

Laserleikattujen stanssilevyjen tekniset
ominaisuudet

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Prosessi- ja Materiaalitekniikka
Puutekniikka
Opinnäytetyö
Kevät 2017
Jyrki Joronen

Lahden ammattikorkeakoulu
Prosessi- ja Materiaalitekniikka

JORONEN, JYRKI:

Laserleikattujen stanssilevyjen
tekniset ominaisuudet

Puutekniikan opinnäytetyö, 41 sivua, 4 liitesivua

Kevät 2017

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetön tavoitteena oli selvittää nykyisin käytössä olevan vanerisen stanssilevyn ominaisuuksia ja verrata niitä uuteen, vielä toistaiseksi käyttämättömään levytyyppiin. Stanssausteknologia kehittyi jatkuvasti ja samalla kasvavat stanssityökalujen laatuvaatimukset.

Stanssityökalu koostuu kolmesta eri komponentista: vanerisesta pohjalevystä, leikkaavista sekä nuuttaavista teristä ja teräkumeista, joiden tarkoituksena on irrottaa pakkausaihiot ja roskat stanssityökalusta. Leikkaavat terät nimensä mukaisesti leikkaavat laatikon muotoisen kappaleen irti aihioista, ja nuuttausterä painaa pakkaukseen taitokset. Aikaisemmin teräurat sahattiin levyyn, mutta nykyään ne tehdään laserleikkaamalla.

Kaikkien komponenttien on tärkeää säilyttää ominaisuutensa, mutta suurin merkitys on vanerisella pohjalevyllä. Levyn tulee säilyttää mittatarkkuus ja pysyä suorana kovassakin käytössä, jotta tuotteiden laatu pysyy korkeana. Tarkoituksena oli kehittää uutta liiketoimintaa ja luoda paremmin toimiva ja käytössä kestävämpi vaihtoehto nykyisen tekniikan rinnalle.

Työ tehtiin UPM Plywood Oy:n toimeksiantamana pääosin Lahden ammattikorkeakoulun tiloissa. Teoriaosuudessa käsitellään stanssausta, vanerin valmistusta ja lasereiden toimintaa sekä niiden eri työstöprosesseja.

Käytännön osuudessa keskityttiin tutkimaan leikkaavien stanssiterien sekä teräkumien pysyvyyttä stanssilevyssä. Näytteet tilattiin Polytronic Oy:ltä ja testit suoritettiin Lahden ammattikorkeakoulun puulaboratoriossa. Opinnäytetyö jakautuu teoriaosuuteen ja käytännön osuuteen.

Asiasanat: stanssi, stanssaus, muotoleikkaus, laser, lasertyöstö, stanssiterä, teräkumi, vaneri

Lahti University of Applied Sciences

Degree Programme in Process and Materials Engineering

JORONEN, JYRKI:

Properties of laser- cutted die boards

Bachelor's Thesis in Wood Technology

41 pages, 4 pages of
appendices

Spring 2017

ABSTRACT

Main goal of this thesis was to define commonly used die board's properties, and compare those to a new, not yet used type of die board. Die cutting industry is developing constantly and so are quality requirements of die cutting tools.

Die cutting tool consists three different components: base board made of plywood, cutting and pressing blades, and bladerubbers, that are meant to separate ready product and waste from tool. Cutting blades as those are named, cut a box- shaped piece out of billet, and pressing blade presses edges to product. Before blade holes were made with sawing, but nowadays lasercutting is mostly used application.

It is important that each component sustain their properties, but the role of baseplate, made from plywood is most important of all. Plate must remain flat and sustain its dimensions even in heavy use, so that the quality of products remains high. Plan was to develop new business, and create more functional and sustainable option besides current technic.

Thesis was made in Lahti University of applied sciences by assignment of UPM Plywood Oy. Theory- part consists die cutting, plywood and its manufacturing, and laser- technics.

Practical part is focused in examination of die cutting blades and blade- rubbers. Samples were ordered from Polytronic Oy, and tests were made in wood laboratory of Lahti University of applied sciences.

Thesis is divided in theory- part and practical part.

Key words: die cutting, laser, die cutting blade, blade- rubber, plywood.

Alkusanat

Tämä opinnäytetyö tehtiin Lahdessa, keväällä 2017, UPM Plywood oy:n toimeksiantamana. Työn ohjaajina toimivat Lahden ammattikorkeakoulun puolelta puutekniikan lehtori Ilkka Tarvainen, toimeksiantajan puolelta vanhempi asiantuntija Juhana Liimatainen ja myyntipäällikkö Mikko Tilli.

Haluan kiittää erityisesti heitä sekä muita henkilöitä, jotka ovat auttaneet opinnäytetyöni valmistumisessa.

Lahdessa 27.4.2017

Jyrki Joronen

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	UPM	2
2.1	Biorefining	2
2.2	Energy	2
2.3	Raflatac	3
2.4	Paper Asia	3
2.5	Paper ENA	3
2.6	Plywood	4
3	POLYTRONIC	5
4	STANSSAUS	6
5	TEORIAA VANERISTA	8
5.1	Liimaus	8
5.2	Ladonta	9
5.3	Puristus	9
5.4	Viimeistely	10
6	TEORIAA LASERISTA	12
6.1	Käyttökohteet	12
6.2	Laservalo ja sen ominaisuudet	12
6.3	Lasertyöstö	14
7	LASERTYÖSTÖPROSESSIT	15
7.1	Laserleikkaus	15
7.2	Laserhitsaus	17
7.3	Lasermerkkäus	19
7.4	Laserpintakäsittely	21
7.5	Laserporaus	21
7.6	Puupohjaisten materiaalien laserleikkaus	21
8	KOKEELLINEN OSA	25
8.1	Koeajot Polytronicilla	25
8.2	Pinnoitteiden olosuhdetestit	26
8.3	Terien vetokokeet	26
8.4	Teräkumien vetokokeet	27

8.5	Tarrapinnonitteen laserleikkaus	28
9	TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU	30
9.1	Terän vetokokeet	30
9.2	Teräkumien vetokokeet	34
10	YHTEENVETO JA KEHITYSEHDOTUKSET	38
	LÄHTEET	40
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia uuden levytyypin käyttäytymistä ja soveltuvuutta stanssityökaluihin sekä verrata sitä nykyisin käytössä olevaan levytyyppiin. Työssä tutkittiin terien pysyvyyttä laserleikatussa teräraossa sekä teräkumien tarttuvuutta erilaisilla pinnoitteilla pinnoitettuihin levyihin. Tarkoituksena oli myös kehittää uutta liiketoimintaa stanssityökalujen saralla.

Testikappaleet valmistettiin Polytronic Oy:n toimesta Valkeakoskella, ja testit suoritettiin Lahden ammattikorkeakoulun puulaboratoriossa. Testilaitteina käytettiin Shimadzu- ja Lloyd LRX – aineenkoestuslaitteita, GCC Laserpro Spirit LS- laseria sekä sääkaappia.

Teoriaosuudessa esitellään yritykset UPM ja Polytronic sekä käsitellään stanssausta, vanerin valmistusta liimauksesta eteenpäin sekä laserin historiaa, toimintaa ja sen työstöprosesseja. Käytännön osuudessa testataan eri tavalla valmistettujen stanssilevyjen soveltuvuutta stanssityökaluihin ja vertaillaan saatuja testituloksia.

Lasertyöstö on kasvattanut paljon suosiotaan viime vuosikymmeninä teollisuuden eri aloilla. Vaikka lasertyöstöjärjestelmän hankintakustannukset ovat korkeat, ei oheiskuluja tule yhtä paljon kuin mekaanisilla työstömenetelmillä. Nopeutensa ja monipuolisuutensa ansiosta laserlaitteisto voi maksaa itsensä takaisin hyvinkin nopeassa ajassa. Lisäksi lasertyöstö on lähes melutonta eikä siitä muodostu pölyä tai purua.

2 UPM

Viralliselta nimeltään UPM-Kymmene Oyj on suomalainen bio- ja metsäteollisuusyhtiö. Yhtiön liiketoiminta koostuu kuudesta eri liiketoiminta-alueesta: UPM Biorefining, UPM Energy, UPM Raflatac, UPM Paper Asia, UPM Paper ENA (Eurooppa ja Pohjois-Amerikka) ja UPM Plywood. UPM:llä on toimintaa 65 maassa, joista tuotantolaitoksia on 14:ssä. Nykyisen muotonsa yhtiö sai vuonna 1996, kun Repola Oy:n tytäryhtiö Yhtyneet Paperitehtaat Oy (United Paper Mills) ja Kymmene Oy fuusioituivat. (UPM 2017.)

UPM työllistää noin 19 600 henkilöä, ja yhtiön liikevaihto vuonna 2015 oli 10,1 miljardia euroa. UPM:n osakkeet on noteerattu NASDAQ OMX Helsingin pörssissä, ja osakkeenomistajia vuoden 2015 lopussa oli 85 000. (UPM Vuosikertomus 2015.)

2.1 Biorefining

UPM Biorefining muodostuu kolmesta liiketoiminnasta, jotka ovat sellu, saha ja biopolttoaine. Sellutehtaita UPM:llä on neljä, kolme Suomessa ja yksi Uruguayssa. Uruguayssa on lisäksi puuviljelmiä. Sahalaitoksia yhtiöllä on neljä, kaikki Suomessa. Vuonna 2015 Suomessa alkoi biojalostamon toiminta, joka valmistaa puupohjaista, uusiutuvaa dieseliä.

Selluliiketoiminnan asiakkaat koostuvat pääasiallisesti kartongin sekä pehmo- ja erikoispaperin tuottajista. Sahaliiketoiminta toimittaa tuotteensa pakkaus-, rakennus-, ja puusepänteollisuuteen. Biopolttoaineet toimitetaan eteenpäin polttoaineiden jakelijoille. UPM tavoittelee jatkuvaa kasvua selluntoimituksiin ja biopolttoaineisiin, sekä sahoja pyritään pyörittämään täydellä teholla. (UPM Vuosikertomus 2015.)

2.2 Energy

UPM Energy tuottaa kustannuskilpailukykyistä ja vähäpäästöistä energiaa ja toimii Pohjois- ja Keski- Euroopan fyysisen sähkön kaupassa sekä sähkön johdannaismarkkinoilla. UPM Energy on toiseksi suurin

sähköntuottaja Suomessa ja Pohjoismaisten sähkömarkkinoiden edelläkävijä. UPM Energy on suomalaisten sähköyhtiöiden aktiivinen osakkeenomistaja, jolla UPM pyrkii osallistumaan päätöksentekoihin ja kehittämään omia tuotantolaitoksiaan. (UPM Vuosikertomus 2015.)

2.3 Raflatac

UPM Raflatac valmistaa tarralaminaatteja tuote- ja informaatioetiketöintiin. Tarralaminaatteja käytetään hinta- ja tuoteselostetarroissa lääke-, hygieni- ja elintarviketeollisuudessa sekä vähittäiskaupassa. UPM Raflatac on maailman toiseksi suurin tarralaminaatin valmistaja, sillä on 11 tehdasta ja 25 leikkuu- ja jakeluterminaalia viidellä eri mantereella. (UPM Vuosikertomus 2015.)

2.4 Paper Asia

UPM Paper Asia tuottaa Aasian markkinoille hienopaperia, maailmanmarkkinoille tarramateriaaleja sekä Euroopan markkinoille joustopakkausmateriaaleja. Tuotteet valmistetaan Suomessa ja Kiinassa, UPM Tervasaaren, UPM Jämsänkosken ja UPM Changsun tehtailla. Asiakaskunta koostuu pääasiassa painotaloista, kustantajista, vähittäismyyjistä, paperinjalostajista ja jakelijoista. UPM:n tavoitteena on kasvattaa menekkiä tarramateriaaleilla globaalisti sekä toimistopapereilla Kiinassa ja Aasian -Tyynenmeren alueella. (UPM Vuosikertomus 2015.)

2.5 Paper ENA

UPM Paper ENA valmistaa aikakaus- ja sanomalehtipapereita sekä hienopapereita erinäisiin käyttötarkoituksiin, kuten paino- ja kirjoituspapereiksi. Yhtiöllä on 17 tehdasta Euroopassa ja Yhdysvalloissa. Asiakkaat koostuvat painotaloista, tukkureista, kustantajista, vähittäismyyjistä ja luettelokustantajista. (UPM Vuosikertomus 2015.)

2.6 Plywood

UPM Plywood tuottaa viilua ja vaneria kuljetusvälineiteollisuuteen, rakentamiseen, LNG-tankkereiden rakentamiseen sekä muuhun teollisuuteen. UPM Plywoodilla on tuotantolaitoksia yhdeksällä tehtaalla Suomessa, Venäjällä ja Virossa, ja se on Euroopan johtava vanerintoimittaja. (UPM Vuosikertomus 2015.)

3 POLYTRONIC

Polytronic Oy on Valkeakoskella sijaitseva, Suomen suurin stanssinvalmistaja. Polytronic on kolmen yrittäjän omistama, täysin kotimainen yritys, joka on perustettu vuonna 1986. Yritys otti ensimmäisenä Suomessa käyttöönsä laserleikkauksen stanssinvalmistuksessa ja onkin vuodesta 1995 asti keskittynyt enimmäkseen stanssityökalujen valmistukseen. Yritys tekee myös pakkaussuunnittelua käytössään uusimmat ohjelmat ja mallintekokoneet. Käytettäviä materiaaleja ovat kartongit, aaltopahvit, sekä erilaiset muovit.

Polytronicin asiakkaita ovat muun muassa pakkaus-, auto-, elektroniikka- ja elintarviketeollisuus. Lopputuotteet voivat olla moninaisia, kuten kuluttajapakkauksia, suojaavia pakkauksia, myyntitelineitä, etikettejä, tarroja, kansioita, palapelejä tai kalvoja.

Polytronicin konekanta on hyvin kilpailukykyinen, jopa eurooppalaisella mittapuulla verrattuna. Siihen sisältyy kaksi Elcede-laserleikkuria, joilla vaneriset rotaatio- ja tasostanssit valmistetaan. Stanssiterien valmistukseen ja muotoiluun yrityksellä on viisi erilaista teränkäsittely-automaattia. Lisäksi on vesileikkuri irrotuskumien leikkaamista varten sekä automaattijyrsin metallisten osien jyrsimiseen. (Polytronic 2016.)

4 STANSSAUS

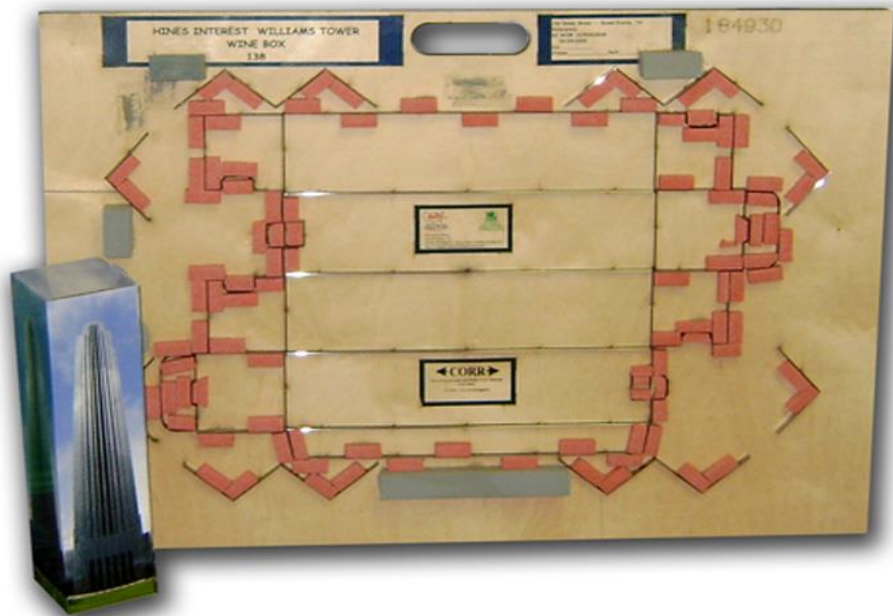
Stanssauksella eli muotoleikkauksella tarkoitetaan painomenetelmää, jonka avulla voidaan valmistaa monimutkaisiakin muotoja, reikiä tai painanteita. Prosessissa muotoillut terät leikkaavat ja painavat suunnitellut reunat aihioon. Tätä tekniikkaa hyödynnetään erityisesti pakkausteollisuudessa, missä pakkausten korkea laatu ja mittatarkkuus ovat tärkeitä. Menetelmä vaatii tarkkaa suunnittelua, mutta sillä päästään myös hyvään lopputulokseen. Stanssauksella voidaan leikata laajasti eri materiaaleja, kuten puuta, metallia, muovia tai paperia, ja sitä käytetään paljon pakkaus-, elektroniikka- sekä graafisessa teollisuudessa. (Overstock 2017.)

Stanssausmenetelmiä on kahdenlaatuista, rotaatio- ja tasostanssaus. Yleisimmin stanssivalmistetut pakkaukset toimitetaan asiakkaalle aihioina, minkä jälkeen ne pakataan koneellisesti tuotannossa. Mikäli aihiot kootaan käsin, on niihin saatavilla erilaisia helpottavia ja nopeuttavia rakenteita, kuten pikalukitukset. Myyntitelineet, myyntivalmiit kuljetuspakkaukset ja valmiiksi liimatut rakenteet tehdään useimmiten käyttäen stanssausta.

Tasostanssi on valmistettu vanerilevystä, johon on laserleikattu urat leikkaavia teriä varten. Laserleikkaus suoritetaan käyttäen CAD/CAM-ohjelmia, joilla työstöradat voidaan mitoittaa. Terät asennetaan uriin muovisella vasaralla lyömällä ja terien viereen painetaan stanssikumit, joiden tehtävänä on irrottaa aihio työkalusta painalluksen jälkeen. Teriä ei erikseen kiinnitetä uriin, vaan ura on mitoitettu sopivaan tiukkuuteen, että terä pysyy napakasti paikallaan. Stanssikumit kiinnitetään vaneriin liimalla tai tarralla.

Rotaatiostanssi toimii kahden erillisen pyörivän sylinterin voimin, joista ylempään kiinnitetään stanssityökalu eli formu. Alempi sylinteri on polyuretaanilla päällystetty ja sen tehtävänä on painaa stanssattava aihio tiukasti stanssiformua vasten, jolloin leikkaavat ja taivuttavat terät painuvat aihioon asianmukaisesti. Rotaatiostanssauksesta on eniten hyötyä, kun tehdään erikoislaatuisia pakkauksia suurella volyymilla. (Aaltopahvi 2017.)

Kuvioissa 1 ja 2 näkyy taso- ja rotaatiostanssien rakenne leikkaavine ja nuuttaavine terineen sekä teräkumineen. Kuvien alareunassa näkyy myös stanssauksesta syntyvä tuote.



KUVIO 1. Tasostanssi (Jimdandyboxes 2015.)



KUVIO 2. Rotaatiostanssi (Jimdandyboxes 2015.)

5 TEORIAA VANERISTA

Vanerilla tarkoitetaan levymäistä puutuotetta, joka on valmistettu liimaamalla ohuita puuviiluja yhteen. Viilujen paksuudet ovat 1,4 – 3,2 mm. Viilujen vähimmäismäärä on kolme, ja yleisesti niiden syysuunnat ovat kohtisuorassa toisiaan vasten. Perinteisesti viilujen määrä on pariton, mutta se voi olla myös parillinen, kunhan pintaviilujen syysuunnat ovat yhdensuuntaiset ja rakenne on samanlainen keskilinjan suhteen.

Vanerin valmistus alkaa siitä kun tukit vastaanotetaan tehtaalle. Ensimmäisessä vaiheessa tukkeja haudotaan lämpimässä vedessä, jotta puuaineksesta saadaan pehmeämpää. Siitä tukit viedään katkaisuun, jossa niistä tulee pöllejä. Seuraavana vuorossa on viilun valmistus, joka suoritetaan sorvaamalla tai leikkaamalla. Sorvaus ja leikkaus helpottuu huomattavasti haudonnan ansiosta. Viilut leikataan määrämittäisiksi arkeiksi ja kuivataan. Kuivaus voidaan tehdä myös ennen leikkaamista. Viiluja jalostetaan paikkaamalla, saumaamalla ja jatkamalla, sekä lajittelemalla parhaat viilut pintaviiluiksi. Itse vanerinvalmistus alkaa viillujen liimauksesta ja ladonnasta, josta edetään esipuristuksen kautta kuumapuristukseen. Viimeisinä vaiheina ovat reunasahaus, hionta ja pakkaus, sekä mahdollinen pintakäsittely. (Koponen 2002, 1.) Pintakäsittelyllä pystytään parantamaan vanerin ominaisuuksia, kuten esimerkiksi kulutus-, sään-, iskun ja kemikaalinkestävyyttä. Lisäksi pinnoitteilla voidaan myös parantaa kitkaominaisuuksia muun muassa kuljetusvälineiteollisuudessa. (Puuproffa 2015.)

5.1 Liimaus

Vanerin liimaus on yksi vanerinvalmistuksen tärkeimmistä työvaiheista, sillä liimauksen onnistuminen on edellytys vanerin käyttökelpoisuudelle erilaisissa olosuhteissa. Liimaus voidaan jakaa kolmeen työvaiheeseen: liimaseoksen valmistukseen, ladontaan ja puristukseen. Liimaseoksen valmistus sisältää liima-aineiden varastoinnin ja liiman sekoittamisen. Ladontaan kuuluu liiman levitys ja viilujen ladonta levyaihoiksi. Puristus koostuu esipuristuksesta huoneenlämmössä ja kuumapuristuksesta, jossa

lämpötila nostetaan yli 100 celsiusasteeseen. Vanerit voidaan jakaa exterior- ja interior-vanereihin, riippuen käytetystä liimasta. Ulkokäyttöön soveltuvilta exterior-vanereilta vaaditaan täydellistä säänkestävyyttä, joten ne valmistetaan fenolipohjaisilla liimoilla. Sisäkäyttöön tarkoitettuja, eli interior-vanereita valmistetaan urealiimoilla. Lisäksi kosteita tiloja varten on vaneria, jota valmistetaan urea-melamiiniliimoilla. (Koponen 2002, 7.)

5.2 Ladonta

Ladonnaksi kutsutaan valmistusvaihetta, jossa liima levitetään viiluihin ja ne ladotaan vaneriaihioksi ladonta- asemalla. Liiman levitys on erittäin tärkeä vaihe, jotta vanerin liimasaumoista tulee lujia. Liiman levitykseen on olemassa erilaisia menetelmiä: telalevitys, ruiskutus, valukonelevitys ja juovalevitys. Yleisimmin käytetään 4-telalevitintä, jossa on viilun molemmin puolin annostelu-, ja levitystela. Liima levitetään joka toiseen niin sanottuun liimaviiluun”, jotka ladotaan sisä- ja pintaviilujen väliin. Telat ovat metallisia/kumitettuja ja niissä on uritukset liimaavuuden parantamiseksi. Liiman levitysmäärään vaikuttavia tekijöitä ovat urituksen muoto ja tiheys, telojen puristuspaine, liiman viskositeetti, ja annostelu- ja levitystelojen välinen rako. Mikäli tehdään paksuviiluista havuvaneria, voidaan käyttää menetelmää missä liima levitetään jokaiseen viiluun, lukuun ottamatta pintaviilua. Tämä on avuksi silloin kun prosessi on pitkälle automatisoitu. (Koponen 2002, 67- 68.)

5.3 Puristus

Puristus alkaa huoneenlämmössä tapahtuvalla esipuristuksella, josta pinkka etenee kuumapuristukseen, jossa siitä muodostuu varsinainen vanerilevy korkean lämpötilan ja paineen avulla. Kuumapuristuksessa käytetään monivälisiä puristimia, joissa voi olla jopa 30 aukeavaa väliä. Esipuristus suoritetaan 0,5 – 1,0 MPa:n paineessa ja se kestää noin 5-10 minuuttia. Esipuristuksesta tulleet aihiot syötetään kuumapuristimeen ja sieltä pois syöttö- ja purkauslaitteiden avulla. (Koponen 2002, 69- 70.)

Kuumapuristuksessa vanerilevyn sisäosiin johdetaan kiihtyvästi lämpöä puristimen sulkeutuessa. Kun tavoitepaine ja lämpötila on saavutettu, alkaa liiman viskositeetti alentua, joka mahdollistaa liiman imeytymisen viiluihin. Liimasauman lämmitessä kondensaatioreaktiot aiheuttavat liimasauman viskositeetin nousun, kunnes sauma on täysin kiinteä. Samaan aikaan kosteus levyn pinnalta siirtyy sisempiin kerroksiin. Kuumapuristusaikaan vaikuttaa liiman kovettumiseen kuluvan ajan lisäksi sisimpien liimasaumojen lämpenemiseen kulunut aika. Normaalisti puristusaika fenoliliimalla on 3 minuuttia + 0,5 minuuttia x levyn paksuus (mm). Urealiimalla kaava on sama, mutta perusaika on 3 minuutin sijaan 1,5 minuuttia.

Jotta vanerista tulisi käyttökelpoista, tulee viilujen olla tasaisia ja paksuuden on oltava yhdenmukaista. Myöskään viilun kosteus ei saa olla liian korkea. Liian suuri vesimäärä puristuksessa voi aiheuttaa liimasauman hajoamista. Liimauksesta aiheutuvat virheet ja viilujen rikkoontuminen aiheuttavat suuria lisäkustannuksia tehtaalle, minkä vuoksi liimausprosessi onkin erityisen tarkkailun kohteena. (Koponen 2002, 71-72.)

5.4 Viimeistely

Vanerilevyt viimeistellään reunasahauksella, hionnalla ja paloittelusahauksella, jonka jälkeen levyt lajitellaan ja mahdolliset viat korjataan. Viimeisinä vaiheina on pakkaaminen, varastointi ja lähetys.

Reunojen sahaus suoritetaan sahaamalla vanerilevyn reunasta työvara pois, joka on yleisimmin noin 30 – 50 mm. Levyt sahataan vakiomittaan tai vakiomittaa lähellä olevaan määrämittaan. Reunojen sahaus suoritetaan usein pyörösahoilla, joita on kaksi sivuja varten, ja kaksi päätyjä varten. Hukkapaloista tehdään haketta murskaimella. (Koponen 2002, 74- 75.)

Reunasahauksen jälkeen levyt hiotaan tasapaksuiksi ja toleranssien mukaisiksi. Yleisin tapa hioa on käyttää leveänauhahiomakonetta, jossa levy hiotaan koko matkalta yhdellä kertaa. Koneessa on tela tai talla, joka

painaa hiomanauhan vanerilevyn pintaan ja pyörii vastakkaiseen suuntaan vanerin liikkumissuuntaan nähden. (Koponen 2002, 75.)

Vanerin paloittelu tehdään usein sahaamalla levyt asiakkaan toivomuksien mukaan pienempiin, vakiomitoista poikkeaviin mittoihin. Sahat voidaan jakaa yksiteräisiin sahoihin, ja useampiteräisiin sahoihin. Yksiteräisillä sahoilla sahataan useita levyjä päällekkäin, kun taas moniteräisillä voidaan tehdä nopeasti erilaisia jakosahauksia. Kun paloittelu yhdistetään osaksi viimeistelyprosessia, saadaan tuotannosta taloudellista ja läpimenoajat lyhenevät. (Koponen 2002, 77.)

Vaneritehtaassa kaikki valmistetut levyt tarkastetaan. Mikäli heikompa laatua löytyy, menee kappale joko korjattavaksi tai hylkyyn. Pintavikoja kuten oksanreikiä ja halkeamia kitataan ja paikataan. Ennen laatu arvioitiin ihmissilmällä, mutta nykyään tarkastukseen on tarjolla konenäköön perustuvia, automaattisia järjestelmiä, joilla voidaan laaduttaa vaneri hyvinkin nopeasti. Virheet vanerissa voivat johtua valmistuksesta tai raaka- aineen huonosta laadusta. Valmistusvirheitä voivat olla esimerkiksi terien tai telojen jäljet vanerin pinnassa, halkeamat, hionnasta johtuva aaltoilu tai väärä paksuus. Raaka- aineesta johtuvia virheitä taas ovat: oksaisuus, väriviat, hyönteis- ja lahotuhot. (Koponen 2002, 78.)

Vanerilevyt pakataan kuljetusmääräysten mukaisesti, joissa määritellään pakkauspainot, ja -koot. Määritelmät riippuvat siitä, kuljetetaanko pakkaukset rautateitse, maanteitse, vai meriteitse. Pakkaukset voivat olla täysin tai osittain suojattuja. Suojaus tehdään pahvilla, muovilla, puukuituleyllä tai huonompilaatuisella vanerilla. (Koponen 2002, 79.)

6 TEORIAA LASERISTA

Sana LASER tulee englannin kielen sanoista: Light Amplified by Stimulated Emission of Radiation. Ensimmäinen laservaloilmiö esitettiin jo vuonna 1912 Albert Einsteinin toimesta, mutta toimiva laserlaite kehitettiin vasta 60-luvun alussa. Nimensä mukaisesti laserit toimivat optisina vahvistimina ja sisältävät aina kolme komponenttia, jotka ovat laseroiva väliaine, kaksi peiliä ja pumppausenergia. Väliaine on olomuodoltaan kiinteää, nestemäistä tai kaasua. Pumppausenergiana käytetään valo- tai sähköenergiaa. Energiaa käytetään nostamaan laseroivien atomien elektroneja ylemmälle energiatasolle. Palatessaan alemmalle tasolle takaisin syntyy valoa, jonka aallonpituus on vakio. (Kujanpää, Salminen, Vihinen, 2005, 33.)

6.1 Käyttökohteet

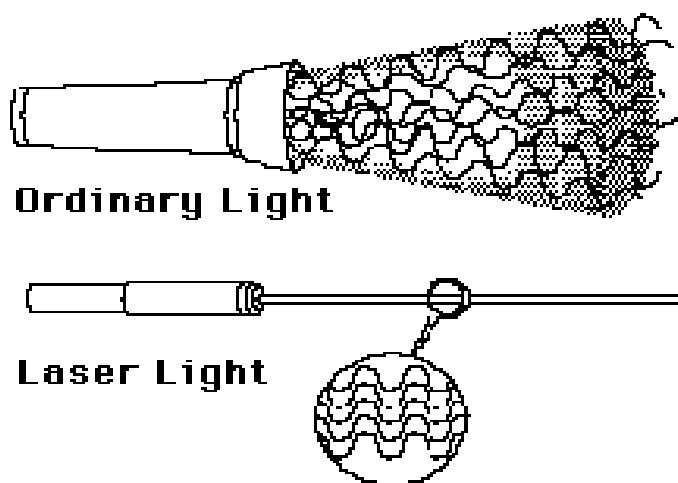
Lasertekniikkaa käytetään materiaalien työstön lisäksi laajasti eri sovelluksissa, kuten tiedonsiirrossa, mittauksissa, lääketieteessä, sotilaallisessa sekä viihteellisessä käytössä. Laajan käytettävyyden mahdollistaa laserin kyky tuottaa hyvin kirkasta, kapeaa ja keskittyntä valoa, joka voidaan kohdistaa erittäin pienelle alueelle. Polttopisteen ollessa pieni, tehointensiteetti on suuri, mikä mahdollistaa erilaiset materiaalien työstöt, kuten leikkaus, merkkäus, hitsaus ja pintakäsittely. Materiaalien työstöön tarkoitettut laserit ovat ominaisuuksiltaan samankaltaisia kuin muutkin laserit, mutta niiden teho on normaalia suurempi. (Kujanpää ym. 2005, 34.)

6.2 Laservalo ja sen ominaisuudet

Yleisesti atomia kuvataan ytimellä ja sitä kiertävillä elektroneilla. Huoneenlämmössä elektronit ovat enimmäkseen perustasollaan. Kun atomi saa energiaa, aiheuttaa se materiaalin lämpenemistä, jolloin elektronit siirtyvät korkeammalle tasolle. Tätä tasoa sanotaan myös virittyneeksi tilaksi. Virittyneessä tilassa elektroni pyrkii aina palautumaan normaaliin, stabiilimpaan tilaan. Palatessaan tähän, elektronista vapautuu

energiaa fotonin muodossa. Näin ollen energia poistuu sähkömagneettisena säteilynä. Fotonien törmätessä toisiin elektroneihin, jotka ovat virittyneessä tilassa, aiheuttaa se virittyneen tilan purkautumisen ja uuden fotonin vapautumisen. Ilmiötä kutsutaan stimuloituksi emissioksi. Valon energia vahvistuu entisestään koska alkuperäinen atomi jatkaa liikettään vapauttaen lisää fotoneita. Näin ollen syntyvä valo on samansuuntaista ja -vaiheista. Laserointi tapahtuu resonaattorissa, johon kuuluu kaksi peiliä ja laseroiva väliaine. Toinen peili on pinnoitettu osittain valoa läpäiseväksi, että osa säteestä pääsee ulos resonaattorista. Valon kimmotessa edestakaisin peilistä toiseen, vahvistaa se stimuloitua emissiota resonaattorin suunnassa. (Kujanpää ym. 2005, 34.)

Lasersäde on ominaisuuksiltaan erityislaatuinen verrattuna tavalliseen valoon. Laservalo on lähes täysin yhdensuuntaista, joka tarkoittaa sitä, ettei valo laajene juurikaan matkan kasvaessa. Tämä johtuu peilien suoruudesta ja yhdensuuntaisuudesta. Takimmainen peili on hieman kovera, joka aiheuttaa lasersäteelle hyvin pienen laajenemiskulman, samalla parantaen resonaattorin stabiiliutta. (Kujanpää ym. 2005, 35.) Kuviossa 3 on esitelty tavallisen valon ja laservalon eroa. Laservalo on lähes yhdensuuntaista ja -vaiheista, toisin kuin tavallinen valo.



KUVIO 3 tavallinen valo ja laservalo (NASA 1996.)

6.3 Lasertyöstö

Teollisessa mittakaavassa hiilidioksidi- laserit otettiin ensimmäisenä käyttöön stanssilevyjen valmistukseen pakkausteollisuudessa vuonna 1971. Siitä pisteestä tähän päivään on teknologia kehittynyt paljon, ja nykyään lasereilla voidaan työstää melkein mitä tahansa materiaalia. (Powell 1998, 17.)

Lasertyöstöllä tarkoitetaan menetelmää, jossa materiaaliin kohdistetaan lasersäde, joka muokkaa materiaalia. Työstettävien materiaalien kirjo on suuri, ja laseria käytetäänkin yleisesti leikkaukseen ja merkkaukseen. Sitä voidaan käyttää myös poraukseen, hitsaukseen ja pintakäsittelyyn. Yleisimmät työstettävät materiaalit ovat teräs, muovi, puu, nahka ja kivi. Laserit on kuitenkin suunniteltu vastaamaan tietyn materiaalin työstön tarpeita, joten sama laser ei sovellu kaikille materiaaleille.

Laserin kustannukset muodostuvat suurimmaksi osaksi hankintahinnasta, sillä käyttökustannukset ovat hyvin pienet. Huoltojen tarve on myös hyvin vähäistä, eikä lasersäde kulu verraten esimerkiksi teriä käyttäviin työstökoneisiin. (KILT 2017.)

7 LASERTYÖSTÖPROSESSIT

Tässä osiossa on esitelty lyhyesti yleisimmät lasertyöstöprosessit ja niiden toimintaperiaatteet. Lasertyöstö on kasvattanut suosiotaan merkittävästi viime vuosien aikana, ja se on nykyään hyvin yleisesti käytetty menetelmä teollisuuden eri aloilla.

7.1 Laserleikkaus

Laserleikkauksen toimintaperiaatteena on tuottaa voimakas infrapunasäde laserilla, ja keskittää se työstökappaleen pinnalle linssin avulla (Powell, 1998, 16). Laserleikkaus on yleisimmin käytetty lasertyöstösovellus. Sitä käytetään kappaleiden muotoon leikkaamiseen. Leikkausprosessissa laser muodostaa kappaleeseen sylinterimäisen reiän, josta saadaan yhtenäinen leikkausrailo liikuttamalla lasersädettä tai kappaletta. Leikkausrailon kokoon ja laatuun vaikuttavat leikkausparametrit, kuten leikkausnopeus, polttopisteen paikka ja kaasuvirtauksen paine. Leikattava materiaali osittain sulaa ja osittain höyrystyy materiaalin pinnalle fokusoidun säteen voimasta.

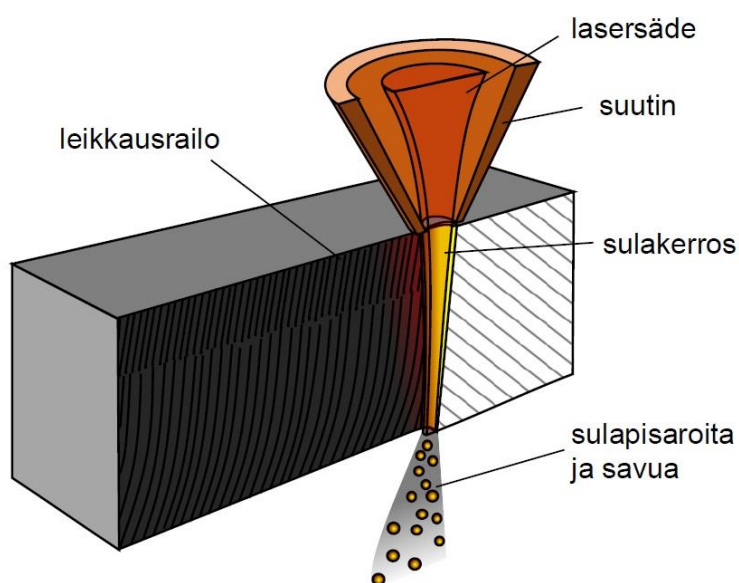
Mikäli leikkauskaasuna käytetään happea, osa materiaalista myös palaa. Sula ja höyrystynyt materiaali poistetaan kaasuvirtauksella, joka toimii yhdensuuntaisesti lasersäteen kanssa. Leikkauksessa lasersäteen polttopisteen halkaisija on yleensä 0,1 – 0,5 mm, ja etäisyys työstettävän kappaleen ja suuttimen välillä 0,5 – 1,5 mm. Suuttimen ja työstökappaleen välinen etäisyys ei saa olla kovin suuri, jotta kaasuvirtaus pysyy keskitettynä. (Kujanpää ym. 2005, 133.)

Laserleikkaus suoritetaan yleisimmin tasoleikkuukoneilla, joissa leikkuupää liikkuu x- ja y- suunnassa. Yleinen työstöala on minimissään A2- kokoinen, eli noin 500 x 500 mm, mutta leikkuupään johteista riippuen se voi olla hyvinkin suuri. (KILT 2017.)

Tärkeimmät tekijät laserleikkauksessa ovat lasersäde ja leikkauskaasu. Leikkauskaasun tehtävänä on pitää fokusointilinssi puhtaana ja poistaa leikattu, sulanut materiaali ja savukaasut leikkausraosta. Mikäli

savukaasuja ei saada tehokkaasti poistettua, voi kappale likaantua. Leikkuualustana käytetään usein hunajakennopöytää, josta savukaasut poistuvat helposti läpi puhallettaessa. Leikkauskaasuna käytetään yleisimmin paineilmaa, happea tai typpeä. Työstettäessä likaavia materiaaleja leikkuupään rakenteella ja leikkauskaasulla on tavallista suurempi merkitys, jotta materiaalista irtoava lika ei pääse kosketuksiin säteen muodostavan optiikan kanssa. Mikäli leikkuupää on toteutettu asianmukaisesti, saadaan puhdistustarve minimoitua ja käyttöikä pidennettyä. (KILT 2017.)

Laserleikkauksessa säde fokusoidaan materiaalin pintaan, joten leikkaus on tehokkainta ohuilla materiaaleilla. Tehontarve kasvaa merkittävästi materiaalin paksuuden noustessa. Tämä vaikuttaa myös leikkauksen nopeuteen, sillä paksuissa kappaleissa on enemmän poistettavaa materiaalia. Ohuiden materiaalien kanssa polttoväli pystytään pitämään hyvin lyhyenä, ja tehotiheys suurena. (KILT 2017.)



KUVIO 4 Laserleikkaus (Ionix 2017.)

Laserleikkauksessa saavutetaan paljon etuja kilpaileviin menetelmiin verraten, jonka takia laserleikkauksen suosio on kasvanut merkittävästi. Kuviossa 4 on kuvattu laserleikkausprosessin läpileikkaus. Leikattavaa kappaletta ei erityisemmin tarvitse kiinnittää alustaan, vaan riittää että se

sijoitetaan lasersäteen alle. Hauraita ja joustavia materiaaleja voidaan leikata suurella tarkkuudella rikkomatta tai vääristämättä niitä, jota voisi tapahtua leikkaamalla mekaanisesti.

Leikkausraon leveys on vain 0,1 – 1,0 mm, joka mahdollistaa erityistä tarkkuuttakin vaativat työstöt, sekä erittäin pienen materiaalihukan. Prosessi on täysin CNC- ohjattu, mikä yhdistettynä helppoon kappaleen kiinnitykseen mahdollistaa nopean siirtymisen toisen kappaleen työstämiseen.

Vaikka laserleikkaus on terminen prosessi, alue joka lämpenee, on hyvin pieni, ja suurin osa lämmitetystä materiaalista poistetaan prosessissa. Näin ollen materiaalin lämpeneminen yleisesti on hyvin pientä ja lämmöstä aiheutuvat poikkeamat pystytään välttämään. Usein leikatut komponentit ovat valmiita käyttöön heti työstön jälkeen, ilman jatkotoimenpiteitä.

CNC- työstön ja kapean leikkausraon ansiosta leikattavat komponentit voidaan nestata hyvin lähelle toisiaan. Tämä vähentää materiaalihukkaa. Optimitapauksissa kappaleiden reunat voivat olla yhteiset, jolloin materiaalihukkaa ei tule ollenkaan.

Vaikka laserleikkausjärjestelmän hankintahinta onkin suuri, käyttökulut ovat pääasiassa hyvin pieniä, ja monesti järjestelmä maksaa itsensä nopeasti takaisin. Lisäksi leikkausprosessi on paljon turvallisempi ja hiljaisempi verrattuna kilpaileviin tekniikoihin, mikä parantaa huomattavasti työturvallisuutta, ja -mukavuutta. (Powell, 1998, 18.)

7.2 Laserhitsaus

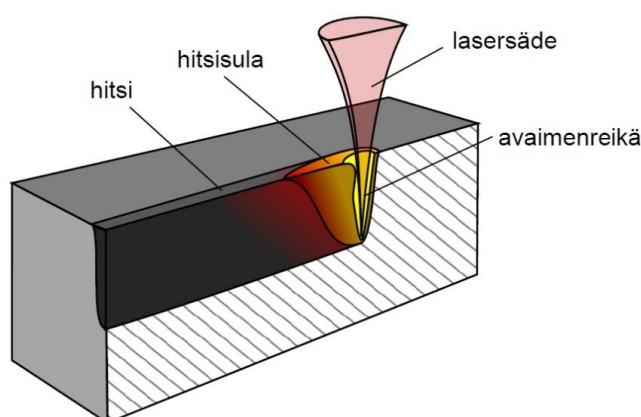
Laserhitsauksella tarkoitetaan prosessia, jossa lasersäde kohdistetaan kappaleiden liitosraioon aikaansaaden ensin materiaalin sulamista ja sen jälkeen jäähtyessä jähmettymistä. (Ionix 2017.)

Laserhitsaus on viime aikoina kasvattanut suosiotaan, ja se onkin yksi tämän hetken eniten tutkittu ja hyödynnetty työstömenetelmä.

Laserhitsausta käytetään paljon teollisissa sovelluksissa, kuten avaruus- ja

sotatekniikassa ja autoteollisuudessa etenkin korinosien ja voimansiirron valmistuksessa. Laserhitsaus prosessina on hyvin taloudellinen, sillä se vähentää välivarastojen tarvetta ja lyhentää hitsaus- ja asetusajoja. Suurimmat kulut koostuvat hankintahinnasta. Useimmin hitsaus suoritetaan I- railoon, joka on koneistettu. Mitä suurempia ovat työstökappaleet, sitä vaikeampaa on niiden asemointi. Esimerkiksi suurten kappaleiden liitosten railonleveydet ja liitosten pinnat ovat epämääräisiä, mikä hankaloittaa työstämistä. (Kujanpää ym. 2005, 23.)

Laserhitsauksen suurimpia etuja ovat mm. tuottavuus, joka aiheutuu nopeasta hitsauksesta, mahdollisuudesta hitsata suuria ainepaksuuksia yhdellä kertaa, eikä jälkityöstöä välttämättä tarvita ollenkaan. Vähäinen lämmönmuodostus pitää muodonmuutokset materiaalissa hyvin pieninä ja mahdollistaa hitsin sijoittamisen myös lämpöherkkien komponenttien lähelle. Hitsaus on mahdollista hyvinkin ahtaissa paikoissa, ja eri paksuisia sekä eri materiaaleista valmistettuja kappaleita voidaan liittää toisiinsa. Rajoituksina voidaan mainita kappaleiden tiukat toleranssit sekä laitteiston hankkimisen kannattavuus, joka on riittävää vain jos tuotantovolyymit ovat tarpeeksi korkeita. (Ionix, 2017.) Kuviossa 5 esitetään sulattavan eli avaimenreikähitsauksen toiminta.



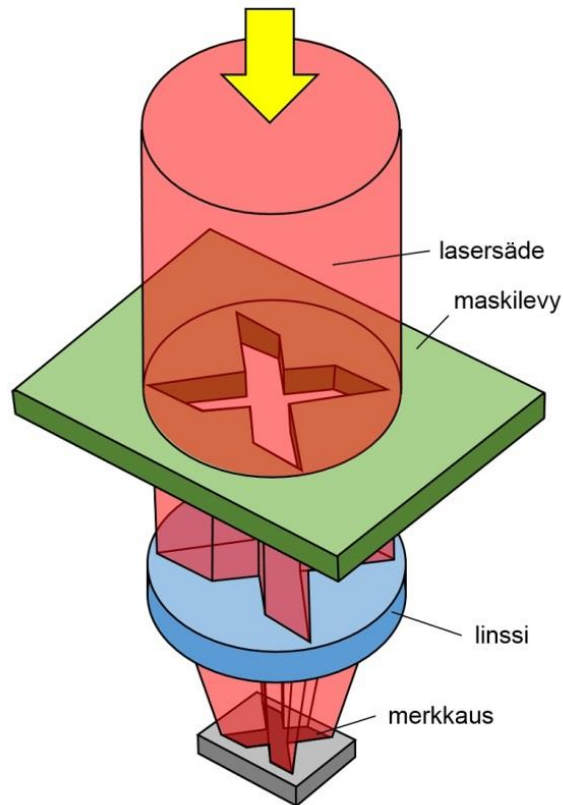
KUVIO 5. Laserhitsaus (Ionix 2017.)

7.3 Lasermerkkkaus

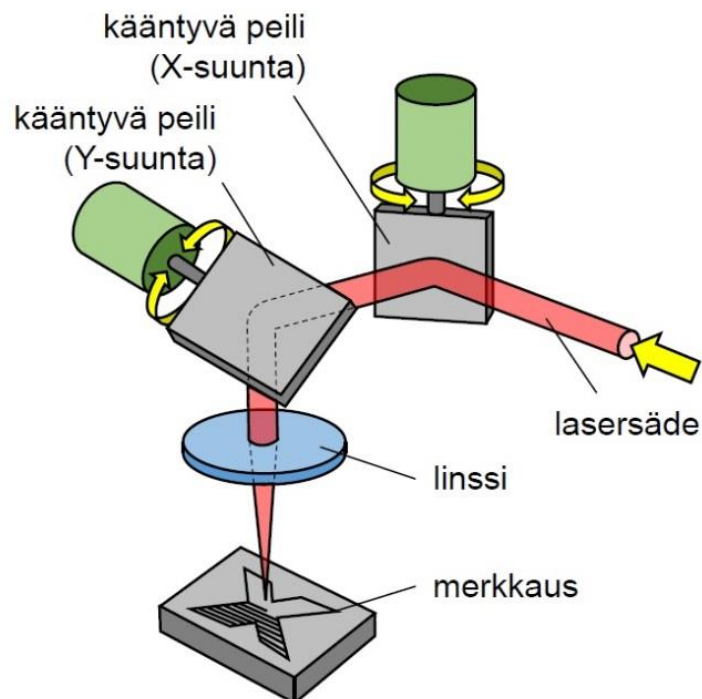
Lasermerkkkaus on paljon hyödynnetty sovellus eri teollisuuden aloilla. Merkkauksella saavutetaan suuri kontrasti ilman lisäaineita ja se soveltuu erityisesti hauraille materiaaleille, eikä merkintä kulu pois normaalikäytössä. Menetelmä on paljon käytetty mm. elintarviketeollisuudessa päivämäärien merkkaamiseen ja elektroniikkateollisuudessa komponenttien merkintöihin.

Merkkauksia tehdään joko kaivertamalla, hapettamalla tai polymeerin vaahdottamisella. Lasermerkkauksia tehdään kahdella menetelmällä, heijastavan maskin avulla ja skannerioptiikalla. Näistä vanhempi, maskin avulla tehtävä merkkkaus suoritetaan kohdistamalla lasersäde maskissa olevien aukkojen läpi merkattavaan pintaan. Menetelmä on hyvin nopea, ja siksi se on edelleen käytössä etenkin kun samaa merkintää toistetaan useisiin kappaleisiin.

Skannerioptiikalla tehtävä merkkkaus perustuu säteen liikutteluun tietokoneohjatusti. Sädettä ohjataan nopeilla galvanometrisesti ohjatuilla peileillä. Näin voidaan tehdä minkälaisia merkintöjä tahansa, sekä merkata myös liikkuvia pintoja. Tyypillinen nopeus on 2 mm korkeilla kirjaimilla 20 merkkiä/s. (Kujanpää ym. 2005, 28.) Kuvioissa 6 ja 7 on kuvattu maskilasermerkkauksen ja skannerilasermerkkauksen toimintaperiaate. Skannerilasermerkkkaus on modernimpi, mutta myös monimutkaisempi tapa.



KUVIO 6. Maskilasermerkkkaus (Ionix 2017.)



KUVIO 7. Skannerilasermerkkkaus (Ionix 2017.)

7.4 Laserpintakäsittely

Laserpintakäsittely on tarkoitettu parantamaan materiaalin pinnan ominaisuuksia vastaamaan käyttöolosuhteiden tarvetta. Erilaisia menetelmiä ovat laserpinnoitus, -karkaisu, -seostaminen ja -pinnansulatus. Näistä yleisimmin käytetyt ovat pinnoitus ja karkaisu. Eniten näitä menetelmiä käytetään metallipintojen ominaisuuksien muokkaamiseen, etenkin karkaisua kulumiskestävyyden parantamiseen. Käytännössä karkaisu suoritetaan pinnan nopealla kuumennuksella ja sen jälkeen jäähtytyksellä. (Kujanpää ym. 2005, 24.)

7.5 Laserporaus

Laserporaus on yleinen työstömenetelmä, ja sitä voidaan tehdä usealla eri tavalla materiaalista ja reiän dimensioista riippuen. Hyvin pienten (halkaisija 20 – 500 µm) tai yksittäisten reikien poraamiseen käytetään kertatoimista pulssilaseria. Pulssilaser on monesti välttämätön, jotta saavutetaan riittävä tehotiheys, tällä menetelmällä valmistetaan reiät mm. injektoruiskuihin. Suuremmat reiät (0,4 – 6 mm) tehdään käyttämällä jatkuvatoimista laseria siten, että sitä liikutetaan reiän reunoja pitkin, leikaten reikä materiaaliin. Tätä kutsutaan trepanning- tekniikaksi. Laserporauksen etuina ovat tarkkuus, riippumattomuus työstökulmasta, mahdollisuus porata monimutkaisia dimensioita ja työkalun kulumattomuus. (Kujanpää ym. 2005, 26.)

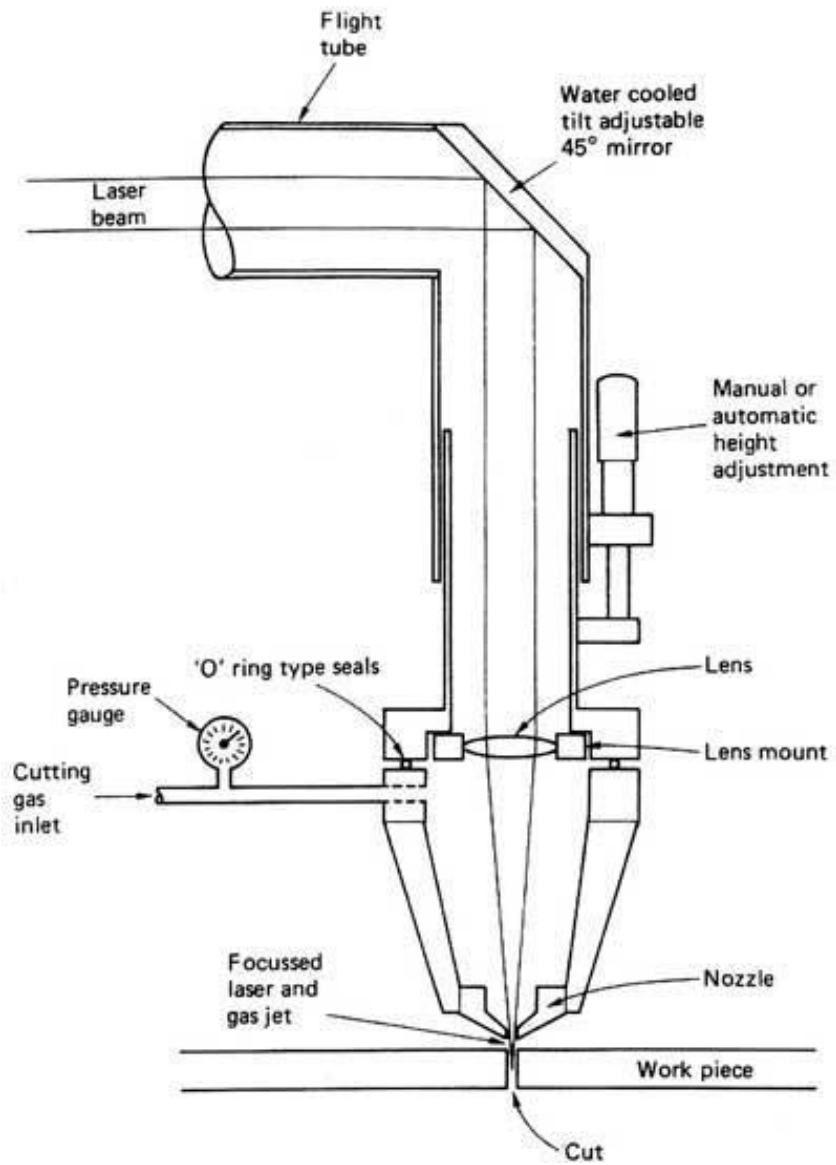
7.6 Puupohjaisten materiaalien laserleikkaus

Vuoden 1971 jälkeen lasereita on alettu käyttää laajasti erilaisten puupohjaisten tuotteiden valmistuksessa, kuten esimerkiksi huonekaluteollisuudessa. Puun laserleikkauksen ylärajana pidetään neljää senttimetriä, joskin suuremmatkin leikkaukset ovat mahdollisia. Materiaalihukka on pienempi ja työstöajat vähenevät jopa puoleen, verraten perinteisiin työstömenetelmiin.

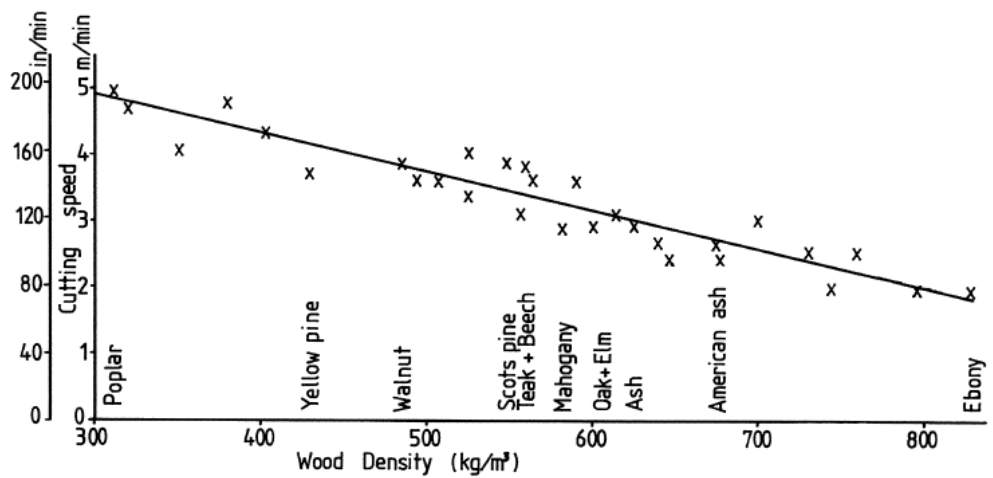
Selluloosapohjaiset materiaalit kuten puukuitulevy, kovalevy ja paperi leikataan samalla tavalla kuin muovitkin. Lämpötilat voivat olla mitä tahansa väliltä 2000 – 3000 astetta Celsiusta, riippuen materiaalin tiheydestä. Puuta leikattaessa leikkausnopeutta on vaikea vakioida, johtuen puun sisäisistä kosteus- ja selluloosapitoisuuksien vaihteluista. Kaikkein suurin paikallinen selluloosapitoisuuden aiheutuu oksista, ja mikäli oksa osuu leikkauslinjalle, voi se aiheuttaa ongelmia lopputuotteelle.

Vaneri on huomattavasti homogeenisempaa kuin massiivipuu, joten leikkausnopeudet ja -laadut voidaan helpommin vakioida. Lisääntynyt kosteus pienentää leikkausnopeutta. Puun laserleikkaus polttaa puuta samankaltaisesti kuin perinteinen palaminenkin. Leikattu reuna hiiltyy ja tummuu johtuen selluloosan kemiallisesta hajoamisesta, hiiltymisen aste riippuu leikkausnopeuden ja tehon lisäksi puun selluloosatiheydestä. Esimerkiksi tiikkiin, joka on hyvin tiheää, tulee erittäin tumma leikkausjälki, kun taas mäntyyn huomattavasti vaaleampi. Hiiltymistä pyritään minimoimaan pitämään kaasuvirtauksen paine mahdollisimman suurena, jolloin irtonainen hiilipöly saadaan poistettua pinnalta.

Laserleikkauksella tehty leikkujälki on paljon tasaisempaa ja sileämpää kuin mekaanisella työstöllä saavutettava leikkujälki. Tämän takia jälkityöstöä ei välttämättä tarvita, vaan pinta voidaan tehdä valmiiksi laserilla. Leikkauksen ohella laserilla voidaan myös tehdä eri sävyisiä, monimutkaisia ja koristeellisia kuvioita puun pintaan, mikä on huomattavasti nopeampaa verrattuna muihin työstömenetelmiin. (Powell 1998, 108.) Kuviossa 8 on esitetty laserleikkupään rakenne komponentteineen.



KUVIO 8. Laserleikkuupää (Powell 1998, 17.)



KUVIO 9. Leikkausnopeudet eri puulajeille (Powell 1998, 109.)

Leikkausnopeus pienenee lähes lineaarisesti, puun tiheyden noustessa, kuten kuvioista 9 selviää. Samanlainen vaikutus saadaan aikaiseksi, mikäli puun tiheyttä nostetaan lisäämällä kosteuspitoisuutta. Taulukossa 1 on lueteltu eri puulajien ja puupohjaisten materiaalien laserleikkuunopeuksia.

TAULUKKO 1. Leikkausnopeudet puupohjaisille tuotteille (Powell 1998, 110.)

Material	Thickness		Cutting speed		Laser power Watts
	mm	in	m/min	in/min	
Poplar	10	0.4	5.0	200	500
Douglas fir	10	0.4	3.5	140	500
Yellow pine	10	0.4	3.2	128	500
Walnut	10	0.4	3.8	152	500
Cherry	10	0.4	4.3	172	500
Scotch pine	10	0.4	3.3	132	500
Beech	10	0.4	4.0	160	500
Teak	10	0.4	3.5	140	500
Mahogany	10	0.4	3.1	124	500
Oak	10	0.4	2.9	116	500
Ash	10	0.4	2.6	104	500
Ebony	10	0.4	1.2	48	500
Pine	6	0.25	8.0	320	1000
Pine	12	0.5	3.2	128	1000
Pine	20	0.8	1.6	64	1000
Plywood	6	0.25	7.0	280	1000
Plywood	12	0.5	3.0	120	1000
Plywood	20	0.8	1.5	60	1000
MDF*	6	0.25	9.0	360	1000
MDF	12	0.5	4.0	160	1000
MDF	20	0.8	2.0	80	1000
Hardboard	3	0.12	10.0	400	500
Hardboard	4	0.16	7.0	270	500
Corrugated card	3	0.12	25.0	1000	500
Paper	0.1	0.004	≥500	≥20 000	500

8 KOKEELLINEN OSA

Kokeellisessa osassa on esitelty kaikki työhön liittyvät koeajot ja testaukset. Kokeellinen osa tehtiin Lahden Ammattikorkeakoulun tiloissa lukuun ottamatta leikkausnopeuksien koeajoja ja koekappaleiden valmistusta, jotka tehtiin Polytronicin toimesta.

8.1 Koeajot Polytronicilla

Kokeellinen osa aloitettiin testiajoilla Polytronicin tiloissa Valkeakoskella. Koeajoissa tutkittiin erityyppisten vanereiden käyttäytymistä laserleikkauksessa eri parametreilla. Tutkittavia asioita olivat leikkausnopeus, leikkauksen jälki ja leikkausrailon koko. Uutta levyä verratessa käytössä olevaan levyyn, havaittiin, että uutta levyä pystyttiin työstämään noin 40 % suuremmalla nopeudella, kuin nykyistä laadun pysyessä samana. Testeissä oli mukana erilaisilla pinnoitteilla varustettuja levyjä.

Testiajot aloitettiin 15 mm paksulla näytteellä uutta levyä, jonka molemmat pinnat oli päällystetty ruskealla pinnoitteella. Ensimmäiset testiajot suoritettiin nostamalla nopeutta pikkuhiljaa arvosta 1,2 m/min aina arvoon 2,5 m/min saakka. Pulssin tiheys oli 27/s. Kokeesta kävi ilmi, että leikkausnopeutta kasvattamalla leikkausrailo ”kiristyy” ja terä on kiinnitettävissä vielä 1,7 m/min nopeudella ajettuun railoon. Seuraavana kokeilimme pulssin nostoa arvoon 35/s, mutta suurempi vaikutus railon kokoon näytti olevan leikkuunopeudella.

18 mm paksussa ruskeapintaisessa levyssä tulokset olivat hyvin samankaltaisia kuin ohuemmassakin, mutta nopeutta nostettaessa arvoon 2,2 m/min leikkuu-uran aloituspisteen kohdalta pinnoite näytti palavan enemmän. Lisäksi alapinnan pinnoite ei palanut läpi asti, vaan rei’ittyi osittain.

Ajettaessa sininen pinta ylöspäin, pinnoite repeili hieman rihmoiksi leikkausrailon molemmilta puolilta, mutta muuta huomioitavaa eroa edelliseen testiin ei ollut. Sininen pinta alaspäin ajettaessa pinnoite suli

hieman ja kiinnittyi tiukasti levyyn molemmin puolin leikkausrailoa. Lisäksi kokeiltiin vain pinnoitteen rikkovaa kaiverrusjälkeä. Tämä tehtiin pienellä teholla ja suurella pulssauksella, jotta kaiverrettava teksti pysyi siistinä.

8.2 Pinnoitteiden olosuhdetestit

Seuraavaksi testattiin viiden erilaisen pintamateriaalin käyttäytymistä kosteusrasituksessa. Testi tehtiin Lahden Ammattikorkeakoulun tiloissa sääkaappia käyttäen. Näytteisiin ajettiin laserilla pinnoitteen rikkovia uria, minkä jälkeen näytteet laitettiin sääkaappiin vuorokauden ajaksi.

Suhteellinen kosteus oli 80 prosenttia ja lämpötila 40 astetta celsiusta. Olosuhteet olivat tarkoituksenmukaisesti kosteammat ja lämpimämmät, mitä loppukäytössä tulisi olemaan, jotta mahdolliset muutokset huomattaisiin helposti. Näytteet pysyivät muuttumattomina, Lukuun ottamatta näytteiden 4 ja 5 taustapaperin osittaisen irtoamisen. Kuviossa 10 on valokuva näytteistä 4 ja 5 sääkaapissa olon jälkeen.



KUVIO 10. Näytteet 4 ja 5

8.3 Terien vetokokeet

Seuraava testi koski stanssiterien vetolujuutta. Testissä oli tarkoitus tarkastella, millaisia voimia tarvitaan irrottamaan terä vanerista. Tätä testiä

varten tilattiin valmiiksi teritetyt näytteet Polytronicilta. Kappaleet oli valmistettu yleisten käytäntöjen mukaisesti.

Testissä oli mukana kahdentyyppisiä näytteitä: nykyisin käytössä olevaa levyä ja uutta, vaihtoehtoista levyä. Testikappaleet olivat 200 x 80 mm kokoisia, niiden keskikohtaan oli ajettu laserilla teräura, ja ne oli teritetty. Terät olivat kooltaan 0,7 x 100 mm.

Puolet näytteistä testattiin juuri terityksen jälkeen ja puolet viikon kosteusvaikutuksen jälkeen, joka aiheutettiin sääkaapissa, jossa oli 20 celsiusasteen lämpötila ja 45 asteen suhteellinen kosteus. Testi suoritettiin LAMKin puulaboratoriossa vetämällä terä levyn pintaan nähden kohtisuoraan irti. Testiin käytettiin shimadzu- aineenkoestuslaitetta. Kuviossa 11 on valokuva Lahden Ammattikorkeakoulun puulaboratorion Shimadzu- aineenkoestuslaitteesta.



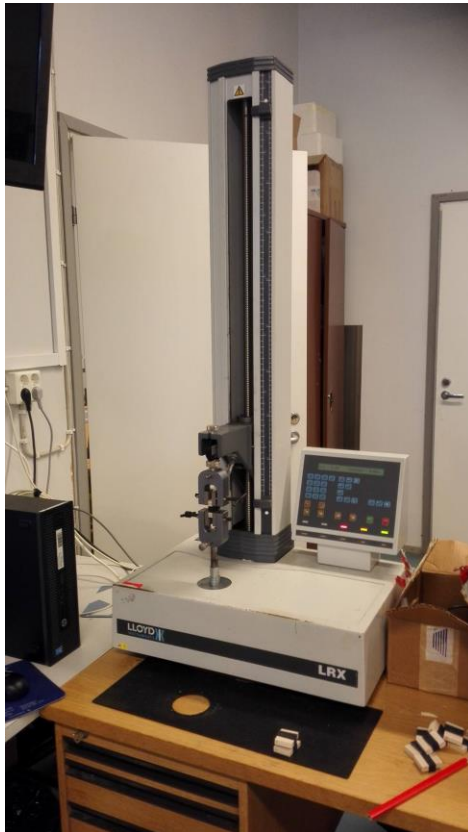
KUVIO 11. Terän vetokoe

8.4 Teräkumien vetokokeet

Teräkumien vetokokeessa oli tarkoitus testata teräkumien venymää ja pysyvyyttä levyssä. Kumeja oli kahdenlaisia: toisissa oli tarrapinta yhdellä

kantilla ja toiset olivat ilman tarraa. Testissä verrattiin kumien tarttuvuutta erilaisiin pintoihin. Testiä varten valmistettiin testikappaleita, joissa oli erityyppisiä pinnoitteita.

Testikappaleet valmistettiin kiinnittämällä kumin yksi sivu kiinni testattavaan pintaan ja vastakkainen sivu pikaliimalla kiinni kappaleeseen, josta testikappale voitiin kiinnittää vetolaitteeseen. Testattavan pinnan ja teräkumin välisen vetolujuuden täytyi olla pienempi kuin teräkumin ja vastakkaisen kappaleen, jotta oikeanlaisia tuloksia saataisiin. Tämän takia vastakappale liimattiin teräkumiin vahvalla pikaliimalla. Testit suoritettiin Lloyd LRX-aineenkoestuslaitteella. Kuviossa 12 on valokuva Lloyd LRX-aineenkoestuslaitteesta.



KUVIO 12. Teräkumin vetokoe

8.5 Tarrapinnoitteen laserleikkaus

Viimeinen testi koski tarrapintaisen levyn suojapaperin leikkaamista. Tarkoitus oli leikata suojapaperi irti tarrapinnasta kuitenkin polttamatta

itse tarrapintaa. Testi suoritettiin LAMKin puulaboratorion GCC Laserpro Spirit LS- laserilla.

Optimaaliseen tulokseen maksiminopeudella (60 m/min) päästiin, kun käytössä oli 83 % tehosta. Laser oli 60 W tehoinen, joten 83 % tästä oli 49,8 W. Tehoa kasvattaessa laser poltti jäljen syvemmälle levyn pintaan, ja pienemmällä teholla taas paperi jäi osittain leikkaantumatta.

Lisäksi selvitettiin millaista tehoa lasermerkkaaminen, kuten tekstin tai kuvioiden polttaminen kyseiseen pintaan vaatii. Merkkausjälki alkoi erottua silmällä, kun tehoa oli käytössä 30 %, nopeuden ollessa maksimiarvossa. Mikäli kyseessä olisi tummemman sävyinen pinnoite, tulisi tehoa luonnollisesti nostaa, jotta merkkaukset näkyisivät.

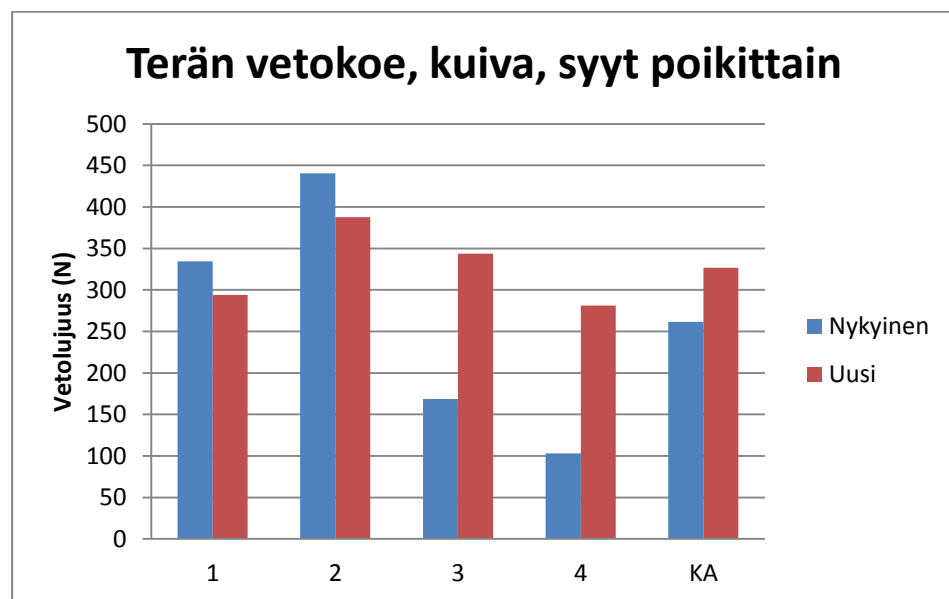
9 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELO

Seuraavassa on esitelty käytännön testien tulokset, sekä vertailtu niitä toisiinsa. Lisäksi tuloksista on laadittu taulukoita ja pylväsdiagrammeja havainnoinnin helpottamiseksi.

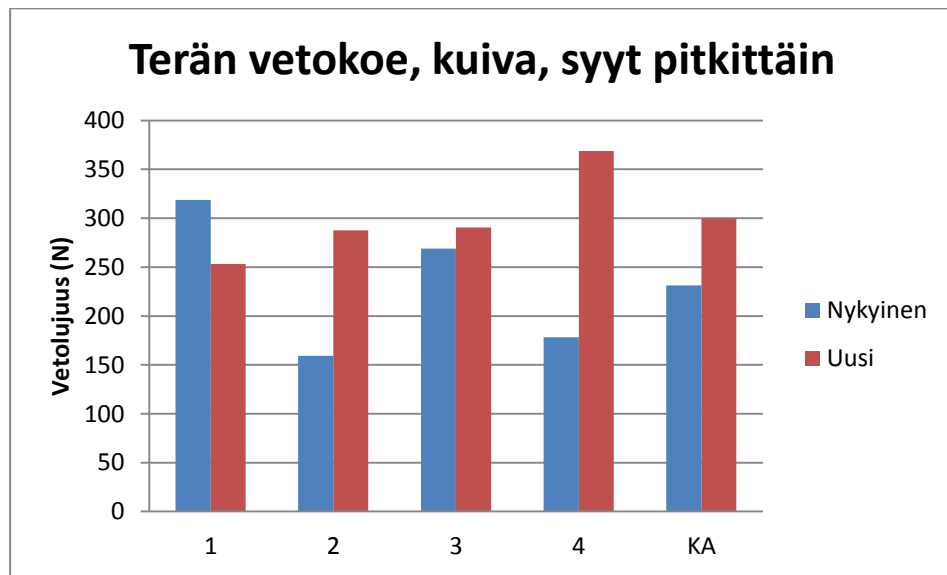
9.1 Terän vetokokeet

Vetokokeilla pyrittiin selvittämään terän pysyvyyttä vanerissa, ja vertailemaan nykyisin käytössä olevan levyn tuloksia uuden levyn tuloksiin. Testeistä selvisi, että käytössä olevan levyn kohdalla tuloksien hajonta oli huomattavasti suurempaa, kuin uuden levyn kohdalla. Korotetut kosteusolosuhteet eivät vaikuttaneet tuloksiin ennalta ajatellulla tavalla.

”Kuivat” kappaleet käärittiin heti terityksen jälkeen muoviin, jotta kosteus ei pääsisi vaikuttamaan niihin. ”Kosteet” kappaleet olivat terityksen jälkeen vuorokauden ajan sääkaapissa, jossa lämpötila oli 20 celsiusastetta ja suhteellinen kosteusprosentti 45. Oheisissa taulukoissa ovat teränvetokokeiden tulokset, yksikkönä Newton. Näytteitä oli 16, joista puolet testattiin sääkaapissa olon jälkeen. Kuivat ja kosteat kappaleet jaettiin vielä puoliksi, pintaviilun syysuunnan mukaan terään nähden.



KUVIO 13. Terän vetokokeet, kuiva, syyt poikittain



KUVIO 14. Terän vetokokeet, kuiva, syyt pitkittäin

TAULUKKO 2. Terän vetokokeet, kuiva, nykyinen

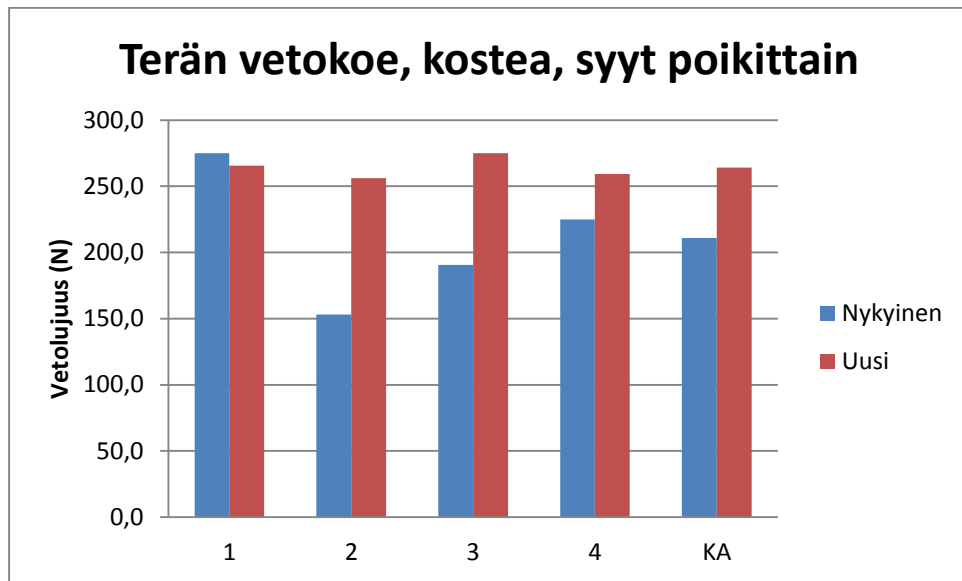
Nykyinen syyt poikittain		Nykyinen syyt pitkittäin	
1	334,4	1	318,8
2	440,6	2	159,4
3	168,8	3	268,8
4	103,1	4	178,1
KA	261,7	KA	231,3

TAULUKKO 3. Terän vetokokeet, kuiva, uusi

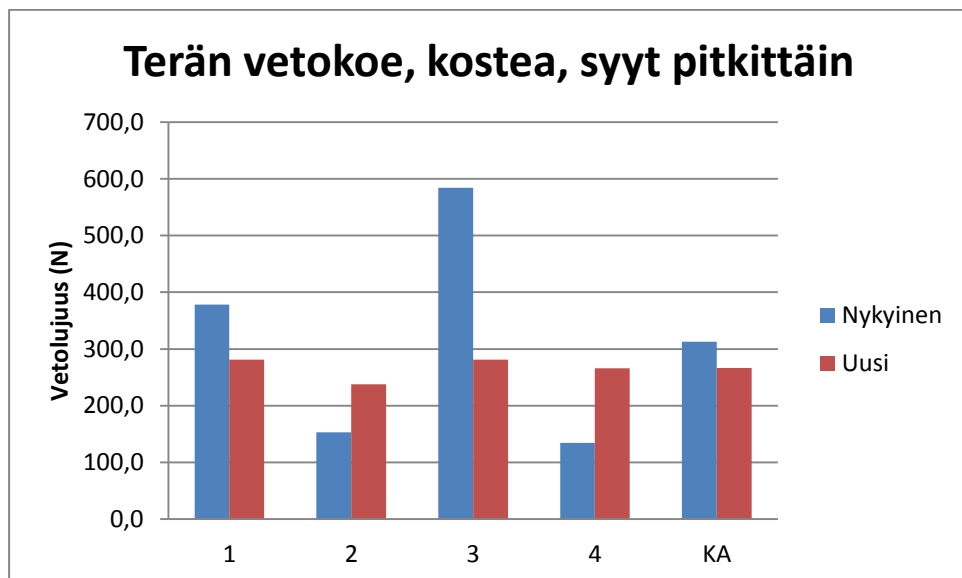
Uusi syyt poikittain		Uusi syyt pitkittäin	
1	293,8	1	253,1
2	387,5	2	287,5
3	343,8	3	290,6
4	281,3	4	368,8
KA	326,6	KA	300,0

Kuvioista 13 ja 14 selviää, että terän irrottamiseen vaadittu maksimivoima on keskimäärin selvästi suurempi uudella levyllä kuin nykyisellä. Lisäksi

tulosten hajonta oli huomattavan paljon pienempää uuden levyn kohdalla. Syytä suureen hajontaan voivat olla materiaalin epätasalaatuisuus/sopimattomuus stanssilevyksi, teräurien työstön suuret toleranssit sekä terityksessä tehdyt virheet. Puolet testikappaleista olivat pintaviilun syysuunniltaan kohtisuorassa terään nähden ja puolet terän suuntaisesti. Tämä ei näyttänyt vaikuttavan tuloksiin merkittävästi. Taulukoissa 2 ja 3 on esitetty kuivien kappaleiden terien vetokokeiden tarkat maksimiarvot Newtonina.



KUVIO 15. Terän vetokokeet, kostea, syyt poikittain



KUVIO 16. Terän vetokokeet, kostea, syyt pitkittäin

TAULUKKO 4. Terän vetokokeet, kostea, nykyinen

Nykyinen syyt poikittain		Nykyinen syyt pitkittäin	
1	275,0	1	378,1
2	153,1	2	153,1
3	190,6	3	584,4
4	225,0	4	134,4
KA	210,9	KA	312,5

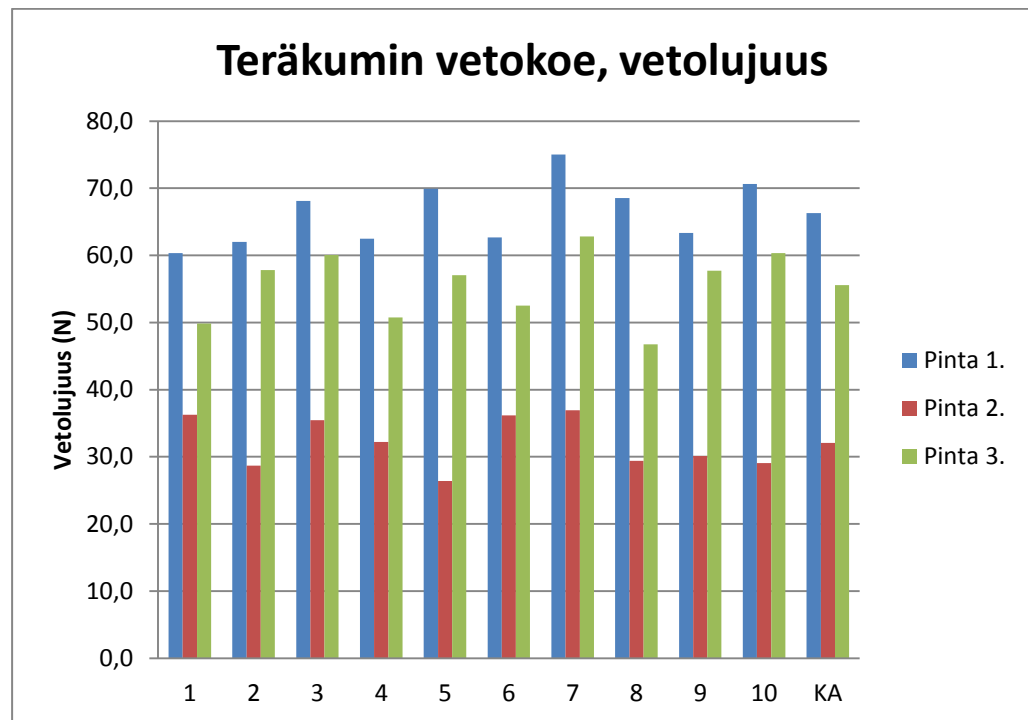
TAULUKKO 5. Terän vetokokeet, kostea, uusi

Uusi syyt poikittain		Uusi syyt pitkittäin	
1	265,6	1	281,3
2	256,3	2	237,5
3	275,0	3	281,3
4	259,4	4	265,6
KA	264,1	KA	266,4

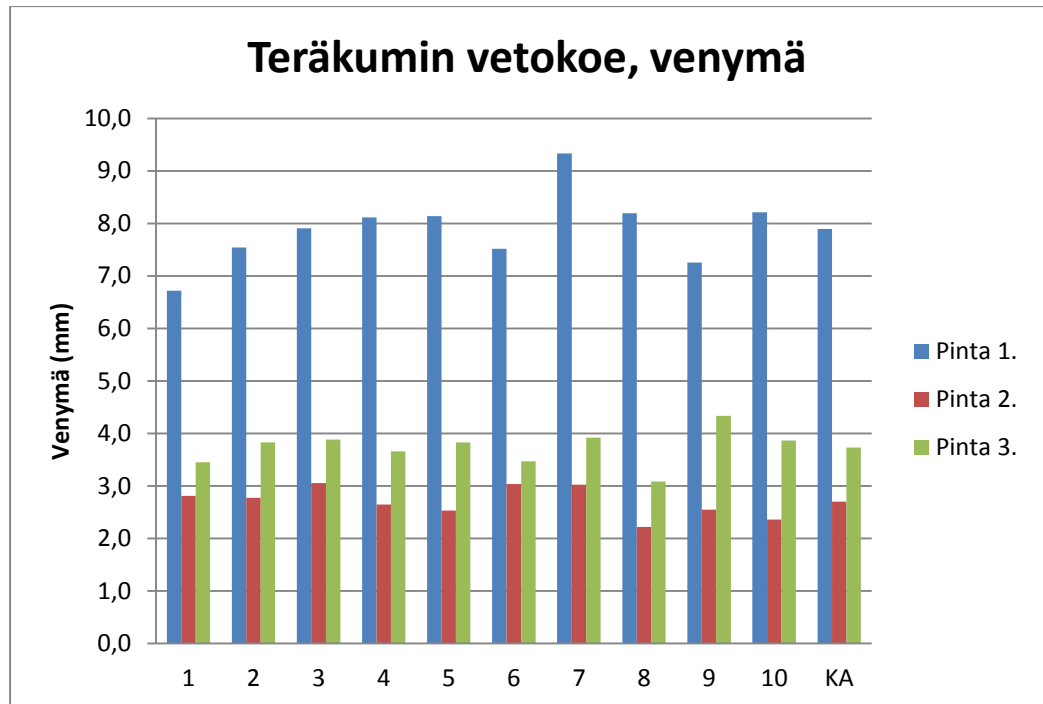
Kuvioiden 15 Ja 16 vetokokeet ovat muuten samanlaiset kuin kuvioiden 13 ja 14, mutta näytteet olivat sääkaapissa vuorokauden ajan 20 celsiusasteen lämpötilassa ja 45 % suhteellisessa kosteudessa. Hajonta pysyi samansuuntaisena kuin aiemmissakin testeissä, mutta uuden levyn kohdalla maksimivetolujuudet laskivat, toisin kuin etukäteen oli ajateltu. Kosteuspitoisuuden nousun ajateltiin kiristävän terärakoa, ja aiheuttaen täten myös vetolujuuden arvon nousua. Näin ei kuitenkaan käynyt, vaan arvot laskivat hieman. Mahdollinen syy arvojen laskemiseen voi olla terän ja levyn välisen kitkan pieneneminen kosteuden vaikutuksesta teräraossa. Taulukoissa 4 ja 5 on esitetty kosteiden kappaleiden terien vetokokeiden tarkat maksimiarvot Newtonina.

9.2 Teräkumien vetokokeet

Teräkumien vetokokeilla pyrittiin selvittämään teräkumin pysyvyyttä erilaisissa pinnoitteissa. Testissä testattiin kolmea erilaista variaatiota: Pinta 1 (tarrakumi puupinnassa), pinta 2 (tarrakumi paperipinnassa) ja pinta 3 (kumi tarrapinnassa). Paras pito oli tarrakumilla puupinnassa, huonoin taas tarrakumilla paperipinnassa. Kuviossa 17 on esitelty kolmen eri pinnan vetokokeiden tulokset vetolujuuden suhteen. Kuviossa 18 on esitetty tulokset venymän suhteen.



KUVIO 17. Teräkumin vetokoe vetolujuuden suhteen



KUVIO 18. Teräkumin vetokoe venymän suhteen

TAULUKKO 6. Pinta 1. (Puupinta + tarrakumi)

Näyte	Voima (N)	Venymä (mm)
1	60,4	6,7
2	62,0	7,5
3	68,1	7,9
4	62,5	8,1
5	69,9	8,1
6	62,7	7,5
7	75,0	9,3
8	68,5	8,2
9	63,3	7,3
10	70,6	8,2
KA	66,3	7,9

Taulukosta 6 selviää pinnan 1 (tarrakumi ja puupinta) vetolujuudet sekä venymät. Tämä variaatio saavutti suurimmat arvot, niin vetolujuuden kuin venymänkin suhteen. Vetolujuuden hajonta oli suurimmillaan 14,6 N, ja venymän 2,6 mm. Tämän pinnan testissä niin vetolujuuden, kuin venymänkin hajonta oli suurempaa kuin pintojen 2 ja 3 kohdalla, vaikka tässä testissä saavutettiin suurimpiin arvoihin.

TAULUKKO 7 pinta 2 (paperipinta + tarrakumi)

Näyte	Voima (N)	Venymä (mm)
1	36,3	2,8
2	28,7	2,8
3	35,5	3,1
4	32,2	2,6
5	26,4	2,5
6	36,2	3,0
7	36,9	3,0
8	29,4	2,2
9	30,1	2,5
10	29,1	2,4
KA	32,1	2,7

Taulukossa 7 on esitelty pinnan 2 (Paperipinta ja tarrakumi) tulokset. Tällä variaatiolla oli selkeästi heikoin vetolujuus verrattuna muihin testeihin. Suurin hajonta vetolujuudella oli 8,2 N, ja venymällä 0,9 mm. Vetolujuuksien keskiarvo oli yli kaksi kertaa heikompi kuin pinnalla 1 ja venymien arvot jäivät miltei kolmasosaan pinnan 1 arvoista.

TAULUKKO 8 Pinta 3 tarrapinta + kumi

Näyte	Voima (N)	Venymä (mm)
1	49,8	3,4
2	57,8	3,8

3	60,1	3,9
4	50,8	3,7
5	57,1	3,8
6	52,5	3,5
7	62,8	3,9
8	46,7	3,1
9	57,7	4,3
10	60,3	3,9
KA	55,6	3,7

Taulukossa 8 ovat tulokset pinnan 3 (levyn tarra ja kumi) välisestä vetolujuudesta ja venymästä. Vetolujuudet ovat miltei yhtä korkeita kuin puupinnan ja tarrakumin välillä, mutta venymät keskimäärin yli kaksi kertaa pienemmät. Suurin hajonta Vetolujuuksissa oli 6,1 N, ja venymissä 1,2 mm. Pienemmät venymien arvot verrattuna pintaan 1 johtuivat todennäköisesti tarraliiman koostumuksesta. Tässä testissä tarra oli levyssä kiinni, ja se oli vähemmän elastista kuin pinnalla 1.

10 YHTEENVETO JA KEHITYSEHDOTUKSET

Testeistä käy ilmi, että uusi levytyyppi suoriutui vetokokeista paremmalla menestyksellä, kuin nykyisin käytössä oleva levytyyppi. Lisäksi uutta levytyyppiä pystyttiin työstämään laserilla nopeammin, ja leikkuujälki oli siistimpää kuin nykyisellä. Nykyisin käytössä olevaa levyä pystyttiin leikkaamaan nopeudella 1 m/min, kun uuden levyn kanssa päästiin parhaillaan arvoon 2,5 m/min.

Yleisesti laserleikkaukseen tarkoitettulla vanerilla viilujen laatu on hyvää, joten suurimmat erot testien välillä aiheutuivat todennäköisesti liimojen ja liimasaumojen erilaisuudesta, sekä mahdollisesti valmistustavasta.

Verraten eri puulajien leikkausnopeuksia kuviossa 9. huomataan, että leikkausnopeus uuden levyn kohdalla on jokseenkin sama kuin saman tiheyksisellä puulla. Tämä tarkoittaa sitä että uusi levymateriaali käyttäytyy laserleikkauksessa kuin puu, joten levyn liima on hyvin sopivaa laserleikkaukseen. Leikkuunopeutta ja leikkuujälkeä tarkasteltaessa erilaiset pinnoitteet vaikuttivat myös tuloksiin.

Terän vetokokeet nykyisin käytössä olevalla levyllä antoivat melko runsasta hajontaa tuloksiin, kun taas uuden levyn kohdalla hajonta oli huomattavasti pienempää. Korotetut kosteusolosuhteet eivät vaikuttaneet tuloksiin nostamalla arvoja, kuten oletettiin, vaan päinvastoin arvot laskivat hieman. Tämä saattoi aiheutua kosteuden aiheuttamasta kitkan vähenemisestä terän ja levyn välissä. Mikäli kosteuspitoisuus olisi huomattavasti suurempi, saattaisi levyn ja teräraon turpoaminen vaikuttaa enemmän tuloksiin. Pintaviilun suunnan merkitys tulosten kannalta oli hyvin pieni, sillä näytteet oli tehty monikerroksisesta ja ohutviiluisesta vanerista.

Kumien vetokokeissa venymä tapahtui kaikissa variaatioissa pääasiallisesti kumissa, mutta pinnan 1 kohdalla myös liimasauma venyi ennen maksimivetolujuuden saavuttamista. Tämän takia pinnan 1 venymä-arvot olivat yli kaksi kertaa suuremmat kuin pinnan 3, vaikka maksimivetolujuusarvot olivat vain noin 16 % suuremmat. Tämä johtunee

liimapinnan rakenteesta. Pinnan 1 tarrakumissa oleva liimapinta oli hyvin sitkeää ja elastista, joten se venyi testissä paljon enemmän kuin pinnan 3. levyssä oleva tarra, vetolujuuksien pienistä eroista huolimatta. Pinnan 2 testissä ensimmäisenä petti paperipinnoite, joka reperi kahteen osaan, jolloin myös venymät jäivät hyvin pieniksi.

Jatkotutkimuksia ajatellen erilaisten testien ja testikappaleiden määrää voitaisiin laajentaa. Kulutuskestävyys- sekä muotopysyvyytestit toisivat varmasti hyödyllistä tietoa aiheeseen. Tuloksista saataisiin tarkempia ja paremmin paikkansapitäviä mikäli testattavien kappaleiden määrää nostettaisiin, lisäksi tuloksia voitaisiin tarkastella tilastollisella analyysillä. Testejä voitaisiin lisäksi tehdä laajemmin erilaisissa lämpötila- ja kosteusolosuhteissa, jotta materiaalien käytettävyys vaihtelevissa olosuhteissa selviäisi.

LÄHTEET

Painetut lähteet:

Koponen, H. & Opetusministeriö 2002. Puulevytuotanto. Helsinki: Edita Oy.

Kujanpää, Salminen, Vihinen, 2005. Lasertyöstö. Helsinki: Teknologiateollisuus ry.

Powell, J. 1998. CO2 Laser Cutting. London: Springer- Verlag.

Elektroniset lähteet:

Aaltopahvi 2017. Käyttäjän käsikirja [viitattu 10.1.2017]. Saatavissa: http://www.aaltopahvi.fi/SiteAssets/tietoja/AP%20K%C3%A4ytt%C3%A4j%C3%A4n%20k%C3%A4sikirja_www_16%2002%2015.pdf

Ionix, 2017. [viitattu 6.2.2017a]. Saatavissa: <http://www.ionix.fi/fi/teknologiat/lasertyosto/laserhitsaus/>

Ionix, 2017. [viitattu 6.2.2017b]. Saatavissa: <http://www.ionix.fi/fi/teknologiat/lasertyosto/laserleikkaus/>

Ionix, 2017. [viitattu 6.2.2017c]. Saatavissa: <http://www.ionix.fi/fi/teknologiat/lasertyosto/lasermerkkaus/>

Jim Dandy Boxes, 2015. [viitattu 15.1.2017]. Saatavissa: <http://www.jimdandyboxes.com/tooling.html>

Kilt, 2017. [viitattu 6.2.2017]. Saatavissa: http://kilt.fi/lataukset/Laseropas_KILT_Oy.pdf

Nasa, 2008. [viitattu 3.2.2017]. Saatavissa: <https://www.nasa.gov/centers/langley/news/factsheets/LaserTech.html>

Overstock, 2017. [viitattu 10.1.2017]. Saatavissa: <https://www.overstock.com/guides/facts-about-diecutting>

Puuproffa, 2015. [viitattu 24.4.2017]. Saatavissa:

http://www.puuproffa.fi/PuuProffa_2012/7/puujalosteet/vanerit

UPM, 2017. [viitattu 17.2.2017]. Saatavissa: [http://www.upm.com/About-](http://www.upm.com/About-us/Pages/default.aspx)

[us/Pages/default.aspx](http://www.upm.com/About-us/Pages/default.aspx)

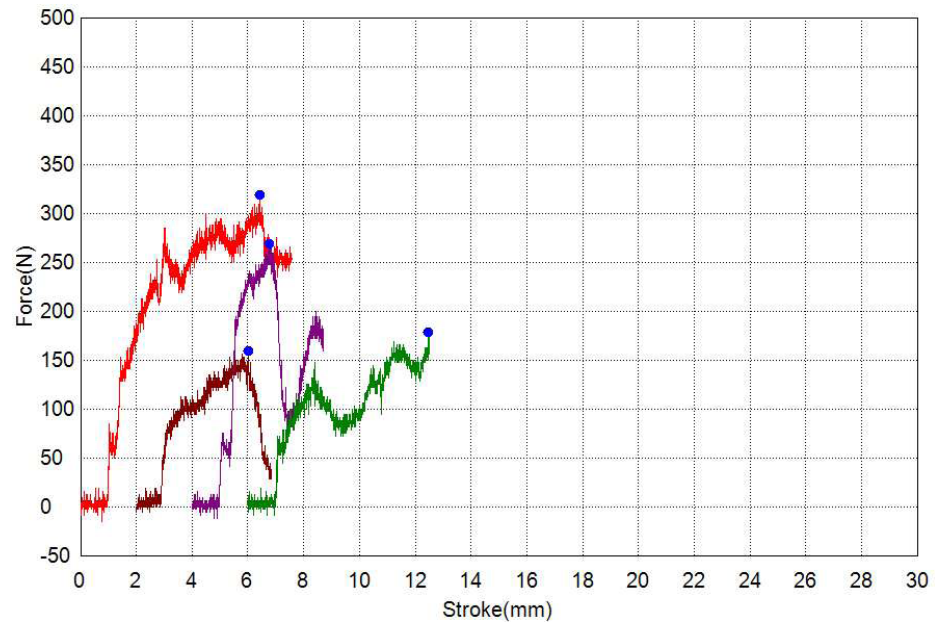
UPM Vuosikertomus 2015, 2016. [viitattu 1.3.2017]. Saatavissa:

<http://hugin.info/165629/R/1990214/731143.pdf>

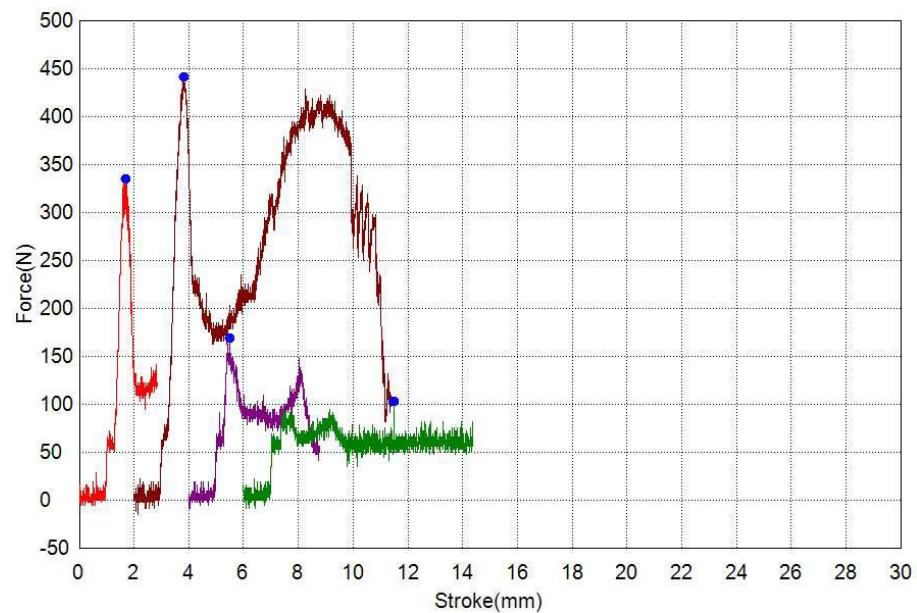
LIITTEET

LIITE 1.

Liitteinä kuvat terän vetokokeiden vetolujuuksista

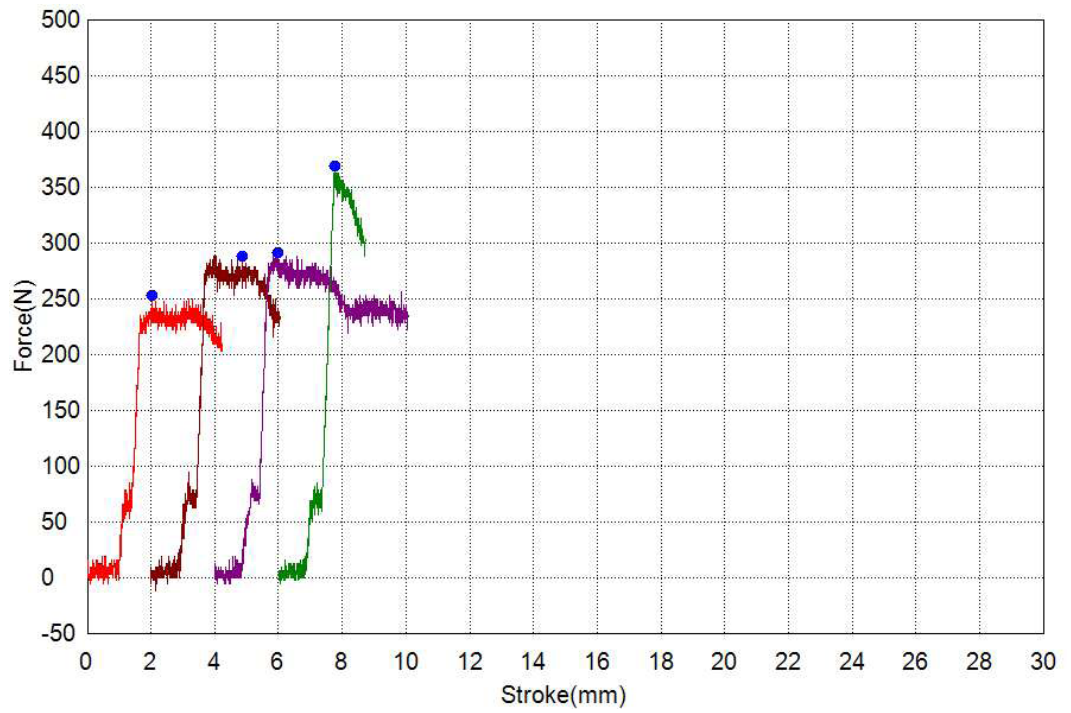


Terän vetokoe, nykyinen, syyt pitkittäin, kuiva

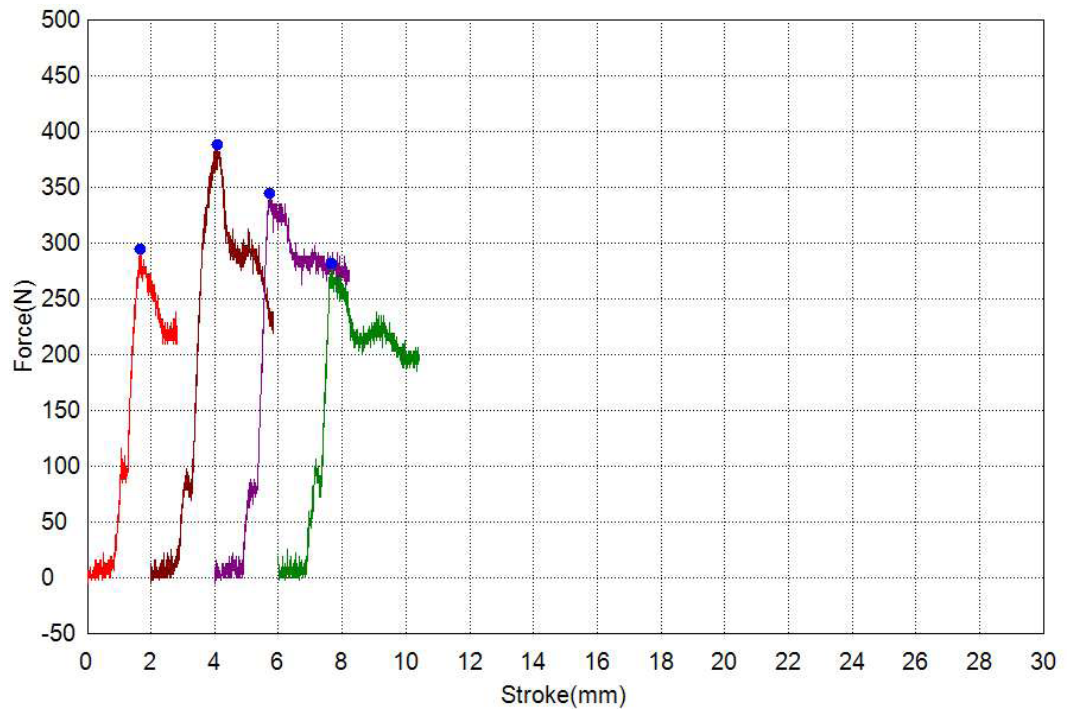


Terän vetokoe, nykyinen, syyt poikittain, kuiva

LIITE 2.

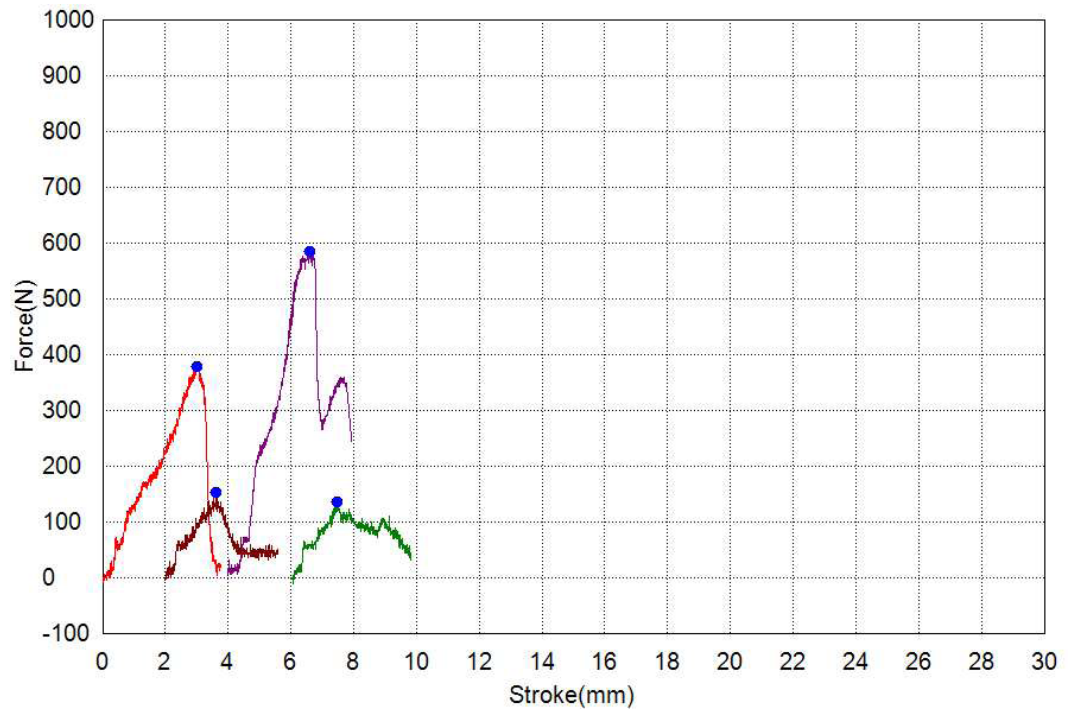


Terän vetokoe, uusi, syyt pitkittäin, kuiva

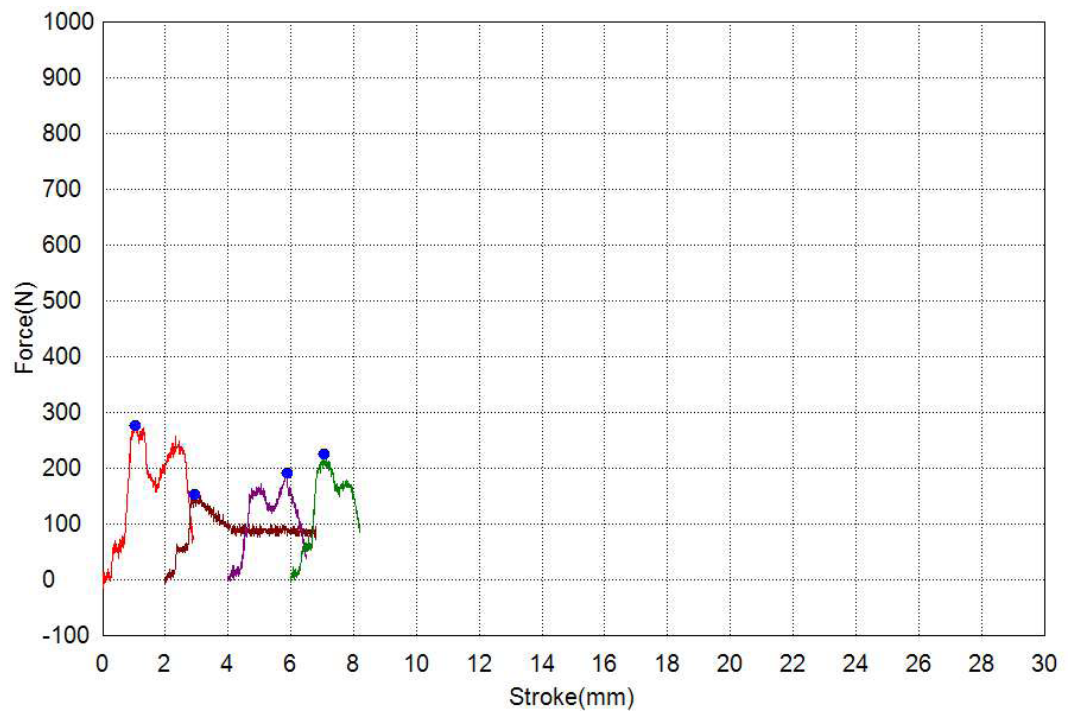


Terän vetokoe, uusi, syyt poikittain, kuiva

LIITE 3.

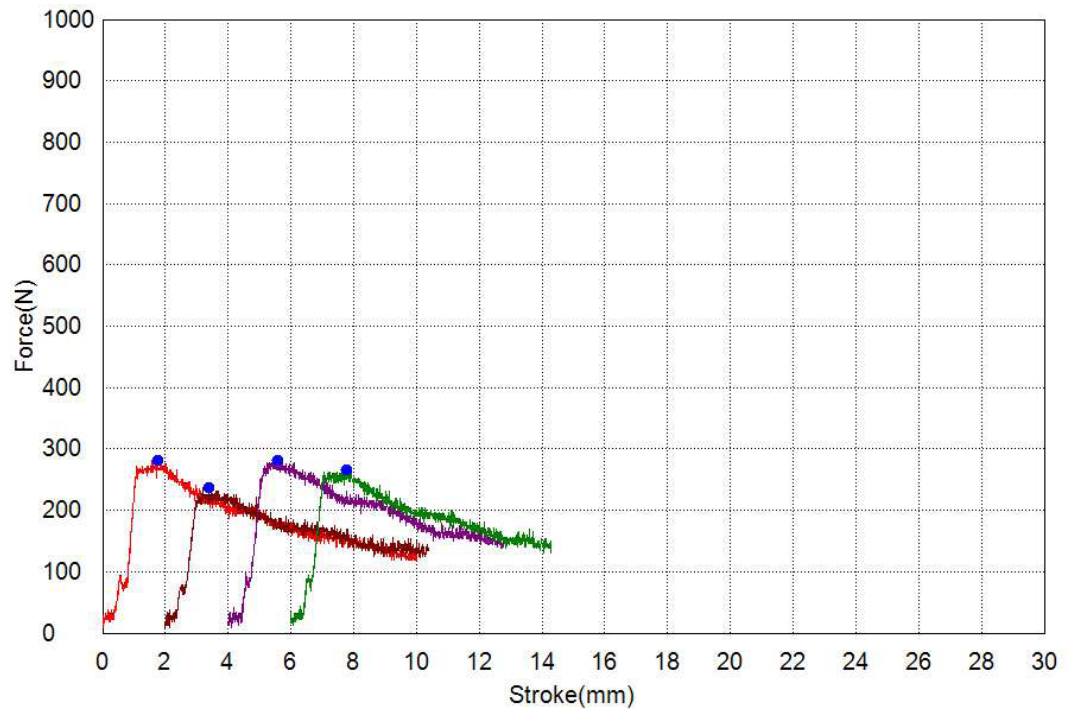


Terän vetokoe, nykyinen, syyt pitkittäin, kostea

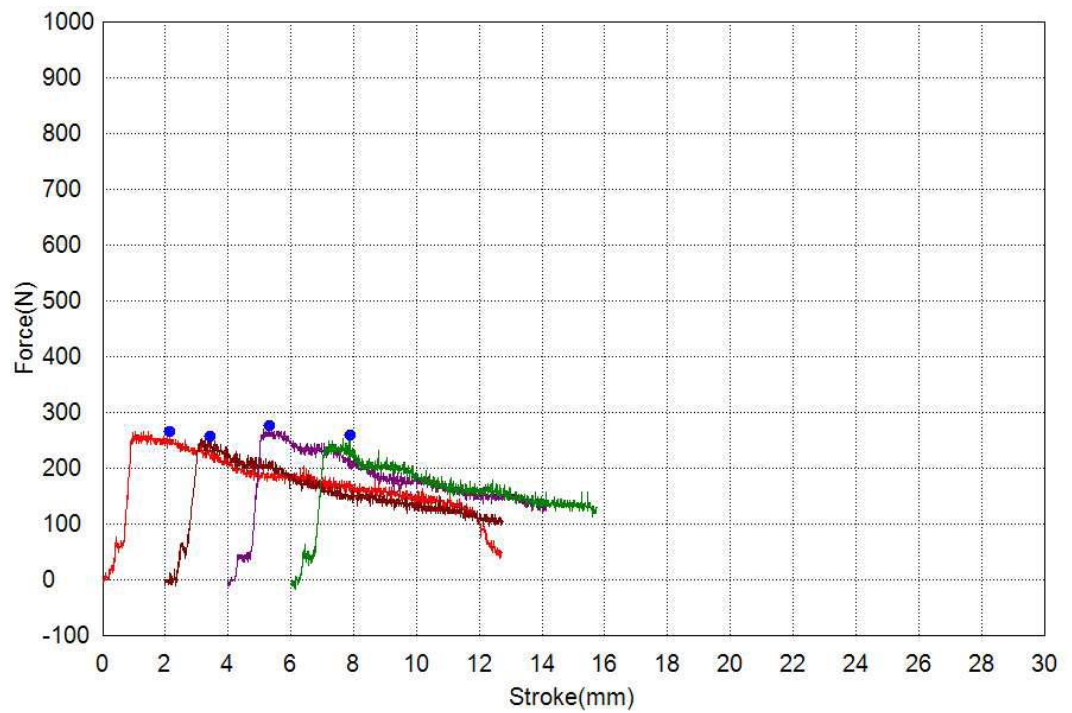


Terän vetokoe, nykyinen, syyt poikittain, kostea

LIITE 4.



Terän vetokoe, uusi, syyt pitkittäin, kostea



Terän vetokoe, uusi, syyt poikittain, kostea