

**Matti Hintsala**  
**Sormiliitoksen työstömenetelmän kehittäminen**

**Opinnäytetyö**  
**KESKI-POHJANMAAN AMMATTIKORKEAKOULU**  
**Puutekniikan koulutusohjelma**  
**Joulukuu 2011**

## TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

<b>Yksikkö</b> Ylivieskan yksikkö	<b>Aika</b> Joulukuu 2011	<b>Tekijä/tekijät</b> Matti Hintsala
<b>Koulutusohjelma</b> Puutekniikan koulutusohjelma		
<b>Työn nimi</b> Sormiliitoksen työstömenetelmän kehittäminen		
<b>Työn ohjaaja</b> Kaija Arhio, Pauliina Mattila		<b>Sivumäärä</b> 20
<b>Työelämäohjaaja</b> Tuomo Poutanen		
<p>Tämä opinnäytetyö on tehty Tuomo Poutaselle, joka on kehittänyt kyseistä sormiliitostekniikkaa jo kuusi vuotta, tavoitteenaan kattoristikoiden teollinen valmistaminen tällä tekniikalla.</p> <p>Työn aiheena oli Sormiliitoksen työstömenetelmän kehittäminen. Työn tavoitteina olivat työstöjen soveltaminen teolliseen tuotantoon, kappaleen päähän tulevan liitoksen jyrsiminen yhdellä ajokerralla, sekä kurson pystyliikkeen hallinta.</p> <p>Työssä käytettäviä ohjelmia olivat AlphaCAM ja AutoCad, joilla tehtiin työssä tarvittavat liitosten mallintamiset ja ohjelmat käytettävälle työstökoneelle. Työstökoneena käytettiin kolmeakselista CNC-konetta, jolla tehtiin kaikki työssä tarvittavat jyrsinnot.</p> <p>Työn keskeinen ongelma oli ohjelman kehittäminen kappaleen päähän tulevan liitoksen työstämiseen. Työssä saatiin luotua ohjelma, jolla tämä liitos saadaan jyrsitettyä yhdellä kerralla, ja samalla myös menemään helposti kiinni.</p>		

**Asiasanat**  
Liimaristikko, Ristikkorakenteet, Puun työstäminen

**ABSTRACT**

<b>CENTRAL OSTROBOTHNIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES</b>	<b>Date</b> December 2011	<b>Autho</b> Matti Hintsala
<b>Degree programme</b> Wood technology		
<b>Name of thesis</b> Developing the processing methods of finger joints		
<b>Instructor</b> Kaija Arhio, Pauliina Mattila		<b>Pages</b> 20
<b>Supervisor</b> Tuomo Poutanen		
<p>This thesis was commissioned by Tuomo Poutanen, who has been developing this finger-jointing technique for six years with the aim of manufacturing roof trusses industrially with this technique.</p> <p>The subject was the development of the processing methods of finger-joints. The aim was to apply the methods in industrial production, enabling the milling of the joints at the end of the work piece with one run, and controlling the vertical movement of the cutter.</p> <p>The programs that were used were Alphacam and AutoCAD. They were utilized in carrying out the necessary modelings of joints and creating the programs to be used in the machine tool a three-axis CNC machine was used for completing all necessary milling.</p> <p>The most essential problem of this thesis was creating the program to the milling of the joints at the end of the work piece. As a result of the study, a program that enables both milling the joint with one run and putting the joint together easily was created.</p>		
<b>Key words</b> Glued timber trusses, Woodworking,		

**TIIVISTELMÄ  
ABSTRACT**

**SISÄLLYS**

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2 RISTIKKORAKENTEET</b>	<b>2</b>
2.1 NR-ristikko	2
2.2 Liimaristikko	3
<b>3 RISTIKKOTYYPPIEN VERTAILU</b>	<b>4</b>
3.1 NR-ristikko vs. Liimaristikko	4
3.2 SWOT-analyysi	5
3.3 SWOT-analyysi liimaristikosta	6
3.4 SWOT-analyysi NR-ristikosta	7
<b>4 PUUN TYÖSTÄMINEN</b>	<b>8</b>
4.1 Sormiliitos	8
4.2 Jyrsiminen	8
4.3 Työstönopeudet	9
<b>5 TYÖSTÖMENETELMÄN KEHITTÄMINEN</b>	<b>11</b>
5.1 Kappaleen sivuun tuleva työstö	12
5.2 Kappaleen päähän tuleva työstö	13
5.3 Työstö- ja kierrosnopeudet	16
<b>6 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT</b>	<b>19</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>20</b>

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty Tuomo Poutasen kehittämään sormiliitostekniikkaan, jota hän on kehittänyt jo kuusi vuotta. Opinnäytetyön keskeisenä ajatuksena oli työstöjen soveltaminen teollisessa tuotannossa. Näistä lähtökohdista lähdimme yhdessä asettelemaan työlle tavoitteita, joita työssä tulisi saavuttaa ja ratkaista. Työn tavoitteina oli kappaleen päähän tulevan työstön jyrsiminen yhdellä ajokerralla, sekä kurson pystyliikkeen hallinta ja erilaisten kierros- ja syöttönopeuksien testaaminen, jotta työstöstä saadaan nopea ja kustannustehokas.

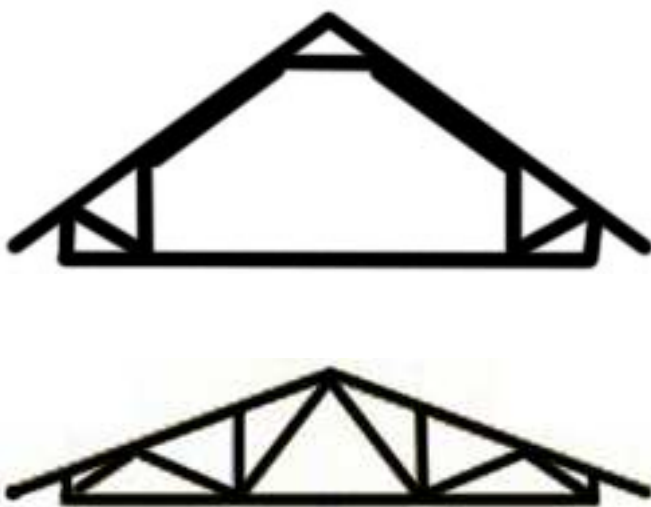
Työn keskeisimmäksi ongelmaksi muodostui kappaleen päähän tulevan liitoksen jyrsiminen, koska siinä piti samaan aikaan liikuttaa kursoa sekä vaaka-, että pystysuunnassa.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa olen käsitellyt ristikkorakenteita, sekä vertaillut NR – ristikkoa ja liimaristikkoa. Teoriaosuudessa olen käsitellyt myös jyrsimistä ja sormiliitosta, koska ne ovat työn käytännönosuuden keskeisimmät asiat.

## 2 RISTIKKORAKENTEET

### 2.1 NR-ristikko

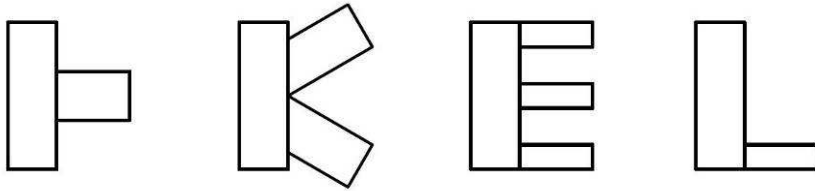
NR-ristikolla tarkoitetaan naulalevytekniikalla toteutettua kattoristikkoa. Naulalevy on sinkitystä teräslevystä valmistettu liitin, jossa on levyyn kohtisuorassa nähden taivutetut piikit. Naulalevyliitokset alkoivat yleistyä Suomessa 1970-luvulla. Ristikot valmistetaan teollisesti lujuuslajitellusta sahatavarasta ja niiden jänneväli on yleensä alle 20 metriä. Naulalevyrakenteiden laatua valvoo SFS-sertifiointi Oy, joka myöntää valmistajille NR-laatumerkinnän. NR-ristikko on kannatinrakenne, jossa on puristus- ja vetosauvoja kolmio- ja ristikkomuodossa, jotka tekevät rakenteesta jäykän, jolloin se kestää hyvin taivutusjäännitystä. Kuviossa 1 on esitelty kaksi tyypillistä NR-ristikko mallia. Ristikot suunnitellaan tarkoitukseen kehitetyllä tietokoneohjelmalla Eurokoodi 5:n mukaan. Ristikot on mitoitettu kantamaan vain pystysuuntaisia kuormia, joten ne pitää tukea sivusuunnassa hyvin, että ne eivät nurjahda kuorman alla. (Mikkola 2011; TKK talonrakennustekniikka 2006.)



KUVIO 1. Tyypillisiä NR-kattoristikkomalleja (Nastolan Kattorakenne 2011)

## 2.2 Liimaristikko

Liimaristikko on liimaamalla ja sormiliitostekniikalla toteutettu kattoristikko. Sormijatkamista on käytetty sahatavaran jatkamisessa jo kauan. 3-nivelliimapuukehien nurkkaliitoksissa on käytetty jonkin verran kulmasormiliitosta, jonka valmistus on ollut kallista. Poutanen on kehittänyt yleispätevän sormiliitoksen, jota voidaan käyttää kaikissa kulmaliitoksissa, kuten T, K, E, ja L liitoksissa, joista on mallikuvat kuviossa 2. Sormiliitos on ensimmäinen puuliitos, joka kantaa myös momenttikuormia, normaali- ja leikkauskuormien lisäksi. Sormiliitos on ensimmäinen puuliitos, jolla voidaan liittää eripaksuisia puukappaleita tehokkaasti ja rakenteellisesti toisiinsa. (Poutanen 2009.)



KUVIO 2. Sormiliitoksen eri liitosvaihtoehdot

### 3 RISTIKKOTYYPPIEN VERTAILU

#### 3.1 NR-ristikko vs. Liimaristikko

Poutasen mukaan liimaristikko on edullinen, koska liitoksiin käytettävän liiman kustannus ristikkoa kohden on noin 90 % pienempi kuin vastaavan ristikon naulalevykustannus. Lisäksi puutilavuus ja kustannus ovat liimaristikossa noin 15–35 % pienemmät kuin vastaavassa NR-ristikossa, koska siinä voidaan käyttää pienempiä puukappaleita, etenkin diagonaaleissa, ja lisäksi voidaan käyttää höyläämätöntä sahatavaraa, joka on edullisempää kuin höylätty. (Poutanen 2009.)

Liimaristikko on monessa suhteessa jäykempi ja lujempi kuin NR-ristikko. Koska liitos on jäykkä, sen taipuma noin 20 % vähemmän kuin NR-ristikolla, ja lisäksi tällä tekniikalla voidaan tehdä monia sellaisia kehiä ja ristikoita, joita ei voi tehdä naulalevytekniikalla. Liimaristikko on lisäksi täysin kosteudenkestävä, jolloin sitä voidaan käyttää myös sellaisissa kohteissa joihin NR-ristikot eivät sovellu. NR-ristikon huonoja puolia on ulkonäkö, sekä sään- ja palonkestävyys. Suojaamaton naulalevyliitos kestää palotilanteessa selvästi alle 10 minuuttia, koska naulalevy kuumenee ja aiheuttaa naulojen lujuuden ja tartunnan menetyksen, joka aiheuttaa naulalevyn irtoamisen. Liimaliitoksissa käytettävä liima määrää liitoksen lujuuden, ja on varmistettava, että liima on kuumuuden kestävä resorsinolifenoliformaldehydihartsiliimaa tai paloteknisiltä ominaisuuksiltaan vastaavaa. (Kari, Mehtälä & Tölli 2005; Poutanen 2009; TKK talonrakennustekniikka 2006.)

Liimaristikko on ekologisempi kuin NR-ristikko, koska siinä ei ole ollenkaan metallia ja se kuluttaa vähemmän luonnonvaroja. Liimaristikoilla toteutettu katto tai välipohja kuluttaa jopa 50 % vähemmän luonnonvaroja kuin vastaava NR-ristikko katto, koska liimaristikoissa on pienempi puutilavuus ja valmistuksessa tulee pienempi puuhukka ja ristikoissa ei käytetä lainkaan metalleja. (Poutanen 2009.)



### 3.2 SWOT-analyysi

SWOT-analyysi on yleisesti käytetty ja yksinkertainen nelikenttä analysointimenetelmä, jota käytetään strategian laatimisessa, sekä oppimisen tai ongelmien tunnistamisessa, arvioinnissa ja kehittämisessä. SWOT-analyysin kirjaimet tulevat englannin kielen sanoista Strengths (vahvuudet), Weaknesses (heikkoudet), Opportunities (mahdollisuudet) ja Threats (uhat). Näistä vahvuudet ja heikkoudet ovat ongelman sisäisiä tai nykyisiä asioita ja mahdollisuudet ja uhat tulevia tai ulkoisia asioita.

(Qualitas-forum 2011.)

### 3.3 SWOT-analyysi liimaristikosta

Alla olevaan taulukkoon 1 olen tehnyt SWOT-analyysin liimaristikosta. Kuten taulukosta selviää, on liimaristikolla monia sellaisia vahvuuksia jotka NR-ristikolla ovat vastaavasti heikkouksia. Liimaristikko on sään- ja palonkestävä, toisin kuin NR-ristikko. Lisäksi se on esteettinen ja ekologinen, ja liimatekniikalla voidaan tehdä sellaisia ristikoita, joita ei voida tehdä naulalevytekniikalla. Tästä syystä liimaristikolla on hyvät vahvuudet ja mahdollisuudet kilpailla kattoristikkomarkkinoilla. Liimaristikon heikkouksia ovat puuttuvat standardit, jotka määrittävät tuotantoa ja laadunvalvontaa. Koska tuote on tuntematon ja uusi, on sen vaikea löytää markkinoita ja päästä kilpailemaan muiden tuotteiden kanssa. Tuotteen mahdollisuuksia on vahva markkinapotentiaali. Tulevaisuuden uhkina voidaan pitää uutta ja tuntematonta tuotetta, jota ei ole ennen valmistettu, ja sitä, että tuotteelle ei löydy markkinoita.

TAULUKKO 1. SWOT-analyysi Liimaristikosta.

Vahvuudet	Heikkoudet
Edulliset valmistuskustannukset Säänkestävä, Palonkestävä Esteettinen, Ekologinen Voidaan tehdä sellaisia ristikoita joita ei voi tehdä NR-tekniikalla	Ei ole standardoitu tuote Uusi ja tuntematon tuote
Mahdollisuudet	Uhat
vahva markkina potentiaali	Ei lyö itseään markkinoille tuntematon tuote

### 3.4 SWOT-analyysi NR-ristikosta

Alla olevaan taulukkoon 2 olen tehnyt SWOT-analyysin NR-ristikosta. NR-ristikon suurin vahvuus on sen laaja markkinaosuus. NR-ristikon muita vahvuuksia ovat tuotteen tunnettavuus, pitkä valmistusperinne ja standardisoitu valmistus ja laadunvalvonta. Näistä johtuen sen on helppo pitää markkinaosuutensa korkeana, vaikka markkinoille tulisikin uusia kilpailevia tuotteita. NR-ristikon heikkouksia ovat huono palon- ja säänkesto ja esteettisyys, jotka samalla rajoittavat NR-ristikon käyttöä osassa käyttökohteissa, joissa taas liimaristikko toimisi ja kestäisi hyvin. NR-ristikon mahdollisuuksia on säilyttää hyvä ja laaja markkinaosuus, vaikka markkinoille tulisi kilpailevia tuotteita. Uhkina voidaan pitää markkinaosuuden pienenemistä muiden tuotteiden viedessä markkinaosuuksia.

TAULUKKO 2. SWOT-analyysi NR-ristikosta

Vahvuudet	Heikkoudet
Tunnettu ja perinteinen tuote Laaja markkina osuus Paljon valmistajia Standardisoitu tuotanto ja laadunvalvonta	Ei kestä palo tilanteissa Huono säänkesto Esteettisyys Hinta Ei sovellu järeisiin ristikoihin
Mahdollisuudet	Uhat
Laaja markkina osuus, jatkaa entisellään, vaikka muita tulisi markkinoille	Alalle tulee muita kilpailevia tuotteita, jotka vievät markkinoita

## 4 PUUN TYÖSTÄMINEN

### 4.1 Sormiliitos

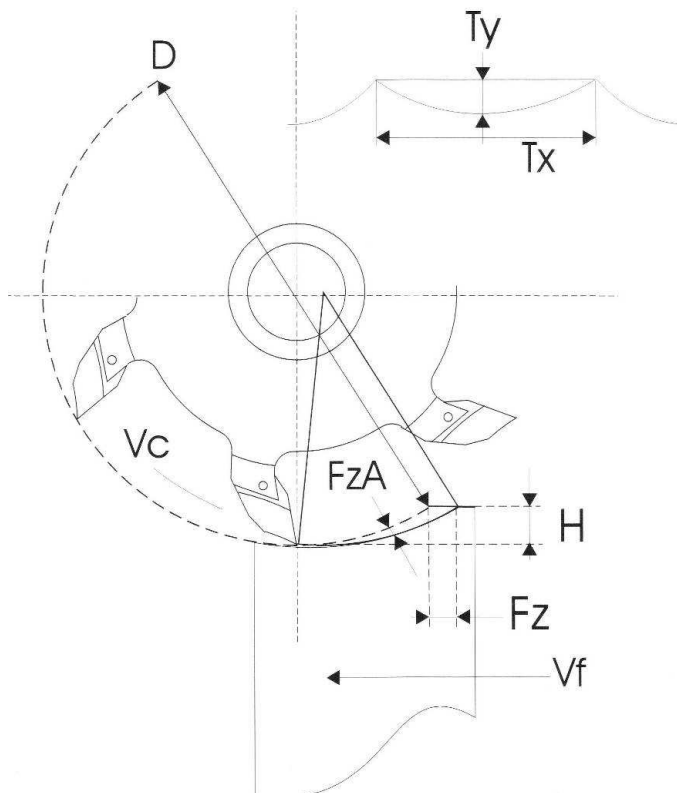
Sormiliitos on liimattava päittäisliitos, jossa liimattavat sormet kapenevat päitä kohti. Sormiliitosta käytetään sahatavaran jatkamiseen ja virheettömän sahatavaran valmistamiseen. Sormijatkamiseen on kehitetty automaattisia linjoja, jotka katkaisevat sahatavaran, työstävät liitokset ja liimaavat ja puristavat ne kiinni. Rakennetarkoituksiin valmistettava sormijatkettu sahatavara on valmistettava puurakennusnormien ja standardien DIN 68140-1, DIN 68140-2 ja DIN 1052-1 mukaisesti, jolloin tuotteet ovat jatkuvan laadunvalvonnan alaisia. Saksalainen Otto Graf Instituutti, FMPA ja Norske Träteknisk Institut, NTI Tekevät rakennesahatavaran jatkamisen tarkastustoimintaa ja ylläpitävät rakennesahatavaran jatkamiseen hyväksytyjen liimojen tietokantaa. (Kananen 2004; Koponen 1989.)

### 4.2 Jyrsiminen

Jyrsiminen on leikkaavaa työstöä, jolla on tarkoitus antaa kappaleelle erilaisia muotoja. Myös tapittaminen on jyrsimistä, koska siinä koneistetaan kappaleen päähän tappeja ja lovia liitoksia varten. Jyrsimet luokitellaan teräpään kiinnityksen mukaan ala- ja yläjyrsimiin. CNC-jyrsimet on kehitetty yläjyrsimistä, niissä molemmissa teräpää on työstettävän kappaleen yläpuolella ja käytetään samantyyppisiä teriä. Yläjyrsimessä käyttäjä määrää käytettävät kierros nopeudet ja syöttönopeudet liikuttamalla työstettävää kappaletta käsin. CNC-jyrsimissä työstettävä kappale pysyy paikalla, ja käyttäjä määrittää ohjelmaan kierros- ja syöttönopeudet ja teräradat. Työstön aikana kone lukee sille annettua ohjelmaa ja toteuttaa siihen määritellyt käskyt. (Jussila, Kuikka, Mononen, Vuotilainen & Vuorenmaa 1999; Koponen 1989.)

### 4.3 Työstönopeudet

Kanasen mukaan sormijatkamiseen ei ole määritelty erikseen omaa työstöarvojen laskutekniikkaa, joten on hyödynnettävä lastuavantyöstön perustyöstöteoriaa. Sormiliitoksen työstössä työstönopeuksista tärkeimmät ovat leikkuunopeus, syöttönopeus ja terän pyörimisnopeus. Liitoksen työstössä ei pinnanlaadulla ole suurta merkitystä, joten työstö arvoja voidaan tarkastella lastunpaksuuden, syöttönopeuden terän pyörimisnopeuden ja terien ominaisuuksien avulla. Terävalmistaja Stehlen mukaan heidän terillään työstönopeus on optimaalinen lastunpaksuudella 0,3-1,0 mm. Alla olevassa kuviossa 3 on esitelty lastuavantyöstön suureita ja seuraavan sivun taulukossa 3 on kuvion 3 merkkien selitykset ja lastuavan työstön laskukaavoja. Seuraavan sivun taulukossa 4 on suositeltuja leikkuunopeuksia eri terä materiaaleilla eri puumateriaaleille. Kuten taulukosta 4 selviää, on pehmeään puun, kuten männyn ja kuusen työstämisessä HSS eli pikaterästerällä suositeltu leikkuunopeus 50-80m/s ja HM eli kovametalliterällä 60-90m/s. (Kananen 2004; Perikangas 2009.)



KUVIO 3. Lastuavan työstön suureet (Kananen 2004.)

TAULUKKO 3. Lastuavan työstön kaavoja ja kuvion 3 merkkien selitykset (Kananen 2004.)

Kehänopeus:		
$V_c = (D \times 3,14 \times n) : (1000 \times 60)$		[m/s]
Leikkuun etenemä:		
$F_z = V_f : (n \times Z)$		[mm]
Aallon syvyys:		
$T_y = F_z^2 : (4Dn^2Z^2)$		[mm]
Keskimääräinen lastunvahvuus:		
$F_zA = F_z \sqrt{(H : D)}$		[mm]
$F_zA = V_f : nZ \sqrt{(H : D)}$		[mm]
Syöttönopeus:		
$V_f = (F_zA : \sqrt{(H : D)}) \times (nZ)$		[mm/s]
Missä:		

D = työkalun halkaisija	mm
n = kierrosnopeus	1/s
Z = Leikkuiden lukumäärä	kpl
V <sub>f</sub> = syöttönopeus	m/s
F <sub>z</sub> = leikkuun etenemä	mm
F <sub>z</sub> A = keskimääräinen lastunpaksuus	mm
V <sub>c</sub> = kehänopeus	m/s
T <sub>x</sub> = aallonpituus	mm
T <sub>y</sub> = aallonsyvyys	mm

TAULUKKO 4. Leikkuunopeudet eri terämateriaaleilla m/s (Perikangas 2009)

Materiaali	HSS	HM
Pehmeät puulajit	50-80	60-90
Kovat puulajit	40-60	50-80
Lastulevyt	-	60-80
Vanerit	-	60-80
MDF-levyt	-	40-60

## 5 TYÖSTÖMENETELMÄN KEHITTÄMINEN

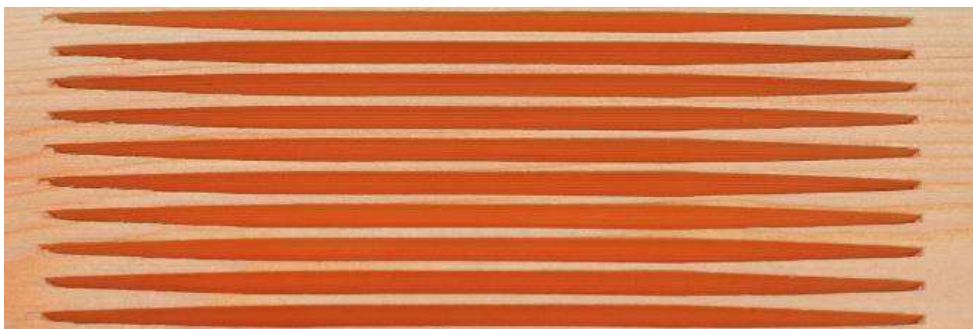
Työn tarkoituksena oli kehittää työstömenetelmä sormiliitoksen työstämiseen liimaristikon T-liitokseen, jotta sitä voidaan soveltaa teolliseen tuotantoon. Työn tavoitteita olivat kappaleen päähän tulevan liitoksen jyrsiminen yhdellä ajokerralla. Muita tavoitteita oli erilaisten kierros- ja syöttönopeuksien testaaminen, jotta työstöstä saadaan nopea ja kustannustehokas.

Tarkoituksena on työstää kappaleen sivuun tuleva jyrshintä kerta ajolla työstön nopeuttamiseksi. Kappaleen päähän tuleva liitos on tarkoitus työstää yhdellä ajokerralla, mutta tässä työstövaiheessa on tarkoitus liikuttaa kursoa myös pystysuunnassa kappaleen reunoilla, jotta saadaan ohennettua tappeja oikeasta kohdasta ja saadaan liitos menemään kiinni. Tätä samaa työstömenetelmää ja liitosmallia voidaan soveltaa sopivin muutoksin myös L-, K-, ja E-liitoksiin, eli kaikkiin liitoksiin, joita käytetään liimaristikon valmistuksessa.

## 5.1 Kappaleen sivuun tuleva työstö

Kappaleen sivuun tulevan liitoksen jyrshintä on suoraviivainen, koska tässä työstössä ei tarvitse liikuttaa terää pystysuunnassa, vaan terää liikutetaan vain vaakasuunnassa. Terä ajetaan oikeasta kohdasta kappaleeseen, liikutetaan kappaleen suunnassa tietty matka, joka riippuu siihen kiinnitettävän kappaleen leveydestä, ja ajetaan terä ulos kappaleesta. Kuviossa 4 näkyy valmis liitoksen jyrshintä, josta näkee, että kursoa ei ole liikutettu pystysuunnassa, vaan ainoastaan vaakasuunnassa. Samasta kuvasta näkyy myös se, että liitoksen urat kapenevat päitä kohti, ja tästä syystä vastakappaleen tappeja pitää ohentaa. Ainoat hankaluudet tässä työstössä oli löytää sopiva työstön leveys, käytettävälle kappaleelle, eli kuinka pitkästi terää piti liikuttaa kappaleen suunnassa, jotta liitoksesta tulisi oikeanlevyinen.

Tässä tapauksessa kappaleen sivuun tulevan liitoksen jyrshinnässä ei liikutettu kursoa pystysuunnassa, vaan kurson pystyliike tehtiin kokonaan kappaleen päähän tulevan liitoksen jyrshinnässä. Tässä tapauksessa kappaleen päähän tulevat sormet ohenevat liikaa, jolloin liitos heikkenee verrattuna liitokseen, jossa kursoa on liikutettu pystysuunnassa kummankin kappaleen jyrshinnässä.



KUVIO 4. kappaleen sivuun tuleva jyrshintä



## 5.2 Kappaleen päähän tuleva työstö

Päätykappaleen työstössä terää pitää liikuttaa kappaleen reunoilla pystysuunnassa, jotta tappien päät saadaan ohennettua ja liitos menemään kiinni. Lisäksi kappaleen pää pitää työstää oikeaan muotoon suoralla terällä ennen varsinaisen liitoksen jyrsimistä. Ensimmäisissä kokeiluissa ajoin työstöt molempiin kappaleisiin vain kerran. En siis liikuttanut kursoa vielä tässä vaiheessa pystysuunnassa, jotta näin mistä kohtaa tappeja pitää ohentaa.

Ensimmäisen pystyliikekokeilun tein siten, että liikutin kursoa vaakatasossa lyhyitä matkoja, pysäytin liikkeen ja tein pystyliikkeet. Tällä tavalla sain liitoksen tehtyä ja menemään kiinni, ilman liiallista voiman käyttöä. Tein ohjelman käytössä olleelle CNC-koneelle käsin, koska en löytänyt ohjelmointiohjelmasta työkalua, jolla olisin saanut tehtyä pystyliikkeen samalla kun kursoa liikutetaan myös vaakasuunnassa. Tämä tapa on kuitenkin hidas eikä sovellu teolliseen tuotantoon. Lisäksi liitoksen jyrsimään tuli muutamia pykälää, jotka johtuivat kurson liian harvasta liikuttamisesta vaakasuunnassa, samalla kun kursoa liikutettiin myös pystysuunnassa. Kuviossa 5 on esitelty kappaleen päähän tulevan jyrsinän ensimmäinen tulos, jolla liiton on saatu menemään kiinni. Lisäksi kuvasta erottuu jyrsinässä syntyneet pykälät, jotka on tarkoitus saada poistettua myöhemmissä kehitys vaiheissa.

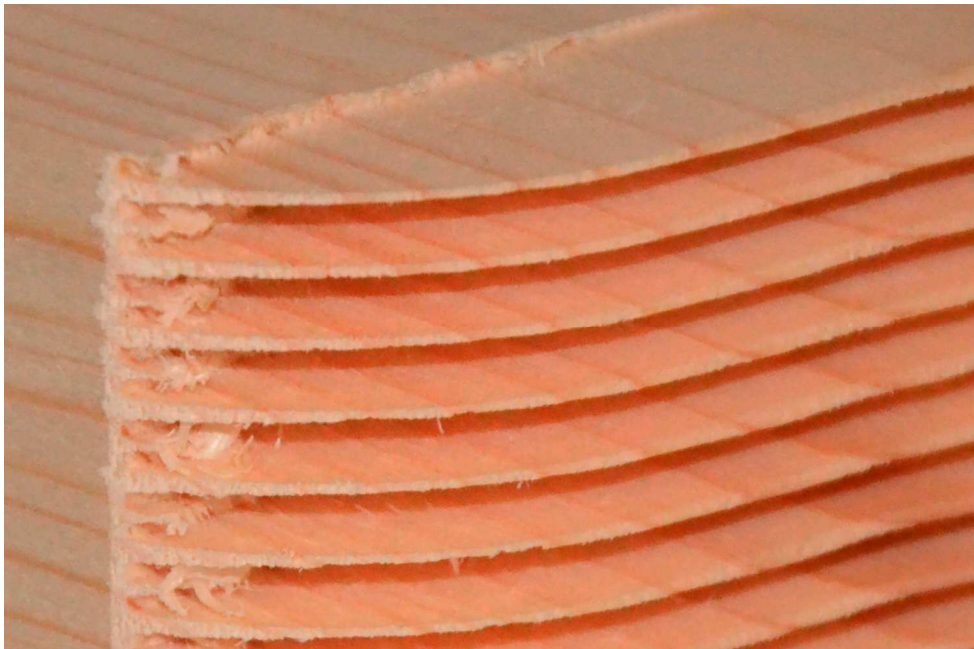


KUVIO 5. Kappaleen päähän tulevan liitoksen ensimmäinen versio

Toisessa vaiheessa jatkoin työtä piirtämällä autocad ohjelmalla liitoksen useammasta suunnasta, ja miettimällä, mistä kohdasta tappeja pitää ohentaa. Tässä vaiheessa päätin, että kurson vaaka- ja pystyliike tehdään samaan aikaan, eli kurson liike ei pysähdy missään vaiheessa.

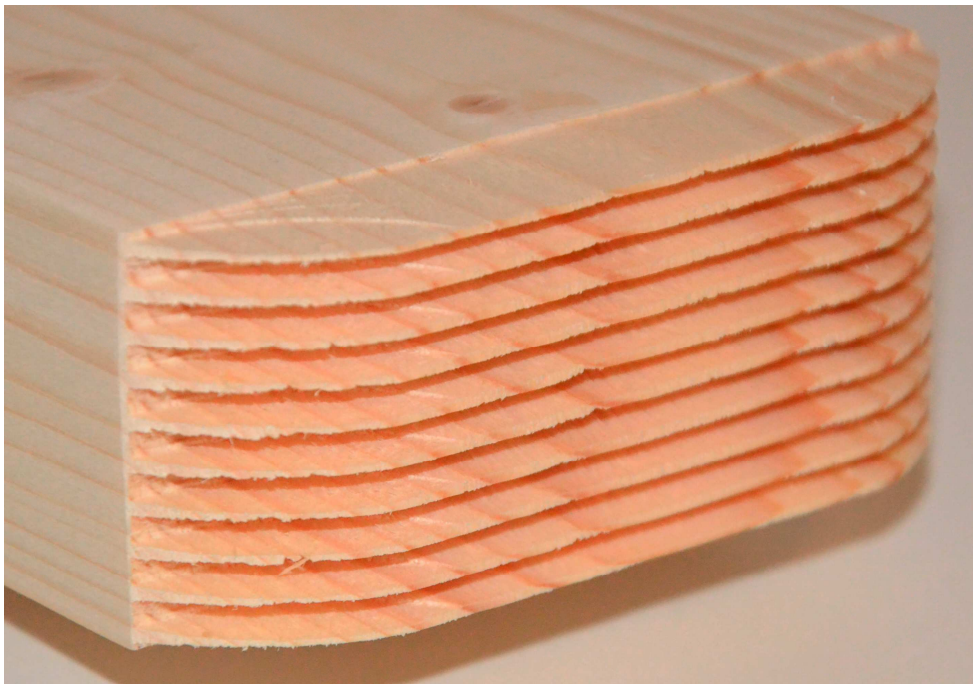
Mattilan mukaan CNC-koneen pystyakselin liike saadaan ohjelmoitua Alphacam-ohjelman splini työkalulla, joka muuttaa piirretyn geometrian yhtenäiseksi kaarijonoksi, jota pitkin voidaan tehdä terärata, jolloin koneen pystyakselin liike kulkee tätä spliniä pitkin. (Mattila 2011.)

Tein kaksi erilaista, toisista poikkeavaa ohjelmaa, joista ensimmäisessä kursoa ei liikuteta pystysuunnassa, vaan terärata on viisto, jolloin kurso viistää tapit ohuemmaksi. Kuten kuviosta 6 näkee, jäi tappien väliin puuta, joka pitää jyrsiä pois, jotta liitos saadaan menemään kiinni. Jyrsiminen pitää tehdä joko ajamalla terällä yhden ylimääräisen kerran kappaleen päästä, tai muokkaamalla ohjelmaa käsin, koska sitä ei voi ohjelmallisesti tehdä. Tässä tapauksessa ajokertoja tulee kaksi tai kolme, riippuu miten ohjelma tehdään, joten se on työn tavoitteita vastaan ja päätin hylätä tämän työstötavan.



KUVIO 6. Kappaleen päähän tulevan liitoksen toinen versio

Toiseen ohjelmaan tein teräradasta sahalaitakuvion. Tein tästä kuviosta splinin, jota muokkasin sopivaksi, jotta tapit eivät ohenisi liikaa vääristä paikoista. Ensimmäisen jyrsinnän jälkeen, piti terärataa muokata, koska tappeja piti ohentaa lisää. Lisäksi lyhensin tappien pituutta, viidestätoista millimetristä neljääntoista millimetriin. Tällä sain liitokseen tulevalle liimalle tilaa sormien päihin. Tässä vaiheessa huomasin, että liitos ei mene kiinni käsin puristamalla, vaikka tappeja oli ohennettu kappaleen reunoilta. Normaalisti liitoksen tulee olla tiukka, jotta liitokseen tulisi puristettaessa kitkavaikutus, joka pitää liitoksen kiinni. Halusin kuitenkin tehdä liitoksen, joka menee kiinni käsin puristamalla, joten tappeja piti ohentaa koko kappaleen leveydeltä. Tämän ohentamisen tein samalla tekniikalla kuin olin tehnyt kappaleen reunoillakin. Myös tässä työstötavassa jää liitokseen näkymään pieniä pykäläitä, jotka näkyvät kuviossa 7, jossa on valmis liitosmalli. Pykälät tulevat terän liikuttamisesta, joita ei tällä tekniikalla saa poistettua. Pykälät eivät kuitenkaan oleellisesti heikennä liitosta, vaan ne ovat pelkästään visuaalisia haittoja. Lopulta työstö saatiin tehtyä yhdellä ajokerralla ja liitos menemään kiinni, joten työn tavoitteet näiltä osin täyttyivät.



KUVIO 7. Kappaleen päähän tulevan liitoksen viimeisin versio

### 5.3 Työstö- ja kierrosnopeudet

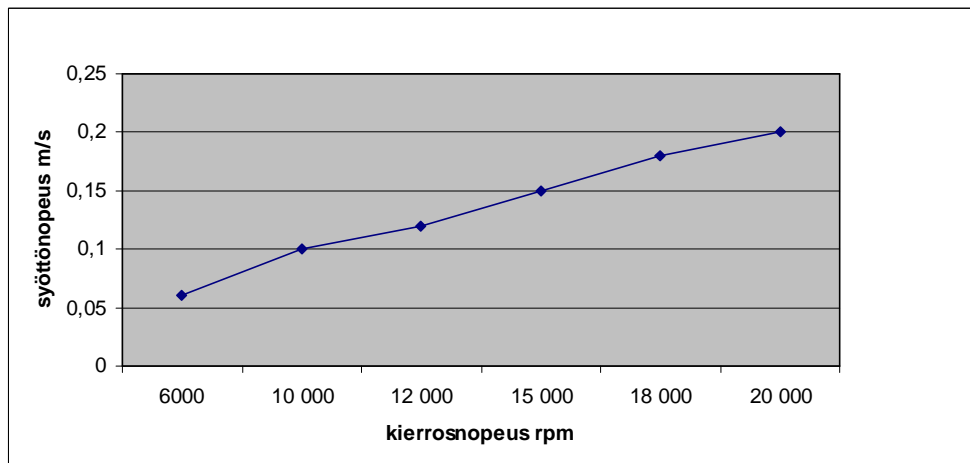
Työn yhtenä tavoitteena oli saada yksi työstö tehtyä noin yhdessä sekunnissa. Jos kappale on 100 millimetriä leveä, tämä tarkoittaa syöttönopeutta 0,1 m/s. Kuviossa 8 on tässä työssä käytettävä terä, joka on yksileikkuinen, vaikka se näyttää kaksileikkuiselta. Leikkaavat terä ovat kuitenkin erikorkeudella eripuolilla terää, eli ne leikkaavat kukin oman uran liitokseen. Terän halkaisija on 60 mm ja työstösyvyys 15 mm. Mielestäni tämän kokoisella terällä ei kannata käyttää kovin suuria lastunpaksuuksia ja leikkuunopeuksia, koska terän kestävyys ja kappaleen kiinnipysyvyys, varsinkin CNC-koneen alipainepöydässä rajoittavat käytettäviä syöttönopeuksia. Kuten sivun 18 kuvista 9 selviää, saavutetaan työssä tavoitteena ollut syöttönopeus 0,1 m/s kierrosnopeudella 10 000 rpm, keskimääräisen lastunpaksuuden ollessa 0,3 mm.



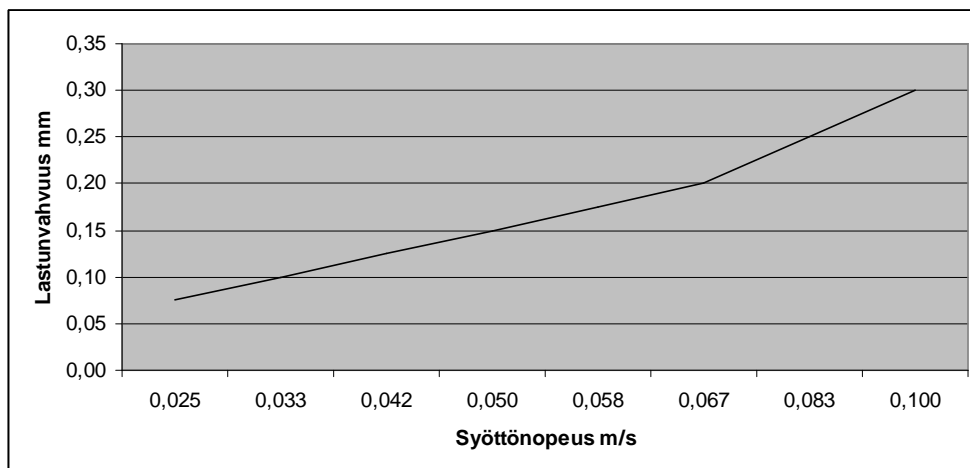
KUVIO 8. Työssä käytetty terä

Käytin syöttönopeuden kokeiluissa terän pyörimisnopeutta 10 000 rpm, jota en muuttanut kokeilujen aikana, vaan muutin vain syöttönopeuksia. Kaikissa jrsinnöissä käytin myötäsyöttöä, jolla saadaan parempi työstöjälki kuin vastasyötöllä. Myötäsyötössä terän pyörimissuunta on samansuuntainen syöttösuunnan kanssa, ja vastasyötössä ne ovat toisiaan vastaan. Ensimmäisissä kokeiluissa syöttönopeus oli 3000 mm/min, eli 0,05 m/s, joka on vain puolet työn tavoitteena olleesta. Tällä syöttönopeudella terä repi työstettäessä, joka viittaa liian suureen syöttönopeuteen. Muutin syöttönopeuden 0,033 m/s, jolloin repiminen loppui ja saavutettiin paras työstöjälki. Kuten seuraavalla sivulla olevasta kuvioista 10 ilmenee, lastunvahvuus tällä syöttönopeudella on 0,1 mm. Käytetyllä kierrosnopeudella 10 000 rpm, saadaan käytetyllä terällä leikkuunopeudeksi 31 m/s, joka on vähemmän kuin suositellut leikkuunopeudet pikateräkselle pehmeän massiivipuun työstöön, jotka ovat 50–80 m/s. Seuraavalla sivulla olevasta kuvioista 11 näkyy, että vaadittaessa leikkuunopeudeksi 50 m/s, pitäisi työssä käytetyllä terällä kierrosnopeus olla n.16 000rpm, joka on liikaa tämänkokoiselle terälle.

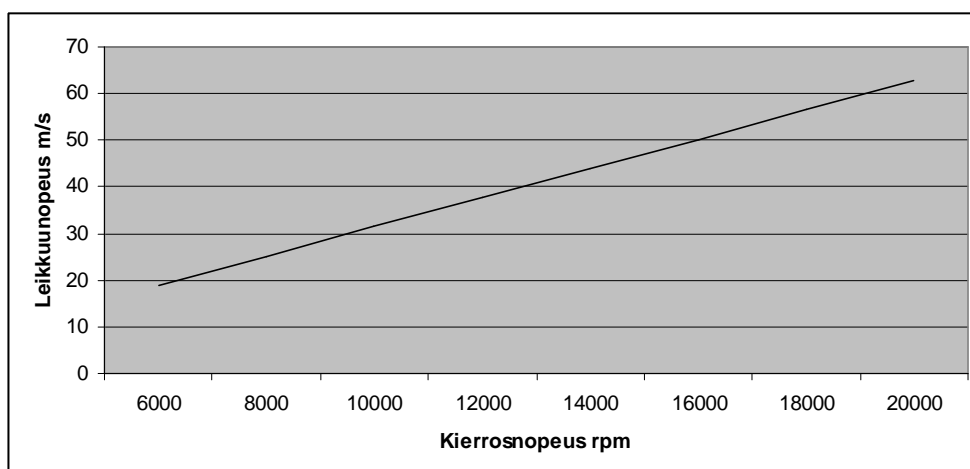
Työssä vaadittua syöttönopeutta 0,1 m/s, en saavuttanut, koska käytössä ollut terä ja kone asettivat omat rajoituksensa. Tähän syöttönopeuteen päästään, jos nostetaan terän pyörimisnopeutta merkittävästi ja samalla käytetään suurempia lastunpaksuuksia, mutta terän kestävyys heikkenee samalla merkittävästi, ja lisäksi työstettävä kappale pitää olla mekaanisesti kiinnitettynä työstökoneeseen.



KUVIO 9. Kierrosluvun vaikutus syöttönopeuteen, lastunpaksuudella 0,3 mm



KUVIO 10. lastunvahvuus eri syöttönopeuksilla, kierrosnopeudella 10 000 rpm



KUVIO 11. Leikkuunopeus eri kierrosnopeuksilla

## 6 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Työn tavoitteina oli kappaleen päähän tulevan liitoksen työstäminen yhdellä ajokerralla, terän pystyliikkeen hallinta ja nopean ja kustannustehokkaan työstönopeuden etsiminen.

Työn keskeinen ongelma oli ohjelman tekeminen kappaleen päähän tulevan liitoksen työstämiseen, koska tässä työstövaiheessa tappeja piti ohentaa kappaleen reunoilta ja saada työstö tehtyä yhdellä ajokerralla, niin, että terää liikutetaan sekä pysty-, että vaakasuunnassa samaan aikaan, eikä teränliike saanut pysähtyä missään vaiheessa. Ohjelman tekemistä vaikeutti se, että en löytänyt käytettävästä ohjelmointi ohjelmasta sopivia työkaluja, joilla olisi saanut terän pysty- ja vaakaliikkeen ohjelmoitua samaan terärataan. Työstöohjelman olisi saanut tehtyä myös käsin, mutta halusin tehdä sen ohjelmalla, koska se on helpompi ja nopeampi tapa muokata ohjelmaa erilaisten kappaleiden työstämistä varten. Kappaleen päähän tulevan liitoksen sain opinnäytetyön ohjaajan neuvojen ja pitkällisten tutkimusten ja kokeilujen jälkeen ajettua yhdellä ajokerralla. Tässä samassa yhteydessä tuli myös terän pystyliike hallintaan, koska terän vaaka- ja pystyliike on ohjelmoitu samaan terärataan. Tässä tapauksessa jouduin ohentamaan tappeja koko kappaleen leveydeltä, koska liitos ei olisi mennyt käsin puristamalla kiinni.

Yhtenä työn tavoitteena oli yhden liitoksen osan jyrsiminen yhdessä sekunnissa. Tämä työstönopeus vaatii syöttönopeudeksi 0,1 m/s, jos kappaleen leveys on 100mm. Nopeimmaksi syöttönopeudeksi sain 0,5 m/s, mutta parhaan työstöjäljen sain syöttönopeudella 0,033 m/s. Vaadittuun syöttönopeuteen olisi vaadittu liian suuria työstöarvoja, jolloin terä olisi toden näköisesti hajonnut työstettäessä. Mielestäni paras ratkaisu tähän olisi käyttää työstössä toisenlaista terää, jonka teräprofiili olisi erilainen ja leikkaavia teriä olisi enemmän. Tällä saavutettaisiin suurempia syöttönopeuksia ja samalla työstöstä saataisiin nopeampi.

## LÄHTEET

Jussila Ari, Kuikka Kalervo, Mononen Matti, Vuotilainen Matti, Vuorenmaa Martti. 1999. Puutekniikka 3. Tuotantotekniikka. Otava.

Kananen Hannu. 2004. Tehokasta sormijatkamista. Suomen kone ja terä.

Kari Olli-Pekka, Mehtälä Tiina, Tölli Juho. 2005. Teknillinen korkeakoulu. Puun palo – ominaisuudet. Pdf -tiedosto. Saatavissa:

[http://www.tkk.fi/Yksikot/Talo/opetus/Patuper/2005/Seminaarit/OPKTMJT/Puun\\_palo-ominaisuudet.pdf](http://www.tkk.fi/Yksikot/Talo/opetus/Patuper/2005/Seminaarit/OPKTMJT/Puun_palo-ominaisuudet.pdf). Luettu 12.10.2011.

Koponen Hannu. 1989. Puusepän teollisuuden tuotteet. Otakustantamo.

Mattila Pauliina. 2011. Henkilön haastattelu. 22.11.2011.

Mikkola Topi. 2011. Puupalkkien ja naulalevyristikoiden kuormituskoe. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikka. Talonrakennustekniikka. Pdf -tiedosto. Saatavissa:

[http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/30706/Mikkola\\_Topi.pdf?sequence=1](http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/30706/Mikkola_Topi.pdf?sequence=1). Luettu 28.9.2011.

Nastolan kattorakenne Oy. 2011. www – dokumentti. Saatavissa:

<http://www.kattorakenne.com/tuotteet.htm>. Luettu 21.11.2011.

Perikangas Martti. 2009. Ulko-ovien CNC-koneistus ja optimointi. Opinnäytetyö. Lahden Ammattikorkeakoulu. Pdf – tiedosto. Saatavissa:

[http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/2528/Perikangas\\_Martti.pdf?sequence=1](http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/2528/Perikangas_Martti.pdf?sequence=1). Luettu 5.12.2011.

Poutanen Tuomo. 2009. Kulmasormiliitos. Pdf – tiedosto. Saatavissa:

<http://www.liimaristikko.fi/kuvat/ATT00049.pdf>. Luettu 28.9.2011.

Qualitas-forum. 2011. SWOT analyysi. www – dokumentti. Saatavissa:

<http://www.qualitas-forum.fi/Laaduntyökalut/SWOTanalyysi/tabid/132/Default.aspx>. Luettu 8.11.2011.

Teknillinen korkeakoulu. 2006. Talonrakennustekniikka. Puisten ristikoiden suunnittelu ja mitoitus. Pdf -tiedosto. Saatavissa:

[http://www.tkk.fi/Yksikot/Talo/opetus/prp/prp2006/luennot/Luento6/Puuset\\_riistikot.pdf](http://www.tkk.fi/Yksikot/Talo/opetus/prp/prp2006/luennot/Luento6/Puuset_riistikot.pdf). Luettu 28.9.2011.