

# **RUUVILIITOS CLT-LEVYN**

## **KYLJESSÄ**

Laskentaexcel

Susanna Salonen

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2013  
Rakennustekniikka  
Talonstrakennustekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Talorakennustekniikka

SUSANNA SALONEN:  
Ruuviiliitos CLT-levyn kyljessä  
Laskentaexcel

Opinnäytetyö 39 sivua, joista liitteitä 3 sivua  
Huhtikuu 2013

---

Opinnäytetyössä tehdään yksinkertaisen CLT-levyn kylkeen toteutettavan ruuviiliitoksen laskemiseksi laskentapohja Excel-ohjelmistolla tilaajayrityksen käyttöön. Lisäksi työstä laaditaan ohje laskentapohjan käytöstä sekä esitetään laskentaesimerkki. Työssä keskitytään ruuvien leikkausmitoitukseen.

Työn alussa kerrotaan CLT-levystä ja sen käyttökohteista. CLT eli ristiinlaminoidu massiivipuulevy valmistetaan ristiinlaminoiduista lautakerroksista. Sen käyttö Suomessa kantavina rakenteina on yleistymässä. Työssä esitetään myös eri seinä- ja välipohjien liitostapoja.

Ruuvien kestävyys lasketaan Eurokoodi 5:n antamien ohjeiden mukaan. Laskennassa on huomioitu Eurooppalaisen teknisen hyväksynnän ja Valtion teknisen tutkimuskeskuksen antamat ohjeet CLT-rakenteiden suunnittelusta ja suunnitteluarvoista. Laskennassa otetaan huomioon puikkoliitosteorian mukainen ruuvien kestävyys sekä köysivaikutuksesta saatava osuus.

Laskentapohja soveltuu tällä hetkellä ainoastaan ruuviiliitoksille, joissa ruuvien akselin ja voiman välinen kulma on 90 °. Laskentapohja ei sovellu vinoruuviiliitoksien laskentaan eikä pohjalla voi laskea useamman ruuvien yhteisvaikutusta. Jatkossa laskentapohjaa on tarkoitus kehittää soveltumaan useammille liitostyypeille.

## **ABSTRACT**

Tampere University of Applied Sciences  
Degree programme of Civil Engineering  
Option of structural Engineering

SUSANNA SALONEN:

Screw connection of side of cross laminated timber  
Excel-software

Bachelor's thesis 39 pages, appendices 3 pages  
April 2013

---

The main purpose of this bachelor's thesis is to create simple Excel-software for calculating the screw connection on the side of cross laminated timber. In this thesis there is also produced a written report and an example calculation.

The cross laminated timber is made of cross laminated boards. This thesis tells about material features of cross laminated timber and its use of load bearing structures. The use of cross laminated timber is increasing in Finland.

The shear capacity of the screw is calculated according to Eurocode 5. The European technical approval and Finish national technical publication give the regulation for designing cross laminated timber and values for some material parameters.

This version of Excel-software is only suitable for specific type of screw connection. It is possible to calculate only screw connection where the angle between the screw axis and the force is 90 degrees. This Excel-software is going to be further developed for different kind of screw connection types.

---

Key words: clt-board, connection, designing, wood structure, screw connection

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	RISTIINLAMINOITU MASSIIVIPUULEVY .....	7
2.1	Materiaaliominaisuudet .....	7
2.2	Käyttökohteet.....	8
2.3	Tyypilliset seinä- ja välipohjaliitokset .....	9
2.4	Mitoituksessa käytettävät standardit .....	12
3	RUUVITYYPIT .....	13
4	RUUVIN LEIKKAUSMITOITUS .....	14
4.1	Ruuvien leikkauskestävyyden ominaisarvo .....	14
4.1.1	Murtotavat .....	15
4.2	Poikittain kuormittuvat ruuvit.....	16
4.2.1	Puuosien paksuudet ja tunkeuma.....	17
4.2.2	Reunapuristuslujuuden laskenta .....	17
4.2.3	Ruuvien myötömomentti .....	19
4.3	Köysivaikutus .....	19
4.3.1	Ruuvien kierteisen osan ulosvetokestävyyden laskenta .....	20
4.3.2	Ruuvien kannan läpivetokestävyys .....	21
4.3.3	Ruuvien vetokestävyys .....	22
4.4	Ruuvien leikkauskestävyyden mitoitusarvo .....	22
4.5	Reuna- ja päätyetäisyydet.....	23
5	LASKENTAPOHJA.....	26
5.1	Laskentapohjan yleistyksen.....	26
5.2	Lähtötietojen syöttö.....	27
5.3	Tulokset ja tulostus .....	28
6	LASKENTAESIMERKKI.....	30
7	JATKOKEHITYS .....	34
8	POHDINTA .....	35
	LÄHTEET.....	36
	LIITTEET.....	37
	Liite 1. Lähtötietojen syöttönäkymä.....	37
	Liite 2. Tulostusnäkyminen .....	39

## LYHENTEET JA TERMIT

$F_{v,Rk}$	kestävyyden ominaisarvo leikkaustasoa ja liitintä kohti
$t_i$	puuosan i paksuus
$f_{h,i,k}$	puusauvan i reunapuristuslujuuden ominaisarvo
$d$	liittimen paksuus tai halkaisija
$M_{y,Rk}$	liittimen myötömomentin ominaisarvo
$\beta$	sauvojen reunapuristuslujuuksien suhde
$F_{ax,Rk}$	liittimen ulosvetokestävyyden ominaisarvo
$\rho_k$	puun tiheyden ominaisarvo
$d_{ef}$	liittimen tehollinen halkaisija
$\alpha$	kuorman ja syysuunnan välinen kulma
$f_{h,\alpha,k}$	reunapuristus lujuuden ominaisarvo, kun syysuunnan ja liitosta kuormittavan voiman välinen kulma on $\alpha$
$f_{u,k}$	vetolujuuden ominaisarvo
$f_{ax,k}$	ulosvetolujuuden ominaisarvo
$l_{ef}$	kierreosan tunkeuma
$\rho_a$	ruuvien ulosvetokestävyyden arvoon $f_{ax,k}$ liittyvä tiheyden arvo
$n_{ef}$	ruuvien tehollinen lukumäärä
$f_{head,k}$	kannan läpivetolujuuden ominaisarvo
$d_h$	ruuvien kannan halkaisija
$f_{tens,k}$	vetolujuuden ominaisarvo
$F_{t,Rk}$	liitoksen vetokestävyyden
$A_s$	ruuvien tehollinen pinta-ala
$f_{ub}$	ruuvien vetolujuus
$X_k$	lujuusominaisuuden ominaisarvo
$\gamma_m$	materiaaliominaisuuden osavarmuusluku
$k_{mod}$	kuorman keston ja kosteuden huomioiva muunnoskerroin

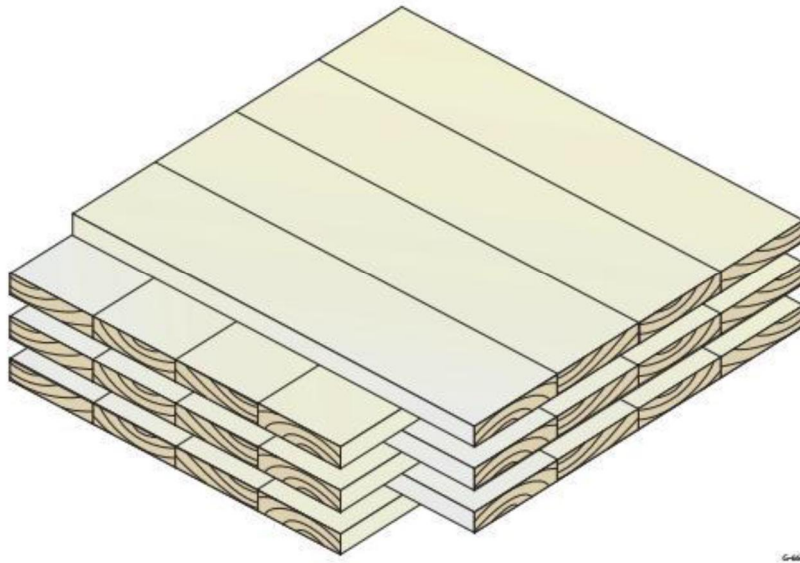
## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä tehdään KPM-Engineering Oy:n käyttöön laskentaexcel yksinkertaisen CLT-levyn kylkeen tehtävän ruuviliitoksen laskemiseksi. Laskennassa käytetään Eurokoodi 5:n antamia ohjeita, kuitenkin huomioiden Eurooppalaisen teknisen hyväksynnän ja Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen julkaisun ohjeet CLT-rakenteiden suunnittelusta. Laskennassa tarkastetaan ainoastaan ruuvien leikkauskestävyyden arvo.

Laskentaexcelille ilmeni tarve yhtiössä, kun CLT tekniikalla toteutettavien kohteiden suunnittelu käynnistyi. CLT:n käyttö on jo pidempään ollut suosittua Keski-Euroopassa. Myös Suomessa CLT-rakenteiden käyttö on yleistymässä. Puuosaston osastopäällikkö Heikki Löytty esitti aihetta opinnäytetyön aiheeksi tammikuussa 2013. KPM-Engineering Oy:n yhteyshenkilönä toimi DI Lauri Lepikonmäki. Opinnäytetyön ohjaavana opettajana toimi TkL Olli Saarinen.

## 2 RISTIINLAMINOITU MASSIIVIPUULEVY

CLT eli ristiinlaminoitu massiivipuulevy koostuu lautakerroksista, jotka liimataan toisiinsa kuvan 1 mukaisesti. Lamelleja voidaan jatkaa sormijatkamalla ja saada näin aikaan pitkiä levyjä. Levystä muodostuu jäykkä ristiin kantava rakenne. CLT-levyt koostuvat 3 - 8 ristiin laminoidusta lamellikerroksesta ja levyn paksuus vaihtelee 60 mm:stä aina 320 mm:iin asti. (Puuinfo. 2012, Building Solutions,1-3.)



KUVA 1. CLT-levyn rakenne. (Gagnon, S., Pirvu, C. CLT handbook 2011,13.)

### 2.1 Materiaaliominaisuudet

Massiivipuulevyjen materiaalina käytetään pääasiassa kuusta mutta myös mäntyä, ja lehtikuusta voidaan käyttää valmistuksessa, mutta ne ovat tilaustuotteita. Käytettävän puutavaran lujuusluokka on C24. CLT-levy soveltuu käytettäväksi eurokoodi 5:n mukaisissa käyttöluokkien 1 ja 2 rakenteissa. Puulevyä ei voida käyttää suojaamattomana rakenteissa, jotka ovat säälle alttiina. (Building Solutions, 2.)

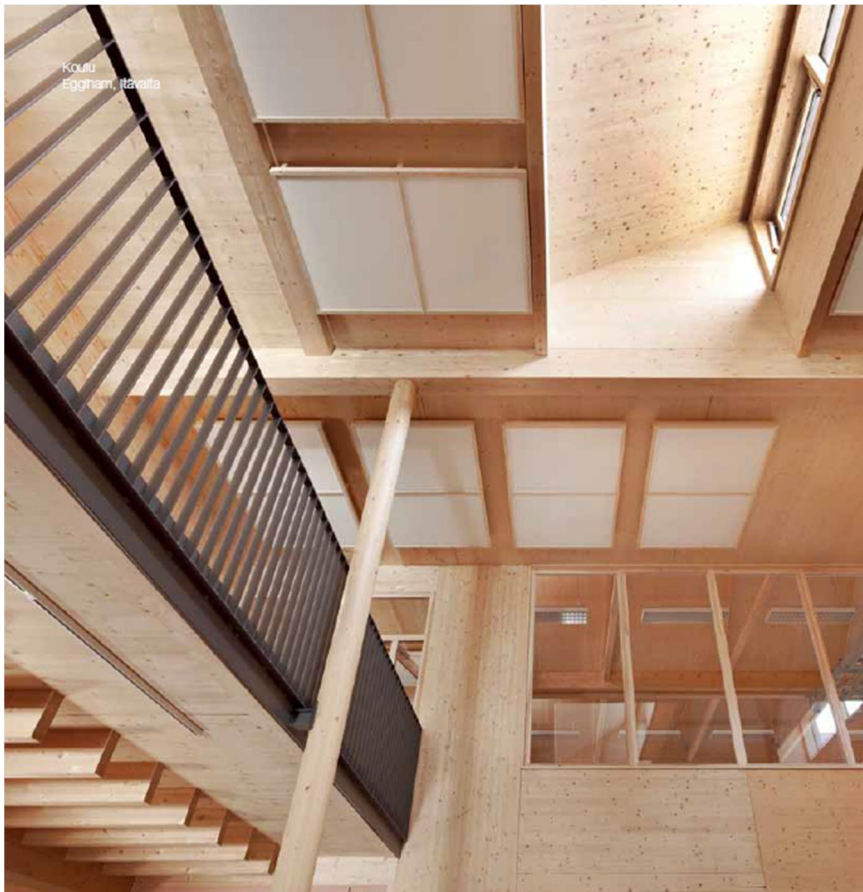
Massiivipuulevyn tiheys on  $500 \text{ kg/m}^3$  (Building Solutions, 2). Laskettaessa rakenteen massasta aiheutuvaa kuormaa käytetään edellä mainittua arvoa. Muissa tapauksissa tulee levyn tiheyden arvona käyttää ominaistiheyttä  $\rho_k$ . CLT-levyn ominaistiheydelle ei anneta erillistä arvoa, joten tässä opinnäytetyössä käytetään sahatavaran lujuusluokan

C24 mukaista ominaistiheyttä. RIL 205-1-2007 antaa lujuusluokan C24 sahatavaraalle ominaistiheyden arvon  $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$

VTT:n lausunto CLT-rakenteiden suunnittelusta antaa materiaalin osavarmuusluvulle  $\gamma_M$  arvon 1,25. Kerroin on sama kuin puulevyillä yleensä. CLT-levyn reunapuristuslujuus lasketaan ETAN julkaisun 08/0271 mukaisesti. (VTT-S-08104011,2.)

## 2.2 Käyttökohteet

Massiivipuulevyjä käytetään rakennusten kantavina ja jäykistävinä rakenteina. Levyt soveltuvat seinärakenteisiin sekä väli- ja yläpohjarakenteisiin. Levyjä voidaan käyttää välipohjarakenteissa liittorakenteina betonin kanssa. Kuva 2 on CLT-rakenteisesta koulurakennuksesta. Kuvan koulussa kaikki kantavat rakenteet on toteutettu CLT-levyillä.



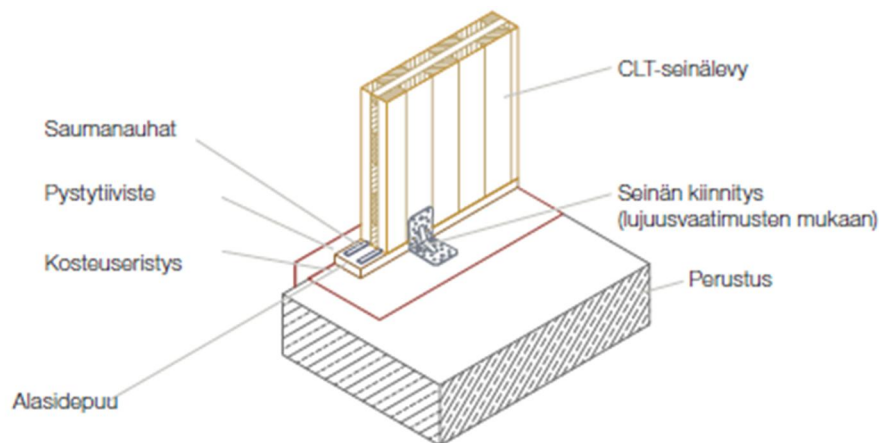
KUVA 2. CLT-levyillä toteutettu koulurakennus. (Building Solutions, 103.)



### 2.3 Tyypilliset seinä- ja välipohjaliitokset

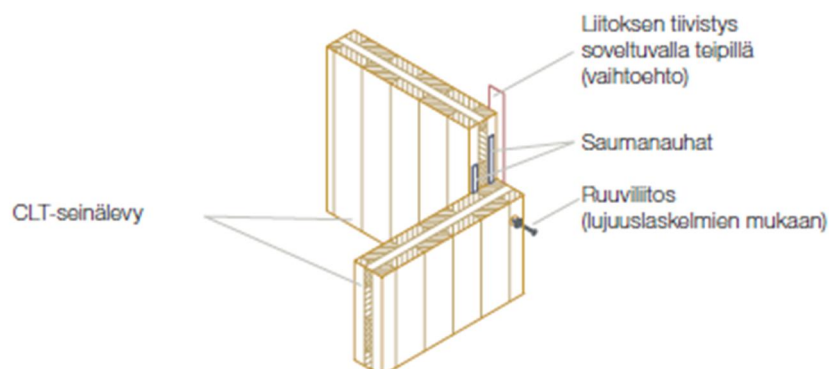
CLT-rakenteiden liitokset toteutetaan usein erityyppisinä ruuviliitoksina. Usein käytetään myös kulmalevyjä ja muita teräskiinnikkeitä. Levyjä voidaan kiinnittää myös erilaisilla ponteilla ja muilla muotoiluilla. Yleisesti pyritään kuitenkin siihen, että seinälevy ulottuisi koko kerroksen korkeudelle. Tällöin ei tarvitse jatkaa levyjä seinän pystysuunnassa kesken kerroksen vaan sauma osuu aina välipohjan kohdalle. (Building Solutions.)

Seinärakenne liitetään perustuksiin kulmalevyillä. Perustusten ja CLT-levyn välissä voidaan käyttää alasidepuuta kuvan 3 tavalla. Puuosat tulee erottaa kosteuseristyksellä perustuksista. (Building Solutions, 104 – 105.)



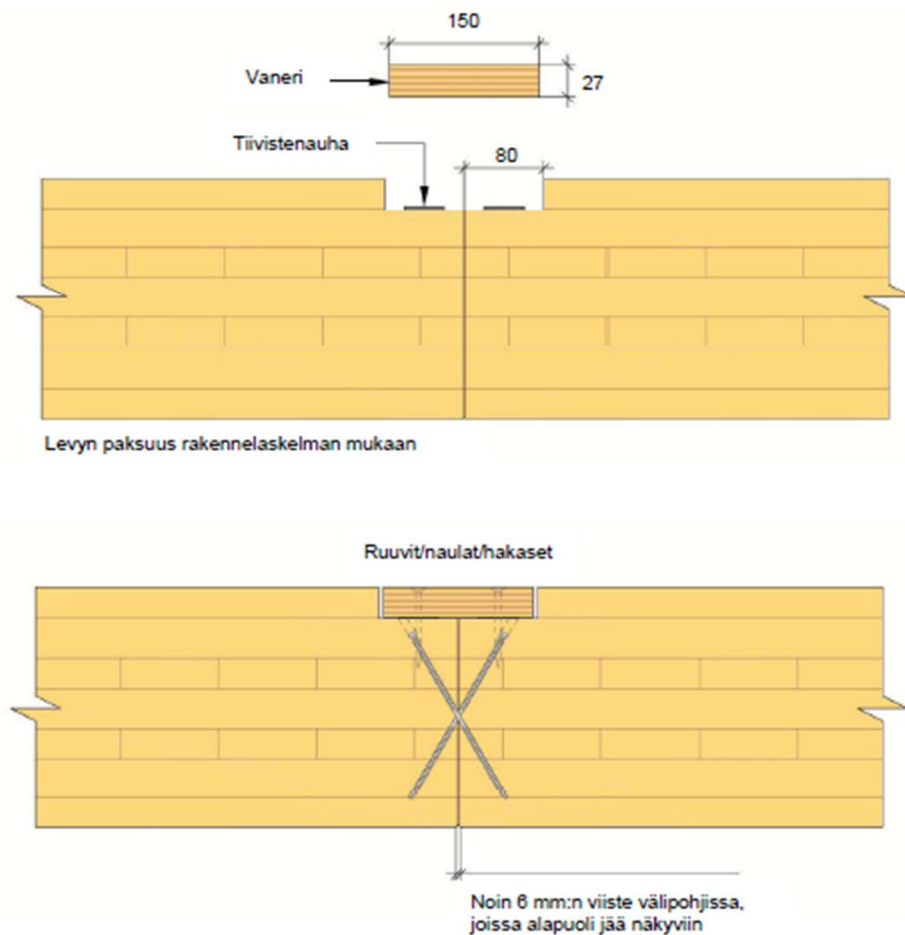
KUVA 3. Perustusliitos. (Building Solutions, 105.)

Seinät liitetään toisiinsa nurkissa kuvan 4 mukaisella ruuviliitoksella. Liitos tiivistetään saumanauhalla.



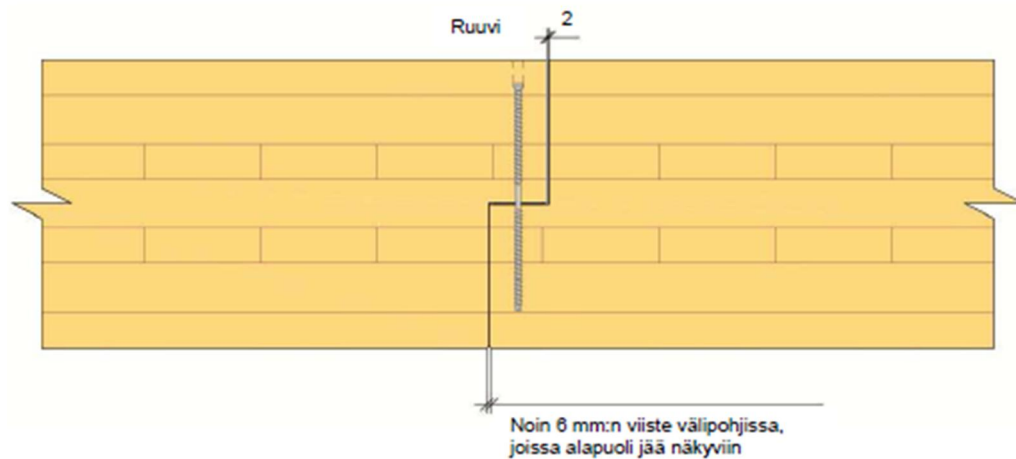
KUVA 4. Nurkkaliitos. (Stora Enso. Building Solutions, 110.)

Tyypilliset seinä- ja välipohjaliitokset tehdään jyrsimällä levyyn huullos kuvan 5 mukaisesti. Saumaan kiinnitetään esimerkiksi vanerilevy ruuveilla, nautoilla tai hakasilla. Liitoksen ilmatiiviys varmistetaan tiivistenauhalla. Seinä rakenteessa huullos kannattaa sijoittaa sille puolelle seinää, joka verhotaan. (Building Solutions, 8.)



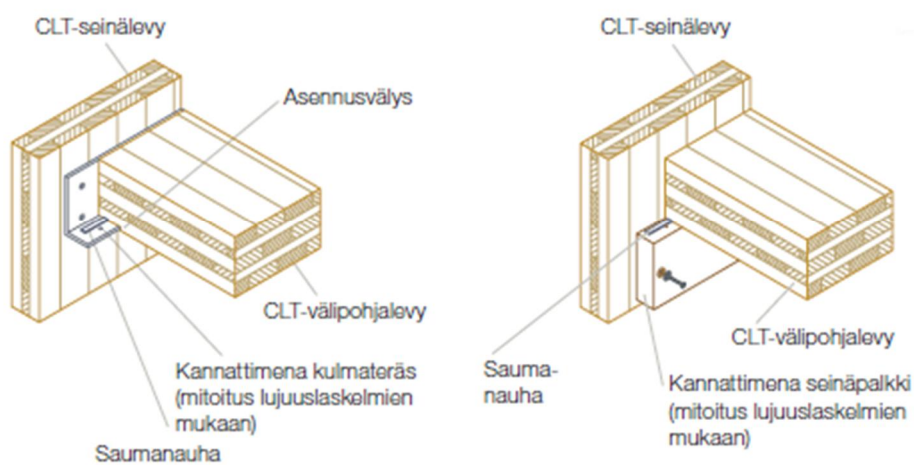
KUVA 5. Seinä- ja välipohjaliitos. (Building Solutions, 8.)

Vaihtoehtoisesti kuvan 5 tyyppinen välipohjaliitos voidaan toteuttaa myös ponttiliitoksena kuvan 6 mukaisesti. Ponttiliitoksessa kiinnikkeenä käytetään useimmiten ruuveja. (Building Solutions, 9.)



KUVA 6. Ponttiliitos. (Building Solutions, 9.)

Seinän ja välipohjanliitos voidaan toteuttaa kuvan 7 mukaisesti. Kuvassa esitetään kaksi vaihtoehtoista liitostapaa. Vasemman puoleisessa tapauksessa välipohja kannatetaan kulmateräksen varaan. Oikean puoleisessa tapauksessa välipohja tukeutuu seinäpalkin varaan. Seinäpalkki voi olla materiaaaliltaan sahatavaraa, liimapuuta tai kertopuuta.



KUVA 7. Seinän ja välipohjan liitos. (Building Solutions, 137.)

Tässä opinnäytetyössä laskettava liitos on tyypiltään kuvan 7 oikean puoleisen liitoksen tyyppinen.

## 2.4 Mitoituksessa käytettävät standardit

Valtion teknillinen tutkimuskeskus on antanut ohjeen CLT-rakenteiden suunnittelusta Suomessa. Ohjeet koskevat Stora Enson valmistamaa ristiinliimattua massiivipuulevyä. Lausunnossa ei oteta kantaa rakenteiden palonkestävyyteen eikä paloteknisiin ominaisuuksiin. (VTT-S-08104011,1–2.)

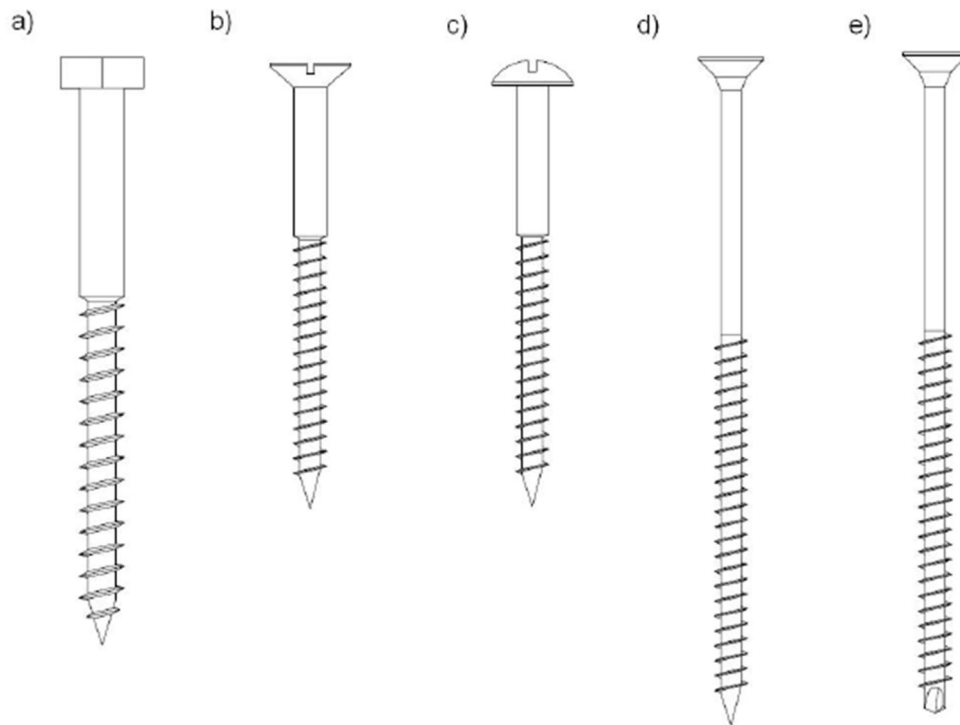
CLT-rakenteiden suunnittelussa noudatetaan Suomessa Eurooppalaisen teknisen hyväksynnän ETA-08/0271 antamia ohjeita. Tämän lausunnon mukaan CLT-rakenteet voidaan suunnitella Eurokoodi 5 suunnittelustandardin EN-1995-1-1 mukaan. (VTT-S-08104011,2–3.)

Eurokoodi 5 ei kuitenkaan tunne CLT:tä materiaalina, joten materiaaliikohtaisia mitoitusarvojen laskentaa ja suunnitteluparametrien valintaa koskevia ohjeita joudutaan soveltamaan. Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen lausunnossa annetaan suositukset osalle Suomen kansallisen liitteen materiaaliparametreistä CLT:llä. Muiden materiaali-kohtaisten suunnitteluparametrien arvot saadaan Eurooppalaisesta teknisestä hyväksynnästä ETA-08/0271:stä. Jos parametrejä ei ole esitetty, sovelletaan Eurokoodi 5:tä. Yleisesti CLT:lle sovelletaan Eurokoodi 5:ssä sahatavaralle annettuja sääntöjä lukuun ottamatta VTT:n lausunnossa annettuja poikkeuksia. (VTT-S-08104011,2–3.)

VTT:n lausunto ei koske Eurokoodi 5:stä annettuja sovellusohjeita, kuten RIL 205-1-2009 ohjetta. Sovellusohjeissa esitetyt yksinkertaistukset ja lisäohjeet eivät päde CLT:lle, eikä niitä saa käyttää ilman erillisselvitystä. (VTT-S-08104011,3.)

### 3 RUUVITYYPIT

Tässä opinnäytetyössä ruuvit on jaoteltu kuvan 8 mukaisesti kolmeen erityyppiin. Ruuvityypit a,b ja c käsitellään kansiruuveina ja ruuvityyppi d niin sanottuna yleisruuvina. Tyyppin e ruuvit käsitellään itseporautuvina ruuveina (porakärkiruuvi).



KUVA 8. Ruuvityypit. (Ari Kevarinmäki, 11.)

Kansiruuvityyppisillä ruuveilla sileän varren paksuus on ruuvin nimellispaksuuden verran. Yleisruuveilla ja itseporautuvilla ruuveilla sileän varren paksuus on lähellä sisäkierteen halkaisijan paksuutta.

## **4 RUUVIN LEIKKAUSMITOITUS**

Kahden puuosan välinen yksileikkeinen ruuviliitos mitoitetaan Eurokoodi 5:n mukaan (SFS-EN 1995-1-1 Eurokoodi 5). Tässä opinnäytetyössä keskitytään ainoastaan ruuvin leikkausmitoituksen laskentaan.

### **4.1 Ruuvin leikkauskestävyyden ominaisarvo**

Ruuvin leikkauskestävyyden arvo saadaan yhtälöstä 1. Yhtälön antama tulos on yhden ruuvin leikkauskestävyyden ominaisarvo leikkaustasoa kohden. Yhtälöstä 2 saadaan puuosien reunapuristus lujuuksien suhde  $\beta$ . (SFS-EN 1995-1-1 Eurokoodi 5,52)

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1} t_1 d \\ f_{h,2} t_2 d \\ \frac{f_{h,1} t_1 d}{1+\beta} \left[ \sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[ 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2+\beta} \left[ \sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1+2\beta} \left[ \sqrt{2\beta^2(1+\beta) + \frac{4\beta(1+2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right. \quad (1)$$

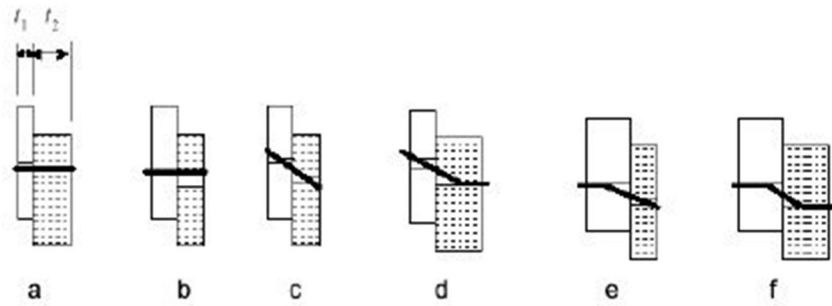
jossa

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} \quad (2)$$

$F_{v,Rk}$	on kestävyys ominaisarvo leikkaustasoa ja liitintä kohti
$t_i$	on puuosan paksuus tai tunkeuma
$f_{h,i,k}$	on puusauvan i reunapuristuslujuuden ominaisarvo
$d$	on liittimen paksuus tai halkaisija
$M_{y,Rk}$	on liittimen myötömomentin ominaisarvo
$\beta$	on sauvojen reunapuristuslujuuksien suhde
$F_{ax,Rk}$	on liittimen ulosvetokestävyys ominaisarvo.

#### 4.1.1 Murtotavat

Yksileikkeinen liitos voi murtua kuudella eri tavalla. Yhtälössä 1 jokainen rivi vastaa yhtä murtumistapaa. Murtumistavat on esitetty kuvassa 9, jossa murtumistapa a vastaa yhtälön ensimmäisen rivin tarkastusta.



KUVA 9. Murtotavat. (SFS-EN 1995-1-1 Eurokoodi 5,53)

Kuvan 9 mukaisessa liitoksessa murtolujuus riippuu puuosien reunapuristumista tai liitteen syntyvästä plastisesta nivelestä. Puuosien reunapuristuminen ja plastisen nivelen syntyminen voi olla myös samanaikaista. (Valtion teknillinen tutkimuskeskus 1996,C3/1)

Murtotavoissa a ja b ruuvi ajatellaan jäykäksi puikoksi, jolloin puuosien reunapuristuslujuus on mitoittava. Tavassa c reunapuristuslujuus ylittyy kummassakin puussa. Murtotavoilla d ja e ruuvi on ylittänyt myötörajan toisessa puussa ja ruuviin syntyy plastinen nivel. Viimeisessä tapauksessa f ruuvi myötää kummassakin puussa. (Kangas, Puuinformaatio ry & Rakentajain Kustannus Oy 1982, 16)

#### 4.2 Poikittain kuormittuvat ruuvit

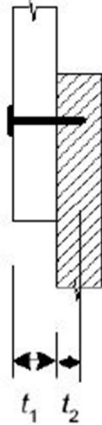
Eurokoodi 5:n mukaan halkaisijaltaan suuremmat kuin 6 mm paksut ruuvit lasketaan pulttien kaavojen mukaan. Halkaisijaltaan enintään 6 mm olevat ruuvit lasketaan naulojen kaavojen mukaan. (SFS-EN 1995-1-1 Eurokoodi 5,67)

Laskennassa ruuveilla käytetään tehollista halkaisijaa nimellishalkaisijan sijaan. Tehollinen halkaisija huomioi ruuvien kierteisen osan ohuemman halkaisijan. Tehollisena halkaisijana  $d_{ef}$  saadaan käyttää sileän varren halkaisijaa, jos sileä varsi tunkeutuu kärjen puoleiseen puuhun vähintään mitan  $4d$  verran. Jos tunkeuma ei ole riittävä, käytetään tehollisen halkaisijan arvona luvulla 1,1 kerrottua kierteen sisähalkaisijaa. (SFS-EN 1995-1-1 Eurokoodi 5,67)



#### 4.2.1 Puuosien paksuudet ja tunkeuma

Yksileikkeisellä liitoksella  $t_1$  on kannanpuoleisen puuosan paksuus ja  $t_2$  on ruuvin kärjen puoleinen tunkeuma kärjen puoleiseen puuhun. Kuvassa 10 on havainnollistettu liitososien paksuuksien määrittämistä. (SFS-EN 1995-1-1 Eurokoodi 5,56)



KUVA 10. Paksuudet  $t_1$  ja  $t_2$ . (SFS-EN 1995-1-1 Eurokoodi 5,56)

#### 4.2.2 Reunapuristuslujuuden laskenta

Sahatavaran ja liimapuun reunapuristuslujuus lasketaan Eurokoodi 5:n mukaan. Reunapuristuslujuuteen vaikuttaa se, esiporataanko ruuveille reiät. Yhtälöstä 3 saadaan enintään 6 mm halkaisijaltaan olevien esiporaamattomien ruuvien reunapuristuslujuuden arvo. (SFS-EN 1995-1-1 Eurokoodi 5,55)

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot \rho_k d^{-0,3} \quad (3)$$

Jos reiät ovat esiporattuja, reunapuristuslujuuden arvo saadaan yhtälöstä 4 (SFS-EN 1995-1-1 Eurokoodi 5,53).

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \rho_k \quad (4)$$

,joissa

$\rho_k$  on puun tiheyden ominaisarvo

$d$  on ruuvin tehollinen halkaisija.

Yli 6 mm halkaisijaltaan olevien ruuvien reunapuristuslujuuden arvo sahatavaralle ja liimapuulle lasketaan yhtälön 5 ja 6 mukaan (SFS-EN 1995-1-1 Eurokoodi 5,64).

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 d) \rho_k \quad (5)$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (6)$$

,joissa

$f_{h,0,k}$  on reunapuristuslujuuden ominaisarvo

$\rho_k$  on puun tiheyden ominaisarvo

$\alpha$  on kuorman ja syysuunnan välinen kulma

$d$  on ruuvin tehollinen halkaisija.

Yhtälön 6 termi  $k_{90}$  saadaan laskettua havupuu materiaalille yhtälön 7 mukaan (SFS-EN 1995-1-1 Eurokoodi 5,65).

$$k_{90} = 1,35 + 0,0015 d \quad (7)$$

Eurokoodi 5 ei tunne CLT-levyä materiaalina, joten reunapuristuslujuutta massiivipuulevylle ei voi laskea Eurokoodin mukaan. Massiivipuulevyn reunapuristuslujuus saadaan laskettua yhtälöstä 8 (ETA-08/0271, liite 4).

$$f_{h,k} = 60 \cdot d^{-0,3} \quad (8)$$

,jossa

$d$  on ruuvin tehollinen halkaisija.

### 4.2.3 Ruuvien myötömomentti

Eurokoodi 5:n mukaan pulteille ja pyöreille nauloille myötömomentti saadaan samasta yhtälöstä. Ruuvien myötömomentin ominaisarvo voidaan laskea yhtälöllä 9. (SFS-EN 1995-1-1 Eurokoodi 5,55 ja 64 )

$$M_{y,Rk} = 0,3 f_{u,k} d^{2,6} \quad (9)$$

,jossa

$f_{u,k}$  on vetolujuuden ominaisarvo

$d$  on ruuvien tehollinen halkaisija.

### 4.3 Köysivaikutus

Yhtälössä 1 ensimmäinen termi on puikkoliitosteorian mukainen kestävyys. Tämän lisäksi Eurokoodi 5:n mukaan liitoksen leikkauskestävyyden ominaisarvoon voidaan huomioida myös köysivaikutuksesta saatava osa. Yhtälössä 1 viimeinen termi  $(F_{ax,Rk})/4$  huomioi köysivaikutuksen. (SFS-EN 1995-1-1 Eurokoodi 5,52)

Ruuveilla köysivaikutuksesta saatavasta lisäkestävyydestä saadaan huomioida laskennassa kuitenkin enintään 100 % puikkoliitosteorian mukaisesta kestävyyydestä. Liittimen ulosvetokestävyyden arvo  $F_{ax,Rk}$  tulee olla tiedossa, jotta köysivaikutus voidaan huomioida laskennassa. Yksileikkeisissä liitoksissa ulosvetokestävyyden arvona käytetään heikoimman puuosan ulosvetokestävyyden arvoa. (SFS-EN 1995-1-1 Eurokoodi 5,53)

Ruuveilla köysivaikutuksen mitoitusarvo on pienin seuraavista: ruuvien kierteisen osan ulosvetokestävyys, ruuvien kannan läpivetokestävyys ja ruuvien vetokestävyys (RIL 205-1-2007,120; SFS-EN 1995-1-1 Eurokoodi 5,67).

### 4.3.1 Ruuvien kierteisen osan ulosvetokestävyyden laskenta

Ruuvien ulosvetokestävyys lasketaan pitkittäin kuormittuvien ruuvien mukaan, koska Eurokoodi 5 ei anna erikseen ohjetta poikittain kuormittuvien ruuvien ulosvetokestävyyden laskentaan.

Ulosvetolujuuden ominaisarvo saadaan yhtälöstä 10. Yhtälössä ruuvi on kohtisuorassa syysuuntaa vastaan. (SFS-EN 1995-1-1 Eurokoodi 5,69)

$$f_{ax,k} = 0,52 d^{-0,5} l_{ef}^{-0,1} \rho_k^{0,8} \quad (10)$$

,jossa

$d$  on ruuvien tehollinen halkaisija

$l_{ef}$  on kierreosan tunkeuma

$\rho_k$  on tiheyden ominaisarvo.

Ulosvetokestävyyden ominaisarvo ruuveille, joiden halkaisija on enintään 6 mm:ä, lasketaan yhtälön 11 mukaisesti (SFS-EN 1995-1-1 Eurokoodi 5,69).

$$F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{n_{ef} f_{ax,k} d l_{ef}}{1,2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \left( \frac{\rho_k}{\rho_a} \right)^{0,8} \quad (11)$$

,jossa

$n_{ef}$  on ruuvien tehollinen lukumäärä

$\alpha$  on ruuvien akselin ja syysuunnan välinen kulma

$\rho_a$  on ruuvien ulosvetokestävyyden arvoon  $f_{ax,k}$  liittyvä tiheyden arvo.

Ruuvien tehollinen lukumäärä lasketaan yhtälön 12 mukaan.

$$n_{ef} = n^{0,9} \quad (12)$$

,jossa  $n$  on liitoksessa yhdessä toimivien ruuvien lukumäärä.

Ruuveille, joiden halkaisija on yli 6 mm:ä, ulosvetokestävyyden ominaisarvo lasketaan yhtälöstä 13 (SFS-EN 1995-1-1 Eurokoodi 5,69).

$$F_{ax,\alpha,k} = \frac{n_{ef} f_{ax,k} d l_{ef} k_d}{1,2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \quad (13)$$

Yhtälön 13 termi  $k_d$  lasketaan yhtälöstä 14 (SFS-EN 1995-1-1 Eurokoodi 5,69).

$$k_d = \min \left\{ \frac{d}{8}, 1 \right\} \quad (14)$$

#### 4.3.2 Ruuvien kannan läpivetokestävyys

Ruuvien kannan läpivetolujuus saadaan yhtälöstä 15. Kärjen puoleinen tunkeuma tulee olla vähintään 6 kertaa halkaisijan suuruinen. (SFS-EN 1995-1-1 Eurokoodi 5,61)

$$f_{head,k} = 70 \cdot 10^{-6} \rho_k^2 \quad (15)$$

Liitoksen läpivetokestävyyden ominaisarvo lasketaan yhtälöstä 16. Ruuviryhmään tulee vaikuttaa voima, jolla on ruuvien varren suuntainen komponentti. (SFS-EN 1995-1-1 Eurokoodi 5,69)

$$F_{ax,\alpha,Rk} = n_{ef} f_{head,k} d_h^2 \left( \frac{\rho_k}{\rho_a} \right)^{0,8} \quad (16)$$

,jossa

$d_h$  on ruuvien kannan halkaisija.

### 4.3.3 Ruuvien vetokestävyys

Ruuvien vetolujuuden ominaisarvo saadaan yhtälöstä 17 (SFS-EN 1993-1-8 Eurokoodi 3, Taulukko 3.4).

$$f_{tens,k} = k_2 f_{ub} A_s \quad (17)$$

,jossa

$k_2 = 0,63$  uppokantaiselle ruuveille ja  $k_2 = 0,9$  muille ruuveille

$f_{ub}$  on ruuvien vetolujuus

$A_s$  on ruuvien tehollinen pinta-ala.

Varsinaisen liitoksen vetokestävyuden ominaisarvo saadaan yhtälöstä 18 (SFS-EN 1995-1-1 Eurokoodi 5,69).

$$F_{t,Rk} = n_{ef} f_{tens,k} \quad (18)$$

### 4.4 Ruuvien leikkauskestävyyden mitoitusarvo

Eurokoodi 5:n mukaan materiaaliominaisuuksien mitoitusarvot lasketaan yhtälön 19 perusteella (SFS-EN 1995-1-1 Eurokoodi 5,69).

$$X_d = k_{mod} \frac{X_k}{\gamma_m} \quad (19)$$

,jossa

$X_k$  on lujuusominaisuuden ominaisarvo

$\gamma_m$  on materiaaliominaisuuden osavarmuusluku

$k_{mod}$  on kuorman keston ja kosteuden huomioiva muunnoskerroin.

Kertoimen  $k_{mod}$  arvot saadaan kuvasta 11.

Materiaali	Standardi	Käyttö-luokka	Kuorman aikaluokka				
			Pysyvä kuorma	Pitkä-aikainen kuorma	Keskipitkä kuorma	Lyhyt-aikainen kuorma	Hetkellinen kuorma
Sahatavara	EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Liimapuu	EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

KUVA 11.  $K_{mod}$  kertoimen arvot. (SFS-EN 1995-1-1 Eurokoodi 5,25).

#### 4.5 Reuna- ja päätyetäisyydet

CLT-levyille ei ole erikseen annettu ohjetta pääty- ja reunaetäisyyksien vähimmäisarvoista, kun ruuvi ruuvataan levyn kylkeen. CLT-rakenteiden suunnittelussa sovelletaan Eurokoodin antamia ohjeita (VTT-S-08104011,2).

Eurokoodi 5:n mukaan ruuviliitoksilla on tarkistettava ruuvien reuna- ja päätyetäisyyksien vähimmäisarvot. Ruuveilla, joiden halkaisija on enintään 6 mm:ä, etäisyyksien ja ruuvivälien vähimmäisarvot saadaan naulojen arvojen mukaan kuvasta 12. (SFS-EN 1995-1-1 Eurokoodi 5,58;67)

Väli tai etäisyys (ks. kuvaa 8.7)	Kulma $\alpha$	Naulavälin tai pääty- tai reunaetäisyyden vähimmäisarvo		
		ei reikien esiporausta		reikien esiporaus
		$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$	
Naulaväli $a_1$ (syysuunnassa)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$d < 5 \text{ mm}$ : $(5+5  \cos \alpha ) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$ : $(5+7  \cos \alpha ) d$	$(7+8  \cos \alpha ) d$	$(4+  \cos \alpha ) d$
Naulaväli $a_2$ (syysuuntaa vastaan kohtisuoraan)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$(3+  \sin \alpha ) d$
Etäisyys $a_{3,t}$ (kuormitettuun päähän)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(10+5\cos \alpha) d$	$(15+5\cos \alpha) d$	$(7+5\cos \alpha) d$
Etäisyys $a_{3,c}$ (kuormittamattomaan päähän)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$10d$	$15d$	$7d$
Etäisyys $a_{4,t}$ (kuormitettuun reunaan)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$d < 5 \text{ mm}$ : $(5+2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$ : $(5+5 \sin \alpha) d$	$d < 5 \text{ mm}$ : $(7+2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$ : $(7+5 \sin \alpha) d$	$d < 5 \text{ mm}$ : $(3+2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$ : $(3+4 \sin \alpha) d$
Etäisyys $a_{4,c}$ (kuormittamattomaan reunaan)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$3d$

KUVA 12. Enintään 6 mm halkaisijaltaan olevien ruuvien pääty- ja reunaetäisyydet. (SFS-EN 1995-1-1 Eurokoodi 5,58)

Ruuvit, joiden halkaisija on suurempi kuin 6 mm, reuna- ja päätyetäisyydet määritetään samoin kuin pulteilla. Ruuvien ruuvivälien sekä reuna- ja päätyetäisyyksien vähimmäisarvot saadaan kuvasta 13. (SFS-EN 1995-1-1 Eurokoodi 5,65;67)

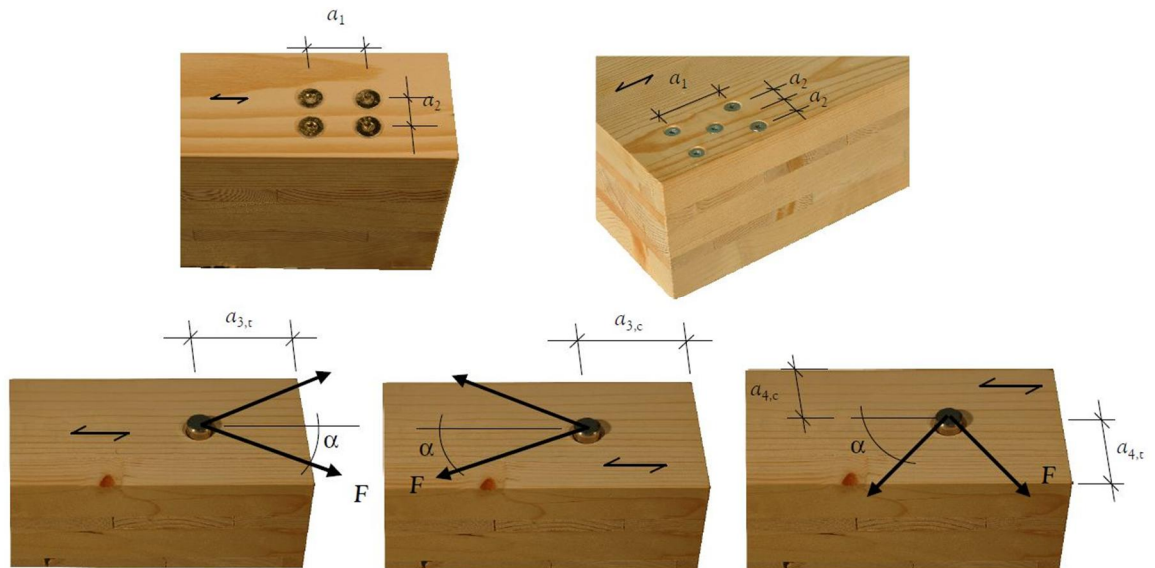
Pulttien liitinvälit sekä reuna- ja päätyetäisyydet (ks. kuvaa 8.7)	Kulma	Pulttien liitinvälien tai reuna- tai päätyetäisyyksien vähimmäisarvot
$a_1$ (syysuuntaan)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4 +  \cos \alpha ) d$
$a_2$ (syysuuntaa vastaan kohtisuoraan)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4 d$
$a_{3,t}$ (kuormitettu pää)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max \{7 d; 80 \text{ mm}\}$
$a_{3,c}$ (kuormittamaton pää) <sup>35</sup>	$>A1 \ 90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$ $150^\circ < \alpha \leq 210^\circ$ $210^\circ < \alpha \leq 270^\circ$	$(1+6 \sin \alpha) d$ $4 d$ $(1+6  \sin \alpha ) d < A1$
$a_{4,t}$ (kuormitettu reuna)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max \{(2 + 2 \sin \alpha) d; 3 d\}$
$a_{4,c}$ (kuormittamaton reuna)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 d$

KUVA 13. Yli 6 mm halkaisijaltaan olevien ruuvien reuna- ja päätyetäisyydet. (SFS-EN 1995-1-1 Eurokoodi 5,65)



Kuvissa 12 ja 13 termi  $\alpha$  tarkoittaa puun syysuunnan ja voiman välistä kulmaa. Termi  $d$  tarkoittaa ruuvin halkaisijaa. Enintään 6 mm:ä halkaisijaltaan olevilla ruuveilla reuna- ja päätyetäisyyksien vähimmäisarvot saavat olla pienemmät, jos ruuveille esiporataan reiät. Lisäksi vähimmäisarvojen suuruuteen vaikuttaa puun tiheys  $\rho_k$ .

Reuna- ja päätyetäisyyksien määrittämistä on havainnollistettu kuvassa 14. Kuvassa etäisyys  $a_1$  tarkoittaa ruuvien välistä etäisyyttä puun syysuunnassa ja  $a_2$  ruuviväliä syysuuntaa vastaan kohtisuorasti. Ruuvien päätyetäisyyttä kuormittamattomaan reunaan kuvaa termi  $a_{3,c}$  ja kuormitettuun reunaan  $a_{3,t}$ . Termi  $a_{4,c}$  tarkoittaa reunaetäisyyttä kuormittamattomaan reunaan ja termi  $a_{4,t}$  kuormitettuun reunaan.



KUVA 14. Ruuvien reuna- ja päätyetäisyydet. (ETA-12/0114, 71)

## 5 LASKENTAPOHJA

Laskentaexcel soveltuu yksileikkeisen ruuviliitoksen leikkauskestävyyden laskentaan. Tuloksena taulukkolaskenta antaa yhden ruuvin leikkauskestävyyden laskenta-arvon leikettä kohden.

Laskentaohjelma on tehty Microsoftin Excel 2010 taulukkolaskentaohjelmalla. Taulukkolaskenta sisältää makroja, joten käyttäjän tulee ottaa makrot käyttöön. Ilman tätä laskenta ei välttämättä toimi kunnolla. Laskentapohja on ulkoasultaan tilaajayrityksen Excel laskentapohjien ulkoasuohjeiden mukainen.

Excel laskee leikkauskestävyyden Eurokoodi 5:n mukaan huomioiden ohjeet, jotka ETA-08/0271 ja VTT-S-08104011 lausunnot antavat CLT-rakenteiden suunnittelusta. Laskennassa käyttäjä voi halutessaan jättää pois köysivaikutuksesta saatavan lisäkestävyyden osuuden. Tällöin tuloksena saatu kestävyys on varmallalla puolella. Köysivaikutusta ei saa huomioida, jos liittimen ulosvetokestävyyden arvoa ei tunneta. Eurokoodi 5 antaa kuitenkin kaavat ulosvetokestävyyden laskentaan. Laskennassa täytyy tietää ruuvin kierteisen osan pituus sekä kierteisen osan tunkeuma kärjen puoleiseen puuhun.

### 5.1 Laskentapohjan yleistyksiset

Laskennan helpottamiseksi taulukkolaskenta ohjelmaan on tehty yksinkertaistuksia, jotka rajoittavat laskentaohjelman soveltuvuuden vain tietyn tyyppisiin liitoksiin. Raja-uksista on sovittu yhdessä tilaajayrityksen edustajan Lauri Lepikonmäen kanssa.

Taulukkolaskenta soveltuu sahatavaran, CLT-levyn ja liimapuun laskemiseen. Kertopuu on materiaalina sovittu jätettäväksi pois tässä vaiheessa, koska kerto-S käsikirjassa annetaan erillisiä ohjeita kertopuun suunnittelusta ja niihin ei ole tässä opinnäytetyössä tutustuttu.

Laskentaohjelma antaa tuloksena ainoastaan leikkauskestävyyden mitoitusarvon. Tarvittaessa liitokselle tulee tarkastaa erikseen lohkeamis- ja palamurtumiskestävyys. Laskentapohja soveltuu ainoastaan yksileikkeisen liitoksen laskemiseen. Tässä laskentapohjassa ruuvien tehollinen lukumäärä  $n_{ef}$  on aina 1. Tällöin saatu tulos on ainoastaan yhden yksittäisen ruuvin leikkauskestävyyden arvo.

Laskentapohja ei sovellu vinoruuviliitoksien laskentaan. Ruuvin akselin ja liitokseen vaikuttavan voiman kulma on rajoitettu 90 ° kulmaan. Laskennassa ruuvit on jaettu kolmen tyyppisiin ruuveihin. Kansiruuveilla ruuvien tiedot ja dimensiot on saatu yleisistä standardeista ja ne ovat yleispäteviä kaikille valmistajille. Yleisruuveilla ja muilla ruuveilla (itseporautuvat ruuvit) tiedot ovat valmistajakohtaisia. Tässä opinnäytetyössä yleisruuveille on käytetty Wurth:n ruuvien tietoja ja dimensioita. Itseporautuvilla ruuveilla tietoja on kerätty SPAX:lta ja SFS intec:ltä.

## 5.2 Lähtötietojen syöttö

Tiedot syötetään laskentapohjan keltaisiin soluihin. Ensimmäisenä valitaan vetovalikosta haluttu ruuvityyppi. Alempaan vetovalikkoon muuttuu tämän valinnan seurauksena oikeat ruuvit, joista käyttäjä voi valita haluamansa. Liitteessä 1 on kaksi kuvaa lähtötietojen syöttönäkymästä. Vetovalikossa ruuvin tiedot ovat muodossa halkaisija x pituus. Kauttaviivan jälkeinen kirjain T tarkoittaa täyskierteistä ruuvia ja kirjain O osakierteistä ruuvia.

Seuraavana syötetään puuosien syysuuntien ja puuosan 1 syysuunnan sekä voiman suunnan välinen kulma. Liitteessä 1 sivulla 1 on kuva, jossa havainnollistetaan kulmien määrittämistä. CLT-levyllä tulee huomioda, että syysuuntana käytetään leikkeenpuoleisen uloimman lamellin syysuuntaa.

Puuosien materiaali tiedot valitaan vetovalikosta sekä syötetään käsin puuosien paksuudet. Liitteessä 1 sivulla 2 on kuva lähtötietojen syöttönäkymästä. Puuosien paksuudet tulee syöttää todellisina sauvojen paksuuksina. Arvojen yksikkönä tulee olla millimetri. Tietoja syötettäessä tulee huomata, että puuosa 1 on aina ruuvin kannan puoleinen sauva ja puuosa 2 kärjen puoleinen. Laskentaohjelma hakee automaattisesti tiheysarvot ja ma-

teriaalien osavarmuuskertoimet tietojen syöttösarakkeen oikealle puolelle. Näihin arvoihin käyttäjän ei tarvitse koskea.

Seuraavaksi käyttäjä määrittää kuorman keston ja kosteusvaikutuksen huomioivan muunnoskertoimen  $k_{\text{mod}}$  excelistä löytyvästä  $k_{\text{mod}}$  -kerroin taulukosta. Kertoimen arvot löytyvät myös tämän opinnäytetyön kuvasta 11.

Käyttäjä täyttää reunaehdot kohdassa ruuvivälien mitat kummassakin suunnassa molemmille puuosille. Lisäksi täytetään etäisyydet puiden molempiin päihin sekä reunoihin. Reunaehto- ja syöttötaulukon oikealla puolella on havainnollistava kuva reunaehto- ja syöttämistä varten. Kuvassa 14 on myös havainnollistettu reuna- ja päätyetäisyyksien määrittämistä. Käyttäjä voi myös valita esiporataanko ruuveille reiät. Oletuksena on, että ruuveille ei esiporata reikiä. Esiporauksella saadaan pienennettyä vaadittavia minimi etäisyyksiä puun reunoihin ja päihin.

Ohjelma laskee vaaditut minimi reuna- ja päätyetäisyydet sekä ruuvivälit syöttösarakkeen oikealle puolelle ja ilmoittaa onko käyttäjän syöttämä arvo riittävä. Varsinainen liitoksen leikkauskestävyyden laskenta toimii kuitenkin, vaikka reuna- ja päätyehtoja ei ole syötetty tai reuna- ja päätyvaatimukset eivät täyty.

Viimeisenä käyttäjä valitsee vetovalikosta huomioiko laskenta köysivaikutuksen vai lasketaanko ainoastaan puikkoliitoksen mukainen kestävyysarvo. Laskenta on varmallalla puolella, jos köysivaikutuksen osuutta ei oteta huomioon ruuviliitoksen kestävyysarvoon.

### 5.3 Tulokset ja tulostus

Kun lähtötiedot on syötetty, laskentaohjelma laskee toisella laskenta välilehdellä ruuviliitoksen kestävyysarvon käyttäjän valintojen perusteella. Tälle laskenta välilehdelle käyttäjän ei tarvitse mennä välttämättä ollenkaan mutta halutessaan käyttäjä voi tarkastaa laskennan oikeellisuuden.

Ohjelma palauttaa automaattisesti laskentavälilehden tulokset lähtötietojen syöttö välilehden tulostusalueelle. Tulostus alueella käyttäjän tulee täyttää ainoastaan nimiössä keltaisella olevat solut. Liitteessä 2 on kuva tulostusnäköymästä. Tulostus alueella kerrotaan minkä standardien mukaan laskenta on suoritettu. Tulostukseen tulee liitoksen ja laskennan lähtötiedot sekä huomautus siitä onko köysivaikutus laskettu. Laskenta antaa liitoksen kestävyiden ominaisarvon sekä kestävyiden murtorajatilassa. Liitteessä 2 on myös reuna- ja päätyetäisyyksien minimi etäisyydet sekä liitoksen todelliset reuna- ja päätyetäisyydet.

## 6 LASKENTAESIMERKKI

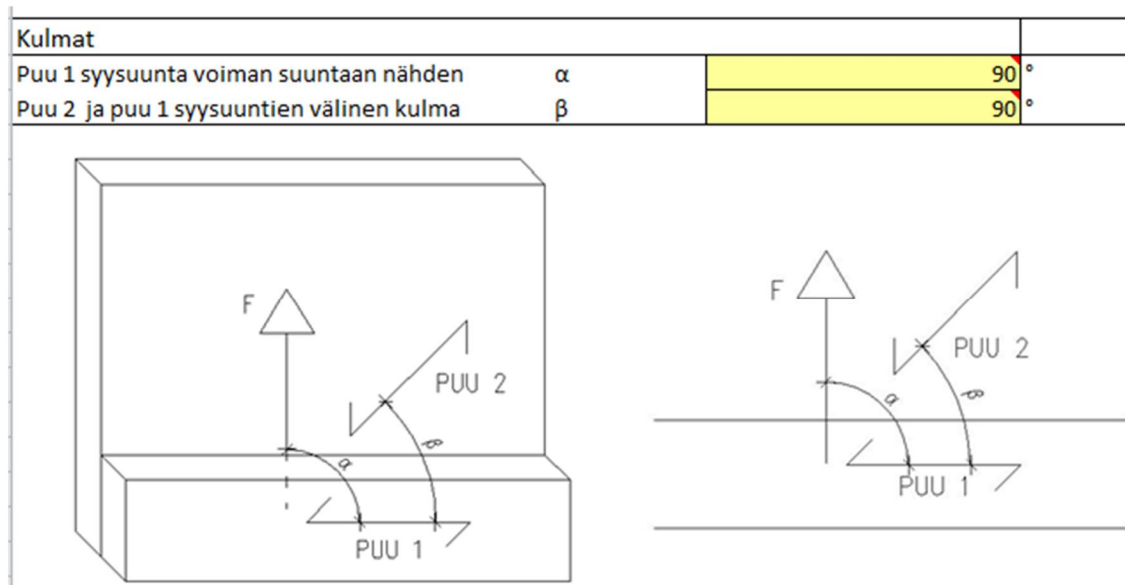
Kuvassa 15 on esitetty periaatepiirros liitoksesta sekä liitoksen mitoista. Liitoksessa käytetään osakierteistä yleisruuvia, jonka halkaisija on 6 mm ja pituus 100 mm. Liitoksessa kannan puoleisena puuosana on sahatavarapalkki, jonka leveys on 48 mm ja korkeus 98 mm. Ruuvien kärjenpuoleisena puuosana on CLT-levy. Levyn paksuus on 80 mm ja levyn korkeus 2950 mm.

Esimerkissä lasketaan ruuvien leikkauskestävyys huomioiden köysivaikutus. Tässä esimerkissä ruuveille esiporataan reiät. Aluksi syötetään ruuvien lähtötiedot excel:iin kuvan 16 mukaisesti. Ensimmäisestä alavetovalikosta valitaan halutun ruuvien tyyppi, jolloin excel näyttää toisessa alavetovalikossa kaikki valitun kategorian ruuvit. Toisesta valikosta valitaan ruuvien halkaisija ja pituus.

Ruvien tiedot	
Ruvien tyyppi	Yleisruuvit (Würth) ▼
Ruvien halkaisija x Pituus	6x100/O ▼

KUVA 16. Ruuvien tiedot

Seuraavana syötetään laskentapohjaan voiman ja ruuvien kannan puoleisen puun syysuunnan välinen kulma sekä puuosien välinen kulma. Kuvassa 17 näytetään miten kulmat määritetään. Tässä esimerkissä puuosan 1 syysuunnan ja voiman välinen kulma on 90°. Puosien syysuuntien välinen kulma on myös 90°.



KUVA 17. Kulmien syöttö

Puuosien dimensiot ja materiaali tiedot syötetään laskentapohjaan kuvan 18 mukaisesti. Puuosien materiaali valitaan vetovalikosta ja puu osan paksuudet syötetään käsin keltaisiin soluihin.

Puuosat			
Puuosa1	Kannan puoli		
	materiaali	C24	
	paksuus t1	48	mm
Puuosa2	Kärjen puoli		
	materiaali	CLT (C24)	
	paksuus t2	80	mm

KUVA 18. Puuosien tiedot

Liitoksen laskenta suoritetaan käyttöluokassa 1 ja kuormien aikaluokkana käytetään keskipitkää aikaluokkaa. Seuraavilla lähtöarvoilla laskentapohjan taulukosta katsomalla saadaan kertoimen  $k_{mod}$  arvoksi 0,8.

Seuraavana syötetään reuna- ja päätyetäisyydet sekä ruuvivälien mitat kummallekin puuosalle. Kuvassa 19 arvot on syötetty laskentapohjaan. Vetovalikosta valitaan, että ruuveille esiporataan reiät. Laskentaohjelma näyttää tietojen syöttörivin oikealla puolella täyttykö kyseinen reunaehto. Kaikki reunaehdot täyttyvät esimerkki liitokselle.

Reunaehdot				
Puuosa 1				
Reikien esiporaus	kyllä		minimi	
Ruuviväli $a_1$ syysuunnassa	300	mm	27	ok
Ruuviväli $a_2$ syysuuntaa vastaan kohtisuorassa	300	mm	23	ok
Etäisyys kuormittamattomaan päähän $a_{3,c}$	100	mm	42	ok
Etäisyys kuormitettuun päähän $a_{3,t}$	100	mm	29	ok
Etäisyys kuormittamaton reuna $a_{4,c}$	49	mm	18	ok
Etäisyys kuormitettu reuna $a_{4,t}$	49	mm	39	ok
Reunaehdot				
Puuosa 2			minimi	
Ruuviväli $a_1$ syysuunnassa	1000	mm	30	ok
Ruuviväli $a_2$ syysuuntaa vastaan kohtisuorassa	300	mm	18	ok
Etäisyys kuormittamattomaan päähän $a_{3,c}$	2801	mm	42	ok
Etäisyys kuormitettuun päähän $a_{3,t}$	149	mm	72	ok
Etäisyys kuormittamaton reuna $a_{4,c}$	100	mm	18	ok
Etäisyys kuormitettu reuna $a_{4,t}$	100	mm	18	ok

KUVA 19. Reunaehdot

Viimeisenä valitaan halutaanko köysivaikutus huomioida laskennassa. Valitaan vetovälikosta kyllä kuvan 20 mukaisesti.

LASKELMAT VARMALLA PUOLELLA ILMAN KÖYSIVAIKUTUSTA	
Köysivaikutuksen huomiointi	kyllä

KUVA 20. Köysivaikutusvalikko

Kun lähtötiedot on syötetty, siirrytään katsomaan tuloksia. Laskentaexcel antaa ruuvin leikkauskestävyyden arvoksi käyttörajatilassa 1,82 kN ja murtorajatilassa 1,14 kN. Laskennasta voi halutessaan tulostaa tulostussivun. Kuvassa 21 on laskentaesimerkin tulokset.



<h1 style="margin: 0;">KPM-Engineering</h1> <p style="margin: 0; font-size: small;">FMC GROUP</p> <p style="margin: 0; font-size: x-small;">Kalevantie 7 C, FI-33100 Tampere, FINLAND tel. +358 207 392 200, fax +358 207 392 333 http://www.kpmeng.fi</p>		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Työn nro</td> <td style="width: 30%;">32003</td> <td style="width: 30%;">Rakennelaskelmat</td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td>Tekijä</td> <td>NN</td> <td>Pos.</td> <td>5,5 123</td> </tr> <tr> <td>Päiväys</td> <td>17.4.13</td> <td>Sivu</td> <td>5,5 001</td> </tr> </table> <p>Sisältö 1-leikkeinen ruuviliitos Leikkauskestävyys</p>		Työn nro	32003	Rakennelaskelmat		Tekijä	NN	Pos.	5,5 123	Päiväys	17.4.13	Sivu	5,5 001																																																																																																							
Työn nro	32003	Rakennelaskelmat																																																																																																																				
Tekijä	NN	Pos.	5,5 123																																																																																																																			
Päiväys	17.4.13	Sivu	5,5 001																																																																																																																			
<p>Laskennan perustana EN-SFS-1995-1-1 + A1 + AC VTT Lausunto CLT-rakenteiden suunnittelusta VTT-S-08104-11 ETAn julkaisu CLT-rakenteista ETA-08/0271</p>																																																																																																																						
<p><b>Lähtötiedot</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Ruuvi</td> </tr> <tr> <td style="width: 30%;">Ruuvin tyyppi</td> <td>Yleisruuvi (Würth)</td> </tr> <tr> <td>Ruuvin halkaisija</td> <td>6 mm</td> </tr> <tr> <td>Ruuvin pituus</td> <td>100 mm</td> </tr> <tr> <td>Ruuvin vetolujuus</td> <td>500 N/mm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>Kierteisen osan pituus</td> <td>60 mm</td> </tr> <tr> <td>Sisäkierteen halkaisija</td> <td>4 mm</td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Kulmat °</td> </tr> <tr> <td style="width: 30%;">α</td> <td>90</td> </tr> <tr> <td>θ</td> <td>0</td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Puuosa 1</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Puuosa 2</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Kannan puoleinen puu</td> <td colspan="2">Kärjen puoleinen puu</td> </tr> <tr> <td>Materiaali</td> <td>C24</td> <td>Materiaali</td> <td>CLT (C24)</td> </tr> <tr> <td>Tiheys</td> <td>350 kg/m<sup>3</sup></td> <td>Tiheys</td> <td>350 kg/m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>paksuus t</td> <td>48 mm</td> <td>paksuus t</td> <td>80 mm</td> </tr> </table> <p>Kuorman keston ja kosteusvaikutuksen huomioiva kerroin</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">k<sub>mod</sub></td> <td>0,8</td> </tr> </table> <p><b>Tulokset</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2">Köysivaikutus on huomioitu laskennassa</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Yhden ruuvin kestävyys murtorajatilassa</td> </tr> <tr> <td style="width: 30%;">F<sub>V,Rd</sub></td> <td>1147,5 N</td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2">Yhden ruuvin kestävyys ominaisarvo</td> </tr> <tr> <td style="width: 30%;">F<sub>V,Rk</sub></td> <td>1826 N</td> </tr> </table> <p><b>REUNA EHDOT</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th></th> <th colspan="2">Puuosa 1</th> <th colspan="2">minimi</th> <th colspan="2">Puuosa 2</th> <th colspan="2">minimi</th> </tr> <tr> <td>Ruuviväli a<sub>1</sub> syysuunnassa</td> <td>300</td> <td>mm</td> <td>27</td> <td>ok</td> <td>1000</td> <td>mm</td> <td>30</td> <td>ok</td> </tr> <tr> <td>Ruuviväli a<sub>2</sub> syysuuntaa vastaan kohtisuorassa</td> <td>300</td> <td>mm</td> <td>23</td> <td>ok</td> <td>300</td> <td>mm</td> <td>18</td> <td>ok</td> </tr> <tr> <td>Etäisyys kuormittamattomaan päähän a<sub>3,c</sub></td> <td>100</td> <td>mm</td> <td>42</td> <td>ok</td> <td>2801</td> <td>mm</td> <td>42</td> <td>ok</td> </tr> <tr> <td>Etäisyys kuormitettuun päähän a<sub>3,t</sub></td> <td>100</td> <td>mm</td> <td>29</td> <td>ok</td> <td>149</td> <td>mm</td> <td>72</td> <td>ok</td> </tr> <tr> <td>Etäisyys kuormittamaton reuna a<sub>4,c</sub></td> <td>49</td> <td>mm</td> <td>18</td> <td>ok</td> <td>100</td> <td>mm</td> <td>18</td> <td>ok</td> </tr> <tr> <td>Etäisyys kuormitettu reuna a<sub>4,t</sub></td> <td>49</td> <td>mm</td> <td>39</td> <td>ok</td> <td>100</td> <td>mm</td> <td>18</td> <td>ok</td> </tr> </table>				Ruuvi		Ruuvin tyyppi	Yleisruuvi (Würth)	Ruuvin halkaisija	6 mm	Ruuvin pituus	100 mm	Ruuvin vetolujuus	500 N/mm <sup>2</sup>	Kierteisen osan pituus	60 mm	Sisäkierteen halkaisija	4 mm	Kulmat °		α	90	θ	0	Puuosa 1		Puuosa 2		Kannan puoleinen puu		Kärjen puoleinen puu		Materiaali	C24	Materiaali	CLT (C24)	Tiheys	350 kg/m <sup>3</sup>	Tiheys	350 kg/m <sup>3</sup>	paksuus t	48 mm	paksuus t	80 mm	k <sub>mod</sub>	0,8	Köysivaikutus on huomioitu laskennassa		Yhden ruuvin kestävyys murtorajatilassa		F <sub>V,Rd</sub>	1147,5 N	Yhden ruuvin kestävyys ominaisarvo		F <sub>V,Rk</sub>	1826 N		Puuosa 1		minimi		Puuosa 2		minimi		Ruuviväli a <sub>1</sub> syysuunnassa	300	mm	27	ok	1000	mm	30	ok	Ruuviväli a <sub>2</sub> syysuuntaa vastaan kohtisuorassa	300	mm	23	ok	300	mm	18	ok	Etäisyys kuormittamattomaan päähän a <sub>3,c</sub>	100	mm	42	ok	2801	mm	42	ok	Etäisyys kuormitettuun päähän a <sub>3,t</sub>	100	mm	29	ok	149	mm	72	ok	Etäisyys kuormittamaton reuna a <sub>4,c</sub>	49	mm	18	ok	100	mm	18	ok	Etäisyys kuormitettu reuna a <sub>4,t</sub>	49	mm	39	ok	100	mm	18	ok
Ruuvi																																																																																																																						
Ruuvin tyyppi	Yleisruuvi (Würth)																																																																																																																					
Ruuvin halkaisija	6 mm																																																																																																																					
Ruuvin pituus	100 mm																																																																																																																					
Ruuvin vetolujuus	500 N/mm <sup>2</sup>																																																																																																																					
Kierteisen osan pituus	60 mm																																																																																																																					
Sisäkierteen halkaisija	4 mm																																																																																																																					
Kulmat °																																																																																																																						
α	90																																																																																																																					
θ	0																																																																																																																					
Puuosa 1		Puuosa 2																																																																																																																				
Kannan puoleinen puu		Kärjen puoleinen puu																																																																																																																				
Materiaali	C24	Materiaali	CLT (C24)																																																																																																																			
Tiheys	350 kg/m <sup>3</sup>	Tiheys	350 kg/m <sup>3</sup>																																																																																																																			
paksuus t	48 mm	paksuus t	80 mm																																																																																																																			
k <sub>mod</sub>	0,8																																																																																																																					
Köysivaikutus on huomioitu laskennassa																																																																																																																						
Yhden ruuvin kestävyys murtorajatilassa																																																																																																																						
F <sub>V,Rd</sub>	1147,5 N																																																																																																																					
Yhden ruuvin kestävyys ominaisarvo																																																																																																																						
F <sub>V,Rk</sub>	1826 N																																																																																																																					
	Puuosa 1		minimi		Puuosa 2		minimi																																																																																																															
Ruuviväli a <sub>1</sub> syysuunnassa	300	mm	27	ok	1000	mm	30	ok																																																																																																														
Ruuviväli a <sub>2</sub> syysuuntaa vastaan kohtisuorassa	300	mm	23	ok	300	mm	18	ok																																																																																																														
Etäisyys kuormittamattomaan päähän a <sub>3,c</sub>	100	mm	42	ok	2801	mm	42	ok																																																																																																														
Etäisyys kuormitettuun päähän a <sub>3,t</sub>	100	mm	29	ok	149	mm	72	ok																																																																																																														
Etäisyys kuormittamaton reuna a <sub>4,c</sub>	49	mm	18	ok	100	mm	18	ok																																																																																																														
Etäisyys kuormitettu reuna a <sub>4,t</sub>	49	mm	39	ok	100	mm	18	ok																																																																																																														

KUVA 21. Tulokset

## 7 JATKOKEHITYS

Laskentapohjaa on tarkoitus kehittää jatkossa soveltumaan myös vinoruuvi-liitoksien laskentaan. Useamman ruuvien yhteisvaikutuksen huomiointi on myös tarkoituksena ottaa mukaan laskentaan. Tästä versiosta on jätetty kertopuu materiaalina pois mutta sitä kuitenkin käytetään yleisesti CLT-rakenteiden liitoksissa. Laskentapohja on tarkoitus muokata myös kertopuulle soveltuvaksi jatkokehitysvaiheessa.

Tilaajayrityksen edustajan kanssa pohdimme myös, että jatkokehityksessä voisi olla mahdollista tehdä laskentapohjasta soveltuva myös CLT-levyn päähän tehtäviin ruuvi-liitoksiin. Laskentapohjaa on mahdollista kehittää useampaan suuntaan ja soveltumaan erityyppisille liitoksille ja tapauksille. Kehitysalueita voisivat olla esimerkiksi ponttiliitokset sekä teräslevylliset liitokset.

## 8 POHDINTA

Haastavinta työssä oli saada laskentapohja soveltumaan kaikille ruuveille, materiaaleille ja eri kulmassa toisiinsa nähden oleville puuosille. Osittain tämä osoittautui lähes mahdottomaksi tehtäväksi ja laskentapohja jouduttiin rajaamaan soveltumaan vain tietyille tapauksille. Rajauksessa kuitenkin onnistuttiin ja saatiin aikaiseksi toimiva pohja, jota on mahdollista kehittää jatkossa laajemmin käytettäväksi.

Varsinaisessa ruuvien leikkausmitoituksessa haastavinta oli se, että Eurokoodi 5 ei tunne CLT-levyä materiaalina, ja joitakin sen antamia ohjeita joudutaan soveltamaan CLT:lle. Osalle materiaaliakohtaisista arvoista on annettu arvot Eurooppalaisessa teknisessä hyväksynnässä ja Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen julkaisussa, mutta osalle arvoista jouduttiin soveltamaan sahatavaran materiaaliikohtaisia arvoja.

Työlle asetetut tavoitteet saavutettiin ja tilaajayrityksen käyttöön saatiin laskentapohja CLT-levyyn toteutettavien ruuviliitoksien laskemiseksi. Laskentapohjan versio soveltuu niille tapauksille, jotka sovittiin yhdessä tilaaja yrityksen edustajan kanssa. Laskentapohjaan jäi kuitenkin vielä useita jatkokehitys tarpeita sekä mahdollisuuksia.

## LÄHTEET

Ari Kevarinmäki. Päivitykset RIL 205-1-2007 ohjeen 2. korjattuun painokseen.2009.

Gagnon, S., Pirvu, C. CLT handbook. Quebec 2011, FP Innovations.

Kangas, J. , Puuinformaatio ry, Rakentajain Kustannus Oy. 1982. Puurakenteet 3, liitokset. Jyväskylä: K. J. Gummerus Osakeyhtiön kirjapaino.

ETA-08/0271. CLT - Cross laminated timber. vahvistettu 2.5.2011. Berliini.

ETA-12/0114. SPAX self-tapping screws.5.9.2012. Tanska.

Puuinfo. 2012. CLT – ristiinliimattu massiivipuulevy. Luettu 16.3.2013.  
<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/clt-ristiinliimattu-massiivipuu-cross-laminated-timber/clt.pdf>

SFS-EN 1993-1-8. Eurokoodi 3. Teräsrakenteiden suunnittelu, liitosten mitoitus, vahvistettu 15.08.2005. Helsinki. 2006.

SFS-EN 1995-1-1 Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu, yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt, vahvistettu 13.10.2008 Helsinki.

Stora Enso. Building Solutions. 2012. Luettu 16.3.2013.  
<http://www.clt.info/index.php?id=6&L=2>

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. RIL 205-1-2007. 2007. Puurakenteiden suunnitteluohje, Eurokoodi EN 1995-1-1. Helsinki: DARK Oy.

Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Rakennustieto. 1996. STEP 1 Puurakenteet. Tampere: Rakennustieto Oy.

VTT-S-08104011. Lausunto CLT - rakenteiden suunnittelussa käytettävistä ominaisuuksista, suunnitteluarvoista ja mitoitusperusteista. 15.11.2011. Espoo.

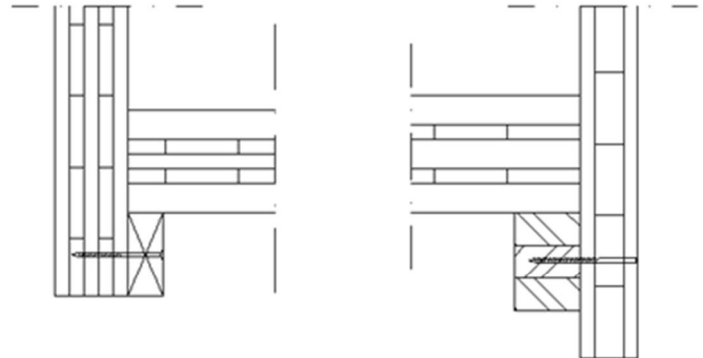
## LIITTEET

### Liite 1. Lähtötietojen syöttönäkymä

1/(2)

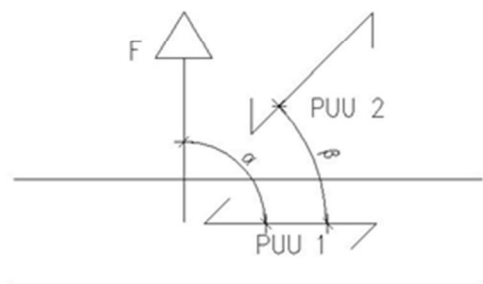
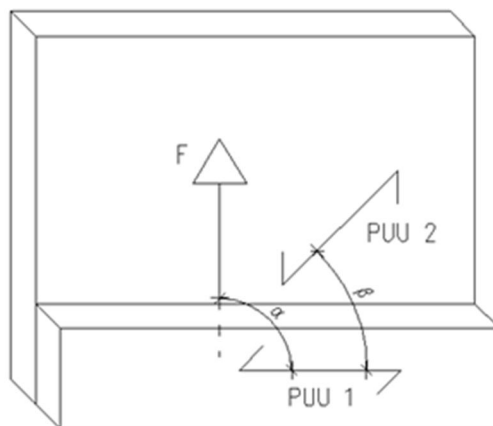
#### Yksileikkeinen ruuviliitos yhden ruuvin leikkausmitoitus

Lähtötietojen syöttö keltaisiin soluihin



Ruuvin tiedot	
Ruuvin tyyppi	Yleisruuvit (Würth) ▼
Ruuvin halkaisija x Pituus	5x100/O ▼

Kulmat		
Puu 1 syysuunta voiman suuntaan nähden	$\alpha$	90°
Puu 2 ja puu 1 syysuuntien välinen kulma	$\beta$	90°



Puuosat			Tiheys $\gamma_m$		
Puuosa1	Kannan puoli				
	materiaali	C24			
	paksuus t1	48 mm	3	350	1,4
Puuosa2	Kärjen puoli				
	materiaali	CLT (C24)			
	paksuus t2	80 mm	1	350	1,25

Kuorman keston ja kosteusvaikutuksen muutoskerroin

$k_{mod}$  0,8

Reunaehdot

Puuosa 1

Reikien esiporaus	kyllä		minimi	
Ruuviväli $a_1$ syysuunnassa	300	mm	22	ok
Ruuviväli $a_2$ syysuuntaa vastaan kohtisuorassa	300	mm	19	ok
Etäisyys kuormittamattomaan päähän $a_{3,c}$	100	mm	35	ok
Etäisyys kuormitettuun päähän $a_{3,t}$	100	mm	24	ok
Etäisyys kuormittamaton reuna $a_{4,c}$	49	mm	15	ok
Etäisyys kuormitettu reuna $a_{4,t}$	49	mm	33	ok

Reunaehdot

Puuosa 2

			minimi	
Ruuviväli $a_1$ syysuunnassa	1000	mm	25	ok
Ruuviväli $a_2$ syysuuntaa vastaan kohtisuorassa	300	mm	15	ok
Etäisyys kuormittamattomaan päähän $a_{3,c}$	2801	mm	35	ok
Etäisyys kuormitettuun päähän $a_{3,t}$	149	mm	60	ok
Etäisyys kuormittamaton reuna $a_{4,c}$	100	mm	15	ok
Etäisyys kuormitettu reuna $a_{4,t}$	100	mm	15	ok

## Liite 2. Tulostusnäkömää

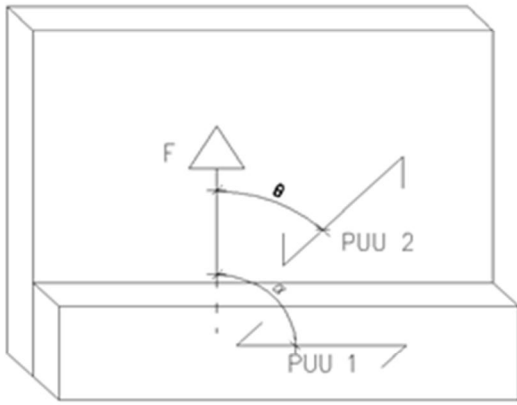
<b>KPM-Engineering</b> FMC GROUP Kalevantie 7 C, FI-33100 Tampere, FINLAND tel. +358 207 392 200, fax +358 207 392 333 <a href="http://www.kpmeng.fi">http://www.kpmeng.fi</a>		Työn nro	32003	Rakennelaskelmat	
		Tekijä	NN	Pos.	5,5 123
		Päiväys	17.4.13	Sivu	5,5 001
		Sisältö			
		1-leikkeinen ruuviliitos			
		Leikkauskestävyys			

Laskennan perustana EN-SFS-1995-1-1 + A1 + AC  
 VTT Lausunto CLT-rakenteiden suunnittelusta VTT-S-08104-11  
 ETAn julkaisu CLT-rakenteista ETA-08/0271

**Lähtötiedot**

Ruuvi	
Ruuvityyppi	Yleisruuvi (Würth)
Ruuvin halkaisija	5 mm
Ruuvin pituus	100 mm
Ruuvin vetolujuus	500 N/mm <sup>2</sup>
Kierteisen osan pituus	52 mm
Sisäkierteen halkaisija	3,2 mm

Kulmat	°
$\alpha$	90
$\theta$	0



Puuosa 1		Puuosa 2	
Kannan puoleinen puu		Kärjen puoleinen puu	
Materiaali	C24	Materiaali	CLT (C24)
Tiheys	350 kg/m <sup>3</sup>	Tiheys	350 kg/m <sup>3</sup>
paksuus t	48 mm	paksuus t	80 mm

Kuorman keston ja kosteusvaikutuksen huomioiva kerroin

$k_{mod}$	0,8
-----------	-----

**Tulokset**

Köysivaikutus on huomioitu laskennassa

Yhden ruuvin kestävyys murtorajatilassa	
$F_{v,Rd}$	779,5 N

Yhden ruuvin kestävyys ominaisarvo	
$F_{v,Rk}$	1239 N

**REUNA EHDOT**

	Puuosa 1	minimi	Puuosa 2	minimi
Ruuviväli $a_1$ syysuunnassa	300 mm	22 ok	1000 mm	25 ok
Ruuviväli $a_2$ syysuuntaa vastaan kohtisuorassa	300 mm	19 ok	300 mm	15 ok
Etäisyys kuormittamattomaan päähän $a_{3,c}$	100 mm	35 ok	2801 mm	35 ok
Etäisyys kuormitettuun päähän $a_{3,t}$	100 mm	24 ok	149 mm	60 ok
Etäisyys kuormittamaton reuna $a_{4,c}$	49 mm	15 ok	100 mm	15 ok
Etäisyys kuormitettu reuna $a_{4,t}$	49 mm	33 ok	100 mm	15 ok