

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Puutekniikan koulutusohjelma / levytekniikan suuntautumisvaihtoehto

Simo Halonen

INTERIOR-LIIMATUN KOIVUVANERIN KIEROUTUMISEN JA
KÄYRISTYMISEN VÄHENTÄMINEN

Opinnäytetyö 2012

ALKUSANAT

Tämä tutkimustyö on tehty Kymenlaakson ammattikorkeakoulun puutekniikan koulutusohjelman opinnäytetyönä ja toteutettu Koskisen Oy:n vaneritehtaalla, Järvelässä talvella 2010–2011.

Työn ohjaajina ovat yrityksen puolesta toimineet Tuotantopäällikkö Jouni Kontula, Laatuinsinööri Saija Korpela sekä Laatupäällikkö Anna-Maaret Roppola, oppilaitoksen puolesta Olavi Liukkonen. Lisäksi työn tekemiseen ovat osallistuneet Koskisen Oy:stä Tuotekehitysinsinööri Riitta Ahokas, Jaakko Pärssinen sekä vanerinliimausosaston työntekijät.

Kiitän kaikkia tähän projektiin osallistuneita Koskisen Oy:n vaneritehtaan työntekijöitä heidän antamastaan avusta sekä yhteistyöstä tutkimuksen suorittamisessa.

3. joulukuuta 2012

Simo Halonen

TIIVISTELMÄ

Kymenlaakson ammattikorkeakoulu
Puutekniikan koulutusohjelma

Halonen, Simo	Interior- liimatun koivuvaneri-levyn kieroutumisen ja käyristymisen vähentäminen. Syksy 2012
Insinöörityö	33 sivua
Työn ohjaaja	Diplomi-insinööri Olavi Liukkonen
Toimeksiantaja	Koskisen Oy
Avainsanat	viilujen kosteus, käyristyminen, kuumapuristus-aika, telalevitin, vaneri, viilu

Opinnäytetyön tarkoituksena on interior-liimattujen koivuvaneri-levyjen kieroutumisen ja käyristymisen vähentäminen suorittamalla koeajoja käyttäen ennalta määrättyjä parametreja ja kahta eri telalevitinasemaa. Tutkimuksen kohteena oli Koskisen Oy:n Järvelän vaneritehtaan telalevitinasemat 2 ja 3, joissa molemmissa liimattiin sisäkäyttöön tarkoitettua interior-liimattua koivuvaneria.

Yhteistyössä tehtaan laatu- ja tuotekehitys henkilöstön kanssa päädyttiin käyttämään seuraavia muuttujia: telalevitinasemat 2 ja 3, koska vain niissä voidaan käyttää interior-liimaa sekä niiden toimintaperiaatteiden takia. Toinen muuttuja oli viilujen kosteus, jonka haluttiin olevan keskikosteudeltaan 3 % ja 4 %. Kolmas muuttuja oli kahden eri kuumapuristimen käyttö. Neljäntenä muuttujana oli kuumapuristimien puristus-aika. Viides muuttuja oli metalliset painokasetit, joiden väliin puolet levyistä laitettiin suoristumaan.

Mittaukset suoritettiin asettamalla vaneri-levy mittauspöydälle, minkä jälkeen mitattiin levyn alapinnan etäisyys mittauspöytään nähden kuudesta eri pisteestä. Tulokset syötettiin Exceliin, jossa niitä vertailtiin keskenään.

Tuloksia tarkasteltaessa huomattiin, että koeajon numero 8 levyistä tehtyjen mittaustulosten hajonta oli suurin ja koeajo numero 11 oli hajonnaltaan pienin. Tulosten perusteella tehdas on siirtänyt interior-liimatun koivuvanerin liimauksen ja ladonnan kokonaan liimausasemalle numero kolme. Tällä liimausasemalla

valmistettujen levyjen kieroutuminen ja käyristyminen oli vähäisintä. Syitä vähäisimpään mittaustulosten hajontaan ovat liimausaseman tavallista suurempi työntekijämäärä, mikä merkitsee useampia silmäpareja valvomaan ladottavan tuotteen laatua. Tekemällä lisää kokeita parhaaksi osoittautuneella parametrivalinnalla voitaisiin parantaa mittaustulosten luotettavuutta.

ABSTRACT

Kyminlaakso University of Applied Sciences
Wood Technology

Halonen, Simo	Reducing Warping and Twisting of Interior Glued Birch Plywood. Fall 2012
Bachelor's Thesis	33 pages
Supervisor	Olavi Liukkonen, MSc
Comissioned	Koskisen Oy
Keywords	Moisture, Warping, Heat pressing time, Gluing station, Plywood, Veneer

The aim of this Thesis was to reduce warping and twisting of the interior glued plywood by using specific parameters. This was done by using two separate gluing stations. The research was done in Koskisen Oy factory in Järvelä.

Investigations were done in a cooperation with Koskisen quality and research departments. With them it was chosen to use the following variables. Two separate gluing stations were chosen because both had different kind of working methods and also because those two were the only stations that could use specific interior glue. The next variable was the moisture level of the veneers. For the third variable we chose to use two separate heat presses. The fourth variable was the heat pressing time and the last variable is using metal pressing weights to keep the plywood straight. Measurements were done by measuring the distance between the plywood and measuring table surface from six different points. These results were then analysed in the excel-program. When results were analysed it was clear that test number 8 results had the biggest spread and test number 11 had the smallest spread. Because of these results interior glued birch plywood producing was transferred to gluing station three.

By doing the confirmation test number 11 separately it is possible to get more accurate data and be more sure of the variables in this research.

Sisällys

1 JOHDANTO	7
1.1 Taustaa työlle.....	7
1.2 Koskisen Oy.....	7
2 VANERIN VALMISTUS.....	8
2.1 Viilun sorvaus	8
2.2 Viilujen leikkaus, kuivaus ja lajittelu.....	9
2.2.1 Viilujen kuivaus	9
2.2.2 Viilujen leikkaus ja lajittelu	10
2.3 Liimaus ja puristus	11
3 VANERIN KÄYRISTYMINEN, KIEROUTUMINEN JA SIIHEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT.....	12
4 SIX SIGMA	14
4.1 Mitä Six Sigma on?.....	14
4.2 Ongelmanratkaisumallin vaiheet.....	15
5 LÄHTÖTILANTEEN MÄÄRITTELY	18
5.1 Tutkimusosuus	18
5.2 Mittausmenetelmä.....	22
5.3 Viilujen kosteuden määrittely.....	23
6 KOEJÄRJESTELYT	25
7 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU.....	25
8 YHTEENVETO	27
Lähteet.....	29
Liite 1. Mittaustulokset	
Liite 2. Viilujen kosteustulokset mitattuna ennen telalevittimelle menoa	

1 JOHDANTO

1.1 Taustaa työlle

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää interior-liimatun vanerin kieroutumisen ja käyristymisen syitä ja pyrkiä löytämään valmistuksen käyttöön parametrit kieroutumisen ja käyristymisen vähentämiseksi. Tavoitteen saavuttamiseksi tehtiin koeajoja käyttäen erilaisia lähtöarvoja. Kokeiden aikana valmistettujen levyjen kieroutuminen ja käyristyminen mitattiin ja tulokset taulukoitiin. Mittaustuloksia verrattiin keskenään ja vertailun perusteella määritettiin paras parametriyhdistelmä. Työssä käytettiin hyväksi Six Sigma -menetelmää ja Minitab-tietokoneohjelmaa. Työssä esiintyvät valokuvat ovat itseotettuja.

1.2 Koskisen Oy

Koskisen Oy on vuonna 1909 perustettu suomalainen, kansainvälisesti toimiva perheyrittäjä. Se valmistaa ja markkinoi mekaanisen metsäteollisuuden tuotteita rakennus-, rakennuspuusepän-, huonekalu- ja kuljetusvälineiteollisuudelle. Yli sadan vuoden aikana yritys on kehittynyt kansainväliseksi puutuotteiden valmistuksen ammattilaiseksi. Koskisen Oy:n toimialat ovat puunhankinta, sahaus, vaneriteollisuus, lastulevyteollisuus, koivutuoteteollisuus ja taloteollisuus. Tämä kokonaisuus takaa puuraaka-aineen tehokkaan käytön. Puu jalostuu metsästä asiakkaalle eri puolille maailmaa Koskisen Oy:n omissa käsissä.

Koskisen Oy:n tuotantolaitokset sijaitsevat Järvelässä, Hirvensalmella ja Vierumäellä. Lisäksi tuotantoa on Venäjällä, Vologdan läänin Sheksnassa. Omat myyntiedustustot sijaitsevat 11:ssä eri maassa. Koskisen Oy käyttää mänty-, kuusi- ja koivutukkia yhteensä noin 1 200 000 m³ vuodessa. Yritys työllistää noin 1000 henkilöä. Lopputuotteiden korkea laatu syntyy hyvien raaka-aineiden, uuden tekniikan, osaavan henkilöstön ja jatkuvan kehityksen summana. Yrityksen liikevaihto oli vuonna 2007 noin 230 milj. € ja 2010 noin 180 milj. €. Viennin osuus tuotannosta on nykyisin noin 55 %, kun se vuonna 2007 oli hieman yli 60 %.

2 VANERIN VALMISTUS

2.1 Viilun sorvaus

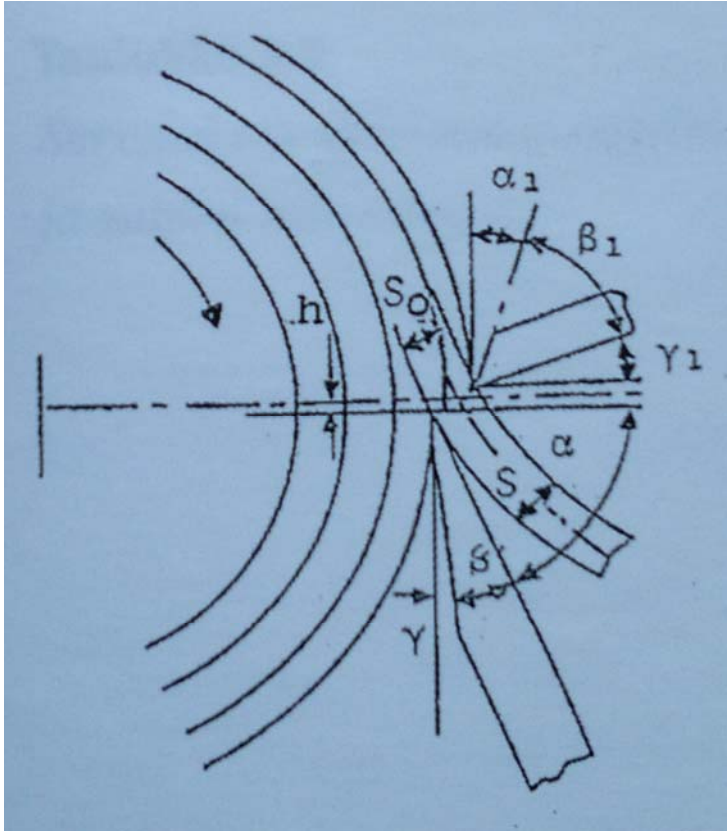
Viilun sorvauksessa ideana on, että sorvattavaa pölliä pyöritetään akselinsa ympäri sorvin karoissa ja samaan aikaan tuodaan akselin suuntainen terä pyörivää pölliä kohti. Tästä johtuen viilua vuoleutuu pöllin pinnasta ja puristuu ulos terän ja vastaterän välisestä raosta. Viilun sorvaus jaetaan seuraaviin työvaiheisiin: pöllin keskittäminen sorviin, pöllin pyöritys sekä varsinainen sorvaus. (Vanerin valmistus 1979, 34.)

Pöllin keskittäminen on erittäin tärkeä vaihe sorvauksen aloituksessa. Mitä optimaalisemmin pölli saadaan keskitettyä sorvin karojen väliin, sitä suurempi on sorvauksen viilusaanto. Onnistunut pöllinkeskitys tuottaa myös enemmän parempia viilulaatuja, koska pintapuu on parempilaatuista kuin sydänpuu. Keskityksessä pölliä pyöräytetään kerran akselinsa ympäri ja samalla lasersäteet mittaavat pöllin muodot, minkä jälkeen tietokone laskee edullisimman keskitysasennon. XY-keskittäjä hakee tämän kyseisen asennon ja siirtää pöllin sorvin karojen väliin. (Koponen 1995, 39.)

Pöllin ollessa keskitettynä sorvin karojen välissä, alkaa sorvaus pöllin pyörityksellä. Siinä vuollaan terällä pois pöllin muotovirheet ja mahdolliset vahingoittuneet puun osat. Pöllin pyöritystä ei kuitenkaan jatketa täysin sylinterimäiseen muotoon asti, vaan varsinainen vanerin tuotantoon kelpaavan viilumaton otto aloitetaan silloin, kun vuoleutuva viilumatto on jokseenkin yhtenäistä. (Koponen 2002, 42.)

Varsinainen sorvausvaihe alkaa pyörityksen jälkeen heti perään. Tässä tärkeimmät sorvin komponentit ovat terä ja vastaterä, joiden välistä viilu leikkautuu. Leikkaus tapahtuu siten voimakkaiden puristavien voimien alaisena, jolloin puu plastisoituu ja pinnasta muodostuu sileä. Teräkulmia säätämällä voidaan hallita sorvaamista ja eri puulajeilla on omat teräkulmansa.

(Koponen 2002, 42.)



Kuva 1. Viilusorvin teräasete (Koponen 2002, 43)

2.2 Viilujen leikkaus, kuivaus ja lajittelu

2.2.1 Viilujen kuivaus

Sorvauksesta tuleva viilu on mahdollista kuivata yhtenäisenä viilumattona. Tällöin viilumatto leikataan ja lajitellaan kuivauksen (verkkokuivauskone) jälkeen. Toisessa menetelmässä viilumatto leikataan ja lajitellaan tiettyihin päämittoihin ja kuivataan arkkeina telakuivauskoneella. Tämän jälkeen tapahtuu yksityiskohtaisempi lajittelu esimerkiksi uudelleen kuivattaviin. (Koponen 1995, 40.)

Sorvauksesta tuleva viilu on kostea eikä sellaisenaan sovellu liimaukseen. Kuivauksen tarkoitus on laskea viilun kosteus tasolle, joka soveltuu vanerin liimaukseen. Kuivauksessa pääosin määräytyy myös lopputuotteen kosteus, jonka on oltava sopiva vanerin lopullista käyttöä varten. (Koponen 1995, 40.)

Viilun kuivauksessa on hallittava tärkeimmät vaikuttavat tekijät:

- viilun kuivauksessa esiintyvät ilmiöt
- liimauksen viilulle asettamat laatuvaatimukset
- kuivauskoneen toimintatapa ja rakenne
- viilun kuivauksessa ilmenneiden vikojen korjaus
- energiankulutus kuivauksessa. (Koponen 2002, 49–51)

Kuivauksen jälkeiset työvaiheet asettavat seuraavia vaatimuksia kuivatulle viilulle:

- viilun on oltava pinnaltaan tasaista, eikä siinä saa esiintyä kuivauksesta johtuvaa kupruilua tai aaltoilua.
- viilun pinta ei saa olla rikki.
- kuivatun viilun kosteudessa ei saa olla suuria eroja, ja kosteuspitoisuuden täytyy olla tasainen eri kohdissa viilua. (Koponen 2002, 49–51)

2.2.2 Viilujen leikkaus ja lajittelu

Verkkokuivauskonetta käytettäessä viilu leikataan kuivauksen jälkeen, joten viiluarkit ja saumauskappaleet saadaan leikattua tarkasti. Vastaavasti telakuivauskoneessa viilut leikataan märkänä ennen kuivausta, joten kuivauksessa tapahtuva kutistuminen on otettava huomioon. Telakuivauskoneen etu on kuivatun viilun pinnan sileys ja vähäisempi kupruilu. (Koponen 1995, 51–61)

Viilujen leikkauksessa määritetään myös viilujen laatu. Leikkauksessa on otettava huomioon seuraavat asiat:

- viilujen laatuluokat sekä asiakkaiden vaatimukset
 - viiluissa esiintyvät viat ja vikaryhmät
 - viilun saantoon leikkauksessa vaikuttavat tekijät.
- (Koponen 1995, 51–61)

Koivuviilut lajitellaan seuraavasti:

- paremmat pintaviilulaadut
- keskimmäiset viilut
- paikattava pintaviilu
- saumauskappaleet
- saumattavat pintaviilut
- päästä sahattavat viilulaadut

(Koponen 1995, 51–61)

2.3 Liimaus ja puristus

Liimaus on vanerin valmistuksessa yksi tärkeimpiä työvaiheita. Vanerin ominaisuudet, kuten kestävyys erilaisissa käyttöolosuhteissa ja lujuus, ovat ratkaisevia arvosteltaessa levyjen käyttökelpoisuutta.

Liimauksen työvaiheita ovat:

- liimaseoksen valmistus
- ladonta eli liiman levitys ja ladonta levyaihioksi
- esipuristus
- kuumapuristus. (Koponen 2002, 65.)

Vanerit jaotellaan liimauksen perusteella ulko- ja sisäkäyttövanereihin. Ulkovanerin liimauksessa käytetään fenolihartsiliimoja, joilla saavutetaan säänkestävyys.

Sisävanerin liimauksessa käytetään ureahartsiliimoja. Kosteisiin tiloihin soveltuvat liimat ovat urea-melamiinihartsiliimoja. Liimatuille vanereille asetetaan seuraavat vaatimukset:

- vanerin laatu ja rakenne ovat oikeat
- levyn on oltava riittävän paksu, jotta vaneri voidaan hioa tasaiseksi ja haluttuun paksuuteen
- levyn pinnassa ei saa olla avonaisia vikoja, kuten pudonneita paikkoja tai saumausvikoja
- vanerin liimaus täyttää sille asetetut lujuus- ja kestävyysvaatimukset

(Koponen 2002, 65.)

Liimanlevityksen jälkeen ladotut viiluaihiot siirretään esipuristukseen. Vanerin esipuristus tapahtuu ns. kylmäpuristuksena huoneenlämmössä. Esipuristuksen tarkoitus on viilunipun kasaan puristaminen, jotta yksittäiset vaneraihiot mahtuvat varsinaiseen monivälikuumpuristimeen. Lisäksi aihioissa kosteus saadaan tasaannutettua viilukerrostien välillä ja levyaihiota pystytään varastoimaan 1-12 tuntia ennen kuumapuristusta. (Koponen 2002, 69–70.)

Kuumapuristimia on linjan kapasiteetista riippuen erikokoisia, esim. 16-, 20- ja 30-välisiä. Puristimen täyttö/purku voidaan varustuksesta riippuen hoitaa automaattisesti tai operaattorin voimin. Kuumapuristimen toimintaperiaate on seuraavanlainen. Aihiot siirretään kuumien puristuslevyjen väliin ja lämpö alkaa johtua puristinlevyistä vanerin sisäosia kohti. Ilmiö kiihtyy puristimen sulkeutuessa ja paineen noustessa suurimpaan arvoonsa. Tästä johtuen fenoli-/ureahartsiliimojen viskositeetti laskee huomattavasti ja liima imeytyy viiluihin. Liimasauman lämmentyä tarpeeksi liimasauman viskositeetti kohoaa, kunnes liimasauma saavuttaa täysin kiinteän olomuodon. Korkeasta lämpötilasta johtuen puu plastisoituu voimakkaasti. (Koponen 2002, 70–72.)

Kokoonpuristuman vähentämiseksi käytetään paineenalennusta puristuksen lopussa. Puristimen avautuessa levyissä oleva vesi höyrystyy ja se saattaa aiheuttaa liimasaumojen rikkoontumisen. Kuumapuristuksen puristusaika riippuu käytettävästä liimatypistä sekä levyn paksuudesta. Lämpötiloista ja paineista on olemassa valmiit ohjeet eri vanerityypeille. (Koponen 2002, 70–72.)

3 VANERIN KÄYRISTYMINEN, KIEROUTUMINEN JA SIIHEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Kieroutumisen yleinen määritelmä on esitetty SFS 2290 -standardissa. Sen mukaan vanerituotteessa ilmenevä käyristyminen voidaan jakaa kaarevuuteen, kieroutumiseen sekä aaltomaisuuteen. Kaarevuus on vanerissa esiintyvä, tavallisesti säännöllinen muodonmuutos, jonka johdosta koko levy tai osa siitä kaareutuu lieriömäisesti. Kaarevuus voi ilmentyä vanerissa pituussuunnassa, poikittaissuunnassa tai kummassakin suunnassa samanaikaisesti. Kieroutuminen on vanerin useampaan suuntaan ilmenevä käyristyminen ja aaltomaisuus on aaltomainen käyristyminen.

Vanerilevyn käyristyminen voi johtua viilukerrostien erilaisista ominaisuuksista, epäsymmetrisestä rakenteesta, epätasaisesta kosteuden jakautumisesta viilujen välillä tai puristuksessa syntyneistä sisäisistä jännityksistä. (Kemppainen, 1990, 45)

Vanerituotteen symmetrinen rakenne estää levyn kosteuden vaihtelusta aiheutunutta käyristymistä, jos kostuminen on tapahtunut samalla tavalla molemmilta pinnoilta, mutta kaikesta huolimatta eri viiluilla on yleensä erilaisia ominaisuuksia. Erot viilujen ominaisuuksissa voivat johtua vikojen aiheuttamista ominaisuuksien muuttumisista. Vanerin käyristymiseen vaikuttavia ominaisuuksia ovat viilujen turpoaminen, kutistuminen ja kimmokerroin. Puuaineksessa olevat viat, joita ovat esimerkiksi oksat, vino-, ja poikkisyisyys, reaktiopuu sekä pinta- ja sydänpuuosuudet aiheuttavat kosteuden sitoutumisen vaihtelevuutta viilujen välillä. Viilujen kosteuden sitoutumiskyvyn vaihtelu vaikuttaa kosteusmuodonmuutosominaisuuksiin. Vanerin kuumapuristusta edeltävä viilujen epätasainen kosteusjakauma voi aiheuttaa jännityksiä rakenteeseen. Kun valmis levy tasaantuu tasapainokosteuteen, jännitykset saattavat aiheuttaa käyristymistä tai kieroutumista valmiiseen vanerilevyyn. (Kemppainen, 1990, 45)

Levyn rakenteen epäsymmetrisyyttä, aiheutuu kun, syysuunnat eri kerroksissa eivät ole 90 asteen kulmassa toisiinsa nähden. Jo yksi vinosyinen viilukerros saattaa aiheuttaa levyn käyristymistä kosteusolosuhteiden muuttuessa. Lämpötilan ja ilman suhteellisen kosteuden muutokset vaikuttavat vanerin tasapainokosteuteen. Jos nämä muutokset ovat nopeita tai ne kohdistuvat eri puolille levyä eri tavalla, voivat ne myös aiheuttaa sen käyristymistä. (Kemppainen, 1990, 46)

Viilujen tasaannutusajalla tarkoitetaan aikaa, jonka viilut ovat varastoituna pinkoissa kuivauksen jälkeen ennen niiden vaneriksi ladontaa. Tasaannutusajan tarkoituksena on tasoittaa kuivauksen jälkeisiä viiluarkkien välisiä kosteuseroja. Se, mitä viilupinkassa tapahtuu tasaannutusajan kuluessa, on erittäin merkittävää tutkittaessa viilujen tasaannutusajan vaikutusta vanerin käyristymiseen. Viilujen tasaannutustulokseen vaikuttaa viilujen alkukosteus, kosteusjakauma viiluarkkien sisällä, ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus, aika sekä mahdolliset viilujen jatkokäsittelyt. (Kemppainen, 1990, 46)

4 SIX SIGMA

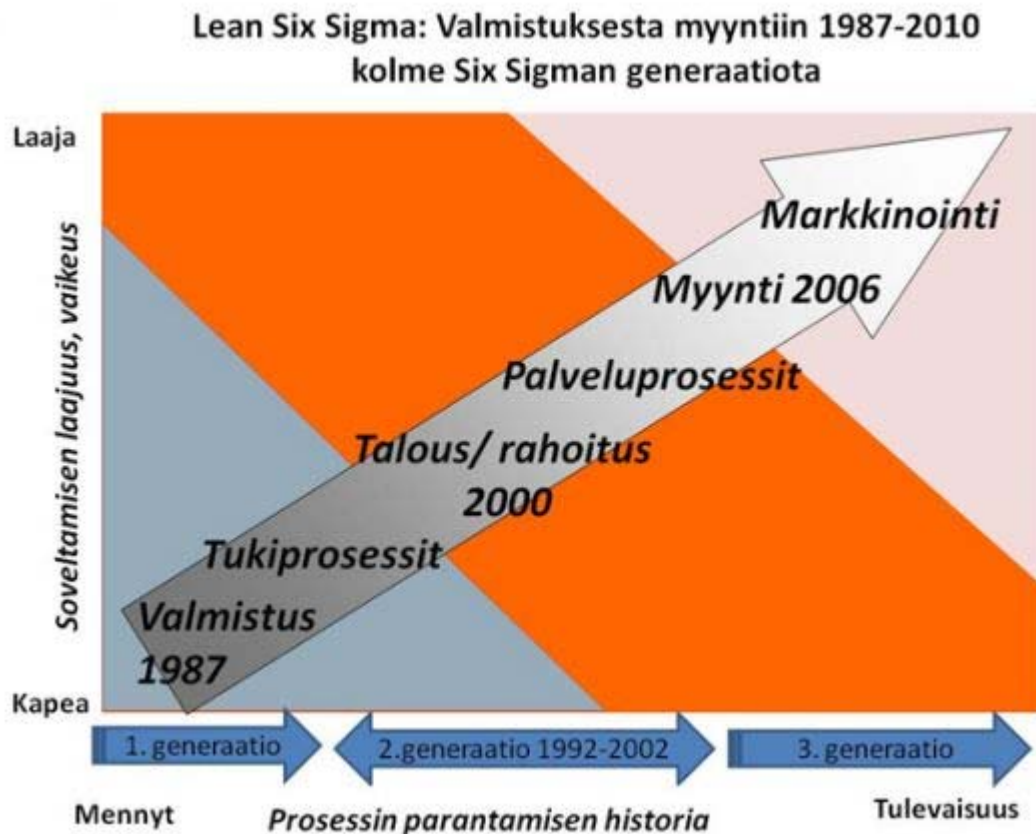
4.1 Mitä Six Sigma on?

Six Sigma on uusi nimi vanhalle visiolle. Sen päätarkoituksena on tuottaa lähes täydellisiä tuotteita ja palveluita asiakkaalle. Sen tavoitteena on päästä tilastolliseen 0-virheeseen. Six Sigma on muutakin kuin tilastomatematiikkaa; sen tarkoituksena on parantaa kaikkia organisaation alueita niin, että täytetään asiakkaiden, markkinoiden ja teknologioiden jatkuvasti muuttuvat tarpeet. Tekemällä se näin, siitä on hyötyä työntekijöille, asiakkaille ja osakkaille. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 17.)

Sigma on kreikkalainen kirjain, joka tilastomatematiikassa kuvaa standardipoikkeamaa. Standardipoikkeama kertoo, kuinka paljon vaihtelua joukossa on. Six Sigman tavoitteena on pienentää tätä vaihtelua, jotta tuotteet tai palvelut täyttävät asiakkaan odotukset. Six Sigma on vertailumitta, jolla verrataan laatutasoja toisiinsa. Mitä enemmän sigmoja, sitä vähemmän palvelussa tai tuotteessa on virheitä. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 18–19.)

Six Sigman lopputulokseen vaikuttavat tekijät on jaettu neljälle osa-alueelle. Ensimmäinen osa-alue on parantunut asiakastytyväisyys, toinen lyhentynyt läpimenoaika, kolmas vähentyneet viat ja neljäs osa-alue on ei-jalostusarvotyön väheneminen. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 17.)

Seuraavassa kuvassa 2 on esimerkki Six Sigman kehittymisestä vuosien aikana.



Kuva 2. Six Sigman kehittyminen eri aloilla (Six Sigma)

4.2 Ongelmanratkaisumallin vaiheet

Six Sigman ongelmaratkaisumalli eli DMAIC-prosessi on viisivaiheinen ja järjestyksessä läpi käytyinä se parantaa prosessia. DMAIC nimi tulee sanoista Define (määrittelyvaihe), Measurement (mittaus), Analysis (analysointivaihe), Improvement (parannusvaihe) ja Control (ohjausvaihe). (Karjalainen & Karjalainen 2002, 46–53.)

Ensimmäinen vaihe on määrittelyvaihe. Siinä määritellään ongelma ja asiakasvaatimukset. Kun nämä on saatu määriteltyä, on käsitys projektin laajuudesta ja tarkoituksesta. Määrittelyvaiheessa kerätään tietoa parannettavasta prosessista ja asiakkaista. Tämän vaiheen aikana tavoitteena on saada selkeä tavoite asetetusta parannuksesta, prosessikuvaus ja SIPOC (Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers). Projektit ovat yleensä suuria, ja määrittelyvaiheessa selvitetään projektin kannattavuus ja aikataulu. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 47.)

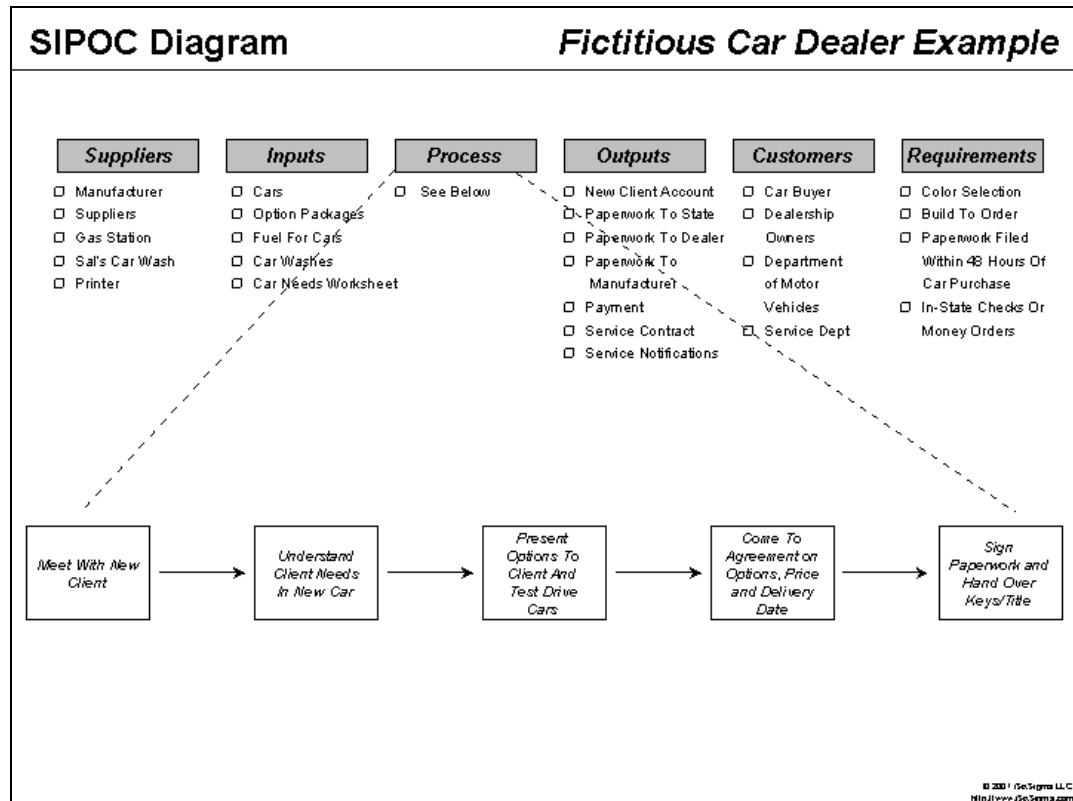
Toinen vaihe on mittaus. Siinä on tarkoitus todentaa ongelman olemassaolo. Todentaminen tapahtuu keräämällä informaatiota ongelmasta tai sen mahdollisuudesta. Mittauksilla on päästävää hyvään tarkkuuteen, ja siksi usein käytetään uusittavuus- ja toistettavuustestejä. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 47.)

Kolmas vaihe on analysointi. Tämän vaiheen tavoitteena on tunnistaa ydin- tai juurisyyt ja sitten luoda syy-seuraushypoteesi. Kun mahdolliset pullonkaulat prosessista on löydetty, luodaan teoria, joka vahvistetaan tai kumotaan kerätyllä datalla. Mikäli teoria vahvistetaan, siirrytään seuraavaan vaiheeseen. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 48–49.)

Neljäs vaihe on parannusvaihe. Siinä on tarkoituksena kokeilla ja soveltaa ratkaisuja, joita löydettiin mittaus- ja analysointivaiheiden aikana. Parannusvaiheessa voidaan käyttää erilaisia kokeita, kuten esim. Taguchi- ja haravointikokeita. Parannusvaiheessa saatuja tuloksia sovelletaan ohjausvaiheessa ja näin varmistetaan tulosten pysyvyys. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 51–52.)

Viides vaihe on ohjaus. Ohjausvaiheen tavoitteena on kehittää menettelyjä, standardeja, ohjeita ja mittauksia, joilla ylläpidetään saavutetut tulokset. Prosessin ohjaamiseen voi olla paljon mittareita, jopa 30–50. Usein ohjaukseen ja valvontaan käytetään tilastollista prosessinohjausta. Ohjausvaiheen tuloksena tehdään tulosanalyysi eli selvitetään, mikä oli projektin liiketoiminnallinen vaikutus. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 52–53, 180.)

Seuraavassa kuviossa 3 on esimerkki SIPOC-kaaviosta



Kuva 3. SIPOC-kaavio (isixsigma)

5 LÄHTÖTILANTEEN MÄÄRITTELY

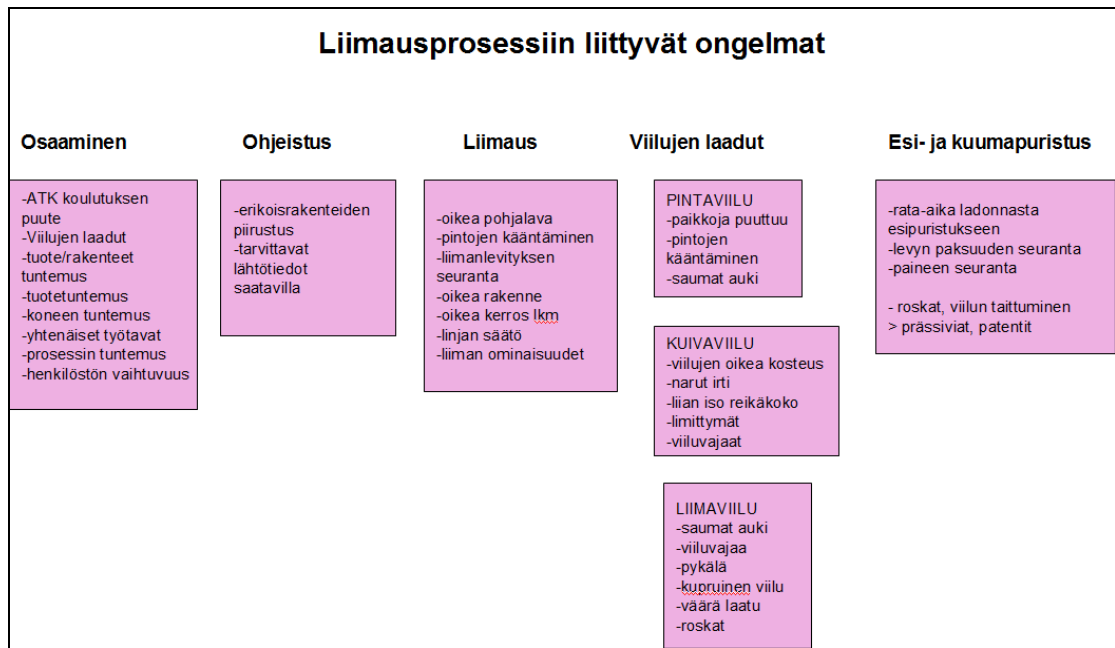
Työtä lähdettiin tekemään asiakkaan tuotteelle asettamien vaatimusten takia, eli mahdollisimman suoran levyn tekemiseksi. Tavoitteena oli löytää syyt Interiorvanerin käyristymiseen ja kieroutumiseen sekä mahdollisesti löytää keino käyristymisen poistamiseen tai vähentämiseen. Kyseistä vanerituotetta käytetään stanssilevyjen valmistukseen, jossa on erittäin tärkeää että käyryyttä ei esiinny. Edellä mainitut asiat olivat lähtökohtina työn aloittamiselle. Työtä alettiin tehdä yhteistyössä Koskisen Oy:n laatu- ja tuotekehitysosastojen sekä tuotannon työntekijöiden kanssa. Tutkimuksessa päätettiin keskittyä telalevitinasemiin, kosteuseroihin, kuumapuristimiin, kuumapuristusaikaan sekä metallisten painokasettien vaikutukseen.

5.1 Tutkimusosuus

Tutkimus aloitettiin määrittelemällä liimausprosessi yhdessä Koskisen Oy:n henkilöstön kanssa. Esitys liimausprosessin ongelmista on kuvassa numero 4.

Liimausprosessi etenee, kun työnsuunnittelija/työnjohto asettaa työmääräimen atk-pohjaiseen järjestelmään jonoon, josta operaattorit ottavat sen ajoon ja saamaan aikaan trukkioperaattorit tekevät tämän seuraavan ajon vaatimat valmistelut eli tuovat oikeat viilukuormat oikeille paikoille linjalla. Liimausoperaattorit eli latojat säättävät ladontayksikön asetukset ajoa varten kuntoon syöttämällä esim. työmääräimen mukaisen vanerirakenteen sekä tuotteen mittatiedot ladontayksikön tietokoneelle. Latojat myös varmistavat, että oikeat viilulaadut ovat oikeilla paikoilla, sekä suorittavat laadunvalvontamittaukset, kuten liiman viskositeetin sekä liiman levitysmäärän viilulle.

Asetusten tekemisen jälkeen operaattori aloittaa ladonnan. Kun ladelma on valmis, se menee automaattista kuljetinta pitkin esipuristukseen, jossa esipuristimen hoitaja asettaa esipuristusparametrit ja suorittaa esipuristuksen. Esipuristuksen tarkoituksena on puristaa levyt kasaan, jotta ne mahtuvat moniväliseen kuumapuristukseen, jossa varsinainen liimasauman adheesio muodostuu. Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 4 näkyy liimausprosessiin liittyvät ongelmat.



Kuva 4. Liimausprosessin ongelmakaavio

Liimausprosessiin liittyvät ongelmat jaettiin viiteen pääosioon: osaaminen, ohjeistus, liimaus, viilujen laadut ja esi- ja kuumapuristus. Ongelmakartoituksen pohjalta saatiin tutkimuksen muuttujiksi viisi eri muuttujaa. Muuttujat ovat telalevitinasemat, viilujen kosteuserot, kuumapuristimet, kuumapuristusaika sekä metallisten painokasettien vaikutus.

Muuttuja numero yksi oli telalevitinasemat. Tehtaalla on seitsemän liimausyksikköä, joista kolmella telalevitinasemalla liimataan interior-liimalla. Näistä valittiin kaksi vanhempaa telalevitinasemaa tutkimuksen muuttujiksi. Kyseiset telalevitinasema 2 ja telalevitinasema 3 eroavat toisistaan huomattavasti. Telalevitinasema 2 on niin sanottu automaattiyksikkö, jossa operaattorin ennalta tietokoneelle asettaman rakenteen mukaan kone hakee oikeat viilut oikeista kuormista ja yksi operaattori pinoaa nämä viilut ladelmaan. Telalevitinasemalla 3 työskentelee 4 henkilöä, joista yksi syöttää liimaviilut läpi liimausvalssista, toinen ottaa vastaan ja asettaa liimaviilut ladelmaan, kolmas ja neljäs operaattori siirtävät käsin kuivat väliviilut sekä kuivat pintaviilut ladelmaan.



Kuva 5. Liiman levityksessä käytetty telalevitin

Muuttuja numero kaksi oli viilujen kosteus. Tehtaalla on neljä kuivauskonetta, joista valittiin tutkimuksessa käytettävien viilujen kuivaamiseksi uusin ja ladontoja lähimpänä oleva kuivauskone numero neljä. Viilut kuivattiin päivää ennen liimausta kahdella eri kuivausohjelmalla kahteen eri keskikosteusluokkaan, joista käytettiin nimitystä 3 prosenttia ja 4 prosenttia. Näiden viilujen siis piti olla kuivauskoneen kosteusmittarien mukaan keskikosteudeltaan mainittujen arvojen luokkaa.

Muuttuja numero kolme oli kuumapuristimet. Tuotantoteknisistä syistä interior-liimattua vaneria kuumapuristetaan vain kolmella tehtaan neljästä monivälikuumapuristimesta. Tutkimuksessa käytettäväksi valittiin yleisimmin käytössä olevat 16-välinen sekä tehtaan isoin eli 30-välinen kuumapuristin. 30-välinen kuumapuristin sijaitsee telalevittimiin 2 ja 3 nähden tehtaan toisella puolla, joten siellä puristettavat niput oli esipuristuksen jälkeen kuljetettava trukilla sinne mahdollisimman nopeasti, ettei liimanvalmistajan antama kahden tunnin rata-aika ylittyisi.



Kuva 6. 30-välisen kuumapuristimen syöttöhäkki

Muuttuja numero neljä oli kuumapuristusaika. Normaalisti 18 x 1600 x 3200 -kokoisen vaneriaihion kuumapuristusaika on noin viisitoista minuuttia. Vertailuajaksi valittiin viisi minuuttia pitempi aika, mutta aikaa ei muutettu puristusparametreihin pidemmäksi puristusajaksi vaan levyjen annettiin kuivua kuumapuristimessa viisi minuuttia kauemmin, jotta kosteus tasaantuisi levyissä.

Viides ja viimeinen muuttuja oli metallikasetit. Levyjen tultua ulos kuumapuristimesta puolet levyistä siirrettiin nippuina järeiden metallisten kasettien väliin. Tarkoituksena oli, että levyt jäähtyisivät painon alla ja näin ollen jähmettyisivät mahdollisimman suoriksi. Puolet taas pinottiin tehtaan normaalin käytännön mukaan purilaitten päälle nippuihin niin, että kolme purilasta oli jokaisen nipun alla.

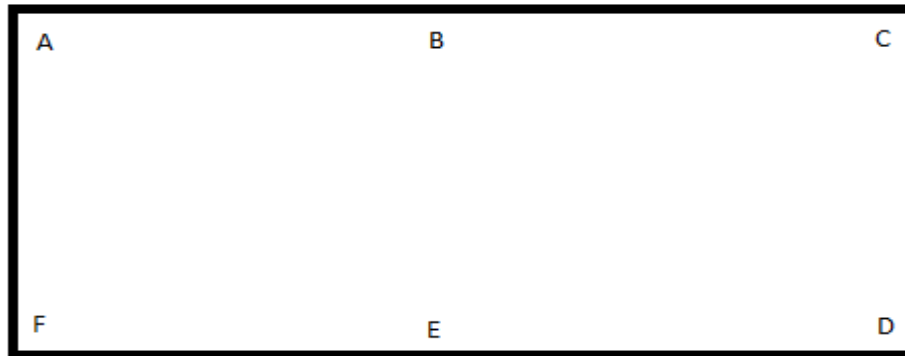


Kuva 7. Koelevyt metallikasettien välissä

5.2 Mittausmenetelmä

Levyn käyryys määritettiin käyttämällä apuna varta vasten valmistettua pöytää. Pöydän pohjana käytettiin samanlaista metallikasettia kuin levypinkkojen painonakin käytettiin. Metallikasetin päälle kiinnitettiin ruuveilla ja metallisia asetusliuskoja apuna käyttäen lastulevy. Metalliliuskojen avulla pöytä saatiin suoraksi, mikä takasi sen, että pöydästä johtuvat mittausvirheet jäivät erittäin pieniksi (max.1,0 mm).

Jokainen koe-erä eli nippu oli merkitty ja levyissä valmiina oleva laserteksti ilmaisi levyn ylä-/alapuolen. Kaksi henkilöä tarvittiin raskaiden levyjen käsin kääntämiseksi eli silmämääräiseen käyryyden esimääritykseen. Kun levy asetettiin mittauspöydälle, pystyi siitä jo päättelemään, kummin päin levyssä esiintyi enemmän käyryyttä. Tällä perusteella valittiin käyrempi puoli ja se mitattiin. Käyryyden mittaamisessa päädyttiin käyttämään kuutta mittauspistettä A...F, joiden sijoittuminen vanerilevyllä näkyy seuraavasta kuvasta. Näistä mittauspisteistä mitattiin työntömittaa ja rakotulkkia käyttäen levyn tason etäisyys mittauspöydän tasoon. Kaikki tulokset yli pöydän toleranssin, eli yhden millin, kirjattiin muistiin.



Kuva 8. Koelevyn mittauspisteet ja mittauksen eteneminen A...F



Kuva 9. Mittauspöytä ja sen vaaitus

5.3 Viilujen kosteuden määrittäminen

Kuivauskoneiden kuivaustulokset varmistettiin ottamalla käytettävistä viilunipuista kosteusnäytteet nipun alta, keskeltä ja päältä. Näiden näytteiden kosteus määritettiin käyttämällä punnitus-kuivausmenetelmää. Tämä menetelmä on yksinkertainen ja ainoa varma tapa mitata puuaineksen sisältämä kosteus. Puun massa mitataan

kosteana, minkä jälkeen viilu kappale kuivataan kuivauskaapissa ja määritetään puun massa uudelleen kuivana seuraavalla kaavalla. $u = 100 (m_u - m_0) / m_0$ jossa:

u = kosteussuhde %

m_u = puun massa kosteana

m_0 = puun massa absoluuttisen kuivana

(Kärkkäinen 2003, 178.)



Kuva 10. Kuva kosteusmittauksissa käytetystä vaa'asta ja koeviilun palasta



Kuva 11. Kuivauskaappi, jota käytettiin kosteusmittauksissa

6 KOEJÄRJESTELYT

Taulukkoon on Minitab-ohjelmalla ajettu ajojärjestys, ja se on vielä muokattu käytännön järjestelyjen takia niin, että ensiksi on ajettu valssilla numero kaksi ja seuraavana päivänä valssilla numero kolme. Kokeiden suorittamisen jälkeen taulukkoon on lisätty yksittäisen kokeen kokonaishajontatulos selvittämään, millä kokeella on pienin ja suurin hajonta. Mittaustulokset ovat kokonaisuudessaan liitteessä numero 1.

Kok. S	koe	liimavalssi	viilujen keskikosteus %	kuumapuristin	kuumapuristus aika (min)	metallikasetit	
3,17	1	2	3	30	15	on	
3,90	2	2	3	30	20	ei	
2,79	3	2	3	16	15	ei	
2,29	4	2	3	16	20	on	
4,78	5	2	4	30	15	ei	
2,19	6	2	4	16	15	on	
2,39	7	2	4	30	20	on	
5,05	8	2	4	16	20	ei	Suurin hajonta
4,65	9	3	3	30	15	ei	
2,44	10	3	3	30	20	on	
1,63	11	3	3	16	15	on	Näillä muuttujilla pienin hajonta
2,82	12	3	3	16	20	ei	
2,75	13	3	4	30	20	ei	
2,14	14	3	4	16	15	ei	
2,46	15	3	4	16	20	on	
3,71	16	3	4	30	15	on	

Kuva 12. Yksittäisen kokeen tiedot ja kokeiden suoritusjärjestys

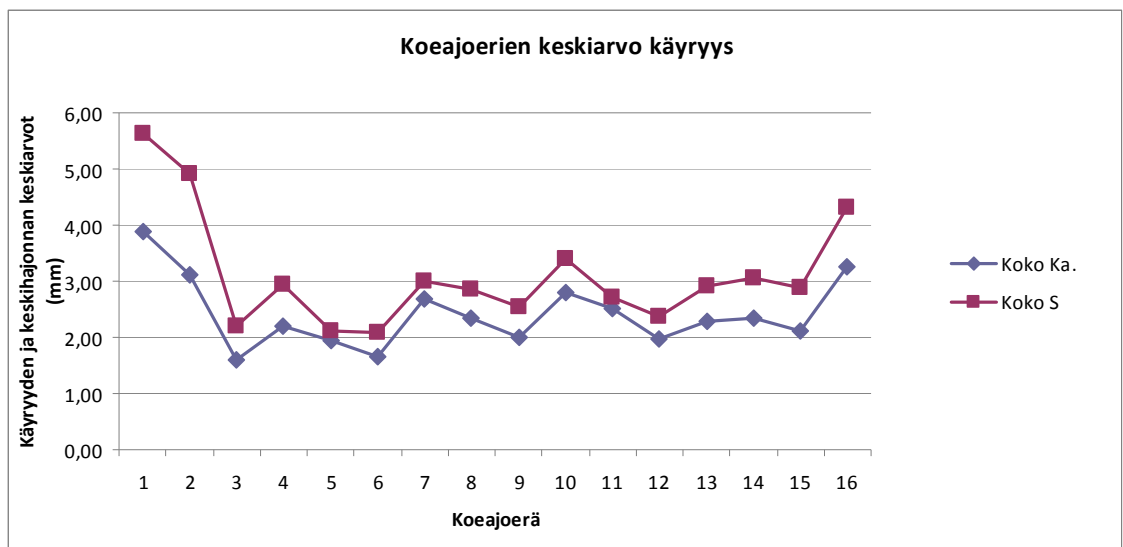
7 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELO

Tutkimuksessa eri parametrivalinnoilla (16 sarjaa) valmistettujen levyjen mittaustulosten kokonaishajonta asettui välille 1,63 - 5,05. Koesarjat, joissa hajonta oli suurin, numerot kahdeksan, yhdeksän ja viisi, eivät olleet metallisten painokasettien välissä, kun taas pienimmän hajontatuloksen antaneen sarjan numero yksitoista levyt tasaannutettiin painokasettien välissä. Levyt, joissa oli suurin mittaustulosten keskihajonta, oli myös valmistettu kosteammista eli 4 %:n keskikosteuteen kuivatuista viiluista. Vastaavasti pienimmän hajonnan levyt oli tehty kuivemmilla viiluilla. Monen muuttujan vaihtuminen tekee hankalaksi selvittää, mikä vaikuttaa mihinkin, eikä näin ollen absoluuttista totuutta saa helposti selville. Tulosten valossa todennäköisimmin käyryyden vähenemiseen vaikuttivat viilujen alhainen keskikosteus ja painokasettien käyttö. Tutkimuksessa kieroutta ja käyryyttä ei eritelty, vain etäisyys mittauspöydästä oli määräävä tekijä.

Kosteusmittaustulosten perusteella kosteudet olivat molemmissa keskikosteusluokissa asetettujen rajojen sisällä. Liitteessä 2 ovat tarkemmat kosteusmittausten tulokset.

Kuvassa 14 on esitetty yksittäisen testin (koeajoerän) sekä 256 yksittäisen vanerilevyn käyryystulokset levykohtaisena keskiarvona ja keskihajontana. Jokainen yksittäinen testi käsitti 16 levyn mittaustulokset.

Kaaviossa X-akselilla on koeajoerän numero. Y-akselilla on testilevyjen keskimääräinen käyryys ja keskimääräinen hajonta on esitettyinä millimetreinä. Liitteestä 1 selviää jokaisen 16 testin yksittäiset tulokset.



Kuva 13. Kaikkien koelevyjen keskiarvo ja keskihajonta

Taulukko 1. Kuvassa 14 esitetyt mittaustulokset taulukkona.

Levy	Koko Ka.	Koko S
1	3,89	5,624
2	3,12	4,904
3	1,61	2,196
4	2,20	2,952
5	1,93	2,121
6	1,65	2,084
7	2,69	3,011
8	2,33	2,868
9	2,01	2,539
10	2,80	3,389
11	2,50	2,715
12	1,98	2,382
13	2,28	2,912
14	2,33	3,045
15	2,11	2,885
16	3,26	4,309

8 YHTEENVETO

Tämän työn tarkoituksena oli interior-liimattujen koivuvanerilevyjen käyryyden vähentäminen Koskisen Oy:n vaneritehtaan tuotannossa suorittamalla koeajoja käyttäen ennalta määriteltyjä parametrejä.

Testattavat parametrit oli valittu vanhojen tutkimusten ja kokemusten perusteella. Työtä päästiin tekemään nopeasti, koska oli tiedossa niin sanotut ongelmakohdat, sekä työtavat ja laitteet olivat myös tuttuja, joten aikaa ja tutkimustyötä ei tarvinnut käyttää menettelytapoihin tutustumiseen. Tehtaan työntekijät suorittivat varsinaisen koekappaleiden eli levyjen valmistuksen. Valmistaminen oli kuitenkin ennalta määriteltyä ja koelevyjen tekemistä seurattiin tarkasti mahdollisuuksien mukaan. Koelevyjen valmistuksen yhteydessä ei juuri esiintynyt ongelmia ja suurin piirtein kaikki meni suunnitelmien mukaan.

Tuloksia tarkasteltaessa huomataan, että koeajoerässä numero kahdeksan oli mittaustulosten hajonta suurin ja koeajoerässä numero yksitoista sitä vastoin hajonta oli pienin. Tulosten perusteella on interior-liimatun koivuvanerin liimaus siirretty kokonaan telalevitinasemalle numero kolme, koska sitä käytettäessä levyjen

mittaustulosten hajonta oli pienin ja koska kyseisellä asemalla työskentelee monta työntekijää, mikä tarkoittaa, että käytössä on enemmän silmäpareja havaitsemassa mahdollisia virheitä. Viilujen kosteus on myös pyritty pitämään tasaisena ja lähellä kyseistä kolmen prosentin keskikosteutta. Kuumapuristusaika on myös pidettävä nykyisellä viidentoista minuutin tasolla, eikä levyjä saa makuuttaa puristimessa.

Jatkossa näiden tulosten perusteella on syytä vielä suorittaa niin sanottu konfirmaatiotesti parhaan tuloksen antaneella koeajoerän numero yksitoista parametrivalinnalla. Näin voitaisiin varmistua tulosten luotettavuudesta. Jos halutaan vielä tutkia pitemmälle, pystytäänkö keskihajontaa pienentämään, voidaan suorittaa lisätestejä muuttamalla vain yksittäisiä parametreja kerrallaan ja näin ollen hioa parametri kerrallaan tuloksia ehkä vielä paremmiksi.

Työn tavoitetta ei saavutettu, mutta saatiin tutkimustietoa tulevia testejä varten. Työn onnistumiselle tuotti haastetta tehtaan huono tilauskanta kokeen suorittamisen aikoihin. Tämä viivästytti kokeiden aloitusta, koska koelevyt oli alun perin tarkoitus tehdä jo olemassa oleviin tilauksiin. Koska tilauksia ei ollut, meni aikaa päätöksen saamiseen sille, että näin suuri määrä paksua ja kallista levyä voidaan tehdä ilman tilausta tai varmuutta, saadaanko se kaupaksi.

Lähteet

Isixsigma Sipoc diagram [verkkajulkaisu]. [viitattu 10.3.2012]. Saatavissa:

<http://www.isixsigma.com/tools-templates/sipoc-copis/sipoc-diagram/>

Karjalainen, T. & Karjalainen, E. 2002. Six Sigma. Uuden sukupolven johtamis- ja laatumenetelmä. Quality Knowhow Karjalainen Oy.

Kempainen, H. 1990 Vanerin käyristyminen. Schauman Wood Oy

Kolmannen generaation Six Sigma [verkkajulkaisu]. [viitattu 10.3.2012] Saatavissa:

<http://www.sixsigma.fi/fi/artikkelit/kolmannen-generaation-six-sigma-3.0/>

Koponen, H. 2002 Puutuoteteollisuus 4: Puulevytuotanto. Edita Oy

Koponen, H. 1995 Puulevytuotanto. Hannu Koponen ja Opetushallitus

Kärkkäinen, M. 2003 Puutieteen perusteet. Metsälehti Kustannus ja tekijä

Vanerin valmistus. 1979 Metsäteollisuuden työnantajaliitto ry.

Liite 1. Mittaustulokset.

Levy	Koe 1						Ka.	S	Koe 2						Ka.	S
	A	B	C	D	E	F			A	B	C	D	E	F		
1	0,00	2,80	0,00	4,50	2,50	3,70	2,25	1,88	1,50	0,00	4,30	3,20	0,00	0,00	1,50	1,87
2	7,90	1,30	0,70	6,20	1,40	7,70	4,20	3,42	2,10	1,60	3,80	6,35	0,00	0,00	2,31	2,44
3	1,20	2,20	0,00	3,70	1,70	0,00	1,47	1,41	6,95	2,30	0,90	5,20	2,50	0,00	2,98	2,63
4	8,30	0,00	2,20	15,80	0,00	4,00	5,05	6,10	3,70	3,20	6,00	17,30	2,50	0,50	5,53	6,03
5	0,00	2,50	0,00	4,80	0,00	1,30	1,43	1,93	5,60	4,45	5,90	9,40	4,10	2,55	5,33	2,32
6	0,00	1,20	2,20	4,50	0,00	0,00	1,32	1,80	2,10	5,00	4,10	4,20	3,40	2,70	3,58	1,06
7	9,00	3,50	3,80	10,30	4,10	1,20	5,32	3,53	12,80	7,90	2,50	10,10	8,30	2,30	7,32	4,18
8	4,30	1,10	0,60	5,10	0,00	0,00	1,85	2,26	3,80	0,00	1,90	0,00	0,00	3,10	1,47	1,72
9	1,40	0,00	3,90	7,40	0,00	2,50	2,53	2,82	1,00	3,50	1,60	3,80	1,60	0,00	1,92	1,47
10	6,30	0,00	5,20	11,20	0,00	12,70	5,90	5,38	8,90	5,00	6,60	7,70	5,40	0,00	5,60	3,10
11	5,20	0,00	0,00	5,70	1,60	0,00	2,08	2,69	2,00	7,90	0,00	11,70	2,40	1,50	4,25	4,54
12	0,90	1,90	0,00	0,60	2,20	0,00	0,93	0,94	9,00	3,50	0,00	11,40	1,90	0,90	4,45	4,67
13	0,80	0,00	7,30	4,40	2,70	0,00	2,53	2,90	1,30	3,90	0,00	3,40	2,00	0,00	1,77	1,66
14	2,50	2,50	0,00	1,25	2,40	1,70	1,73	0,99	1,50	3,80	18,80	7,90	2,70	4,70	6,57	6,37
15	1,30	1,50	0,00	3,90	0,00	0,00	1,12	1,53	7,40	1,10	9,50	15,30	0,00	3,00	6,05	5,83
16	3,70	5,10	5,20	8,50	4,20	1,30	4,67	2,35	4,00	0,00	2,30	0,00	0,00	7,50	2,30	3,03

Levy	Koe 3						Ka.	S	Koe 4						Ka.	S
	A	B	C	D	E	F			A	B	C	D	E	F		
1	1,60	2,10	1,70	1,70	1,40	1,00	1,58	0,37	2,30	3,40	1,00	3,50	3,20	0,90	2,38	1,19
2	1,30	0,00	0,60	1,30	0,00	0,00	0,53	0,64	1,60	2,10	3,60	8,50	2,60	0,00	3,07	2,92
3	1,40	0,00	4,80	1,90	1,10	0,00	1,53	1,77	2,40	3,50	0,00	0,00	2,20	1,00	1,52	1,42
4	4,80	3,20	4,90	6,80	2,20	3,10	4,17	1,66	1,00	2,80	0,00	0,00	1,10	0,00	0,82	1,10
5	0,70	0,00	1,60	5,80	0,00	0,00	1,35	2,27	2,60	2,80	0,00	3,00	2,40	2,00	2,13	1,10
6	0,00	0,00	0,80	8,20	0,00	0,00	1,50	3,30	4,10	1,10	3,75	4,40	0,00	1,50	2,48	1,84
7	3,90	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00	0,90	1,59	9,20	2,50	1,30	2,30	3,40	1,20	3,32	3,00
8	2,40	2,00	1,00	2,00	1,30	1,40	1,68	0,53	5,30	2,80	0,00	4,80	1,40	1,00	2,55	2,14
9	2,80	3,40	5,30	12,30	0,00	2,60	4,40	4,23	1,00	0,00	3,80	3,10	0,80	0,00	1,45	1,62
10	0,00	0,00	11,50	2,30	0,00	0,00	2,30	4,60	16,50	1,50	2,20	4,50	1,50	1,10	4,55	5,98
11	1,00	0,00	4,00	1,60	0,00	0,00	1,10	1,57	4,20	3,40	2,60	5,30	2,70	3,10	3,55	1,03
12	5,90	0,00	4,50	0,00	2,60	1,50	2,42	2,41	3,70	0,00	3,20	4,00	0,00	0,00	1,82	2,01
13	2,70	1,50	8,60	3,40	2,60	2,60	3,57	2,54	4,00	0,00	0,00	3,00	0,00	0,90	1,32	1,76
14	2,60	1,20	7,10	0,00	2,90	2,80	2,77	2,41	0,00	2,00	2,10	0,00	1,40	2,40	1,32	1,07
15	3,00	1,40	1,80	14,40	0,00	4,60	4,20	5,23	2,90	1,40	4,70	1,00	1,60	3,00	2,43	1,38
16	6,50	0,00	1,30	5,70	1,30	0,00	2,47	2,88	1,70	2,10	1,90	2,80	1,10	4,60	2,37	1,23

Koe 5						Koe 6									
A	B	C	D	E	F	Ka.	S	A	B	C	D	E	F	Ka.	S
13,60	3,60	24,30	21,80	5,60	10,60	13,25	8,41	0,00	1,20	2,80	5,30	0,00	0,00	1,55	2,14
6,30	1,30	8,50	16,60	0,00	14,50	7,87	6,75	0,50	0,80	1,20	0,00	3,30	0,00	0,97	1,23
3,60	1,70	10,30	8,40	3,10	0,00	4,52	3,99	3,90	1,90	1,50	6,40	0,00	2,60	2,72	2,21
4,20	1,20	0,00	1,50	0,00	0,00	1,15	1,64	2,70	1,70	0,00	3,30	0,00	2,70	1,73	1,44
1,20	2,40	0,00	7,40	0,00	0,00	1,83	2,89	2,30	0,00	2,40	4,80	0,00	0,00	1,58	1,95
0,00	0,00	0,00	6,60	0,00	0,00	1,10	2,69	6,60	0,00	0,00	1,10	2,40	5,20	2,55	2,78
4,80	1,20	0,00	7,40	0,00	6,60	3,33	3,35	1,60	1,70	1,20	1,20	2,50	0,00	1,37	0,82
3,40	1,90	0,00	9,40	0,00	1,90	2,77	3,50	0,00	1,60	0,00	1,20	2,00	0,00	0,80	0,91
1,70	0,00	1,80	4,90	0,00	5,70	2,35	2,43	0,00	1,90	0,00	1,40	0,00	0,00	0,55	0,87
1,60	1,40	0,00	6,80	0,00	0,00	1,63	2,64	4,90	4,80	4,80	13,10	3,90	9,60	6,85	3,68
2,20	2,50	1,90	10,30	0,00	5,00	3,65	3,63	0,00	2,20	0,00	3,20	1,70	0,90	1,33	1,27
3,50	3,30	0,00	7,00	3,00	0,00	2,80	2,61	0,00	1,20	2,20	2,30	1,20	0,70	1,27	0,88
6,30	2,30	1,90	17,30	1,50	6,70	6,00	5,98	5,00	1,30	3,20	3,60	1,30	2,30	2,78	1,44
0,00	1,60	0,00	3,00	0,00	0,00	0,77	1,27	4,90	0,00	2,00	0,00	1,20	5,60	2,28	2,43
0,00	2,00	1,50	4,10	0,00	4,50	2,02	1,94	0,00	1,50	1,20	2,70	1,10	0,00	1,08	1,01
4,60	2,60	0,00	3,30	1,70	6,30	3,08	2,21	2,50	1,80	0,90	1,00	1,70	3,20	1,85	0,88

Koe 7						Koe 8									
A	B	C	D	E	F	Ka.	S	A	B	C	D	E	F	Ka.	S
1,50	1,70	1,70	0,00	1,50	0,00	1,07	0,83	19,20	5,00	19,40	23,70	4,80	25,50	16,27	9,14
6,80	0,00	10,10	3,70	0,00	1,80	3,73	4,04	2,90	1,60	5,60	7,20	1,40	2,70	3,57	2,33
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,30	4,00	0,00	6,90	0,00	0,00	2,37	2,86
1,70	1,20	3,40	2,90	0,00	0,00	1,53	1,43	2,80	1,30	1,90	4,30	0,00	1,00	1,88	1,51
1,10	1,20	3,20	2,50	2,50	0,60	1,85	1,02	1,00	1,40	2,30	4,60	0,00	1,20	1,75	1,58
1,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,57	0,80	3,40	2,90	6,70	2,10	2,20	3,02	2,01
0,00	3,20	1,50	7,50	1,90	0,00	2,35	2,80	1,40	1,90	1,00	6,10	1,30	0,00	1,95	2,13
1,40	2,60	0,00	3,00	1,20	0,70	1,48	1,14	2,90	2,50	3,40	5,30	2,20	1,80	3,02	1,25
0,00	0,00	0,00	3,80	0,00	0,00	0,63	1,55	8,90	0,00	4,00	8,50	0,00	0,00	3,57	4,27
7,20	0,00	1,90	6,00	0,00	0,00	2,52	3,27	4,00	0,00	1,90	1,90	1,30	0,00	1,52	1,49
3,40	0,00	0,00	3,40	0,00	0,00	1,13	1,76	4,70	0,00	1,30	4,20	0,00	0,00	1,70	2,19
6,30	0,00	0,00	5,70	0,00	0,00	2,00	3,10	1,30	1,60	3,00	9,40	0,00	1,00	2,72	3,42
7,50	0,00	8,00	7,60	3,00	0,00	4,35	3,83	0,00	0,00	0,00	2,30	0,00	0,00	0,38	0,94
1,80	0,00	0,00	2,50	2,00	0,00	1,05	1,17	0,50	0,00	2,90	7,30	0,00	0,00	1,78	2,93
6,00	1,40	6,20	4,50	3,70	0,90	3,78	2,25	1,30	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10	0,40	0,62
2,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	1,14	19,80	9,10	8,00	11,90	7,30	6,90	10,50	4,90

Koe 9						Koe10									
A	B	C	D	E	F	Ka.	S	A	B	C	D	E	F	Ka.	S
6,30	3,20	9,90	5,70	2,40	8,00	5,92	2,83	10,10	1,10	0,00	7,90	0,00	0,00	3,18	4,58
27,30	3,70	1,80	27,90	3,00	9,20	12,15	12,24	0,00	0,00	0,00	6,00	0,00	0,00	1,00	2,45
0,00	0,00	0,00	5,20	0,00	0,00	0,87	2,12	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,73
2,90	0,00	2,60	0,60	1,70	3,50	1,88	1,37	0,00	2,40	4,70	8,30	0,00	1,00	2,73	3,25
6,00	1,40	0,00	4,00	0,00	4,30	2,62	2,50	4,10	1,50	0,00	0,00	0,00	1,90	1,25	1,63
0,00	0,00	4,40	1,50	0,00	0,00	0,98	1,78	2,70	0,00	2,00	7,50	0,00	1,10	2,22	2,80
4,50	1,20	0,00	2,30	1,30	0,00	1,55	1,69	10,90	0,00	4,90	3,20	0,00	4,30	3,88	4,03
1,10	4,00	2,70	4,80	0,00	4,80	2,90	2,01	1,90	3,10	1,20	8,50	1,90	0,00	2,77	2,99
9,10	1,30	0,00	0,00	1,70	1,20	2,22	3,45	0,00	0,00	0,00	1,40	0,00	0,00	0,23	0,57
7,80	2,00	4,30	3,00	3,10	2,40	3,77	2,12	2,70	0,00	4,40	2,90	1,30	0,00	1,88	1,76
7,70	5,00	3,90	3,00	5,40	1,40	4,40	2,17	1,50	0,00	4,50	4,30	0,00	1,20	1,92	2,02
4,50	2,50	1,80	8,00	2,30	2,80	3,65	2,32	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	1,70	0,48	0,77
2,30	2,20	0,00	1,00	1,30	0,00	1,13	1,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13,50	0,00	6,40	9,40	0,00	0,00	4,88	5,80	2,40	2,00	0,00	3,50	1,50	1,40	1,80	1,16
0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,41	6,50	0,00	0,00	2,30	1,20	2,80	2,13	2,43
4,50	0,00	9,40	11,00	1,00	4,70	5,10	4,40	0,00	2,80	1,40	2,30	1,10	2,60	1,70	1,07

Koe11

A	B	C	D	E	F
3,90	0,00	4,20	4,30	1,30	2,50
0,80	1,30	0,90	2,60	1,20	0,80
1,10	0,00	5,50	2,60	1,50	3,00
1,60	1,90	1,00	0,00	0,00	1,30
3,50	0,00	3,70	1,10	0,00	0,90
0,00	0,00	3,10	1,00	0,00	0,00
4,20	0,00	4,50	6,40	0,00	2,10
0,00	0,00	2,50	1,50	0,00	0,00
1,90	2,60	1,00	2,50	1,40	4,20
0,80	3,10	5,40	3,20	1,10	5,80
2,40	0,00	5,60	3,90	0,00	2,00
1,40	1,90	0,60	0,80	1,50	2,90
1,90	0,00	1,40	0,00	0,00	3,70
2,10	0,00	0,00	0,70	0,00	0,00
2,20	1,40	2,60	3,20	0,00	0,00
1,30	0,00	1,30	2,30	0,00	0,00

Ka.

2,70
1,27
2,28
0,97
1,53
0,68
2,87
0,67
2,27
3,23
2,32
1,52
1,17
0,47
1,57
0,82

S

1,76
0,69
1,91
0,81
1,66
1,25
2,61
1,08
1,13
2,09
2,20
0,83
1,49
0,85
1,35
0,97

Koe 12

A	B	C	D	E	F
4,50	0,00	3,70	0,00	0,00	1,70
0,00	2,40	1,30	3,20	0,00	0,00
0,00	0,00	4,70	1,60	0,00	0,00
0,00	0,00	1,20	0,00	0,00	0,00
7,90	0,00	4,20	3,80	2,00	0,00
0,00	0,70	0,70	0,70	0,00	0,00
0,00	0,80	2,20	2,90	0,80	0,00
13,10	3,30	8,30	14,90	2,00	12,60
0,00	1,50	3,80	1,50	1,90	0,00
0,00	2,60	0,00	0,00	1,40	0,00
0,00	0,00	4,30	3,60	0,00	0,00
1,40	1,60	0,00	0,00	2,60	0,00
1,90	0,00	2,60	3,00	0,00	0,00
2,10	0,00	7,20	5,90	0,00	3,20
1,40	0,00	3,50	3,50	0,00	0,00
0,00	2,80	1,00	2,70	1,40	0,00

Ka.

1,65
1,15
1,05
0,20
2,98
0,35
1,12
9,03
1,45
0,67
1,32
0,93
1,25
3,07
1,40
1,32

S

2,02
1,40
1,90
0,49
3,00
0,38
1,19
5,41
1,41
1,10
2,05
1,10
1,41
3,00
1,71
1,24

Koe 13

A	B	C	D	E	F
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,20
1,50	0,00	0,00	7,70	0,00	11,60
0,00	0,00	2,00	1,00	0,00	0,00
3,50	0,00	0,00	3,10	0,00	0,00
2,60	0,00	0,70	1,90	0,00	1,20
3,70	0,00	1,20	6,50	2,30	1,00
0,90	0,00	0,00	3,30	0,00	0,00
0,00	0,70	2,20	0,00	0,90	5,90
0,00	0,00	2,30	8,80	1,30	0,00
1,40	0,00	0,00	3,50	0,00	1,60
2,50	1,20	1,50	1,70	0,00	0,60
0,00	0,00	3,80	7,70	0,00	0,00
6,00	3,00	3,20	10,10	0,00	8,30
2,10	4,80	2,20	0,00	3,30	4,30
5,20	0,00	0,00	0,00	0,00	1,90
0,00	1,00	1,00	0,00	1,40	0,00

Ka.

2,20
3,47
0,50
1,10
1,07
2,45
0,70
1,62
2,07
1,08
1,25
1,92
5,10
2,78
1,18
0,57

S

5,39
4,98
0,84
1,71
1,05
2,35
1,32
2,25
3,43
1,39
0,87
3,22
3,74
1,74
2,11
0,64

Koe 14

A	B	C	D	E	F
3,60	1,20	5,40	0,00	2,10	6,30
5,50	0,00	7,10	3,40	2,20	1,80
7,70	0,00	0,00	1,90	0,00	0,00
1,20	0,00	1,80	6,50	0,00	3,20
1,30	1,50	0,00	1,70	1,80	0,00
4,40	0,00	0,00	1,90	0,00	0,00
5,50	0,00	0,00	1,10	0,00	1,60
1,20	1,00	3,60	0,00	1,50	1,60
0,00	0,00	4,00	3,00	0,00	0,00
1,40	0,80	2,60	1,10	0,00	4,20
3,90	0,00	0,70	4,70	0,00	0,00
1,50	1,00	3,00	0,00	1,90	0,00
1,90	1,60	5,00	7,70	0,00	1,00
1,20	0,00	2,90	0,00	0,00	0,00
0,80	1,30	1,40	3,30	3,40	0,00
8,50	0,00	0,00	5,90	0,00	0,00

Ka.

3,10
3,33
1,60
2,12
1,05
1,05
1,37
1,48
1,17
1,68
1,55
1,23
2,87
0,68
1,70
2,40

S

2,45
2,59
3,08
2,46
0,83
1,81
2,14
1,18
1,83
1,50
2,16
1,16
2,90
1,19
1,37
3,81

Koe 15							Koe 16								
A	B	C	D	E	F	Ka.	S	A	B	C	D	E	F	Ka.	S
1,30	3,20	1,50	6,70	1,80	1,70	2,70	2,07	0,00	1,10	0,00	4,90	0,00	0,00	1,00	1,96
1,20	1,10	2,00	0,00	0,00	0,00	0,72	0,84	1,30	0,00	0,00	2,70	0,00	0,00	0,67	1,12
1,60	2,20	2,30	0,50	0,00	1,20	1,30	0,92	1,70	0,00	0,00	2,70	0,00	0,00	0,73	1,18
8,40	0,00	1,50	1,50	0,00	0,00	1,90	3,27	1,50	0,00	3,80	5,30	0,00	3,70	2,38	2,21
0,00	2,10	1,10	0,80	1,30	0,00	0,88	0,81	6,90	0,00	0,70	0,00	0,00	5,80	2,23	3,22
4,30	0,90	1,90	4,60	0,00	0,00	1,95	2,06	1,00	2,40	0,00	2,50	0,00	0,00	0,98	1,20
0,00	1,00	5,10	2,90	1,20	1,00	1,87	1,84	1,40	4,60	3,30	10,50	2,40	1,10	3,88	3,49
3,80	0,70	1,30	0,00	3,40	6,60	2,63	2,45	0,00	0,00	0,00	3,80	0,00	0,00	0,63	1,55
7,50	0,00	1,50	3,70	0,00	5,20	2,98	3,03	5,20	2,50	0,00	2,80	2,30	1,50	2,38	1,71
0,00	1,30	0,00	0,00	1,10	0,00	0,40	0,62	1,80	2,00	0,00	1,20	1,00	1,20	1,20	0,70
12,40	2,30	6,30	7,30	2,90	7,20	6,40	3,65	0,60	2,10	2,30	7,40	0,00	0,00	2,07	2,80
0,00	0,50	5,50	1,90	0,00	0,00	1,32	2,18	1,20	2,60	1,90	2,90	4,40	0,00	2,17	1,51
0,60	2,70	0,00	0,00	0,00	1,60	0,82	1,11	1,30	2,30	5,20	0,00	0,00	0,00	1,47	2,05
3,80	0,00	1,50	0,00	0,00	0,80	1,02	1,49	5,20	1,30	7,50	6,20	1,10	4,50	4,30	2,61
0,50	1,20	6,50	2,10	0,70	0,00	1,83	2,39	3,00	2,30	0,00	11,20	0,00	0,00	2,75	4,34
1,80	1,90	9,10	3,00	1,20	0,00	2,83	3,22	16,30	0,00	6,80	24,20	0,00	11,10	9,73	9,51

Liite 2. Viilujen kosteustulokset mitattuna ennen telalevittimelle menoa.

	(telalevitiin nro.3)	(telalevitiin nro.3)	(telalevitiin nro.2)	(telalevitiin nro.2)	
koe nro	kosteus 3 % 1.	kosteus 4% 2.	kosteus 3% 3.	kosteus4 % 4.	kosteus % KA:
1	2,4	6,7	2,4	6,6	4,5
2	1,8	8,0	2,3	6,3	4,6
3	3,8	6,9	2,0	6,6	4,8
4	3,3	5,7	2,2	5,2	4,1
5	3,5	6,2	2,2	7,3	4,8
6	3,1	9,0	2,2	6,0	5,1
7	3,4	6,3	1,3	5,4	4,1
8	3,9	6,3	1,4	5,9	4,4
9	2,6	5,5	2,7	5,2	4,0
10	2,4	5,8	3,1	5,2	4,1
11	4,0	2,8	2,0	5,5	3,5
12	3,7	5,8	2,2	7,8	4,9
KA	3,2	6,3	2,2	6,1	4,4
S	0,7	1,4	0,5	0,8	0,4