajojen ulkopuolella. Tällaiset poikkeamat johtuvat häiriötekijöistä. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 21.)

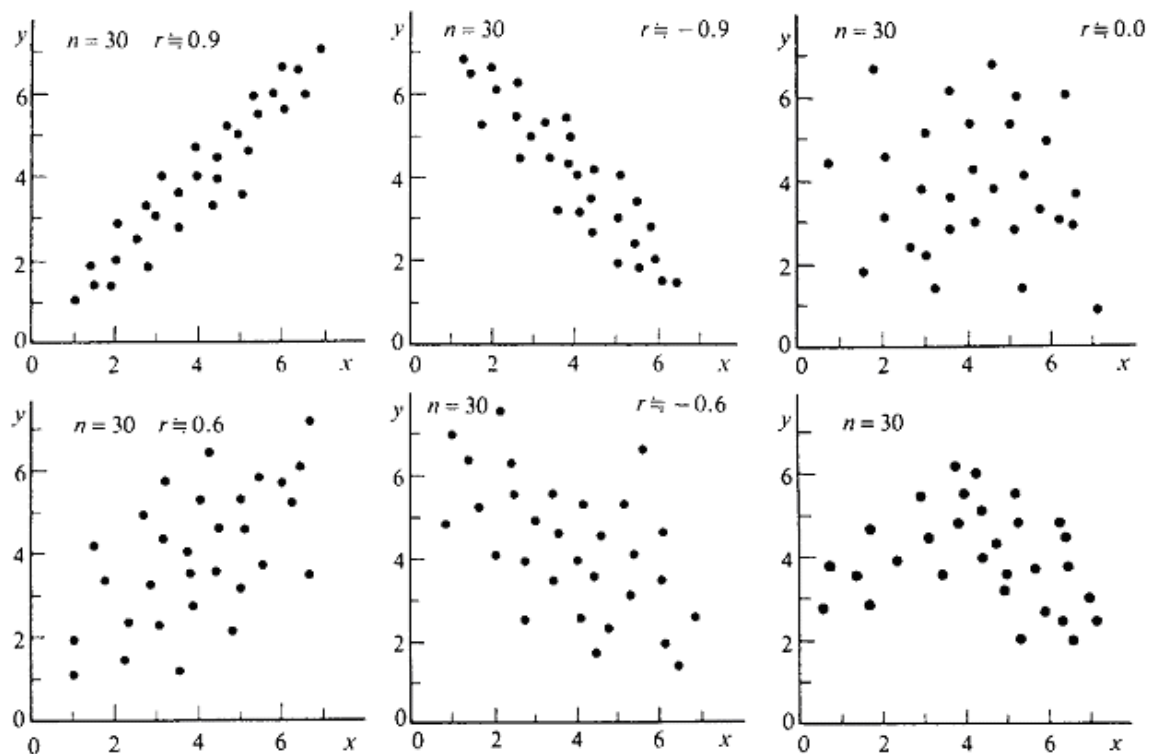
Muuttujien SPC-valvontaan suunniteltuja valvontakortteja on useita erilaisia. Tärkeimpinä valvontakorttityyppeinä voidaan mainita:

- X-R-kortit,
- X-S-kortit ja
- Mediaanikortit. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 21.)

Hajontadiagrammit. Kun halutaan tutkia kahden toisiinsa liittyvän muuttujan välistä korrelaatioita, käytetään hajontadiagrammia. Näitä muuttujia voivat olla laatuominaisuus ja siihen vaikuttava tekijä, kaksi toisiinsa sidoksissa olevaa laatuominaisuutta tai kaksi tekijää suhteessa yksittäiseen laatuominaisuuteen. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 19.)

Hajontadiagrammin käyttö muistuttaa usein syy-seuraus-analyysiä. Hajontadiagrammin avulla pystytään selvittämään muuttujien keskinäinen riippuvuus. Tällaista muuttujien välistä korrelaatioanalyysiä tehdessä tulee ensimmäisenä tutkia onko diagrammissa epäsäännöllisiä pisteitä. Yleinen oletus on, että kaukana pääjoukosta sijaitsevat pisteet ovat mittausvirheitä tai ne saattavat johtua muuttuneista pro-

sessiolosuhteista. Nämä pisteet tulee jättää korrelaatioanalyysin ulkopuolelle. Tällaiset pisteiden poikkeamien aiheuttamat tekijät on kuitenkin selvitettävä. Muuttujien väliset riippuvuussuhteet saadaan selville, kun tarkastellaan jäljelle jääneitä pisteitä. Kuviossa 17 voidaan kahdessa ylimmässä tapauksessa nähdä muuttujien välillä selvä riippuvuussuhde. Kuvion keskimmaisissa diagrammeissa on mahdollisesti jonkinasteinen korrelaatio. Mutta alimmaisissa diagrammeissa ei muuttujien välillä ole havaittavissa korrelaatioita. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 19.)

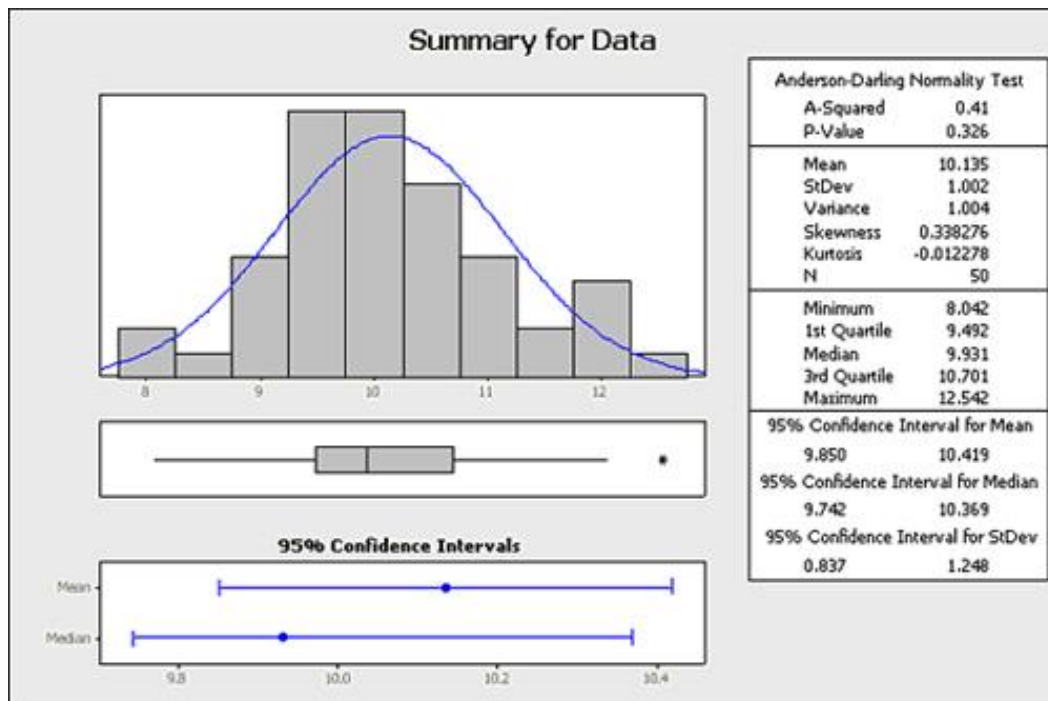


Kuvio 17. Erilaisia hajontadiagrammeja. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 19.)

Hajontadiagrammien käyttö voidaan jakaa seuraavan vaihejaon mukaan:

- Ensin valitaan riippuva ja riippumaton muuttuja. Näiden muuttujien valinnassa voidaan hyödyntää syy-seuraus-analyysiä.
- Tämän jälkeen suunnitellaan tiedonkeruu.
- Laaditaan niin kutsuttu koesuunnitelma. Tarkastelussa käytettävät riippumattomat muuttujat valitaan.
- Kerätään edellä mainittua valintaa vastaavat riippuvan muuttujan arvot (kokeet) ja talletetaan tulokset.
- Talletetut tulokset piirretään hajontadiagrammin muotoon.
- Diagrammi analysoidaan. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 19.)

Histogrammi. Laatumenetelmistä yksi hyvin tärkeä menetelmä on histogrammi (kuvio 18). Sitä käytetään etenkin suurten näytemäärien sisältämän tiedon esittämisessä. Kun Pareto-analyysi muodostaa luokitellun datan (esim. virhe tai reklamaatioluokkien) analyysin, histogrammissa muutetaan jatkuva muuttuja (aika, pituus, paino) luokkamuuttujiksi. Histogrammissa mittausravot esitetään vaakakselilla, kun taas pystyakselilla esitetään kunkin mittausravon esiintymistiheys. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 16.)



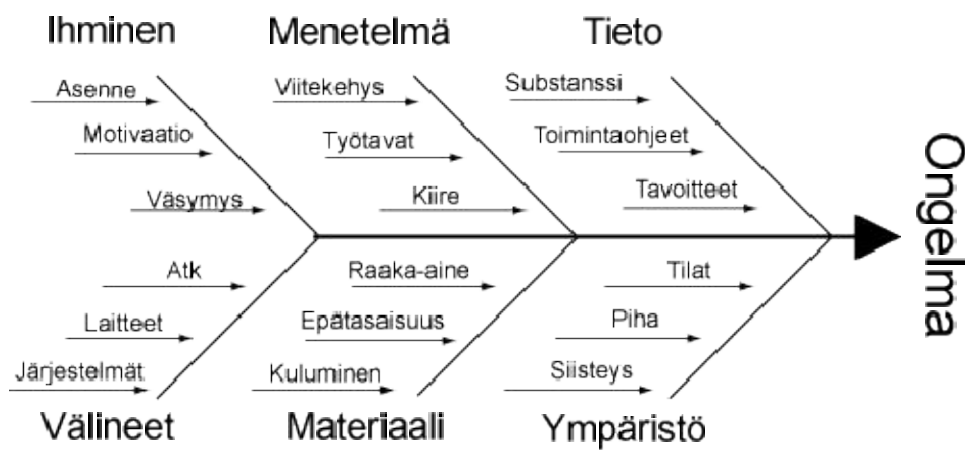
Kuvio 18. Graafinen yhteenveto datasta. (Laadunperustyökalut 2007.)

Syy-seuraus-diagrammi. Prosessia systemaattisesti tarkasteltaessa voidaan löytää erilaisia syy-seuraus-suhteita. Nämä tietyt prosessin tulosuureet vaikuttavat prosessin lähtösuureisiin. Prosessin kehittämisen visuaalisena apuvälineenä käytetään syy-seuraus-diagrammia. Tätä diagrammia kutsutaan usein ulkonäkönsä mukaan kalanruotokuvioksi (Kuvio 19). (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 14.)

Syy-seuraus-diagrammi voidaan laatia seuraavasti:

- Tutkittavan prosessin laatumuuttajat määritellään. Tutkittava laatumuuttuja valitaan ja sille asetetaan realistinen tavoite.
- Oikeaan reunaan kirjoitetaan valittu laatumuuttuja ja piirretään kalanruotokaavio.

- Pääruotojen kärkiin kirjoitetaan kaikki kerätyt laatuominaisuuteen ensisijaisesti vaikuttavat syyt.
- Ensisijaisiin syihin (pääruotoihin) vaikuttavat syyt (toissijaiset syyt) kirjataan keskikokoisten ruotojen kärkiin. Sen jälkeen näihin vaikuttavat syyt kirjataan pikkuruotoihin.
- Diagrammi analysoidaan ja sen jälkeen ryhdytään tarvittaviin toimenpiteisiin. (Oulun yliopisto, [viitattu 2.9.2011], 14.)



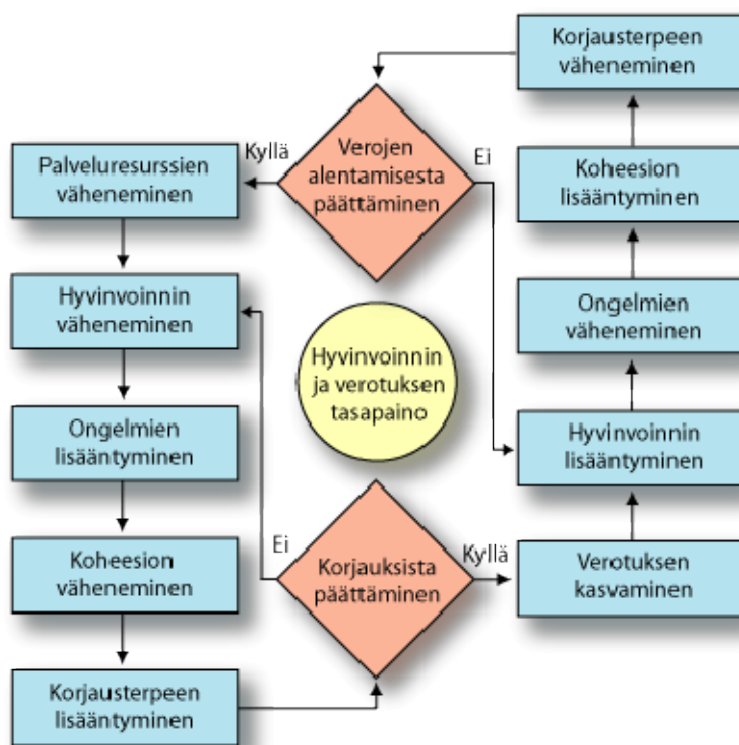
Kuvio 19. Syy-seuraus-kaavio. (Laatuakatemia 2010.)

Vuokaavio. Toisiinsa liittyvien toimintojen ketjua kutsutaan prosessiksi, joka voidaan kuvata vuokaaviona. Vuokaaviossa prosessin keskeiset vaiheet kuvataan nuolilla ja muuttujia kuvaavilla symboleilla. Vuokaaviossa huomioidaan kaikki prosessin kannalta olennaiset vaiheet. Tämä auttaa havainnoimaan erilaisia tapahtumaketjuja ja löytämään niistä mahdollisia korjauskohteita. Kuvio mahdollistaa ja tukee kohteen tarkastelua ja siitä käytävää keskustelua. Se auttaa myös havainnoimaan epäkohtia ja viiveitä. (Laatuakatemia 2010.)

Prosessin eri vaiheiden kehittämisen tukena käytetään vuokaaviota. Prosessia kuvattaessa on tärkeää kuvata prosessi sellaisena kuin se on nyt ja sellaisena, millaisena sen halutaan jatkossa olevan. Tämän lisäksi prosessia voidaan kuvata sellaisena, kuin se on esitetty ohjeissa ja sellaisena, kuin se käytännössä toimii, etenkin jos näiden välillä on eroja. (Laatuakatemia 2010.)

Prosessikuvausta voidaan hyödyntää rajoituksetta. Vuokaaviona voidaan kuvata kaikenlaisia tapahtumaketjuja, kuten liiketoimintaprosessia, tuotteen valmistusprosessia, terapiaprosessia, sairauden etenemisprosessia, palveluprosessia tai esimerkiksi jonkun yhteiskunnallisen ilmiön syntyprosessia. Prosessikuvauksessa on kuitenkin muistettava, ettei kuvaus ole sama kuin kuvauksen kohde. Kuvauksella ei voida kuvata jonkun tapahtuman monimutkaisuutta tai työn yksilöllistä vaihtelevuutta. Mutta tällaisissakin tapauksissa vuokaaviolla voidaan kuitenkin luoda ja kehittää yhtenäistä toimintakulttuuria, sekä varmistaa prosessin onnistuminen. (Laatuakatemia 2010.)

Eri toimintaympäristöissä ja atk-ohjelmissa vuokaavioiden muuttujien symbolit vaihtelevat. Tapahtumaa kuvaava neliö ja valintaa kuvaava vinoneliö ovat vuokaavion tärkeimmät symbolit. Kuviossa 20 on esitetty vuokaavio erilaisine symboleineen. (Laatuakatemia 2010.)



Kuvio 20. Vuokaavioesimerkki. (Laatuakatemia 2010.)

5.2 Analysointi SPC:n avulla

Prosessikartta. Liitteessä 2 on kuvattuna prosessikartta Alajärven sandwich-paneeli tehtaan liimausprosessista. Prosessikartasta luotiin mahdollisimman täydellinen. Kartta käsitteli liiman kulkua prosessissa, aina liimavarastosta liiman leviytykseen saakka. Prosessikarttaa työstettiin yhdessä tiimin kanssa, joka koostui tuotannon, kunnossapidon ja tuotekehityksen henkilöistä. Henkilöiden kanssa käytiin aluksi läpi SPC:n perusteita, jotta he oppisivat ymmärtämään prosessin kaikki eri vaiheet.

Tarkoituksena oli oppia tunnistamaan prosessin potentiaaliset parannuskohteet, joita ovat esimerkiksi:

- oppia tunnistamaan ja eliminoimaan arvoa tuottamattomat vaiheet
- oppia yhdistämään toimintoja
- pyrkiä käyttämään juurisyitä apuna analysoinnissa.

Liimausprosessista kirjattiin ylös ne prosessimuuttujat (X) ja vastemuuttujat (Y), joista dataa kerätään, ja joista sitä tulisi kerätä. Prosessimuuttujien päävaiheiksi kirjattiin liimavarasto, liimauslaitteisto ja liimanlevitystrapetsi. Prosessin tuotoksiksi määriteltiin sandwich-paneelien tavoitteet, jotka on esitetty tuotteen laadulle ja hukalle. Tämän jälkeen listattiin prosessiin vaikuttavat parametrit (x) päävaiheittain. Nämä parametrit arvioitiin neljän luokituksen mukaan.

Seuraavaksi olen esitellyt prosessimuuttujat erillään prosessikartasta. Listauksista käy ilmi ne parametrit, jotka on luokiteltu kriittisiksi prosessin onnistumisen kannalta. Nämä parametrit on merkitty lyhenteellä **Cr**. Seuraavien listauksien yhteydessä käsittelen tarkemmin näitä kyseisiä parametreja.

- liimavarasto
 - käsittely trukilla (S)
 - konttien varastointi (S, **Cr**)
 - konttien kannen avaaminen (S, N)
 - silikageeli kovetekontteihin (S, **Cr**)
 - sekoittajat hartsikontteihin (S, **Cr**)
 - konttien liittäminen putkistoihin (S, **Cr**)

- hartsin ja kovetteen pumpput (C)
- hartsin ja kovetteen putkien lämmitys (C, **Cr**).

Konttien varastoinnissa olisi tärkeää, että aiemmin saapuneiden polyoli- ja isosyanaattitoimituserien raaka-aineet käytettäisiin pois, ennen kuin uudet erät otetaan käyttöön. Jokaisella liimatoimittajilla on omat suosituksensa liimojen viimeisen eräpäivän suhteen, minkä jälkeen niiden toimivuus mahdollisesti heikkenee.

Isosyanaattikontteihin tulee asettaa silikageelipatruunat käyttöönotetun kontin kanteen, koska se auttaa keräämään kosteuden pois konttien sisältä. Ilman silikageelipatruunaa putkistoihin pääsee kerääntymään kosteutta, joka on haitallista hartsin ja isosyanaatin kunnolliselle reaktiolle. Toinen häiriötekijä, joka voi ilmaantua on kovettuneet isosyanaattikappaleet. Jos nämä kappaleet läpäisevät suodattimet, ne voivat tukkia putkistot ja suuttimet.

Hartsikontteihin tulee asettaa sekoittajat, kun ne otetaan käyttöön. Sekoittajien tehtävänä on homogenisoida polyoli. Sekoittimien tulee pyöriä 500 - 1500 kierrosta/minuutissa. Kun polyoli- ja isosyanaattikontit on asetettu liitettäväksi putkistoihin, tulee putket asettaa huolella kontteihin. Putkistoihin ei saa joutua kovettuneita jäänteitä, koska ne aiheuttavat tukoksia putkistoissa. Lisäksi huonosti asetetut putkistot voivat vuotaa perusaineita lattialle.

Liimavarastosta on useita metrejä itse liimalaitteistoon, joten tällä matkalla on hyvä lämmittää perusaineita etukäteen. Putkistoihin on asetettu lämpövastukset ja niiden termostaatti on säädetty tiettyyn lämpötilaan. Näin varmistetaan perusaineiden lämpötila, myös ruiskutettaessa liimaa pellille. Jos lämmitykset ovat pois päältä, liiman toimivuus heikkenee.

- liimauslaitteisto
 - remonttимиesten toiminta (S, **Cr**)
 - paineensäätö
 - suodattimien vaihto/tarkistus
 - laitteiston kunto (S, C)
 - päivätankkien lämmittimet
 - kierrätyspumppu (POL)

- päivätankkien lämpötilat (C, **Cr**)
- asetukset (C, **Cr**)
 - kierrätyspumpun paineet
 - putkistojen paineet
 - hartsin ja kovetteen ominaispainot
 - hartsin ja kovetteen seossuhde
- hartsi ja kovete (N).

Remonttimesten toiminta on asetettu kriittiseksi, koska heidän tulee huolehtia liimalaitteiston paineensäädöistä eri tuotantonopeuksien mukaan. Lisäksi heidän tulee huolehtia liimaputkistojen suodattimista, etteivät ne ole tukossa. Tarvittaessa heidän tulee vaihtaa uudet suodattimet.

Päivätankkien lämpötilojen tulee pysyä asetetuissa arvoissa, koska liian kylmä perusaine ei toimi riittävän hyvin. Kylmänä perusaineet ovat kankeita, kun taas lämpiminä ne ovat juoksevampia. Kierrätyspumpun ja putkistojen paineet, hartsin ja kovetteen ominaispainot, sekä hartsin ja kovetteen seossuhteet ovat kriittisiä, koska näiden asetusten ollessa väärin liimaus ei toimi.

- koneenkäyttäjän toiminta (C, **Cr**)
 - suuttimen kulma
 - levitysalue (liimarajat)
 - trapetsin nopeus ja rajat (S)
 - liimamäärä (S)
 - trapetsien etäisyydet puristimesta (S)
 - linjan nopeus
- laitteiston kunto (C, **Cr**)
 - trapetsin johteet
 - suuttimet (tukos, kuluminen, kulma)
- muut asetukset (C, **Cr**)
 - letkun lämmittimet (hartsi ja kovete)
- hartsin ja kovetteen ”laatu” (C, **Cr**).

Koneenkäyttäjä on tärkeässä roolissa liimausprosessissa. Hänen vastuullaan on seurata liimauksen onnistumista. Tarvittaessa hänen tulee muuttaa suuttimien

kulmaa oikeanlaisen levityksen saamiseksi. Levitysalue tulee rajata riittävän lähelle pellin reunoja, varoen kuitenkin ohiruiskutusta. Linjan nopeus tulee pysyä määrättyssä tavoitenopeudessa. Jos linjaa ei pystytä ajamaan maksiminopeutta, niin syy täytyy selvittää vuorotyöjohtajan kanssa.

Laitteistosta kriittisiksi on määritelty trapetsien johteet. Johteiden ollessa kuluneet, tai muuten huonokuntoiset, ne voivat aiheuttaa liimaukseen häiriöitä peiton suhteen. Suuttimien puolestaan tulee olla aina kunnossa, sillä tukokset, kulumiset ja asetettu kulma heikentävät liimausta.

XY-matriisi. XY-matriisiin (Liite 3) yläosaan kirjattiin kaikki ulostulomuuttujat (y), jotka saatiin prosessikartasta. Tiimin jäsenet pisteyttivät jokaisen ulostulon numeerisesti käyttäen asteikkoa yhdestä kymmeneen. Tiimin jäsenien mielestä kriittisin output sai suurimman pistemäärän ja vähiten kriittisin pienimmän pistemäärän. Pisteiden antamisen perusteena olivat tiimin aiemmat kokemukset ulostulojen vaikutuksesta liimausprosessiin. Tämän jälkeen listattiin prosessikartasta kaikki prosessiin vaikuttavat tekijät (x), jotka voivat vaikuttaa ulostuloon. Nämä pisteytettiin asteikolla 1, 3, tai 10 sen mukaan, kuinka paljon x vaikuttaa y:hyn. Pisteet annettiin tiimin keskuudessa yhteistuumin.

Kun pisteet oli saatu jokaiselle inputille, koottiin pisteet yhteen riveittäin ja laskettiin prosentuaalinen osuus kokonaispistemäärästä. Tämän jälkeen output-muuttujat koottiin yhteenvetona omaan taulukkoon korkeimmasta asiakasprioriteettipisteistä alimpaan. Toiseen taulukkoon koottiin input-muuttujat korkeimmasta pistemäärästä pienimpään. Lopuksi muuttujat priorisoitiin pisteiden avulla, joihin tiimin tulisi keskittyä luodessaan FMEA-analyysia.

FMEA. Liitteiden 6 - 7 FMEA-tilukoihin pyrittiin pääsääntöisesti valitsemaan XY-matriisissa korkeimmat pisteitä saaneet muuttujat (input). Nämä olivat suuttimet ja päivätankkien lämmittimet. Tiimin keskuudessa pohdittiin myös muita korkeita pisteitä saaneita kohtia. Nämä kohdat olivat sellaisia, joihin oli jo toisten projektien aikaansaannoksina tullut selvyyksiä, joten niitä ei lähdetty tarkastelemaan. Suuttimien ja päivätankkien lämmittimien lisäksi tiimi valitsi listalta tarkastelun kohteeksi letkun lämmittimet (hartsit ja kovete) sekä kierrätyspumpun.

Tarkastelu aloitettiin tiimin kanssa suuttimista, joiden vikamuodoksi valittiin ensin ohiruiskutuksen. Tämän vikamuodon seurausvaikutukseksi laitettiin liimahukka, koska ohiruiskutuksesta syntyy aina pieni määrä hukkaa. Seuraavaksi täytyi antaa pisteytys liimahukan merkitykselle. Liitteessä 13 on esiteltynä FMEA:n pisteytystaulukko, jossa on eritelty eri vaiheiden pisteytykset. Kun olimme saaneet annettua pisteet, vian mahdolliseksi syntymissyiksi valittiin trapetsin asetusrajat ja se pisteytettiin. Tämän jälkeen mietittiin vielä pisteyttäen, kuinka edellä mainittuja asioita seurataan ja vastaukseksi saatiin silmämääräinen seuranta. Annetut pisteet kerrottiin keskenään, jolloin saatiin yhteistulos riskilukuun.

Tiimin kanssa jatkettiin edellä mainituilla tavoilla, muuttamalla vain vian mahdollisia syntymissyitä, kunnes kaikki löydetyt syyt oli saatu kirjattua. Tämän jälkeen vaihdettiin vikamuoto ja seurausvaikutukset ja käytiin läpi niiden mahdolliset syntymissyyt. Kun suuttimet, päivätankkien lämmittimet, letkun lämmittimet ja kierrätyspumppu oli käyty läpi, mietittiin korjaavia toimenpiteitä.

Kirjasimme ylös seuraavat toimenpiteet:

- Suuttimien osalta tulee tehdä erilaisia kokeiluja liimalaitevalmistajan laboratoriossa. Näiden kokeilujen tuloksia tulisi myös hyödyntää tuotannossa.
- Päivätankkien lämmittimiin tulee pyytää korjausehdotusta liimalaitevalmistajalta. Teho riittää nykyisellään, muttei siirry hartsiin ja kovetteeseen.
- Letkun lämmittimet eivät pidä lämpöä asetetulla tasolla (liitteet 9 - 10). Liimalaitevalmistajaa pyydetään analysoimaan vikaa ja korjaamaan tilanne.
- Kierrätyspumppu on vaihdettava uudentyypiseen.

Lisäksi tultiin siihen tulokseen, että tuotannon johdon on käytävä työohjeet läpi ja niitä on päivitettävä tarkemmalle tasolle. Tutkimuksen myötä näihin työohjeisiin on pyritty löytämään parannusehdotuksia.

5.3 Liimalaitteen käyttö ja huolto

Edellä mainittujen asioiden lisäksi päätin tutustua paremmin nykyisen SPA-tuotannon liimausprosessin käyttö- ja huolto-ohjeisiin. SPA-tuotannossa suorite-

taan kerran viikossa huoltotoimenpiteet yhdessä kunnossapidon sekä tuotannon työntekijöiden kanssa. Huolto-ohjeet on tehty laitevalmistajan ohjeiden mukaisesti, mutta niissä ei ole otettu huomioon päivittäisiä suosituksia.

Laitevalmistaja suosittelee tarkastamaan tuotannon aikana kerran päivässä painesäiliöiden sekä hydraulikoneikkojen tasot ja kaikki erotinastiat. Lisäksi suositukseen kuuluu tarkistaa kolme kertaa päivässä komponenttipaineet, sekoitussuhde ja purkausteho. Nämä tarkistukset tulisi tehdä aamuisin tuotannon käynnistyksen yhteydessä, iltapäivisin ja iltaisin. Sekoituspää tulee huoltaa säännöllisesti öljymällä neula.

Tuotannon alussa tulee tarkistaa esikuormitus, eli ensimmäinen ruiskutuksen laukaisu. Tällöin voidaan havainnoida esipaine, sekoitussuhde ja purkausteho, jotka säätyvät oikealle tasolle kaiken ollessa kunnossa. Jos esimerkiksi paineet eivät ole riittävällä tasolla, ruiskutusjäljestä tulee heikko ja paineet voidaan havainnoida graafisesta näytöstä. Ruiskutuksen jälkeen tulee aina muistaa puhdistaa ulostuloaukko räteillä.

Tuotannon keskeyttäminen väliaikaisesti enintään kuudeksi tunniksi (esimerkiksi lounastauko) ei vaadi erillisiä toimenpiteitä. Materiaalit kiertävät komponenttikierroissa ja lämmityslaitteet pitävät materiaalit työskentelylämpötilassa. Pidempien tuotantokatkosten yhteydessä (kuusi tuntia tai enintään kolme päivää kestävätkeskeytykset) liimalaitteisto on kytkettävä valmiustilakäyttöön. Materiaaleja kierrätetään asetetuissa jaksoissa. Jos tuotannon keskeyttäminen jatkuu yli kolme päivää, niin liimalaitteisto on kytkettävä pois päältä.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Mineraalivillojen vaikutukset. Tässä tutkimuksessa koesuunnitelmasta olisi tullut aivan liian suuri ja nämä kokeet olisivat haitanneet oleellisesti itse tuotantoa. Muuttujien hallinta olisi ollut hankalaa ja aikaa vievää. Päätöstä tuki Ruukin asiantuntijan johtopäätös mineraalivilloista, että tulee olla varmoja sandwich-paneeleissa käytettävien ydinmateriaalien riittävästä laadusta. Sitä ennen ei kannata yrittää kehittää prosessia tuotantoa häiritsevästi.

Mineraalivillat ovat lujuusominaisuuksiltaan varsin epästabiileja. Keskimääräiset lujuusarvot ovat vaatimusrajoissa, mutta hajonta on aivan liian suurta. Valmistajien tulee tehdä toimenpiteitä villan lujuushajonnan pienentämiseksi. Olennaisin havainto oli, että lujuushajonta peittää sandwich-paneeliin vaikuttavat muut mahdolliset tekijät. Mineraalivillojen pienemmän lujuushajonnan myötä voidaan luotettavammin kehittää prosessia.

Varastointi ja käyttöönotto. Liimavalmistaja suosittelee polyoli- ja isosyanaattikonttien varastointilämpötilaksi 15 °C - 25 °C, koska varsinkin isosyanaatti on arka kylmälle. Isosyanaatti alkaa kristallisoitumaan alle 15 °C lämpötilassa. Varastointiolosuhteet voivat olla vaihtelevat, mutta tutkimuksessa ei löydetty poikkeamaa. Tämä asia tulee kuitenkin ottaa huomioon työohjeita päivitettäessä. Työohjeissa tulee olla myös maininta, että polyolikontteihin tulee laittaa sekoittajat, kun ne nostetaan pumppuasemaan. Isosyanaattikontteihin tulee puolestaan asettaa silikaageeli-patruunat keräämään kosteutta ja uusia ne, kun niiden väri on muuttunut vaaleaksi. Myös liimantoimittajien ilmoittamat viimeiset käyttöpäivät tulee huomioida varastoinnissa siten, että aiemmat erät käytetään loppuun ennen uusia eriä.

Lämmitys. Havaintojen ja mittausten mukaan polyoli- sekä isosyanaattiputkistojen nykyinen lämmitysteho varaston ja liimalaitteiston välillä ei ole riittävä. Tarkoituksena on, että nämä perusaineet voitaisiin lämmittää etukäteen ennen päivätankkeja, koska päivätankkien lämmitysteho ei siirry riittävän hyvin polyoliin ja isosyanaattiin. Lisäksi letkulämmittimet suutinyksiköiden läheisyydessä ovat riittämättömät. Komponenttien jäähtyessä levitysjälki ja ehkä myös seossuhde heikkenee. Liimalaitevalmistajaan on otettava yhteyttä, että he miettivät parannustoimenpiteitä lämpötilojen korjaamiseksi. Todettiin myös, että polyolipuolen kierrätyspumppu on

vaihdeettava uudentyyppiseen. Käytössä olevan kierrätyspumpun käyttöikä ei ole tuotantoon nähden riittävä.

Laboratoriotestit. Tutkimustyön ohessa tehtiin liimalaitevalmistajan luona laboratoriotestejä käytössä olevalla liimalla, koska liima ei sekoitu kunnolla tuotantoprosessin sekoituskammiossa. Koska liima ei sekoittunut tarpeeksi hyvin, liima jäi pehmeäksi ja tarraavaksi. Testien aikana tähän ongelmaan ei löydetty parantavaa ratkaisua, eikä mikään säätömuutos tai sekoitinpään vaihto vaikuttanut olennaisesti lopputulokseen. Isosyanaatti erottui seoksesta ja sen pystyi havainnoimaan, kun levitetty liima oli tuoretta. Pellille levittämisen jälkeen liimaa sekoitettiin vielä käsin, jonka seurauksena saatiin aikaan liiman kemiallinen kovettumisreaktio. Tämä havainto oli laboratoriotestiviikon aikana merkittävin löytö, mitä ei oltu aiemmin osattu ottaa huomioon.

Tämän reaktion arvioitiin johtuvan siitä, että polyolin ja isosyanaatin sekoitus tapahtui liian nopeasti (liian nopea virtaus), jolloin sekoittuminen jäi kesken. Siitä syystä reaktio ei ollut täydellinen. Liima kovettui kunnolla myös, jos se ruiskutettiin kuppiin, tai jos se sekoitettiin ja levitettiin käsin. Myös kovettuneen liiman väri oli selkeästi erilainen (valkoisempi) verrattuna ruiskutettuun liimaan. Liimalaitevalmistajan ja liimatoimittajan tehtäväksi jäi miettiä ja kehittää ratkaisua tähän ongelmaan. Liiman paremman kovettumisen myötä odotetaan sen tuovan lisää lujuusominaisuuksia sandwich-paneelin lujuusominaisuuksiin.

Liiman levityksessä ilmeni muitakin ongelmia. Suuttimien kunto ja ruiskutuskulma vaikuttavat liiman tasaiseen levitykseen. Yksi parannus levityksen tarkkuuteen voisi olla, että käytettäisiin korkeaa esilämmityslämpötilaa pintapelleissä, mutta maksimissaan 35 °C lämpötilaa polyoliin ja isosyanaattiin. Suuttimien osalta tehtiin erilaisia kokeiluja liimalaitevalmistajan laboratoriossa. Näiden kokeilujen tuloksia tul- laan hyödyntämään tuotannossa.

Koneenkäyttäjä on tärkeässä roolissa liimausprosessissa. Hänen vastuullaan on seurata liimauksen onnistumista. Tarvittaessa hänen tulee muuttaa suuttimien kulmaa oikeanlaisen levityksen saamiseksi. Levitysalue tulee rajata riittävän lähelle pellin reunoja, varoen kuitenkin ohiruiskutusta. Linjan nopeus tulee pysyä mää-

rätyssä tavoitenopeudessa. Jos linjaa ei pystytä ajamaan maksiminopeutta, niin syy täytyy selvittää vuorotyöjohtajan kanssa.

Tuotannon olosuhteet. Liimavalmistajalta saadun tiedon mukaan kaksikomponentti-PUR-liima vaatii reagoinnin takia vähintään 40 - 45 RH%:n kosteuden. Kuiva ilma heikentää ja hidastaa liiman reaktiota joka suhteessa. Uudistuneessa sandwich-paneelituotannossa ilma oli erittäin lämmintä ja kuivaa, kun tehtiin mittauksia. Tuotannossa ei ollut RH%-mittausanturointia ja hallin sisätilan lämpöanturi puuttui. Sopiva mittausanturi hankittiin. Tämän jälkeen päätettiin rakentaa liimauspisteen ympärille suojakoppi sekä hankkia ilmaskostutin. Tavoiteolosuhteet asetettiin siten, että suojarakenteen sisäilman lämpötilaksi tuli 25-30°C ja ilmaskosteudeksi 65 RH%. Olosuhteet tulivat näillä toimenpiteillä stabiilimmaksi, joten prosessissa oli yksi muuttuja vähemmän.

Huoltotoimenpiteet. Remonttимиesten tulee huolehtia liimalaitteiston paineensäädöistä, eri tuotantonopeuksien mukaan. Lisäksi heidän tulee huolehtia liimaputkistojen suodattimista, etteivät ne ole tukossa. Tarvittaessa heidän tulee vaihtaa uudet suodattimet.

Laitevalmistaja suosittelee tarkastamaan tuotannon aikana kerran päivässä painesäiliöiden sekä hydraulikoneikkojen tasot ja kaikki erotinastiat. Lisäksi suositukseen kuuluu tarkistaa kolme kertaa päivässä komponenttipaineet, sekoitussuhde ja purkausteho. Nämä tarkistukset tulee tehdä aamuisin tuotannon käynnistyksen yhteydessä, iltapäivisin ja iltaisin. Sekoituspää tulee huoltaa säännöllisesti öljymällä neula.

Tuotannon alussa tulee tarkistaa esikuormitus, eli ensimmäinen ruiskutuksen laukaisu. Tällöin voidaan havainnoida esipaine, sekoitussuhde ja purkausteho, jotka säätyvät oikealle tasolle kaiken ollessa kunnossa. Esimerkiksi jos paineet eivät ole riittävällä tasolla, ruiskutusjäljestä tulee heikko ja paineet voidaan havainnoida graafisesta näytöstä. Ruiskutuksen jälkeen tulee aina muistaa puhdistaa ulostuloaukko räteillä.

Tuotannon keskeyttäminen väliaikaisesti enintään kuudeksi tunniksi (esimerkiksi lounastauko) ei vaadi erillisiä toimenpiteitä. Materiaalit kiertävät komponenttikierroissa ja lämmityslaitteet pitävät materiaalit työskentelylämpötilassa. Pidempien

tuotantokatkosten yhteydessä (kuusi tuntia tai enintään kolme päivää kestävät keskeytykset) liimalaitteisto on kytkettävä valmiustilakäyttöön. Materiaaleja kierrätetään asetetuissa jaksoissa. Jos tuotannon keskeyttäminen jatkuu yli kolme päivää, niin liimalaitteisto on kytkettävä pois päältä.

7 YHTEENVETO

Laadukas tuote rakentuu pienistäkin asioista. Valmistuksessa on tärkeää ottaa huomioon, että niin pienet kuin merkityksettömiltäkin tuntuvat asiat tehdään kunnolla ja perusteellisesti. Esimerkiksi liimausprosessissa seurataan liimauksen jälkeä tarvittaessa muuttamalla suutinkulmaa tai irtovillapölyn puhdistus ennen tuotannon aloittamista. Suuttimien kunnolla ja ruiskutuskuulmalla on vaikuttava vaikutus liiman tasaiseen levitykseen.

Tutkimuksen lähtökohtana oli selvittää ne tekijät, jotka vaikuttavat sandwich-paneelien liimauksen laatuun. Tarkoituksena oli kartoittaa liimauksen optimaaliset olosuhteet ja asetukset. Valmistusprosessissa tuotteen laatu ei muutu merkittävästi, kun koneenkäyttäjän säätämät parametrit pysyvät asetettujen parametrien rajoissa. Mielestäni tavoite kuitenkin täyttyi hyvin, sillä tutkimuksen aikana löytyi laatuun merkittävästi vaikuttavia tekijöitä.

Tutkimuksen aikana selvisi, että merkittävä laatuun vaikuttava tekijä oli paneelien ydinmateriaaleina käytettävät mineraalivillat. Mineraalivillat ovat lujuusominaisuuksiltaan varsin epästabiileja. Ruukin asiantuntijan selvityksen mukaan juuri lujuushajonta peitti sandwich-paneelin liimausprosessissa laatuun vaikuttavat muut mahdolliset tekijät. Mineraalivillojen keskimääräiset lujuusarvot olivat vaatimusrajoissa, mutta hajonta oli aivan liian suurta. Lujuushajonnan pienentämiseksi mineraalivillojen toimittajien tulee tehdä korjaavia toimenpiteitä. Vasta tämän jälkeen on mahdollista kehittää liimausprosessia ja sen seuranta.

Laboratoriotesteissä saatiin varmuus siitä, ettei liima sekoittunut kunnolla sekoituskammiossa. Tämä havainto oli laboratoriotestiviikon aikana merkittävin löytö, mitä ei oltu aiemmin osattu ottaa huomioon. Koska liima ei sekoittunut tarpeeksi hyvin liima jäi pehmeäksi ja tarraavaksi. Isosyanaatti erottui seoksesta ja sen pystyi havainnoimaan kun levitetty liima oli tuoretta. Pellille levittämisen jälkeen liimaa sekoitettiin käsin, jonka seurauksena saatiin aikaan liiman kemiallinen kovettumisreaktio. Tämän reaktion arvioitiin johtuvan siitä, että polyolin ja isosyanaatin sekoitus tapahtui liian nopeasti (liian nopea virtaus), jolloin sekoittuminen jäi kesken. Liima kovettui kunnolla, jos se ruiskutettiin kuppiin, tai jos se sekoitettiin ja levitettiin käsin. Myös kovettuneen liiman väri oli selkeästi erilainen (valkoisempi) verrat-

tuna ruiskutettuun liimaan. Tutkielman aikana tähän ongelmaan ei löydetty parantavaa ratkaisua, eikä mikään säätömuutos tai sekoitinpään vaihto vaikuttanut olennaisesti lopputulokseen. Suuttimien osalta tullaan tekemään erilaisia kokeiluja liimalaitevalmistajan laboratoriossa. Näiden kokeilujen tuloksia hyödynnetään tuotannossa.

Myös itse liimausprosessissa optimaalisten lämpötilojen löytäminen on tärkeää. Polyoli- ja isosyanaattiputkistoja, päivätankkeja sekä suutinyksiköihin meneviä letkuja tulee lämmittää tuotannon aikana. Komponenttien jäähtyessä levitysjälki ja ehkä myös seossuhde heikkenee. Tutkimuksen aikana mitattiin polyolin ja isosyanaatin lämpötilavaihteluja viikon ajan. Seurantamittauksen aikana meille selvisi, että tuotannon aikana polyolin ja isosyanaatin lämmöt vaihtelivat suuresti. Tutkimuksen aikana pyrittiin selvittämään lämpötilaeroihin vaikuttavia tekijöitä, mutta niihin ei saatu vielä tarkentavaa vastausta liimalaitevalmistajalta.

Sandwich-paneelituotannossa optimaalisten lämpötilojen lisäksi myös oikean ilmankosteuden löytäminen on tärkeää. Kosteampi ilma parantaa liiman vaahtoavuutta, kun taas kuiva ilma heikentää ja hidastaa liiman reaktiota joka suhteessa. Optimaalisen ilmankosteuden takaamiseksi liimauspisteen ympärille rakennettiin suojakoppi ja sisälle hankittiin siihen mitoitettu ilmankostutin. Tavoiteolosuhteet asetettiin siten, että suojarakenteen sisäilman lämpötilaksi tuli 25 - 30 °C ja ilmankosteudeksi 65 RH%. Olosuhteet tulivat näillä toimenpiteillä stabiilimmaksi, joten prosessissa oli yksi muuttuja vähemmän.

Vaikka tutkimus ei antanut yhtä selkeää vastausta siihen, miksi liimausprosessin lopputulos ei ole aina hyvä, antoi tutkimuksen rinnalla suoritettujen erilaisten tutkimukset ja niistä seuranneet toimenpiteet monia parannusehdotuksia liimausprosessiin. Tutkimuksen myötä myös työohjeita tullaan parantamaan ja päivittämään niin, että eri vuoroissa työskentelevillä työntekijöillä on samat toimintatavat, koskien esimerkiksi liimauslaitteiston eri parametreja. Laadukkaan tuotteen ja liimauslaitteiston toimintavarmuuden kannalta on syytä ottaa käyttöön myös päivittäiset huoltotoimenpiteet, viikoittain ja kuukausittain tehtävien toimenpiteiden lisäksi.

Mielestäni opinnäytetyöprosessi sujui hyvin ja asettamani aikataulun mukaan. Sain tutkimuksessani selville ne asiat, joita halusin selvittää työn edetessä. Yhteistyö on sujunut kohtalaisen hyvin eri tahojen kanssa. Opinnäytetyössäni sain soveltaa teoriassa sekä käytännössä opittua tietoa erittäin hyvin. Lisäksi työ antoi hyvän mahdollisuuden tutustua työkuvani mukaisiin edustajiin, tämä tuotti hyviä yhteistyökumppaneita ja ystäviä.

LÄHTEET

Ekman, B. 2011. FMEA koulutus. Koulutusmateriaali.

Hartshorn, S. R. 1986. Structural adhesives: Chemistry and technology. New York: Plenum press.

Heinonen, M. (toim.) 2008. Rautaruukki investoi 20 miljoonaa euroa uuden tehtaan rakentamiseen Alajärvelle. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Suomen rakennuslehti. [Viitattu 12.8.2011]. Saatavana: <http://www.rakennuslehti.fi/uutiset/uutiset/11820.html>.

Historia. 2010. [Verkkosivu]. Helsinki: Rautaruukki Oyj. [Viitattu 12.8.2011]. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/Tietoa-yhtiosta/Historia>.

Klempner, D & Sendjarevic, V. 2004. Polymeric Foams and Foam Technology. Hanser Publishers.

Konsernirakenne. 2010. [Verkkosivu]. Helsinki: Rautaruukki Oyj. [Viitattu 11.8.2011]. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/Tietoa-yhtiosta/Konsernirakenne>.

Kontaktikulma. PocketGoniometers. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 17.10.2011]. Saatavissa: <http://www.pocketgoniometer.com/main.php?cont=contactangle&lang=fi>.

Laadunperustyökälyt. 2007. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 28.9.2011]. Saatavissa: <http://www.qk-karjalainen.fi/?sivu=Artikkelit&id=85>.

Laatuakatemia. 2010. [Verkkosivu]. [Viitattu 28.9.2011]. Saatavissa: <http://www.kotiposti.net/tuurala/prosessit.htm>.

Leppkes, R. 2003. Polyurethanes. Translation RWS Translation Ltd., Bucks. Donauwörth: Ludwig Auer.

Mellin, I. 2010. Tilastollisen prosessin valvonnan perusmenetelmät: Tilastollisen prosessin valvonnan perusfilosofia. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 17.9.2011]. Saatavana: https://noppa.aalto.fi/.../Mat-2_4126_laadunvalvonnan_perusfilosofia.pdf.

Oulun Yliopisto: Tilastollinen prosessin ohjaus: perusteet ja menetelmät. [Verkkosivu]. [Viitattu 2.9.2011]. Saatavissa: <http://herkules.oulu.fi/isbn9514275209/isbn9514275209.pdf>

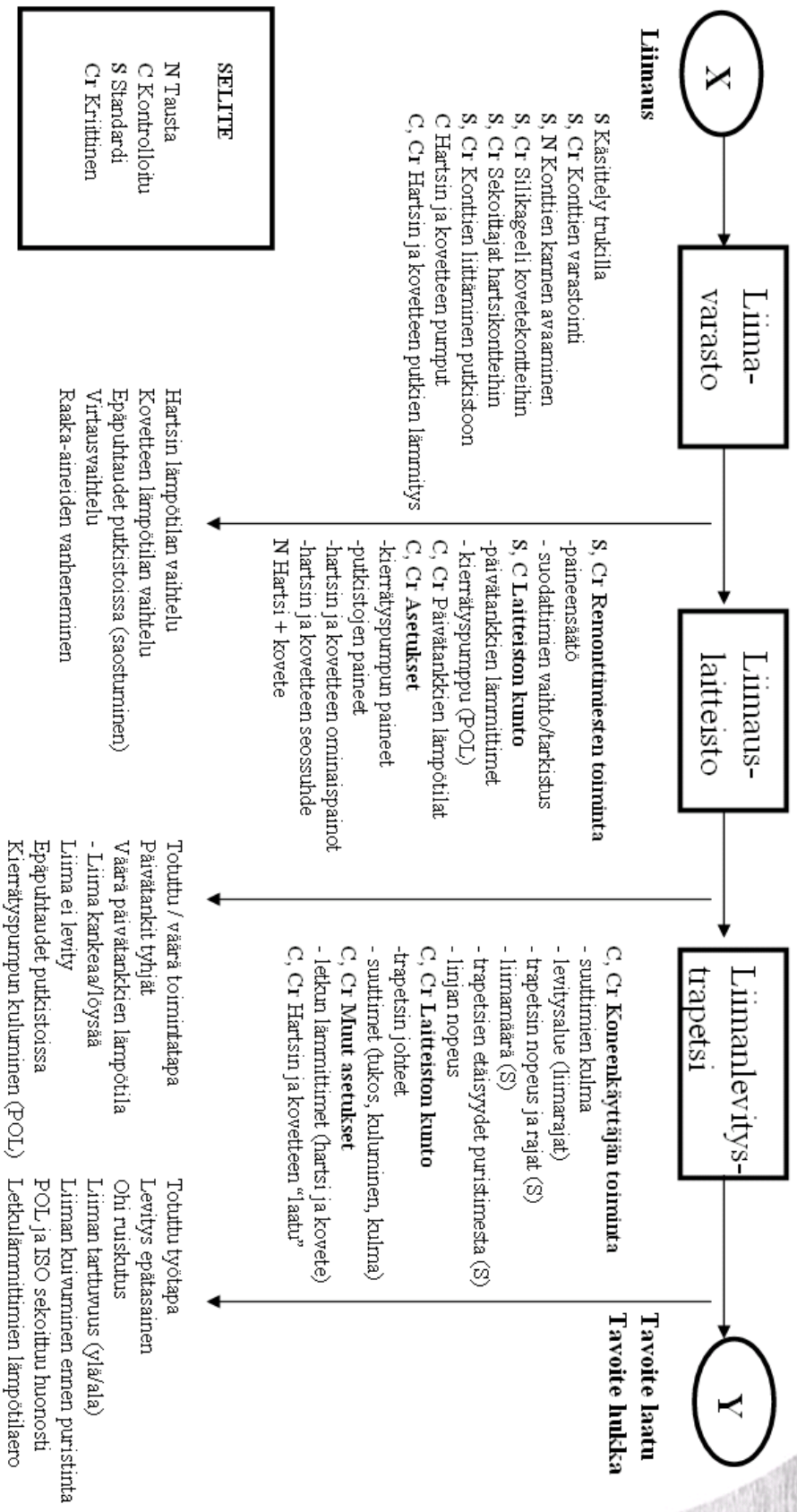
Pareto-analyysi. 2009. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 28.9.2011]. Saatavissa: <http://www.qualitas-forum.fi/Laadunty%C3%B6kalut/Paretodiagrammi/tabid/104/Default.aspx>.

- Pareto Chart Template. 2009. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 28.9.2011]. Saatavissa: <http://www.vertex42.com/ExcelTemplates/pareto-chart.html>.
- Rakennustuotteiden kelpoisuuden osoittaminen ja hyväksyntä. 2009. [Verkkosivu]. Helsinki: Helsingin kaupunki. [Viitattu 11.8.2011]. Saatavissa: http://www.helsinginseutu.fi/wps/wcm/connect/923a36804f6b8ccb9a12db79c2a64e6a/RAKENNUSTUOTTEIDEN_KELPOISUUDEN_OSOITTAMINEN_JA_HYVAKSYNTA.pdf?MOD=AJPERES&Imod=1980518434&CACHEID=923a36804f6b8ccb9a12db79c2a64e6a.
- Rautaruukki Oyj tilinpäätöstiedote 2010. 2010. [Verkkosivu]. Helsinki: Rautaruukki Oyj. [Viitattu 11.8.2011]. Saatavissa: <http://hugin.info/3013/R/1484920/420095.pdf>.
- Salomäki, R. 2008. Suorituskykyiset prosessit - Hyödynnä SPC. Tampere: Metalliteollisuuden Kustannus Oy.
- Sandwich-paneelit. 2010. [Verkkosivu]. Helsinki: Rautaruukki Oyj. [Viitattu 11.8.2011]. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Rakentamisen-ratkaisut/Sandwich-paneelit>.
- Szycher, M. 1999. Szycher's handbook of polyurethanes. Boca Raton: CRC Press.
- Thiele, L. 2007. Polyurethane Adhesives for Industrial Applications - A Progress Report. Germany.
- Tietoa yhtiöstä. 2010. [Verkkosivu]. Helsinki: Rautaruukki Oyj. [Viitattu 11.8.2011]. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/Tietoa-yhtiosta>.
- Yleistä polyuretaanista. 2003. [Verkkosivu]. Tampere: Uretek-Elastomer Oy. [Viitattu 11.8.2011]. Saatavissa: <http://www.uretek.fi/sivut/polyure.htm>.
- Ympäristöministeriön asetus rakennusten lämmöneristyksestä. 2008. [Verkkosivu]. Helsinki: Ympäristöministeriö. [Viitattu 27.8.2011]. Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/34163-C3-2010_suomi_221208.pdf.

LIITTEET

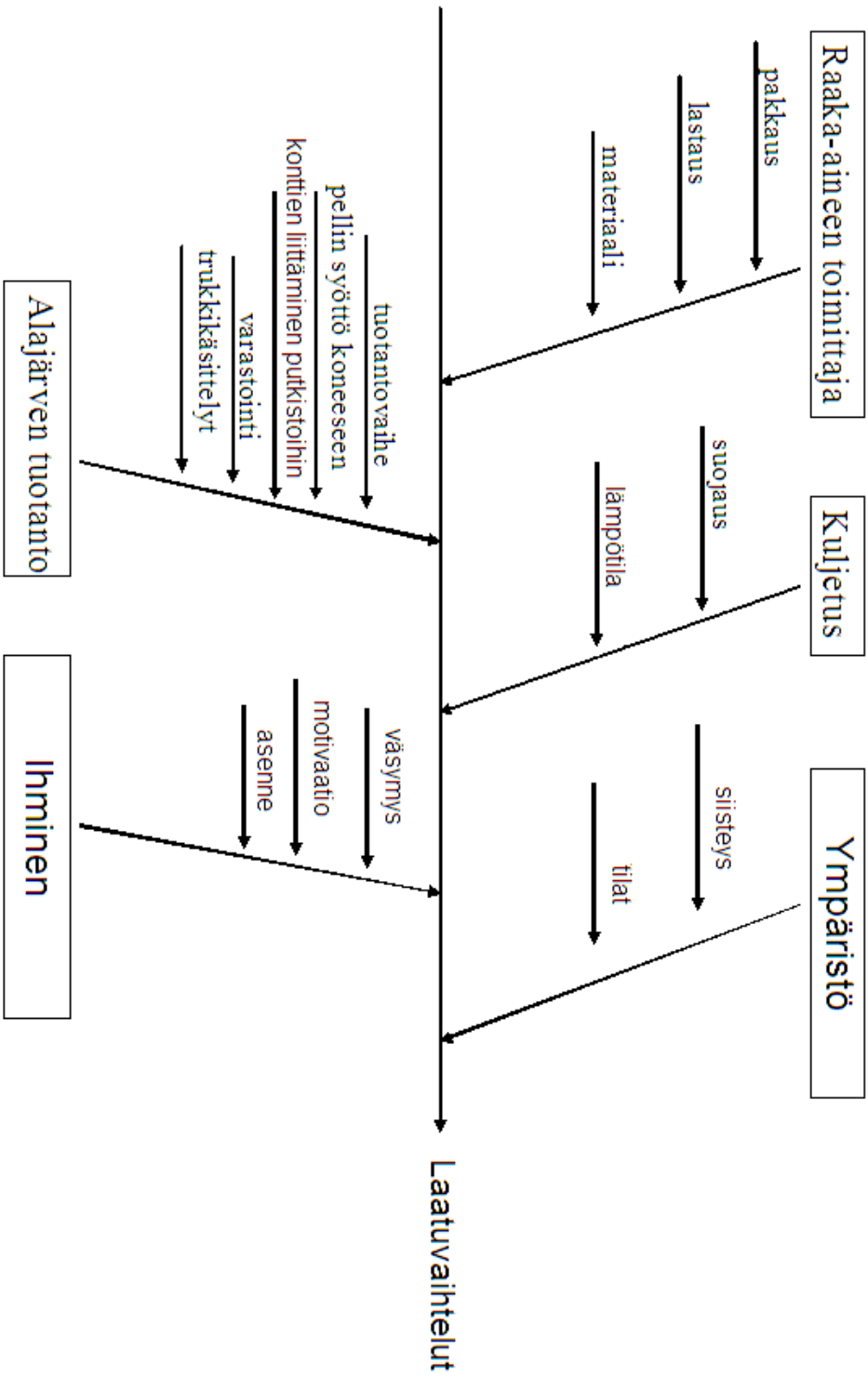
Liite 1 Tutkielman aikataulu.....	75
Liite 2 SPA liimauksen prosessikartta	76
Liite 3 Kalanruotokaavio.....	77
Liite 4 XY-matriisin pisteytys	78
Liite 5 XY-matriisin tulokset.....	79
Liite 6 FMEA	80
Liite 7 FMEA (jatkoa)	81
Liite 8 Liimatesti	82
Liite 9 Lämpötilan ja kosteuden vaikutus avoimeen aikaan.....	83
Liite 10 Kosteuskäyrästä	84
Liite 11 Letkulämmitin (isosyanaatti) ala- ja yläpuoli	85
Liite 12 Letkulämmitin (polyoli) ala- ja yläpuoli	86
Liite 13 FMEA pisteytystaulukko	87

Prosessikartta



LIITE 2 SPA liimauksen prosessikartta

LIITE 3 Kalanruotokaavio



XY-matriisin tulokset

Output muuttuja	Asiakasprioriteetti pisteet
Touutu / väärä toimintakapa	10
POL ja ISO sekoittuu huomosti	10
Väärä päiväntankkien lämpötila	10
Limä kankaa / löysää	10
Limä ei leviy	10
Leviygs epäasainen	10
Limän tarttuvuus (jäljälä)	10
Limän kuivuminen ennen puristinta	10
Virrasu vaihtelu	9
Leikkijämmitkimien lämpötilaero	8
Hartsin lämpötilan vaihtelu	8
Kovetteen lämpötilan vaihtelu	8
Epäpuhtaudet putkistoissa (saostuminen)	8
Raak-ainneiden vanheneminen	7
Oiviskutus	6
Kieräyspumpun kuluminen	1
Päiväntankit tujjät	1

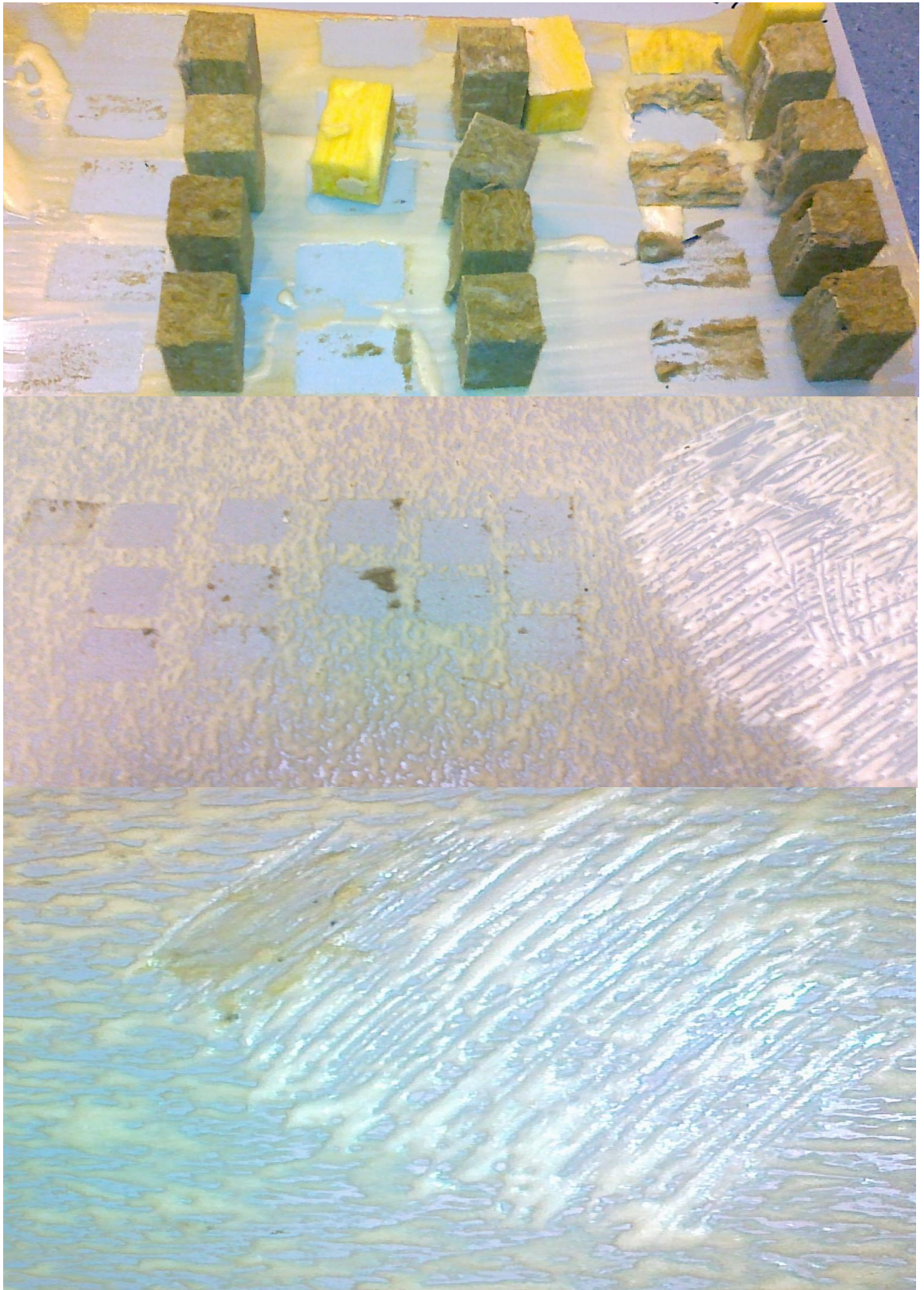
Input muuttuja	Pisteet	%
Suuttimet (tukos, kuluminen, kulma)	789	7.2%
Päiväntankkien lämmittimet	689	6.5%
Päiväntankkien lämpötilat	684	6.4%
Leikkun lämmittimet (hartsin ja kovete)	642	6.0%
Hartsin ja kovete	588	5.5%
Suuttimien kulma	516	4.8%
Putkistojen paineet	466	4.4%
Kieräyspumpun paineet	457	4.3%
Suodatimien vaihto / tarkistus	446	4.2%
Sekoittajat hartsikontereihin	436	4.1%
Paineensäätö	414	3.9%
Hartsin ja kovetteen seossuhde	406	3.8%
Konttien varastointi	403	3.8%
Trappesin nopeus ja rajat	390	3.7%
Silkkageeili kovetekontereihin	376	3.5%
Hartsin ja kovetteen putkien lämmitys	362	3.3%
Trappesien etäisyydet puristimesta	336	3.1%
Trappesien jotteet	316	3.0%
Limän nopeus	302	2.8%
Leviygsalue (limaaajai)	300	2.8%
Konttien kannen avasaminen	298	2.8%
Konttien liittämien putkistoon	251	2.4%
Hartsin ja kovetteen ominaispainot	226	2.1%
Hartsin ja kovetteen pumput	163	1.5%
Limamääsä	158	1.5%
Kieräyspumpu POL	154	1.4%
Käsitteily trukilla	136	1.3%

LIITE 5 XY-matriisin tulokset

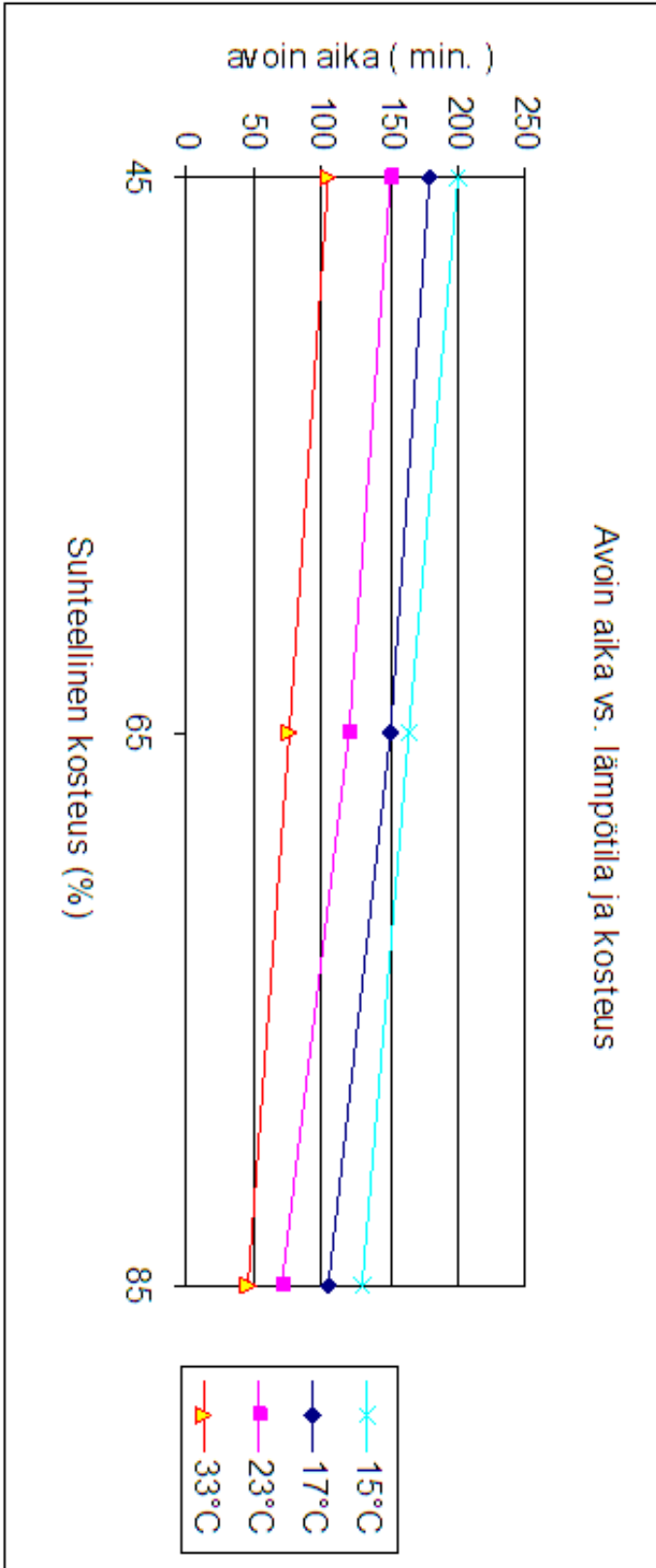
LIITE 6 FMEA

#	Prosessivaihe ja sen tarkoitus	Vikamuoto	Vian seurausvaiikutukset	Merkittisyys	Vian mahdoll. syntymissyyt	Esiint.	Nykyinen seuranta / valvonta	Löydetty	Riskiiluku	Suosittelut toimenpiteet	Vastuuhö aikaraja	Suoritettut toimenpiteet	Merkittisyys	Esiint.	Löydetty	Riskiiluku
1	Suuttimet	Ohi ruiskutus	Liima hukka	4	Trapetsin asetusrajat	7	Silmämääräinen seuranta	7	196							
2				4	Suuttimien kunto	6		5	120							
3				4	Päivätankkien ja letkulämmittimien lämpötilat	2		5	40							
4				4	Suuttimien ruiskutuskulma	2		5	40							
				4	Paineiden vaihtelut	2	Silmämääräinen, kone automaattisesti ilmoittaa??	3	24							
5		Levitys epätasainen	Tartunta huono	7	Päivätankkien ja letkulämmittimien lämpötilat	2	Silmämääräinen seuranta, FPC-testaus	4	56							
6				7	Linjan nopeus → paine	2	Silmämääräinen	2	28							
7				7	Suuttimien kuluneisuus	6	Silmämääräinen	2	84							
				7	Suuttimien väärä kulma	5	Silmämääräinen	4	140							
				7	Trapetsin kunto	1	Aistinvarainen havainto	2	14							
				7	Suuttimien tukkeutuminen	7	Silmämääräinen aikaan perustuva ruisku- ja liikk...	3	147							

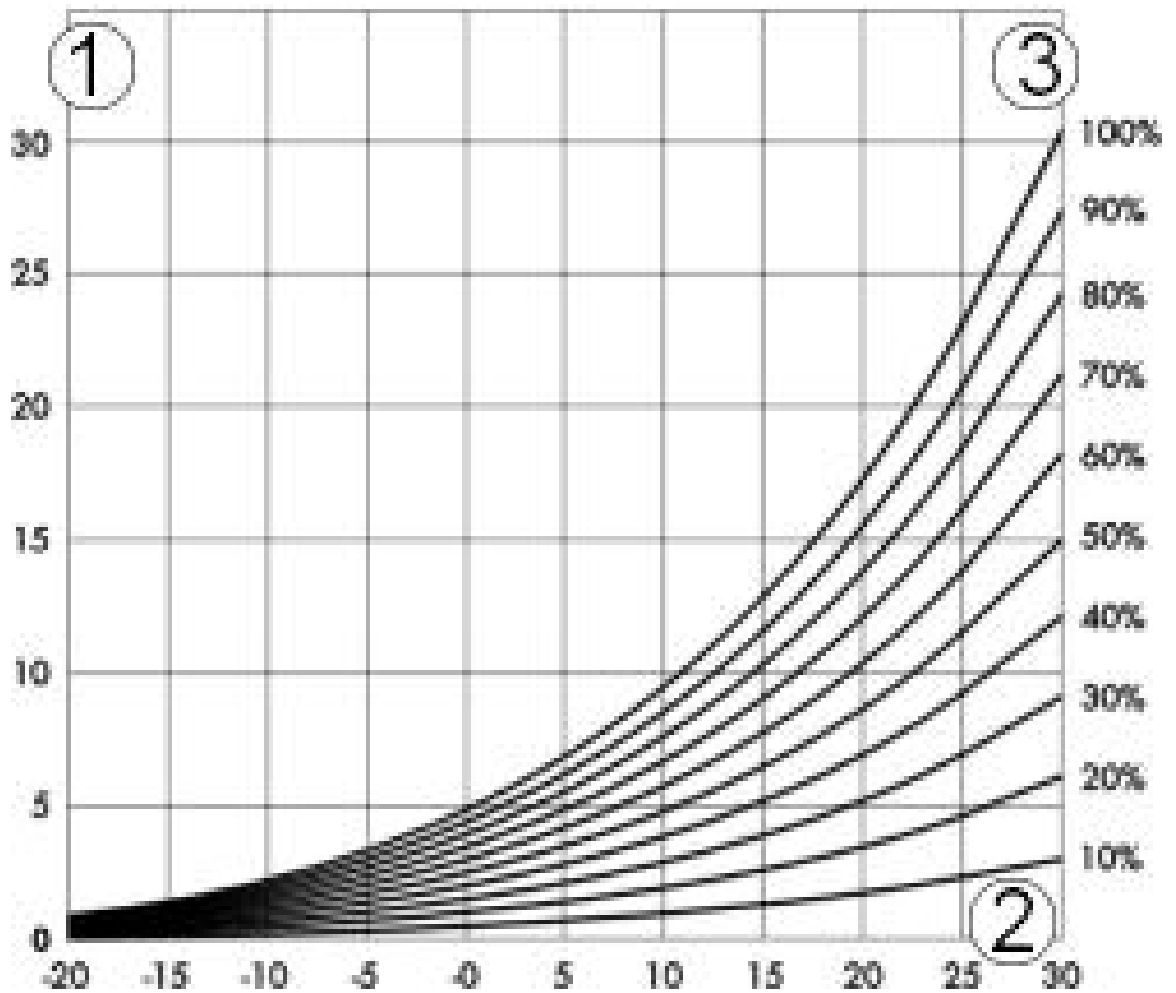
LIITE 8 Liimatesti



LIITE 9 Lämpötilan ja kosteuden vaikutus avoimeen aikaan



LIITE 10 Kosteuskäyrästä

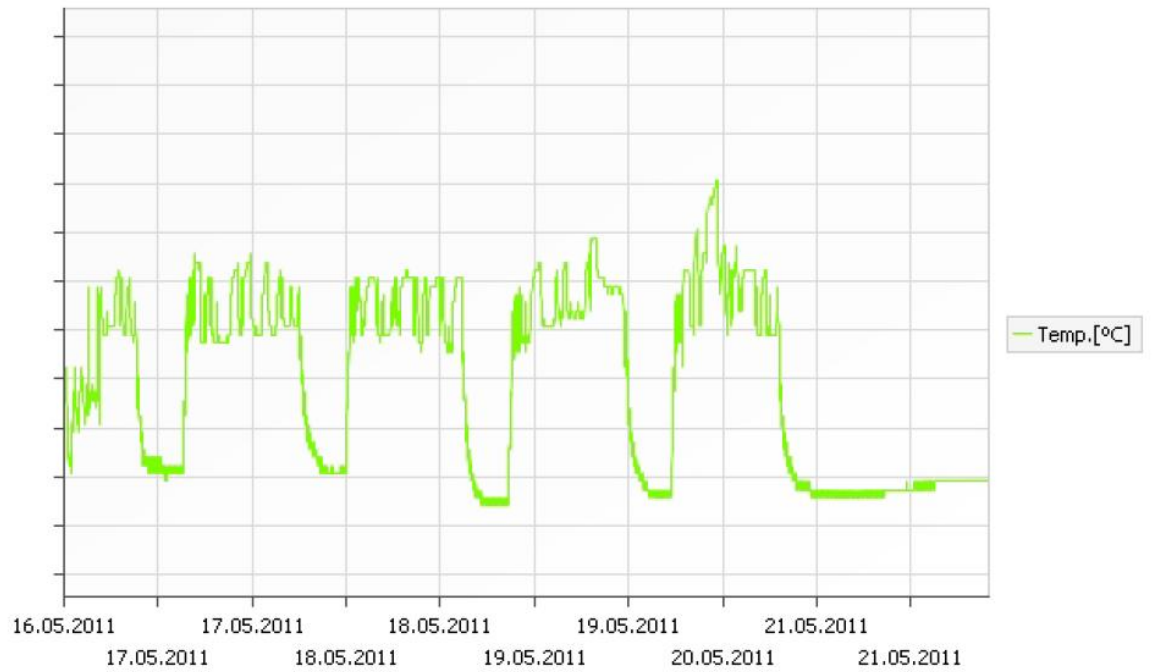


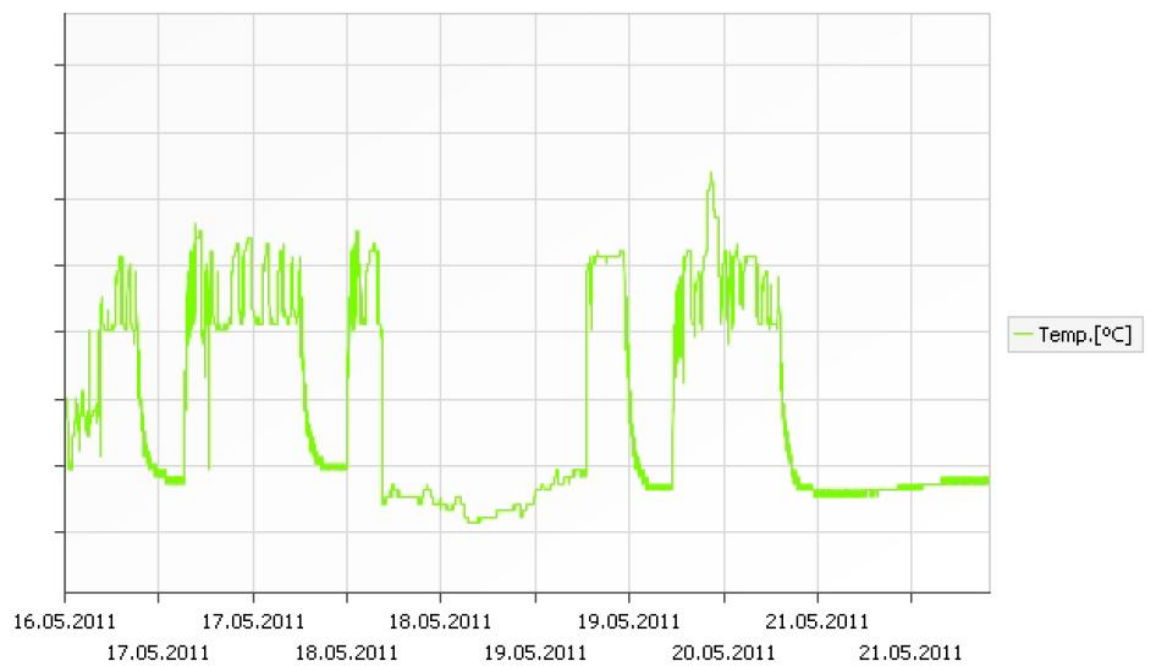
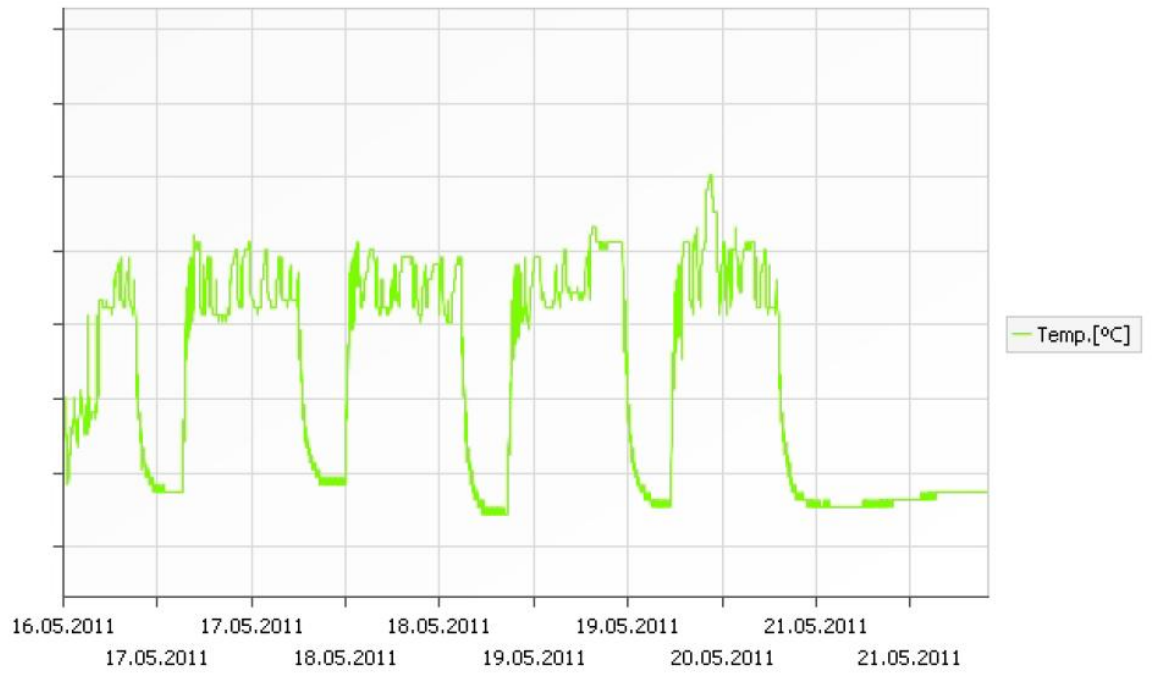
1. Absoluuttinen kosteus (g/m^3)

2. Lämpötila ($^{\circ}\text{C}$)

3. Suhteellinen kosteus RH

Lämpötilan, absoluuttisen kosteuden ja suhteellisen kosteuden välinen suhde.

LIITE 11 Letkulämmitin (isosyanaatti) ala- ja yläpuoli

LIITE 12 Letkulämmitin (polyoli) ala- ja yläpuoli

LIITE 13 FMEA pisteytystaulukko

VAKAVUUSASTEIKKO		ESINTYVYYSASTEIKKO		HAVAITTAUVUUSASTEIKKO				
Vaarallinen - ilman varoitusta	Vika aiheuttaa vaaratilanteen ilman varoitusta.	10	Erittäin korkea:	> 10 %	10	Täysin epävarma	C	10
Vaarallinen - varoitus	Vika aiheuttaa vaaratilanteen. Ilmaisee varoituksen.	9	Vikoja alttuiseen	> 5 %	9	Todennäköisesti ei voida havaita.	C	9
Erittäin korkea	Kaikki tuotteet hylättävä tai tuotteen korjausaika > 1 h	8	Korkea:	> 2 %	8	Valvonnalla huonot mahdollisuudet havaita.	C	8
Korkea	Kaikki tuotteet tarkastettava ja osa tuotteista hylättävä tai tuotteen korjausaika 0,5 - 1 h.	7	Vikoja toistuvasti	> 1 %	7	Valvonnalla huonot mahdollisuudet havaita.	C	7
Keskinertainen	Osa tuotteista hylättävä ilman erillistä tarkastusta.	6	Keskinertainen:	> 0,5 %	6	Valvonnalla voidaan havaita.	BC	6
Alhainen	Tuotteet korjattavissa toimiviksi	5	Satunnaisia vikoja	> 0,2 %	5	Valvonnalla voidaan havaita.	B	5
Hyvin alhainen	Tuotteet tarkastettava ilman hylkäämistä. Osa kappaleita korjattava.	4	Alhainen:	> 0,1 %	4	Valvonnalla hyvät mahdollisuudet havaita.	AB	4
Vähäinen	Osa kappaleista korjattavissa välittömästi linja tuotannon läheisyydessä.	3	Alhainen:	> 0,05 %	3	Valvonnalla hyvät mahdollisuudet havaita.	AB	3
Erittäin vähäinen	Osa kappaleista korjattavissa välittömästi tuotannossa.	2	Vikoja harvasti	> 0,01 %	2	Valvonnalla melkein varmasti havaitaan.	AB	2
Olematon	Vähäinen tai olematon haitta. Ei toimenpiteitä.	1	Vähäinen: Viat epätodennäköisiä	0,001 %	1	Valvonnalla täysin varmasti havaitaan.	A	1

ABC = tarkastus tavat

A = Vian estimet

B = Havaitsemis apuvälineet

C = Manuaalinen tarkastus