



RUUVIEN VALINTAAN VAIKUT- TAVAT TEKIJÄT PUULIITOKSISSA

Niina Taipale

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2015
Rakennustekniikan
koulutusohjelma
Talonrakennustekniikka

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Talonrakennustekniikka

TAIPALE, NIINA:

Ruuvien valintaan vaikuttavat tekijät puuliitoksissa

Opinnäytetyö 62 sivua, joista liitteitä 11 sivua
Huhtikuu 2015

Puurakenteiden ruuviliitokset on aiheena hyvin laaja kokonaisuus. Tässä opinnäytetyössä oli tarkoitus koota yhteen olennaisimmat asiat ruuviliitosmaailmasta, eritellä ruuvien valintaan vaikuttavia tekijöitä ja käsitellä ruuviliitosten laskentaa. Lisäksi jatkokehitystyönä on tarkoitus luoda taulukko, jossa on koottuna eri ruuvivalmistajien tuotteet ja valmistajien antamat lähtötiedot suunnittelun avuksi.

Työn alussa kerrotaan yleisesti ruuvivaihtoehtoista ja esitellään ruuvivalmistajia, joiden kanssa tilaajayritys tekee yhteistyötä. Ruuvivalmistajien yhteydessä on kerrottu myös ruuvivalmistajien omista liitosten suunnitteluohjelmista, mikäli niitä on saatavilla. Erilaisia ruuvivaihtoehtoja on nykyisin markkinoilla tuhansia, ja ne ovat yhä kehittyneempiä ja suunniteltu eri käyttötarkoituksiin. Ruuvien valintaan vaikuttavista tekijöistä on käsitelty tärkeimpiä aihealueita, kuten käyttötarkoitus, käyttöolosuhteet, reunaetäisyydet ja kuormitukset.

Liitosten laskennasta on esitetty yleiset kaavat eri liitostyypeissä. Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin vain puu-puu-liitoksia. Liitostyyppinä on käsitelty leikkausliitokset, vedetyt liitokset, vinoruuviliitokset ja ristiruuviliitokset. Liitosten mitoituksen lisäksi tärkeäksi aiheeksi nousivat ruuveilla tehtävät rakenteen vahvistukset. Rakenteen vahvistukset ruuveilla ovat työmaalla arkipäivää, mutta niiden kestävyys pitäisi myös aina muistaa laskennallisesti tarkistaa. Opinnäytetyön liitteeksi on laskettu laskuesimerkkejä havainnollistamaan liitosmitoituksen ja ruuvivahvistusten teoriaa.

Asiasanat: ruuvi, ruuviliitos, vahvistus, laskuesimerkki

ABSTRACT

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

TAIPALE, NIINA:

The factors affecting choice of screw for wooden structure joints

Bachelor's thesis 62 pages, appendices 11 pages
April 2015

Screw joints made for wooden structures is an extensive subject. This thesis, intends to bring together key information about screws, to identify factors affecting the choice of screws and to cover the calculations regarding screw joints. In addition, this study aims to develop a table containing different screw manufacturer's products and their basic product data to help with the planning of screw joints.

The thesis begins by offering general information about different kinds of screws as well as an introduction to the screw manufacturers cooperating with the company that has requested this thesis. Where available, there are also the screw manufacturer's own joint planning programs. There are thousands of different screw types currently on the market and, increasingly, these are developed for specific purposes. This thesis covers the most important factors affecting the choice of screws, including areas such as purpose, conditions of use, edge distances and loads.

General formulas for joint calculation are presented and these cover a range of joint types. This thesis focuses on wood-to-wood joints only. The joint types handled are: shear joints, tensile joints, cross-screw joints and diagonal screw joints. In addition to measuring joints, another key issue is strengthening structures with the use of screws. On the site, strengthening wooden structures with screws is commonplace and their real strength should always be gauged with a calculation. Examples of joint strength calculations are attached to this thesis to demonstrate the theory of joint measuring and screw strengthening.

Key words: screw, screw joint, strengthen, calculation example

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	9
2	RUUVIKIINNIKKEET.....	10
2.1	Yleistä	10
2.1.1	Kansiruuvit.....	11
2.1.2	Itseporautuvat ruuvit	11
2.2	Valmistajat	12
2.2.1	Spax International Oy	12
2.2.2	SFS Intec Oy	12
2.2.3	Würth Oy.....	13
2.2.4	Rothoblaas.....	14
3	RUUVIEN VALINTA	15
3.1	Valintaan vaikuttavat tekijät	15
3.1.1	Käyttötarkoitus.....	15
3.1.2	Käyttöolosuhteet	15
3.1.3	Kuormitus.....	16
3.1.4	Reunaetäisyydet	16
3.1.5	Palonkesto	22
3.1.6	Saatavuus	24
3.1.7	Esteettisyys.....	25
4	LIITOKSET.....	26
4.1	Yleistä	26
4.1.1	Liitoksen rakenne ja toiminta.....	26
4.1.2	Liitoksen mitoitus	27
4.1.3	Liitoksen mitoituskestävyys.....	28
4.1.4	Usean liittimen liitokset	28
4.1.5	Puun syysuuntaa vasten kohtisuorat liitosvoimat	29
4.1.6	Epäkeskiset ja vaihtelevat liitosvoimat	29
4.2	Leikkausliitokset.....	29
4.2.1	Leikkauskestävyyden mitoitusarvo.....	30
4.2.2	Kansiruuvin leikkauskestävyyden ominaisarvo yhtä leikettä kohden	31
4.3	Vedetyt liitokset.....	33
4.3.1	Ruuviliitoksen ulosvetokestävyys.....	34
4.3.2	Ruuviliitoksen vetolujuuskestävyys.....	35
4.3.3	Ruuviliitoksen läpivetokestävyys.....	35
4.4	Vinoruuviliitokset	36

4.4.1 Ristiruuviliitos.....	38
4.4.2 Vetoruuviliitos	40
5 RUUVIVAHVISTUKSET	42
5.1 Lovien vahvistukset	43
5.1.1 Syitä vastaan kohtisuoran vetovoiman suunnittelu-arvo.....	44
5.1.2 Vahvistuksen ruuvaus	44
5.1.3 Vahvistuksien sijoitus	45
5.2 Reikien vahvistukset	46
5.2.1 Reiän reunassa vaikuttavan vetovoiman suunnittelu-arvo	46
5.2.2 Geometriset vaatimukset palkille.....	47
5.2.3 Vahvistuksen ruuvaus	48
5.2.4 Vahvistuksien sijoitus	49
6 POHDINTA.....	50
LÄHTEET.....	51
LIITTEET	52
Liite 1. Kansiruuvien leikkauskestävyyden ominaisarvo yhtä leikettäkohden.....	52
Liite 2. Vetoruuviliitoksen leikkauskestävyys	55
Liite 3. Palkin reiän vahvistus puuruuveilla	58

TERMIT

$f_{\text{tor},k}$	Vääntökestävyys
$M_{y,k}$	Myötömomentti
$f_{u,k}$	Vetolujuus
$f_{\text{ax},k}$	Ulosvetolujuusparametri
$f_{\text{head},k}$	Läpivetolujuusparametri
$f_{\text{tens},k}$	Vetomurtokestävyys
d	Ruuvin nimellispaksuus, ruuvin kierteen ulkohalkaisija
d_i	Ruuvin kierteen sisähalkaisija
d_{ef}	Ruuvin tehollinen halkaisija
a_1	Liitinvälin vähimmäisarvo syysuuntaisessa tasossa
a_2	Liitinvälin vähimmäisarvo syysuuntaa vastaan kohtisuorassa tasossa
$a_{1,\text{CG}}$	Ruuvin kierteisen osan painopisteen päätyetäisyyden vähimmäisarvo sauvassa
$a_{2,\text{CG}}$	Ruuvin kierteisen osan painopisteen reunaetäisyyden vähimmäisarvo sauvassa
k_{mod}	Liitospuun aikavaikutuskerroin
R_k	Liittimien kestävyden ominaisarvo
γ_M	Liitospuun materiaaliosavarmuusluku
$F_{\text{ef},d}$	Puun syysuuntaiseen riviin sijoitettujen liittimien tehollinen liitoskestävyys puun syysuuntaiselle voimakomponentille
n_{ef}	Tehollisten liittimien lukumäärä liitinrivissä
R_d	Yksittäisen liittimen leikkauskestävyys
t_1	Kannanpuoleisen puun paksuus yksileikkeisessä liitoksessa tai $\min(\text{kannan puoleisen puun paksuus; kärkiosan tunkeutuma})$ kaksileikkeisessä liitoksessa.
t_2	kärkiosan tunkeutuma yksileikkeisessä liitoksessa tai keskipuun paksuus kaksileikkeisessä liitoksessa.
k_p	$\sqrt{\frac{\rho_k}{350}}$
k_t	Ruuvin leikkauskestävyyden korotuskerroin
k_e	Ruuvin leikkauskestävyyden pienennyskerroin

k_{ef}	Ruuvien leikkauskestävyyden pienennyskerroin Kerto-Q syrjäliitoksissa.
f_h	$\min(f_{h,1,k}; f_{h,2,k}; f_{h,s,k})$
$f_{h,1,k}$ ja $f_{h,2,k}$	liitoksen reunaosien reunapuristuslujuuksien ominaisarvoja
t_1 ja t_2	ruuvien tunkeumasyvyyksiä liitoksen reunapuuosissa
d_{ef}	Ruuvien tehollinen halkaisija
$f_{h,s,k}$	Kaksileikkeisen liitoksen keskiosan ominaisreunapuristuslujuus
$f_{u,k}$	Ruuvien vetomurtolujuuden ominaisarvo
n_i	puun syiden suuntaiseen riviin i sijoitettujen ruuvien lukumäärä
a_1	peräkkäisten liitinten välinen etäisyys puun syiden suunnassa
a_3	päätyetäisyys
f_{ax}	Ruuvien kierteisen osan ulosvetokestävyys kärjen puoleisessa puussa
l_{ef}	Ruuvien kierteistetyn osuuden tunkeumasyvyyden tarkasteltavassa liitos puussa [mm]
n_{ef}	Ruuvien tehollinen lukumäärä $n^{0,9}$
ρ_k	Puutavaran ominaistiheys [kg/m^3]
α	Ruuvien kulma syysuuntaan nähden, kun $\alpha \geq 30^\circ$
k_d	$\min(d/8; 1)$
$f_{ax,\alpha,1,k}$	Ruuvien ulosvetolujuusparametrin ominaisarvo kannan puoleisessa puussa kulmassa α syysuuntaan nähden [N/mm^2]
$f_{ax,\alpha,2,k}$	Ruuvien ulosvetolujuusparametrin ominaisarvo kannan puoleisessa puussa kulmassa α syysuuntaan nähden [N/mm^2]
$l_{g,1}$	Ruuvien kierteisen osan pituus kannan puoleisessa puussa
$l_{g,2}$	Ruuvien kierteisen osan pituus kärjen puoleisessa puussa
$f_{tens,k}$	Ruuvien vetomurtokestävyyden ominaisarvo [N]
$f_{head,k}$	Ruuvien kannan läpivetolujuusparametrin ominaisarvo [N/mm^2]
ρ_a	Puun tiheys, jolle $f_{head,k}$ on ilmoitettu [kg/m^3]
$f_{ax,45,k}$	Ruuvien ulosvetolujuusparametrin ominaisarvo, joka on määritetty En 12592 mukaisesti 45° asennuskulmalle ja $s_2 \geq 8d$ asennussyvyydelle. Ulosvetolujuus on määriteltävä erikseen Kerto-S ja Kerto-Q:n syrjä- ja lapeliitoksille.

μ

Liitososien välinen liikekitkakerroin, jolle käytetään seuraavia arvoja:

$\mu = 0,26$ kun liitospinnat ovat pinnoittamatonta höylättyä havupuuta

$\mu = 0,3$ teräs ja höylätyn havupuun välisissä liitoksissa

$\mu = 0,4$ kun molemmat liitospinnat ovat käsittelemättömää LVL:ää

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kerätä tietoa ruuveista ja ruuviliitoksista avuksi ruuvien valintaan puuliitoksia suunnitellessa. Opinnäytetyössä eritellään ruuvien valintaan vaikuttavat tekijät eri liitoksissa ja käsitellään eri ruuviliitosten laskentaa. Puurakenteiden ruuviliitokset on aiheena hyvin laaja kokonaisuus ja tässä opinnäytetyössä pyritään keräämään olennaisimmat asiat ruuviliitosmaailmasta. Lisäksi tavoitteena on luoda taulukko, missä on koottuna eri ruuvivalmistajien tuotteet ja valmistajien antamat lähtötiedot tuotteistaan. Tämä taulukko tehdään jatkokehitystyönä opinnäytetyön ulkopuolella. Aiemmin nämä tiedot ovat olleet hajallaan ja vaikeasti saatavilla, joten tästä syntyi tarve opinnäytetyön aiheeseen.

Opinnäytetyö tehtiin Sweco Rakennetekniikka Oy:n toimeksiannosta. Sweco Rakennetekniikka Oy on osa kansainvälistä Sweco-konsernia, joka on Pohjoismaiden johtava rakentamisen asiantuntijayritys. Se palvelee asiakkaitaan rakennetekniikan, talotekniikan, teollisuuden sekä ympäristö- ja yhdyskuntatekniikan aloilla. Lisäksi asiantuntemusta löytyy myös projektinjohto-, rakennuttamis-, ja arkkitehtisuunnittelutehtävistä. Sweco-konsernissa työskentelee 9000 asiantuntijaa, joista 1800 Suomessa.

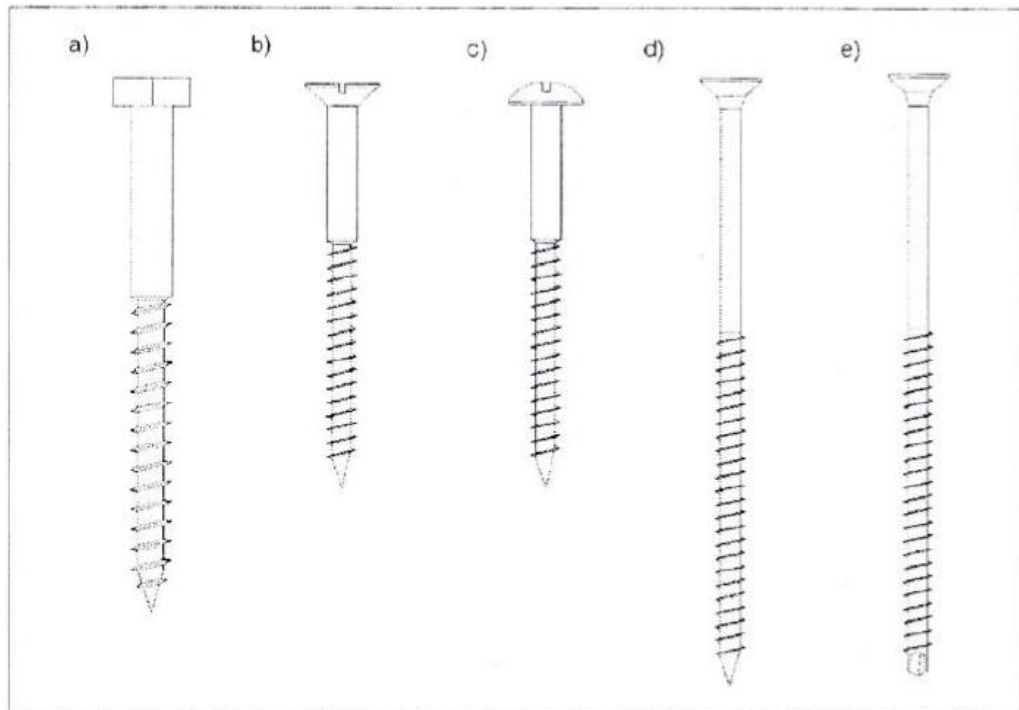
Opinnäytetyön ohjaajana toimeksi antavan yrityksen puolesta toimi puurakenneosaston osastopäällikkö Heikki Löytty. Ohjaavana opettajana Tampereen ammattikorkeakoulun puolesta toimi tuntiopettaja Juha Niemi.

2 RUUVIKIINNIKKEET

2.1 Yleistä

Tässä opinnäytetyössä käsitellään puu-puuliitoksia ja niihin soveltuvia puuruuveja. Mitoituksessa käytettävällä ruuvilla tulee olla määritettynä seuraavat EN 14592 standardin vaatimusten mukaiset lujuusominaisuudet; vääntökestävyys $f_{\text{tor,k}}$, myötömomentti $M_{y,k}$ tai vetolujuus $f_{u,k}$, ulosvetolujuusparametri $f_{\text{ax,k}}$, kannan läpivetolujuusparametri $f_{\text{head,k}}$, ja vetomurtokestävyys $f_{\text{tens,k}}$ (SFS-EN 1995-1-1 EC 5). Ruuvit on suunniteltu erityisesti siirtämään niitä ulospäin vetäviä voimia. Suunnittelussa pyritään yksileikkeisiin liitoksiin.

Ruuvien nimellispaksuudella d tarkoitetaan kierteen ulkohalkaisijaa. Tämä koskee ruuveja, joiden nimellispaksuus on vähintään 3,8 mm ja enintään 24 mm. Ruuvien kierteen sisähalkaisijalle d_i on asetettu rajoitus $0,6 d \leq d_i \leq 0,9d$.



KUVA 1 ruuvityypit a), b) ja c) kansiruuveja ja d) ja e) itseporautuvia ruuveja (SFS-EN 1995-1-1 EC 5)

2.1.1 Kansiruuvit

Kansiruuvi on osakierteinen ruuvi, jonka kierteen ulkohalkaisija d on sileän varren suuruinen. Kansiruuveja käytettäessä on ruuveille esiporattava reiät. Esiporatun reiän halkaisija tulee olla sileän varren osalla $d + 0,1\text{mm}$. Kierreosalla $0,6..0,75d$ (havupuut ja puulevyt) ja $0,7..0,85d$ (lehtipuut). Poikkeuksena tästä ovat havupuuhun ruuvattavat $d \leq 6\text{mm}$ ruuvaukset, jolloin ei tarvita esiporausta.

Liitoksen kestävyys määritellään ruuvin sileän varren halkaisijan d mukaan, jos kansiruuvin sileä varsi ulottuu liitoksen kärjenpuoleiseen leikkeeseen vähintään mitan $4d$ verran, tällöin $d_{\text{ef}} = d$. Mikäli ulottuma kärjenpuoleisessa puussa on pienempi kuin $4d$ käytetään tehollisen halkaisijana korotettua ruuvin sisähalkaisijan arvoa $d_{\text{ef}} = 1,1d_i$. (SFS-EN 1995-1-1 EC 5)

2.1.2 Itseporautuvat ruuvit

Itseporautuva ruuvi on täysikierteinen ruuvi tai sellainen osakierteinen ruuvi, jonka sileän varren paksuus on enintään $0,8d$, mutta vähintään $1,1d_i$. Itseporautuvien ruuvien kohdalla käytetään esiruuvausta, jos porakärjettömän ruuvin halkaisija $d \geq 8\text{mm}$ tai varren sileän osan halkaisija $d \geq 6\text{mm}$. Esiporauksen halkaisija on koko ruuvin pituudella $0,5..0,7d$, kuitenkin enintään ruuvin kierteisen osan sisähalkaisija d_i .

Itseporautuvien puuruuvien tehollisena halkaisijana käytetään paksuutta $d_{\text{ef}} = 1,1d_i$. Kun ruuvin kierteisen osan pituus kärjenpuoleisessa leikkeessä on vähintään $8 d_{\text{ef}}$, ominaisleikkauskestävyyksiä saadaan korottaa lisäkertoimella 1,15, jos

- kierteisen osan pituus kannan puoleisessa puussa $\geq 6d_{\text{ef}}$
- ruuvin kannan puolella on teräslevy
- ruuvin kannan alla käytetään aluslevyä pulttiliitosten ohjeiden mukaisesti
- ruuvin kannan alla on vähintään $2d_{\text{ef}}$ paksu vaneri-, lastu-, OSB- tai kovalevy ja kannan halkaisija on vähintään $2d$.

Edellä mainittuja ohjeita voidaan käyttää, mikäli itseporautuvan ruuvin CE-merkinnässä tai ruuvin EN-1995 mukaista mitoitusta koskevassa VTT:n lausunnossa ei ole annettu eriäviä ohjeita. (SFS-EN 1995-1-1 EC 5)

2.2 Valmistajat

Tilaaajayritys tekee yhteistyötä neljän suuren ruuvivalmistajan kanssa. Nämä neljä yritystä ovat; Spax Oy, SFS Intec Oy, Würth Oy ja Rothoblaas Oy. Näiden lisäksi on olemassa lukuisia pienempiä ruuveja valmistavia yrityksiä. Tässä opinnäytetyössä käsitellään kuitenkin vain näitä edellä mainittuja yrityksiä.

2.2.1 Spax International Oy

Spax International Oy on perinteikäs saksalainen ruuvien ja muiden teollisuuden metalliosien valmistaja. Kaikki ruuvit valmistetaan Saksassa, Ennepetalissa. Spax International Oy:n ruuvien tuotantomäärää kuvaa hyvin se, että heidän tehtaallaan valmistetaan yhdessä päivässä Suomen koko vuoden ruuvimäärä. Yrityksen valmistamilla ruuveilla on ETA-hyväksyntä.

Spax International Oy:n internet-sivuilla on ruuvien valitsemista helpottava ohjelma, jossa voi hakea sopivia ruuveja mittojen, ruuvin kannan- tai kärjen, materiaalin ja ruuvin pinnoitteen mukaan. Lisäksi heidän kotisivuilta on mahdollista ladata ruuvien teknisiä tietoja sisältävän oppaan ja tuoteluetteloita. Spax International Oy:n yhteyshenkilönä toimii Tuotepäällikkö Reima Palmu p. 050 594 7265, reima.palmu@gmail.com.

Linkki ruuvihakuun: <http://www.spax.com/en/planners-und-architects/screw-finder>.

2.2.2 SFS Intec Oy

SFS Intec Oy on maailmanlaajuisesti toimiva ruuvien ja muiden kiinniketuotteiden valmistajayritys. He valmistavat tuotteita rakennusteollisuuden lisäksi auto-, elektro- niikka-, lentokone- ja kuljetus-, ja pääomavaltaiseen teollisuuteen.

SFS Intec Oy tarjoaa rakennesuunnittelijan avuksi iDesigner-ohjelman, jolla voidaan valita oikea kiinnike erilaisten materiaalien liittämiseen. Käyttäjän syöttämien hakuehtojen perusteella ohjelma valitsee soveltuvat kiinnikevaihtoehdot. Ohjelmasta on mahdollista saada myös valitun kiinnikkeen CAD-kuva ja lujustiedot. iDesigner-ohjelma vaatii rekisteröitymisen ennen käyttöä. Yrityksen kotisivuilta on myös mahdollisuus ladata tuote-esityksiä. SFS Intec Oy:n yhteyshenkilö toimii Tuoteryhmäpäällikkö Nils Löfman p. 040 709 6938, nils.lofman@sfs.biz.

Linkki iDesigner-ohjelman kirjautumissivulle:

<http://www.idesigner.biz/index.php?country=FI&language=fi>.

2.2.3 Würth Oy

Työkalu- ja tarvikealaan erikoistunut Würth Oy on perustettu Suomessa vuonna 1975. Se on saksalaisen Adolf Würth GmbH & Co. KG:n tytäryhtiö. Kansainvälinen Würth-konserni on perustettu vuonna 1945. Yrityksen tuotevalikoimaan kuuluu ruuvituotteiden lisäksi kiinnitystarvikkeet, käsi- ja sähkötyökalut, paineilmatyökalut, huoltotarvikkeet ja kemikaalit, hiomatarvikkeet, poranterät, kierrettyvälineet, työsuojaimet sekä muut asennustarvikkeet. Würth Oy harjoittaa omaa laadunvalvontaa raaka-aineiden, valmistusprosessin sekä valmiiden tuotteiden lujusominaisuuksien osalta. Würth Oy:n laatu-järjestelmä sertifioitiin toukokuussa 2010 uuden ISO 9001:2008 järjestelmän mukaiseksi.

Würth Oy tarjoaa suunnittelijoille suomenkielisen, EC5:n Suomen kansallisiin liitteisiin pohjautuvan ruuviliitosten ja rakenteiden vahvistusten mitoitusohjelman. Ruuvien ominaisuudet ohjelmassa pohjautuvat Würth Oy:n ASSY-ruuvien ETA-hyväksyntiin. Würth Oy:n internet-sivuilta on mahdollisuus myös ladata ruuvi- ja kiinnitystarviketaulukko suunnittelijan käyttöön. Würth Oy:n yhteyshenkilönä toimii Kehityspäällikkö Tomi Jussila p. 050 434 0480, tomi.jussila@wurth.fi.

Linkki suunnitteluohjelman aloitussivulle:

<http://www.onlinebemessung.com/wuerth/navigator/fi/>

2.2.4 Rothoblaas

Rothoblaas on maailmanlaajuinen Italiasta lähtöisin oleva puurakenteiden kiinnikkeitä ja kiinnitysjärjestelmiä valmistava yritys. Se valmistaa tuotteita ja ratkaisuja puurakentamiseen. Yritys pyrkii kehittämään jatkuvasti tarjontaansa ja kehittämään uusia, rakentamista helpottavia ratkaisuja puurakentamiseen. Yrityksen tuotteilla on ETA-hyväksyntä ja he suorittavat jatkuvaa tiukkaa sisäistä laadunvalvontaa tuotteilleen.

Rothoblaas tarjoaa suunnittelijoiden käyttöön myProject – ohjelman jolla pystyy muun muassa etsimään sopivan kiinnittimen erilaisiin liitoksiin. Ohjelma ehdottaa lähtötietojen perusteella parhaiten sopivat kiinnikevaihtoehdot. Ohjelma on helppokäyttöinen ja hyvin havainnollinen työkalu. Lisäksi yrityksen kotisivuilta voi ladata tuotetietoja sisältävän suunnittelijalle tarkoitetun teknisen oppaan. Rothoblaas Oy:n yhteyshenkilönä toimii Jarno Naskali p.+390 471 818400.

Linkki myProject ohjelman lataussivulle:

<http://www.rothoblaas.com/en/oc/designers/myproject.html>.

Linkki oppaaseen:

<http://www.rothoblaas.com/en/oc/designers/services-for-designers.html>.

3 RUUVIEN VALINTA

3.1 Valintaan vaikuttavat tekijät

Ruuvimaailma on hyvin laaja ja ruuvivaihtoehtoja on tuhansia. Erilaiset erikoisruuvit yleistyvät koko ajan ja uusia malleja tulee markkinoille jatkuvasti. Tärkeimpiä huomioitavia asioita oikean ruuvin valinnassa ovat ruuvin käyttötarkoitus, käyttöolosuhteet ja liitoksen tai ruuvin kestävyys, reunaetäisyydet, palonkesto ja saatavuus. Lisäksi puuraentamisessa tulee merkityksellisesti asiaksi usein myös liitoksen ja rakenteen esteettisyys.

3.1.1 Käyttötarkoitus

Käyttötarkoitus määrittelee paljon ruuvin ominaisuuksista, kuten ruuvin kierteisyyden, kannan muodon ja ruuvin mitat. Ruuvi voi olla täyskierteinen tai osakierteinen, lisäksi markkinoilla on monia erikoisruuveja, joissa ruuvin kierteiden ja sileiden osien vaihteluilla saavutetaan optimaalisin kiinnittyminen tietynlaisissa liitoksissa. Ruuveja on saatavilla monilla kannan muodoilla, kuten uppo- tai kupukantaisina, sylinterikannalla tai leveällä kannalla. Kannan muodot riippuvat paljolti myös ruuvivalmistajasta. Ruuvin mitat valitaan rakennesuunnittelijan mitoituksen mukaisesti riittävän suuriksi käyttökohteen mukaan.

3.1.2 Käyttöolosuhteet

Käyttöolosuhteet määrittelevät Eurokoodin mukaiset käyttöluokat 1-3. Käyttöluokassa 1 ruuvi on kuivassa sisäilmassa tai sitä vastaavassa kosteusolosuhteessa. Tällöin ruuville ei myöskään ole pinnoitusvaatimusta. Käyttöluokassa 2 vallitsee kuiva ulkoilma, joka on suojattu kostumiselta ja tuuletettu. Tässä luokassa ruuville on asetettu pinnoitevaatimus, kun ruuvin halkaisija $d \leq 4\text{mm}$ pinnoitteena tulee olla Fe/Zn 12c, Z275. Kun ruuvin halkaisija $d > 4\text{mm}$, ruuville ei ole pinnoitevaatimusta. Käyttöluokassa 3 on sääälle altis ulkoilma, kostea tila tai veden välittömässä vaikutuksessa oleva olosuhde. Tällöin pinnoitevaatimus kaikkiin ruuveihin, riippumatta ruuvin halkaisijasta on Fe/Zn 25c, Z350. (Spax Oy. 2015. Yleisruuvikoulutus) Vaikeisiin olosuhteisiin valitaan aina kui-

tenkin lähtökohtaisesti ruostumaton ruuvi, jolloin varmistetaan ruuvien ja liitoksen kapasiteetin pitkäaikaiskestävyys koko rakenteen käyttöajan ajan.

3.1.3 Kuormitus

Ruuvien kuormitus on tärkein ruuvien valintaan vaikuttava tekijä. Ruuvien tulee kestää koko käyttöikänsä sille mahdollisesti tulevat vetokuormitukset, puristuskuormitukset, leikkauskuormitukset ja näiden mahdolliset yhdistelmäkuormitukset.

3.1.4 Reunaetäisyydet

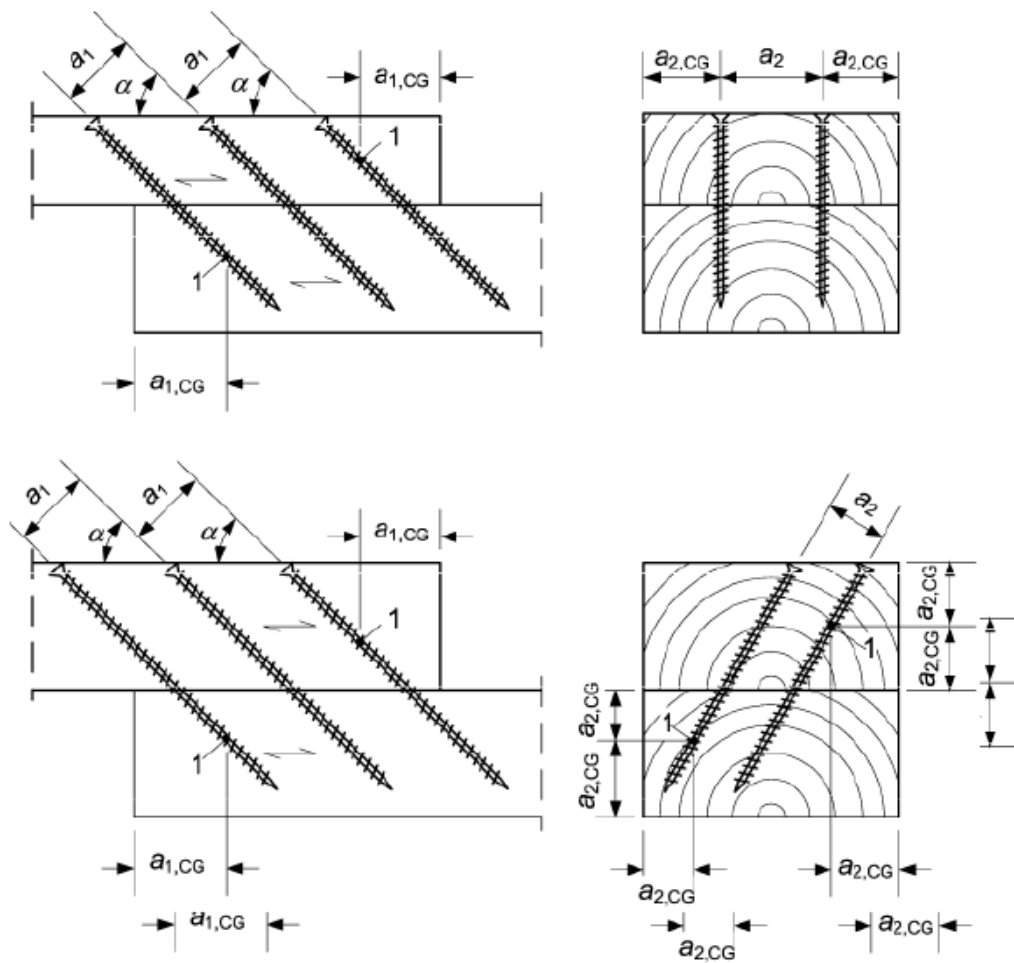
Seuraavassa taulukossa (1 ja 2) on esitetty pituussuunnassa kuormitettujen ruuvien kuvan (2) mukaiset liitinvälien ja reunaetäisyyksien vähimmäisarvot.

TAULUKKO 1. Pituussuunnassa kuormitettujen ruuvien liitinvälien sekä pääty- ja reunaetäisyyksien vähimmäisarvot sahatavaralla, liimapuulla ja Kerton lapeliitoksilla. (SFS-EN 1995-1-1 EC 5)

Liitinvälin vähimmäisarvo syysuunnassa tasossa	Liitinvälin vähimmäisarvo syysuuntaa vastaan kohtisuorassa tasossa	Ruuvien kierteisen osan painopisteen päätyetäisyyden vähimmäisarvo sauvassa	Ruuvien kierteisen osan painopisteen reunaetäisyyden vähimmäisarvo sauvassa
a_1	a_2	$a_{1,CG}$	$a_{2,CG}$
7d	5d	10d	4d

TAULUKKO 2. Pituussuunnassa kuormitettujen ruuvien liitinvälien sekä pääty- ja reunaetäisyyksien vähimmäisarvot Kerton syrjä- ja päätyliitoksissa, jossa itseporautuvat ruuvit ovat viilutaso suunnassa. (MetsäWood. 2012. Kerto-käsikirja)

Liitinvälin vähimmäisarvo syysuunnassa tasossa	Liitinvälin vähimmäisarvo vastaan kohtisuorassa tasossa	Ruuvien kierteisen osan painopisteen päätyetäisyyden vähimmäisarvo sauvassa	Ruuvien kierteisen osan painopisteen reunaetäisyyden vähimmäisarvo sauvassa
a_1	a_2	$a_{1,CG}$	$a_{2,CG}$
10d	5d	12d	5d



KUVA 2 Ruuvivälien sekä reuna- ja päätyetäisyyksien määrittely (SFS-EN 1995-1-1 EC 5)

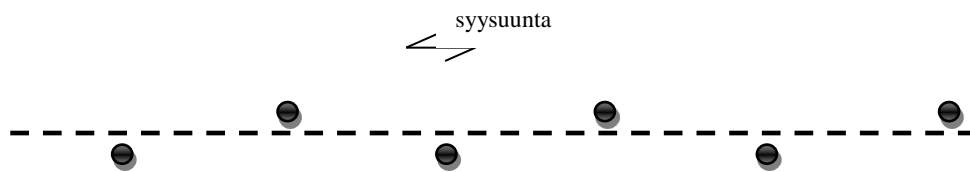
Edellä mainituista ruuvien sijainneista voidaan poiketa sallittujen poikkeamien rajoissa (TAULUKKO 3). Vinoruuvauksessa ruuvauskulman toleranssi on $-5^\circ \dots +5^\circ$.

TAULUKKO 3. Ruuvien sijainnin sallitut poikkeamat

(MetsäWood. 2012. Kerto-käsikirja)

a_1	a_2	$a_{1,CG}$	$a_{2,CG}$
$\max(10\%, d_{ef})$	$\max(10\%, d_{ef})$	-0 / +10 mm	-d / +10 mm

Leikkauskuormitetut ruuvit suositellaan sijoittamaan vähintään d_{ef} mitan verran syysuunnasta sivuun halkeiluvaaran välttämiseksi. Peräkkäisten ruuvien tehollisena lukumääränä käytetään tällöin $n_{ef} = n$. Kerto-Q lapeliitosten tapauksissa peräkkäisiä ruuveja ei tarvitse sijoittaa lomittain. Leikkauskuormitettujen ruuvien sallitut sijaintipoikkeamat taulukon 2 mukaan.



KUVA 3. Syysuuntaisesti sijoitetut samassa rivissä olevat ruuvit, jotka ovat lomittain kohtisuoraan syysuuntaan nähden etäisyyden d_{ef} verran.

Mikäli ruuveja ei limitä kuvan 3 mukaisesti, syysuuntaisen ruuvirivin laskemisessa käytetään tehollisten liitinten määrää n_{ef}

$$n^{ef} = n^{k_{ef}}$$

missä

n Ruuvien määrä rivissä

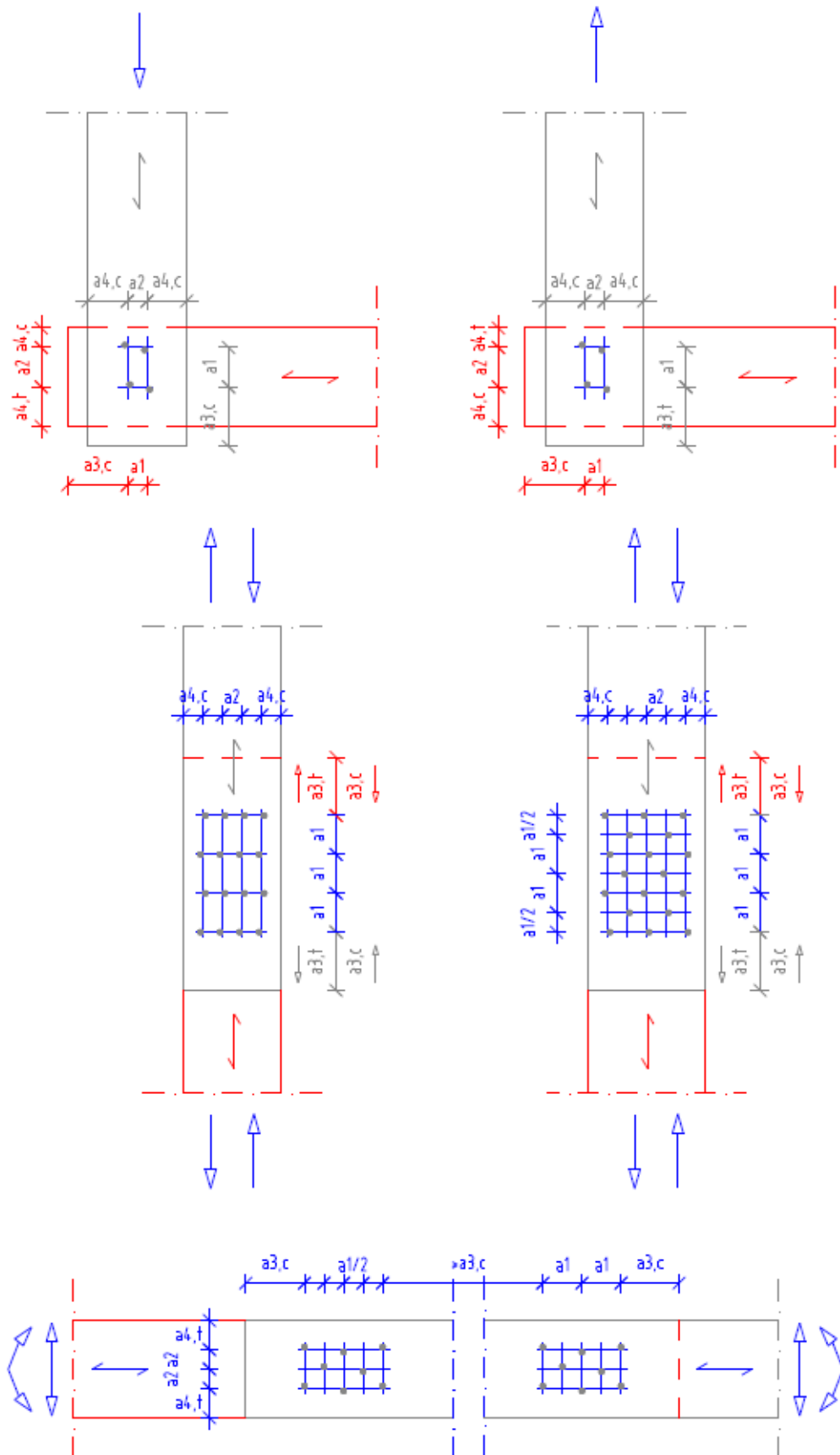
k_{ef} sahatavaralle, liimapuulle, Kerto-S ja ja KertoT lapeliitoksille.
kts. taulukko 4

k_{ef} $1 - 0,03(20d - a_1) / d \leq 1$ (Kerton syrjäliitoksilla)

TAULUKKO 4. k_{ef} -arvot sahatavaralle, liimapuulle ja Kerto-S:n ja KertoT:n lapeliitoksille. Ruuvivälin väliarvoilla kertoimen k_{ef} interpolointi sallittu.

(MetsäWood. 2012. Kerto-käsikirja)

Ruuviväli	k_{ef} (esiporaus)
$a_1 \geq 14d$	1,0
$a_1 = 10d$	0,85
$a_1 = 7d$	0,7
$a_1 = 4d$	0,5



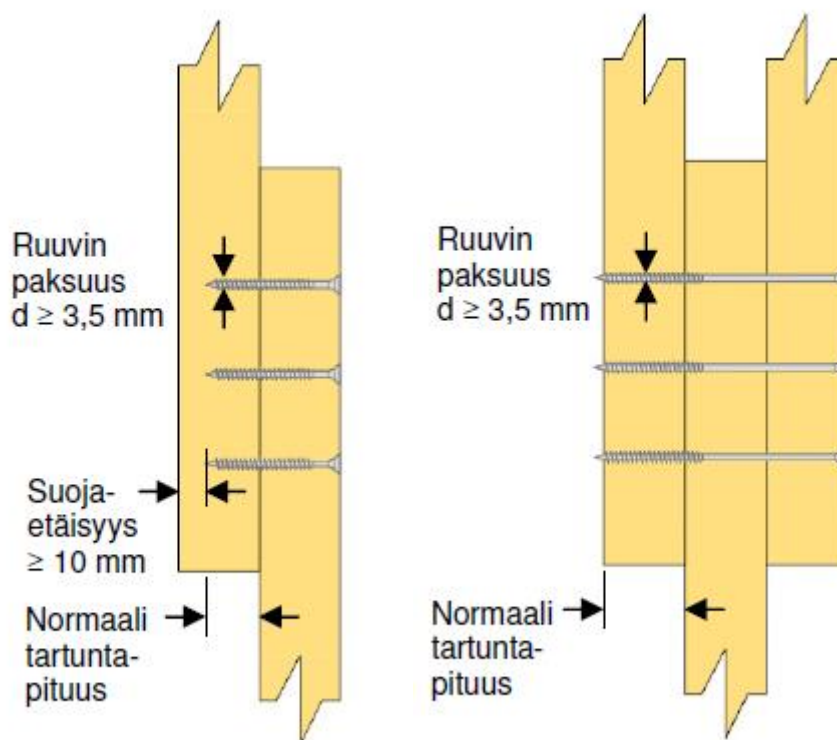
KUVA 4 Ruuvien minimivälit- sekä päätyetäisyydet ($d \leq 8\text{mm}$) (MetsäWood. 2012. Kerto-käsikirja).

RUUVIVÄLIN TAI PÄÄTY- SEKÄ REUNAETÄISYYDEN VÄHIMMÄISARVO								
		ei reikien esiporausta		reikien esiporaus		ei reikien esiporausta		reikien esiporaus
väli tai etäisyys	kulma α	Kerto-S		Kerto-S		puutavara		puutavara
		Kerto-T	Kerto-Q	Kerto-T	Kerto-Q	$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 \leq \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$	puutavara
väli a_1 (syiden suuntaan)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$d_{ef} < 5 \text{ mm}$: $(5 + 5 \cos \alpha) d_{ef}$ $d_{ef} \geq 5 \text{ mm}$: $(5 + 7 \cos \alpha) d_{ef}$	$(5 + 2 \cos \alpha) d_{ef}$	$(4 + \cos \alpha) d_{ef}$	$(4 + \cos \alpha) d_{ef}$	$d_{ef} < 5 \text{ mm}$: $(5 + 5 \cos \alpha) d_{ef}$ $d_{ef} \geq 5 \text{ mm}$: $(5 + 7 \cos \alpha) d_{ef}$	$(7 + 8 \cos \alpha) d_{ef}$	$(4 + \cos \alpha) d_{ef}$
väli a_2 (kohtisuoraan syitä vastaan)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5 d_{ef}$	$5 d_{ef}$	$(3 + \sin \alpha) d_{ef}$	$(3 + \sin \alpha) d_{ef}$	$5 d_{ef}$	$7 d_{ef}$	$(3 + \sin \alpha) d_{ef}$
etäisyys $a_{3,t}$ (kuormitettu pää)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(10 + 5 \cos \alpha) d_{ef}$	$(4 + 3 \cos \alpha) d_{ef}$	$(7 + 5 \cos \alpha) d_{ef}$	$(4 + 3 \cos \alpha) d_{ef}$	$(10 + 5 \cos \alpha) d_{ef}$	$(15 + 5 \cos \alpha) d_{ef}$	$(7 + 5 \cos \alpha) d_{ef}$
etäisyys $a_{3,c}$ (kuormittamaton pää)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$10 d_{ef}$	$4 d_{ef}$	$7 d_{ef}$	$4 d_{ef}$	$10 d_{ef}$	$15 d_{ef}$	$7 d_{ef}$
etäisyys $a_{4,t}$ (kuormitettu reuna)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$d_{ef} < 5 \text{ mm}$: $(5 + 2 \sin \alpha) d_{ef}$ $d_{ef} \geq 5 \text{ mm}$: $(5 + 5 \sin \alpha) d_{ef}$	$(3 + 4 \sin \alpha) d_{ef}$	$d_{ef} < 5 \text{ mm}$: $(3 + 2 \sin \alpha) d_{ef}$ $d_{ef} \geq 5 \text{ mm}$: $(3 + 4 \sin \alpha) d_{ef}$	$d_{ef} < 5 \text{ mm}$: $(3 + 2 \sin \alpha) d_{ef}$ $d_{ef} \geq 5 \text{ mm}$: $(3 + 4 \sin \alpha) d_{ef}$	$d_{ef} < 5 \text{ mm}$: $(5 + 2 \sin \alpha) d_{ef}$ $d_{ef} \geq 5 \text{ mm}$: $(5 + 5 \sin \alpha) d_{ef}$	$d_{ef} < 5 \text{ mm}$: $(7 + 2 \sin \alpha) d_{ef}$ $d_{ef} \geq 5 \text{ mm}$: $(7 + 5 \sin \alpha) d_{ef}$	$d_{ef} < 5 \text{ mm}$: $(3 + 2 \sin \alpha) d_{ef}$ $d_{ef} \geq 5 \text{ mm}$: $(3 + 4 \sin \alpha) d_{ef}$
etäisyys $a_{4,c}$ (kuormittamaton reuna)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5 d_{ef}$	$3 d_{ef}$	$3 d_{ef}$	$3 d_{ef}$	$5 d_{ef}$	$7 d_{ef}$	$3 d_{ef}$

KUVA 5 Ruuvien, joiden nimellispaksuus $d \leq 8 \text{ mm}$, minivälit sekä reuna- ja päätetyt-
sydet (MetsäWood. 2012. Kerto-käsikirja).

3.1.5 Palonkesto

Tulipalossa lämpö heikentää oleellisesti suojaamattoman teräслиittimen kuormankantokykyä. Puu eristää ja suojaa liitintä tulipalon lämmöltä, siksi teräsosien suojaamattomien pintojen pinta-ala on teräслиittimen palokäyttötymisen merkittävin tekijä. Suojaamattomilla puikkoliittimillä toteutetuilla liitoksilla voidaan saavuttaa enintään n.15 minuutin palonkestävyys, kun liitos täyttää normaalilämpötilan kestävyys- ja geometriavaatimukset sekä alla olevan kuvan (6) ehdot.



KUVA 6. Liitoksen palonkestävyys, 15min.(Puuinfo. 2013. Tekninen tiedote. Puurakenteiden palomitoitus.)

Jos liitos vaatii pidemmän palonkestoajan, voidaan liitintä ympäröivien puurakenteiden dimensioita suurentaa ja liitoksen teräsosia palosuojata. Suojaamattoman ruuviliitoksen palonkestävyyttä voidaan kasvattaa kuitenkin enintään 30 minuuttiin suurentamalla liitettävien puuosien dimensioita ja liittimien reuna- ja päätyetäisyyksiä määrällä a_f . (Puuinfo. 2013. Tekninen tiedote. Puurakenteiden palomitoitus.)

$$a_f = \beta_0(t_{req} - t_{d,fi}) \quad (1)$$

missä

β_0 EC5:n osan 1-2 mukainen hiiltymisnopeus

t_{req} vaadittu tulipalon kestävyysluokka [min]

$t_{d,fi}$ suojaamattoman liitoksen palokestävyys [min]

TAULUKKO 5. Hiiltymisnopeudet β_0 . t_0 on puun tai puulevyn paksuus ja a on poikkeileikkauksen leveys/korkeus. (SFS-EN 1995-1-2 EC 5. Puurakenteiden palomitoitus)

Materiaali		β_0 (mm/min)
Havupuinen sahatavara	kun $\rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$ ja $a \geq 35\text{mm}$	0,8
Havupuinen liimapuu	kun $\rho_k \geq 290\text{kg/m}^3$	0,7
Puulevyt	kun $\rho_k = 450 \text{ kg/m}^3$ ja $t_p = 20\text{mm}$	0,9
Lehtipuinen sahatavara	kun $\rho_k \geq 450\text{kg/m}^3$	0,5
Lehtipuinen liimapuu	kun $\rho_k \geq 450\text{kg/m}^3$	0,5
Tammi		0,5
Lehtipuinen sahatavara	kun $\rho_k \geq 290\text{kg/m}^3$	0,7
Lehtipuinen liimapuu	kun $\rho_k \geq 290\text{kg/m}^3$	0,7
Vaneri	kun $\rho_k = 450 \text{ kg/m}^3$ ja $t_p = 20\text{mm}$	1,0
Puulevyt	kun $\rho_k = 450 \text{ kg/m}^3$ ja $t_p = 20\text{mm}$	0,9

Liittimien vähimmäispääty- ja reunaetäisyyksiä $a_{1,CG}$ ja $a_{2,CG}$ pitäisi korottaa mitalla a_{fi} , mikäli mitat eivät täytä seuraavia ehtoja:

$$a_3 \geq \beta_0(t_{req} + 1,5) \quad (2)$$

$$a_4 \geq \beta_0(t_{req} + 1,5) \quad (3)$$

Ulompien liitososien puupaksuuden t_1 tulee täyttää seuraavat ehdot:

$$t_1 \geq \frac{t_{f,req}}{1,25-\eta_n} \quad (4)$$

$$t_1 \geq 1,6 t_{f,req} \quad (5)$$

$$t_1 \geq t_{1,min} + a_f \quad (6)$$

missä

$$\eta_n = \frac{E_d}{R_{d,n}} \quad (7)$$

Paloluokan R30 vaatimukset täyttyvät, jos

$$\eta_n = \frac{E_d}{R_{d,n}} \leq \eta_{30} \quad (8)$$

Jotta täytetään kaavan (8) vaatimukset voidaan korottaa liittimien lukumäärää, valita vahvemmat liittimet tai käyttää liitoksessa palosuojauksia. η_{30} –arvojen määrittäminen EC5:n osan 1-2 liitteen B mukaisesti. (Puuinfo. 2013. Tekninen tiedote. Puurakenteiden palomitoitus.)

3.1.6 Saatavuus

Saatavuus on hyvin suuressa roolissa ruuvivalmistajaa ja ruuvituotetta valittaessa. Tätä opinnäytetyötä varten tehtiin sähköpostikysely tilaajayrityksen yhteistyökumppaneille ja tiedusteltiin ruuvien toimitusaikoja.

Spax Oy lupaa ruuveilleen Kotkan, Hämeenlinnan ja Vantaan tukkuvarastoilta toimitusajaksi muutaman tunnin. Käytännössä tuotteet ovat työmaalla seuraavana aamuna. Lähes kaikkia Spax Oy:n tuotteita löytyy maahantuojien tukkuvarastoilta. Mikäli tuote ei kuulu varastotuotteisiin tai se on tilapäisesti loppu, toimitus Saksan tehtaalta kestää viikon. Erityistoimenpiteillä ruuvien toimitus onnistuu jopa parissa päivässä. Tavallisim-

mat pientalorakentajan tarvitsemat ruuvit myydään myös suoraan rautakaupan hyllystä. Näitä ruuveja myy yli 200 jälleenmyyjää.

SFS Intec Oy:n tavallisimmat ruuvit löytyvät heti varastosta. Mikäli ruuveja ei löydy varastosta, toimitusaika on noin viikon. Muutama ruuvityyppi, varsinkin perinteiset puuruuvit ruostumattomasta teräksestä, löytyvät rajoitetusti jopa yrityksen keskusvarastosta, eli niissä tuotteissa pitää varautua jopa 6-7 viikon toimitusaikaan. Yksityinen asiakas voi ostaa SFS Intec Oy:n tuotteita rajoitetuilta jälleenmyyjiltä (Berner Pultti, STARK, Kiinnike-Kolmio..) tai tilata suoraan yritykseltä.

Würth Oy toimittaa varastotuotteina jopa 22000 kiinnikkeen valikoimasta tarvittavat ruuvit seuraavaksi päiväksi työmaalle Riihimäen varastoltaan. Mikäli ruuvi on erikoismitoitettu tai tyypiltään erityinen, toimitus Saksan tehtaalta kestää noin kaksi viikkoa. Isommissa puurakentamisen kohteissa Würth Oy pyrkii palvelemaan asiakasta työmaa-kohtaisella palvelujärjestelmällä, jossa työmaalle perustettavaan varastoon toimitetaan jo ennakkoon suunnitelmien mukaiset kiinnitystuotteet. Lisäksi suurin osa ASSY-ruuveista löytyy myös Würth Centereistä ympäri Suomea.

Rothoblaas toimittaa lähes kaikki ruuvit Italian keskusvarastolta Suomeen 4-6 arkipäivässä tilausvahvistuksesta. Suurissa erikoistilauksissa, joissa ruuvit ovat esimerkiksi dimensioiltaan yrityksen normaalivalikoiman ulkopuolella, toimitusaika on pidempi. Yrityksen edustajan mukaan tämä voi vaihdella niin suuresti, että toimitusaika tulee aina varmistaa tapauskohtaisesti. Yksityisen kuluttaja-asiakkaan ei ole toistaiseksi mahdollista ostaa yrityksen ruuveja rautakaupoista. Yrityksellä on kuitenkin neuvottelut käynnissä jälleenmyyjien kanssa Suomessa ja he hakevat ratkaisuja, jotta ruuveja saataisiin rautakauppamyyntiin.

3.1.7 Esteettisyys

Ruuvien esteettisyys vaikuttaa ruuvien valintaan lähinnä kohteissa, joissa ruuvi tai ruuvien kanta jää näkyviin rakenteissa. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi puiset siltarakenteet, puujulkisivut, puiset sisustuslevyt ja vastaavat tuotteet. Eri ruuvivalmistajat tarjoavat myös ruuveilleen erilaisia pinnoitevaihtoehtoja, joilla estetiikkaa voidaan lisätä.

4 LIITOKSET

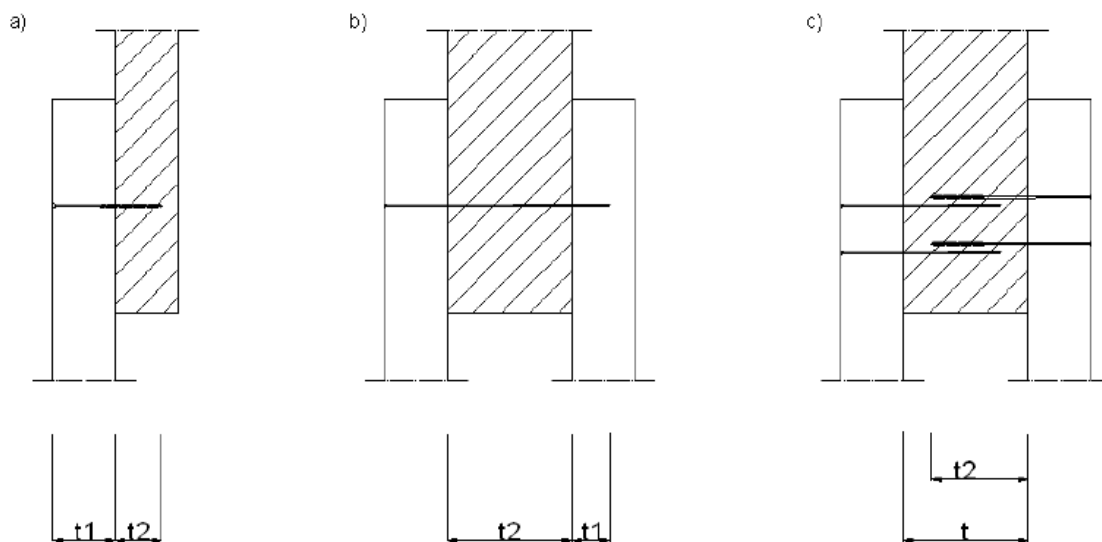
4.1 Yleistä

Rakenteen lujuus määräytyy sen heikoimman kohdan lujuuden mukaan. Puu on materiaalina epähomogeeninen ja sen ominaisuudet vaihtelevat moninaisesti, sen vuoksi puuliitosten suunnittelu on lähtökohtaisesti haastavaa ja vaativaa.

4.1.1 Liitoksen rakenne ja toiminta

Liitoksessa kaksi tai useampia rakenneosia on liitetty toisiinsa niin, että ulkoisen voiman vaikuttaessa liitos vastustaa näiden osien irtoamista toisistaan tai liukumista toisensa suhteen. Suurin osa liitoksista toimii niin, että voima siirtyy liittimien välityksellä liitospuulta toiselle ja tässä yhteydessä liittimeen kohdistuu poikittainen leikkausvoima ja/tai pituussuuntainen vetovoima. Tällöin syntyy myös reuna- tai pintapuristusta liitospuihin.

On olemassa erilaisia liitosrakenteita. Voima voi siirtyä liitoksessa kokonaan tai osittain suoraan liitoskappaleelta toiselle, vaihtoehtoisesti liitin voi ottaa vain osan tai vain tietynsuuntaisen osan siirrettävästä voimasta. On myös olemassa liitoksia, joissa liittimen tehtävän on vain pitää liitosta koossa, eikä niinkään siirtää kuormia. Liitokset ryhmitellään leikkeiden eli saumapintojen lukumäärän mukaan. Yleisempiä liitoksia ovat 1- ja 2-leikkeiset liitokset, mutta myös monileikkeisempiä liitoksia käytetään. Mitoitusta ajatellen pyritään mieluiten 1-leikkeisiin liitoksiin. (VTT. 1996. Puurakenteet STEP 1)



KUVA 7 a) yksileikkeinen liitos, b) kaksileikkeinen liitos ja c) ruuvien limittyminen kaksileikkeisessä liitoksessa. (MetsäWood. 2012. Kerto-käsikirja.)

Puu on materiaalina haastava, sillä se turpoo ja kutistuu kosteuden vaikutuksesta. Tämä aiheuttaa puun poikkileikkausmittojen muuttumisen. Alueella, jossa liittimet sitovat puuta, sen kosteusmuutokset aiheuttavat syiden suuntaan nähden poikittaisia jännityksiä, joista vaan voi seurata puun halkeaminen. Jotta tämä halkeilu voidaan estää, liittimet tulisi asettaa ryhmiin ja niiden reikien tulisi olla soikion muotoisia, jolloin liittimellä on hieman liikkumavaraa. Jos liitoksessa käytetään tiheään sijoitettua liittinryhmää tai montaa liitintä peräkkäin, tulee tarkistaa myös rakenneosan lohkeamislujuus.

4.1.2 Liitoksen mitoitus

Suunniteltavan liitoksen on kestettävä kaikki siihen kohdistuvat rasitukset riittävällä varmuudella koko liitoksen suunnitellun käyttöiän ajan. Liitoksen rakenne aiheuttaa yleensä voiman epäkeskisyyksiä. Tästä aiheutuu liitokseen momentti, joka jaetaan liittimiin kohdistuviksi leikkaus- ja normaalivoimiksi. Mikäli liitoksessa on enemmän kuin yksi liitin, liittimiin kohdistuva voima ajatellaan yleensä jakautuvan tasaisesti liittimien kesken. Liittimien sijoittelu, koot ja liitinvälit, reuna- ja päätyetäisyydet tulee valita siten, että oletettu liitoksen kestävyys ja jäykkyys voidaan saavuttaa. Liitoksen kestävyys on yleensä pienempi kuin yksittäisten liittimien kestävyysien summa, kun liitoksessa on useita liittimiä.

Ruuviliitosta voidaan periaatteessa pitää 1-leikkeisenä pulttiliitoksena koska sen lujuus on riippuvainen samoista tekijöistä. Näitä tekijöitä ovat puuosien ja ruuvien paksuudet, ruuvin myötömomenti ja myötökulma α ja puun reunapuristuslujuus. Ruuviliitoksen mitoituskesto vaikuttavat myös lisäksi ruuvien tartuntapituus, kierteellisen osan etäisyys saumapinnasta, ruuvia varten esiporatun reiän sopivuus ja liitoksen tekotapa. (SFS-EN 1995-1-1 EC 5)

4.1.3 Liitoksen mitoituskestävyys

Yleisesti voidaan laskea liitoksen mitoituskestävyys kaavasta:

$$R_d = \frac{k_{mod} R_k}{\gamma_M} \quad (9)$$

missä

k_{mod}	Liitospuun aikavaikutuskerroin
R_k	Liittimen kestävyys ominaisarvo
γ_M	Liitospuun materiaaliosavarmuusluku

Liitettäessä yhteen kahta erilaista puumateriaalia, kaavassa käytetään sen materiaalin k_{mod} ja γ_M kertoimia, joilla k_{mod} / γ_M -suhde on pienempi (SFS-EN 1995-1-1 EC 5).

4.1.4 Usean liittimen liitokset

Liitoksen kestävyys ei voida suoraan pitää yksittäisten liittimien kestävyys summaa, kun liitoksessa on useita liittimiä. Todellinen kestävyys tulee erikseen tarkastella. Jotta liitoksen haluttu kestävyys ja jäykkyys saavutetaan, tulee kiinnittää huomiota liittimien koon lisäksi niiden sijoitteluun ja liitinväleihin. Myös reuna- ja päätyetäisyydet tulee tarkistaa.

Mikäli samassa liitoksessa käytetään erityyppisiä liittimiä, liittimien erilaiset jäykkyydet ja niiden vaikutus voimien jakautumiseen tulee huomioida.

Puun syysuuntaiseen riviin sijoitettujen liittimien tehollinen liitoskestävyys puun syysuuntaiselle voimakomponentille on

$$F_{ef,d} = n_{ef} R_d \quad (10)$$

missä

n_{ef} Tehollisten liittimien lukumäärä liitinrivissä

R_d Yksittäisen liittimen leikkauskestävyys

4.1.5 Puun syysuuntaa vasten kohtisuorat liitosvoimat

Jos liitosvoima vaikuttaa vinossa kulmassa puun syysuuntaan nähden, tulee syysuuntaan nähden poikittaiset vetojännitykset huomioida tarkistamalla että puun halkeamiskestävyys on riittävä. (SFS-EN 1995-1-1 EC 5)

4.1.6 Epäkeskiset ja vaihtelevat liitosvoimat

Epäsymmetrisissä liitoksissa tai liitoksen vaikuttavan voiman ollessa epäkeskinen on huomioitava näistä syntyvät lisärasitukset liitoksen kestävyttä laskettaessa. Jos liitoksessa vaikuttava liitosvoima voi vaihtaa suuntaa puristuksen $F_{c,d}$ ja vedon $F_{t,d}$ välillä, tulee liitoskestävyyden arvoa pienentää. Tällöin liitos tulee mitoittaa sekä vetovoimalle $F_{t,d} + 0,5 F_{c,d}$ että puristusvoimalle $F_{c,d} + 0,5 F_{t,d}$. (SFS-EN 1995-1-1 EC 5)

4.2 Leikkausliitokset

Syyn suuntaan nähden eri kulmassa kuormitettujen ruuviliitosten kapasiteetit määritetään ottamalla huomioon liittimien kapasiteetti ja puun reunapuristuslujuus.

Liitoksen leikkauskestävyyden tarkastelussa täytyy tarkastaa sekä yksittäisen liittimen leikkauskestävyys että koko liitosalueen leikkauskestävyys.

Syysuuntaan kohtisuorasti vetorasitetut liitokset murtuvat yleensä hauraasti liitosalueen puun haljetessa. Kosteusvaihtelujen aiheuttamat puun pinnan vetojännitykset saattavat

olla huomattavasti liitosrasitusta suurempia. Suunnitteluohjeissa esitetyt liitinten minimivälit ja reunaetäisyysvaatimukset eivät takaa poikittaisissa vetokuormituksissa puikkoliitosteorian mukaista murtotapaa kuin poikkeustapauksissa. (SFS-EN 1995-1-1 EC5)

4.2.1 Leikkauskestävyyden mitoitusarvo

Liitoksen leikkauskestävyyden mitoitusarvo lasketaan kaavalla

$$R_d = \begin{cases} \frac{k_{mod}}{\gamma_M} k_\rho k_t R_k & \text{kun } t_1 \geq 8d_{ef} \text{ ja } t_2 \geq 12d_{ef} \\ \frac{k_{mod}}{\gamma_M} k_\rho k_e R_k & \text{kun } t_1 < 8d_{ef} \text{ tai } t_2 < 12d_{ef} \end{cases} \quad (11)$$

missä

t_1 kannanpuoleisen puun paksuus yksileikkeisessä liitoksessa tai min(kannanpuoleisen puun paksuus; kärkiosan tunkeutuma) kaksileikkeisessä liitoksessa.

t_2 kärkiosan tunkeutuma yksileikkeisessä liitoksessa tai keskipuun paksuus kaksileikkeisessä liitoksessa.

d_{ef} Ruuvien tehollinen halkaisija

k_{mod} liitospuun aikavaikutuskerroin

γ_M liitospuun materiaaliolosuhteusluku

M_y Ruuvien myötömomentti

ρ_k Puutavaran ominaistiheys

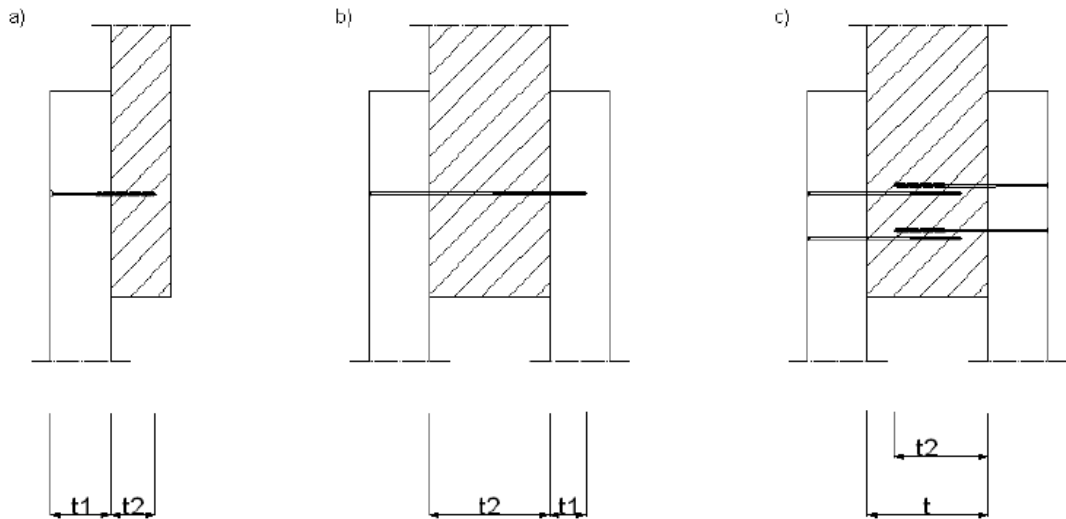
$$k_\rho = \sqrt{\frac{\rho_k}{350}}$$

$$k_t = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 + 0,3 \frac{t_1 - 8d_{ef}}{8d_{ef}} \\ 1 + 0,3 \frac{t_2 - 12d_{ef}}{6d_{ef}} \end{array} \right\}, \text{ mutta } k_t \leq \sqrt{\frac{M_y}{160d_{ef}^{2,6}}}$$

$$k_e = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{t_1}{8d_{ef}} \\ \frac{t_2}{12d_{ef}} \end{array} \right\}$$

Kerto-Q syrjäliitoksissa ruuvien leikkauskestävyyttä voidaan pienentää kertoimella

$$k_{ef} = \min \left\{ 1 - \frac{0,03(20d_{ef} - a_1)}{d_{ef}}, 1,0 \right\}$$



KUVA 8 Tunkeuma t_1 ja t_2 (a) yksileikkeisessä liitoksessa, (b) kaksileikkeisessä liitoksessa ja ruuvien limittyminen t_1 ja t_2 (c). (MetsäWood. 2012. Kerto-käsikirja.)

4.2.2 Kansiruuvien leikkauskestävyyden ominaisarvo yhtä leikettä kohden

$$R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4f_h t_u d_{ef} \sqrt{1 + \frac{3M_y}{f_h d_{ef} t_u^2}} \\ 2\sqrt{M_y f_h d_{ef}} \end{array} \right\} \quad (12)$$

missä

f_h $\min(f_{h,1,k}; f_{h,2,k}; f_{h,s,k})$

$f_{h,1,k}$ ja $f_{h,2,k}$ liitoksen reunaosien reunapuristuslujuuksien ominaisarvoja

t_u $\min \left\{ \begin{array}{l} \frac{t_1 f_{h,1,k}}{f_h} \\ \frac{t_2 f_{h,2,k}}{f_h} \end{array} \right\}$

t_1 ja t_2 ruuvien tunkeumasyvyyksiä liitoksen reunapuuosissa

d_{ef} Ruuvien tehollinen halkaisija

$f_{h,s,k}$	kaksileikkeisen liitoksen keskiosan ominaisreunapuristuslujuus
M_y	Ruuvien myötömomentti

Ruuvien myötömomentti

$$M_y = 0,3f_u d_{ef}^{2,6} \quad (13)$$

missä

$f_{u,k}$	Ruuvien vetomurtolujuuden ominaisarvo
-----------	---------------------------------------

Reunapuristuslujuus syysuuntaan nähden (kulmassa α)

$$f_{h,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (14)$$

missä,

$$f_{h,0,k} = \left\{ \begin{array}{ll} 0,082(1 - 0,01d_{ef})\rho_k & \text{Yleensä} \\ 37k_Q(1 - 0,01d_{ef}) & \text{Kerto - Q:lle} \end{array} \right\} \quad (15)$$

Kerto-Q:n reunapuristuslujuudelle voidaan käyttää arvoa $f_{h,\alpha,k} = f_{h,45,k}$, jos $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$

$$k_{90} = \left\{ \begin{array}{ll} 1,30 + 0,015d_{ef} & \text{Kerto - S ja kerto - T} \\ 1,15 + 0,015d_{ef} & \text{Kerto - Q} \\ 1,35 + 0,015d_{ef} & \text{havupuut} \\ 0,90 + 0,015d_{ef} & \text{lehtipuut} \end{array} \right\} \quad (16)$$

$$k_Q = \left\{ \begin{array}{ll} 1 & \text{Lapeliitoksissa} \\ 1 - \frac{2}{d_{ef}} \leq 0,87 & \text{syRJäliitoksissa} \end{array} \right\} \quad (17)$$

Vedetyissä sauvanpäälliitoksissa puun syiden suuntaisesti sijoitetussa liitinrivissä tehollisesti toimivien kansiruuvien lukumäärä lasketaan seuraavan kaavan mukaisesti

$$n_{ef} = \left\{ n_i^{0,94} \sqrt{\frac{a t}{50 d_{ef}^2}} \right\} \quad (18)$$

missä

n_i	puun syiden suuntaiseen riviin i sijoitettujen ruuvien lukumäärä
a_1	peräkkäisten liitinten välinen etäisyys puun syiden suunnassa
a_3	päätyetäisyys
a	$= \begin{cases} \min(a_1; a_3), & \text{kun } n_i \geq 2 \\ a_3, & \text{kun } n_i = 1 \end{cases}$
t	$= \begin{cases} \min(t_1; t_2), & \text{liitokset, joissa puutavara vain reunaos.} \\ \min(2t_1; 2t_2; t_s) & \text{muut 2- ja monileikkeiset liitokset} \end{cases}$

4.3 Vedetyt liitokset

Liitoksissa joissa ruuvit on pituussuunnassa kuormitettu, liitoksen kestävyttä määrittäessä tarkistetaan seuraavat murtumistavat (SFS-EN 1995-1-1 EC 5):

- Ruuvin kierteisen osan ulosvetokestävyys kärjen puoleisessa puussa f_{ax}
- Ruuvin vetokestävyys f_{tens}
- Ruuvin nurjahtaminen puristuskuormituksessa
- Ruuvin kannan läpivetokestävyys f_{head} tai kierteisen osan ulosvetokestävyys kannan puolella f_{ax}
- Ruuviliitoksen murtuminen ruuviryhmän mukana

Pituussuunnassa kuormitetuissa ruuviliitoksissa murtotilassa syntyvä muodonmuutos on pieni ja jännitys uudelleenjakautumisen mahdollisuus on rajallinen. Tämän vuoksi murtumistapa on yleensä hauras.

4.3.1 Ruuviliitoksen ulosvetokestävyys

Ruuviliitoksen ulosvetokestävyuden ominaisarvo $F_{ax,\alpha,Rk}$ lasketaan seuraavalla kaavalla, silloin kun standardin EN 14592 mukaisen ruuvin halkaisija $d=6..12\text{mm}$ ja sydänmitta $d_i \leq 0,75d$.

$$F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{n_{ef} f_{ax,k} d l_{ef} k_d}{1,2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \quad (19)$$

missä

$f_{ax,k}$	Ruuvin ulosvetolujuusparametrin ominaisarvo kohtisuorassa syysuuntaa vastaan $f_{ax,k} = 0,52d^{-0,5} l_{ef}^{-0,1} \rho_k^{0,8}$ [kN/m ²]
l_{ef}	Ruuvin kierteistetytyn osuuden tunkeumasyyvyys tarkasteltavassa liitos puussa [mm]
n_{ef}	Ruuvien tehollinen lukumäärä $n^{0,9}$
ρ_k	Puutavaran ominaistiheys [kg/m ³]
α	Ruuvin kulma syysuuntaan nähden, kun $\alpha \geq 30^\circ$
k_d	min (d/8 ; 1)

Mikäli ruuvin halkaisija $d < 6\text{mm}$ tai $d > 12\text{mm}$ ja ruuvin sydänmitta $d_i > 0,75d$, ruuviliitoksen ulosvetokestävyuden ominaisarvo lasketaan kaavalla

$$F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{n_{ef} f_{ax,k} d l_{ef}}{1,2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \left(\frac{\rho_k}{\rho_d} \right)^{0,8} \quad (20)$$

missä

$f_{ax,k}$	Ruuville ilmoitettu EN14592 mukainen ulosvetolujuusparametrin ominaisarvo puun tiheydellä ρ kohtisuorassa suusuuntaa vastaan
------------	---

Kun $4\text{mm} \leq d \leq 6\text{mm}$, voidaan edellä olevassa kaavassa (20) käyttää itseporautuvien ruuvien ulosvetolujuusparametrille arvoa

$$f_{ax,k} = \left(\frac{8d}{l_{ef}} \right)^{0,2} \frac{\rho_k}{30} \quad (21)$$

missä

d	Ruuvien halkaisija
l_{ef}	Kierteisen osan tunkeumapituus tarkasteltavassa liitospuussa [mm]
ρ_k	Tarkasteltavan liitospuun ominaistiheys [kg/m^3]

4.3.2 Ruuviliitoksen vetolujuuskestävyys

Ruuviliitoksen vetolujuuskestävyyden ominaisarvo $F_{t,Rk}$ lasketaan kaavalla

$$F_{t,Rk} = n_{ef} f_{tens,k} \quad (22)$$

missä

$f_{tens,k}$	Ruuville ilmoitettu EN 14592 mukainen vetomurtokestävyyden ominaisarvo
n_{ef}	Ruuvien tehollinen lukumäärä

Ruuvien tehollinen lukumäärä ruuvien varren suuntaisesti kuormitetussa liitoksessa lasketaan kaavalla

$$n_{ef} = n^{0,9} \quad (23)$$

missä n on yhdessä toimivien ruuvien lukumäärä liitoksessa

4.3.3 Ruuviliitoksen läpivetokestävyys

Ruuviliitoksen läpivetokestävyyden ominaisarvo $F_{ax,\alpha,Rk}$ syysuuntaan nähden kulmassa α , kun $\alpha \geq 30^\circ$, lasketaan kaavalla

$$F_{ax,\alpha,Rk} = n_{ef} f_{head,k} d_h^2 \left(\frac{\rho_k}{\rho_\alpha} \right)^{0,8} \quad (24)$$

missä	
$f_{\text{head},k}$	Ruuville ilmoitettu EN 14592 mukainen kannan läpiveto- lujuusparametrin ominaisarvo puun tiheydellä ρ
d_h	ruuvin kannan halkaisija
n_{ef}	Ruuvien tehollinen lukumäärä
ρ_k	Tarkasteltavan liitospuun ominaistiheys [kg/m^3]

4.4 Vinoruuviliitokset

Vinoruuvuus on tehokas puurakenteiden liitostekniikka, jolla saavutetaan yli viisinkertainen jäykkyys ja kaksinkertainen lujuus perinteiseen ruuviliitokseen verrattuna. Tällä ruuvaustekniikalla tehdyt palkki, pilari- ja laattarakenteet tulevat edullisiksi, koska niissä päästään liitoksen suuren jäykkyyden vuoksi lähes täydelliseen osien väliseen yhteistoimintaan. (Kevarinmäki, A. 2005. Puurakenteiden uusia liitostekniikoita.)

Kun ruuviliitokseen vaikuttaa samanaikaisesti pituussuuntainen kuormitus ja leikkausvoima tulee tarkistaa, että seuraava ehto toteutuu

$$\left(\frac{F_{ax,d}}{R_{ax,d}}\right)^2 + \left(\frac{F_{vd}}{R_{v,d}}\right)^2 \leq 1 \quad (25)$$

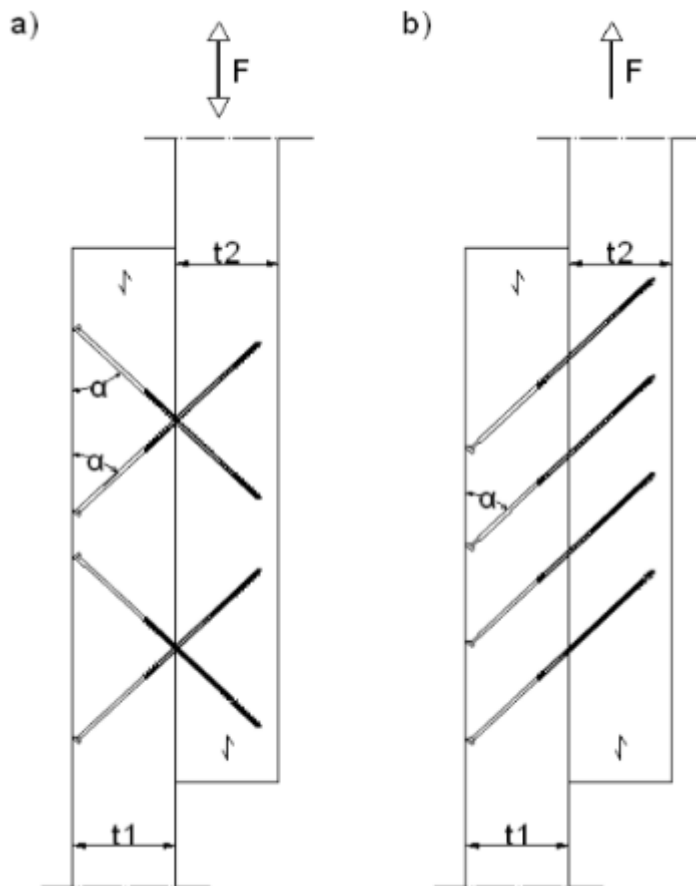
Seuraavat ohjeet ja kaavat koskevat yksileikkeisiä vinoruuviliitoksia. Näissä liitoksissa ruuvit ovat itseporautuvia ja muodostavat $\alpha=30^\circ..60^\circ$ suuntakulman kuormitussuunnan sekä puun syysuunnan kanssa.

Muitakin vinoruuviliitostyyppikohtaisia tai ruuvikohtaisia poikkeavia suunnitteluohjeita voidaan käyttää edellyttäen, että niillä on ETA-hyväksyntä tai VTT:n lausunto EN 1995:n mukaiseen mitoitukseen soveltuviksi.

Vinoruuviliitoksissa kaikkien ruuvien tulee olla samanlaisia ja samankokoisia, ja ne tulee ruuvata riittävän syväälle niin, että ruuvin kanta vastaa koko pohjapinnaltaan puuhun. Ruuvauksessa tulee myös kiinnittää huomiota siihen, että liitososat puristuvat yhteen niin, että niiden väliin ei jää rakoa. Tämän ongelman ratkaisemiseksi ja ruuvaus-

työn helpottamiseksi ruuvivalmistajat ovat kehittäneet erilaisia ruuvituotteita, joissa ruovin kierteillä ja sileillä osilla saadaan optimoitua paras työtulos. Liitoksen ruuvit tulee sijoittaa liitosvoimaan nähden epäkeskeisesti ja ne on ruuvattava aina samassa suuntakulmassa α .

Vinoruuviliitosten yleiset liitinvälien- ja etäisyyksien vähimmäisarvot on taulukoituna taulukossa (1). Nämä etäisyydet pätevät myös ristiruuviliitoksissa mikäli ruuviparin vedetyt ja puristetut ruuvit on sijoitettu erillisiin puun syiden suuntaisiin riveihin niin, että rivien välinen etäisyys $a_2=4d$ ja ruuviparin kantojen välinen limitysetäisyys on puun syysuunnassa enintään $3t_1$.



KUVA 9 a) ristiruuviliitos b) vinoruuviliitos (MetsäWood. 2012. Kerto-käsikirja.)

4.4.1 Ristiruuviliitos

Ristiruuviliitos muodostuu symmetrisistä ruuvipareista, joista toinen ruuvi on puristettu ja toinen vedetty. Kuvassa (9) on esitetty liitoksen periaate.

Ristiruuviliitoksen leikkauskestävyyden ominaisarvo lasketaan kaavalla

$$R_k = n_p^{0,9} (R_{C,k} + R_{T,k}) \cos \alpha \quad (26)$$

missä

n_p	ruuviparien lukumäärä liitoksessa
α	Ruuvauskulma
$R_{C,k}$	Ruuvin puristuskestävyys
$R_{T,k}$	Ruuvin ulosvetokestävyys

Ruuvin puristuskestävyys $R_{C,k}$ lasketaan kaavalla

$$R_{C,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{ax,\alpha,1,k} dl_{g,1} \\ f_{ax,\alpha,2,k} dl_{g,2} \\ 0,8 f_{tens,k} \end{array} \right\} \quad (27)$$

Ruuvin puristuskestävyys Kerto-LVL-tuotteelle

$$R_{C,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{ax,1,k} dl_{g,1} \\ f_{ax,2,k} dl_{g,2} \\ 0,8 f_{tens,k} \end{array} \right\} \quad (28)$$

Ruuvin ulosvetokestävyys $R_{T,k}$ lasketaan kaavalla

$$R_{T,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{ax,\alpha,1,k} dl_{g,1} + f_{head} d_h^2 \left(\frac{\rho_k}{\rho_a} \right) \\ f_{ax,\alpha,2,k} dl_{g,2} \\ f_{tens,k} \end{array} \right\} \quad (29)$$

Ruuvien ulosvetokestävyys kerto-LVL-tuotteille

$$R_{T,k} = \min \begin{cases} f_{ax,1,k} dl_{g,1} + f_{head} d_h^2 \\ f_{ax,2,k} dl_{g,2} \\ f_{tens,k} \end{cases} \quad (30)$$

missä

$f_{ax,\alpha,1,k}$	Ruuvien ulosvetolujuusparametrin ominaisarvo kannan puoleisessa puussa kulmassa α syysuuntaan nähden [N/mm^2]
$f_{ax,\alpha,2,k}$	Ruuvien ulosvetolujuusparametrin ominaisarvo kannan puoleisessa puussa kulmassa α syysuuntaan nähden [N/mm^2]
d	Ruuvien kierreosan ulkohalkaisija (nimellispaksuus) [mm]
$l_{g,1}$	Ruuvien kierteisen osan pituus kannan puoleisessa puussa
$l_{g,2}$	Ruuvien kierteisen osan pituus kärjen puoleisessa puussa
$f_{tens,k}$	Ruuvien vetomurtokestävyuden ominaisarvo [N]
$f_{head,k}$	Ruuvien kannan läpivetolujuusparametrin ominaisarvo [N/mm^2]
d_h	Ruuvien kannan halkaisija
ρ_k	Kannan puoleisen puun ominaistiheys [kg/m^3]
ρ_a	Puun tiheys, jolle $f_{head,k}$ on ilmoitettu [kg/m^3]
$f_{ax,45,k}$	Ruuvien ulosvetolujuusparametrin ominaisarvo, joka on määritetty En 12592 mukaisesti 45° asennuskulmalle ja $s_2 \geq 8d$ asennussyvyydelle. Ulosvetolujuus on määriteltävä erikseen Kerto-S ja Kerto-Q:n syrjä- ja lapeliitoksille

$$f_{ax,i,k} = f_{ax,45,k} \left(\frac{\alpha}{150} + 0,7 \right) \left(\frac{8d}{s_i} \right)^{0,2}$$

Ruuvien ulosvetoparametrin ominaisarvo kun ruuvien halkaisija $d=6..12\text{mm}$ ja sydänmitta $d_i \leq 0,75d$ lasketaan kaavalla

$$f_{ax,\alpha,i,k} = \frac{f_{ax,k} k d}{1,2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \quad (31)$$

Ruuvien ulosvetoparametrin ominaisarvo kun ruuvien halkaisija $6\text{mm} < d < 12\text{mm}$ ja sydänmitta $d_i > 0,75d$ lasketaan kaavalla

$$f_{ax,\alpha,i,k} = \frac{f_{ax,k}}{1,2\cos^2\alpha + \sin^2\alpha} \left(\frac{\rho_k}{\rho_a}\right)^{0,8} \quad (32)$$

4.4.2 Vetoruuviliitos

Jos liitoksessa on pelkästään vedettyjä vinoruuveja, liitoksen leikkauskestävyyden ominaisarvo saadaan kaavalla

$$R_k = n^{0,9} R_{T,k} (\cos\alpha + \mu \sin\alpha) \quad (33)$$

missä

n Ruuvien lukumäärä liitoksessa

$R_{T,k}$ Kaavan (x) mukainen ruuvien vetokestävyyden ominaisarvo

μ Liitososien välinen liikekitkeroin, jolle käytetään seuraavia arvoja:

$\mu = 0,26$ kun liitospinnat ovat pinnoittamatonta höylättyä havupuuta

$\mu = 0,3$ teräs ja höylätyn havupuun välisissä liitoksissa

$\mu = 0,4$ kun molemmat liitospinnat ovat käsittelemätöntä LVL:ää

Jos käytetty ruuvi on poräkärjetön ja sen halkaisija $d > 8\text{mm}$ tulee ruuville esiporata reikä. Esiporatun reiän halkaisija on koko ruuvien pituudella $0,5d-0,7d$, kuitenkin enintään ruuvien kierteisen osan sisähalkaisija d_i .

Liitospuiden vähimmäispaksuus t lasketaan kaavalla

$$t = \max \left\{ \begin{array}{l} 5d \\ (10d - 30) \frac{\rho_k}{400} \end{array} \right. \quad (34)$$

missä

d Ruuvien nimellispaksuus [mm]

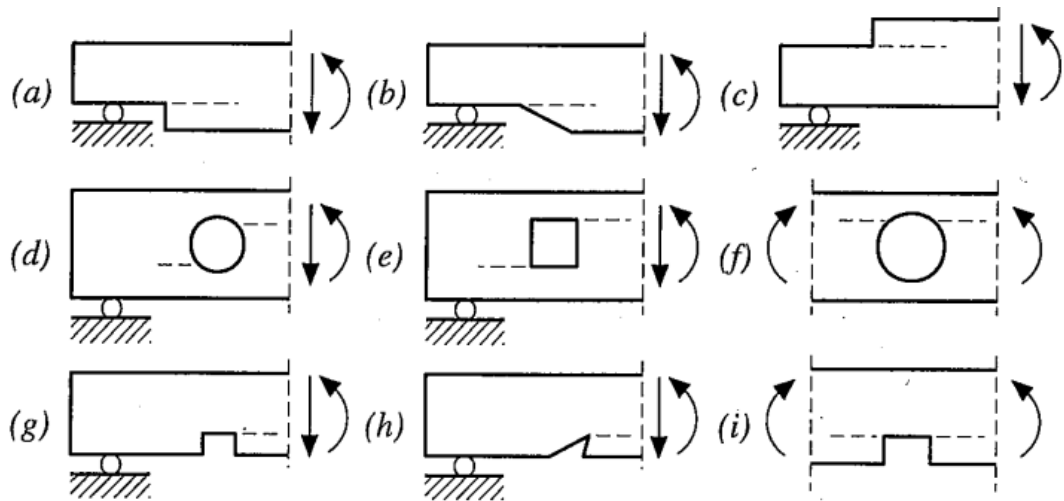
ρ_k Liitospuun ominaistiheys [kg/m³]

Kerto-s -tuotteen paksuus t tulee olla vähintään seuraavan kaavan mukainen

$$t = \max \left\{ \begin{array}{l} 5d \\ 12d - 36\text{mm} \end{array} \right. \quad (35)$$

5 RUUVIVAHVISTUKSET

Palkissa oleva lovi tai reikä heikentää oleellisesti palkin kuormituskapasiteettia. Tämä on ongelma varsinkin käytännön töissä työmaalla, missä lovia ja reikiä saatetaan tehdä kysymättä lupaa ja ymmärtämättä sen vaikutuksia. Murtuminen alkaa helposti lovesta tai reiästä ja etenee alla olevan kuvan (10) murtumislinjojen mukaisesti. Lovien ja reikien aikaansaama murtuma on vaarallinen, koska se on yleensä hyvin nopea ja hauras ja syntyy yleensä ilman ennakkovaroitusta. Yleisohjeena kannattaakin lovien ja reikien tekemistä rakenteisiin välttää mahdollisimman pitkälle. Erityistä varovaisuutta on noudatettava rakenteissa, jotka saattavat joutua suuriin kosteusvaihteluihin.



KUVA 10 Lovettujen ja reiällisten palkkien todennäköisiä murtumislinjoja. (VTT. 1996. Puurakenteet STEP 1)

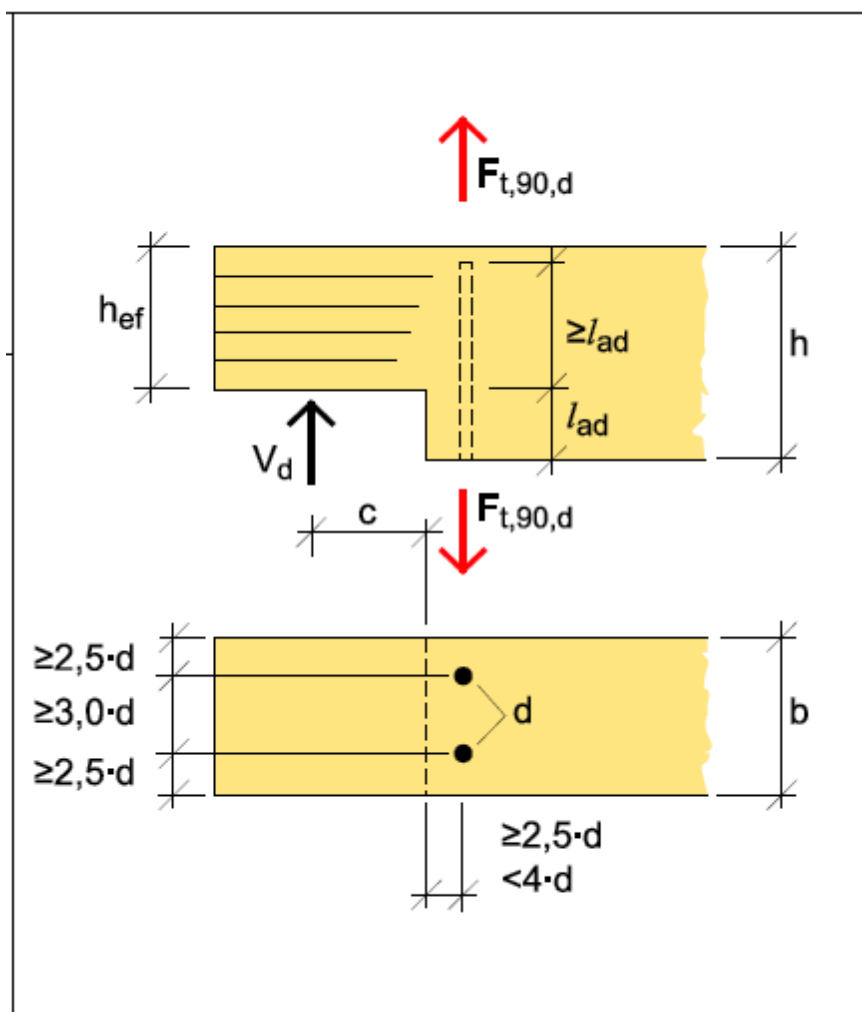
Lovesta tai reiästä aiheutuvaa säröä kasvattaa syitä vastaan kohtisuora vetojännitys, leikkausjännitys tai näiden yhdistelmä riippuen tilanteesta. Puun kuivuminen saattaa myös lisätä huomattavasti paikallisia, korkeita jännityksiä ja synnyttää jopa särön loveukseen tai reikään jos loven tai reiän syyt katkaiseva pinta on suojaamatta (Puuinfo. 2015. Liimapuukäsikirja. Osa 3). Yleisesti lovia ja reikiä kannattaa välttää varsinkin silloin, mikäli ilmasto ja suhteellinen kosteus vaihtelevat paljon.

Joskus lovia ja reikiä on kuitenkin pakko tehdä, silloin rakennetta voidaan vahvistaa ruuveilla, pulteilla, liimatangoilla, liimatuilla tai naulatuilla teräslevyillä tai vanerilevyvahvistuksilla. Seuraavissa kappaleissa esitetyt ohjeet lovien ja reikiä vahvistamiseen

ruuveilla pätevät vain liimapuurakenteissa. Mikäli sahatavaraan tehdään suuri reikä, sen vahvistamisessa on käytettävä eri menetelmiä.

5.1 Lovien vahvistukset

Lovettujen rakenneosien puuruuveilla tehtävissä vahvistuksissa yksinkertaisena perusperiaatteena on tarkistaa, että syitä vastaan kohtisuoran vetovoiman suunnitteluarvo loveuksen ”reunalla” $F_{t,90,d}$ ei ylitä vahvistukseen käytettyjen/käytetyn ruuvin tai liimatangon aksiaalista yhteislujuutta.



Kuva 11 Lovettujen rakenneosien puuruuvivahvistus. (Puuinfo.2015.Liimapuukäsikirja. Osa 3)

5.1.1 Syitä vastaan kohtisuoran vetovoiman suunnitteluarvo

Syitä vastaan kohtisuoran vetovoiman suunnitteluarvo lasketaan kaavalla

$$F_{t,90,d} = 1,3 \cdot V_d \cdot (3 \cdot (1 - \alpha)^2 - 2 \cdot (1 - \alpha)^3) \quad (36)$$

missä

V_d	Leikkausvoiman suunnitteluarvo
α	h_{ef}/h

5.1.2 Vahvistuksen ruuvaus

Vahvistus toteutetaan puurakennerruuveilla tai liimatangoilla. Ruuvien tartuntapituutena käytetään arvoa l_{ad} joka on ehjän rakenteen ja lovetun rakenneosan puuosien korkeuksien erotus.

$$l_{ad} = h - h_{ef} \quad (37)$$

missä

h	Ehjän rakenteen korkeus
h_{ef}	Lovetun rakenneosan korkeus

Vahvistamiseen käytetyn ruuvien aksiaalisenä lujuutena laskennassa käytetään ruuvien vetolujuutta tai ulosvetolujuutta riippuen siitä, kumpi arvo näistä on pienempi. Rakenteen vahvistuksen täytyy täyttää seuraava ehto toimiakseen

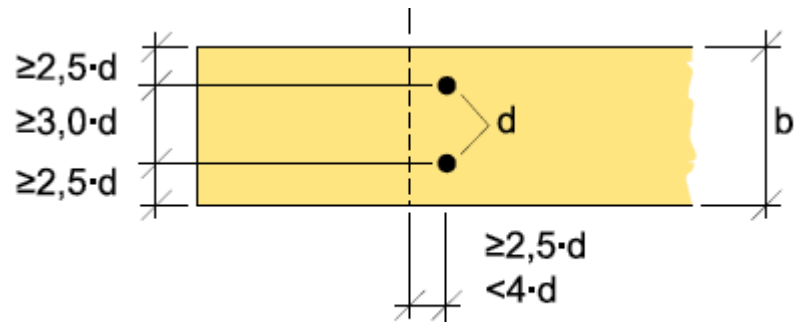
$$F_{t,90,d} \leq n_r \cdot R_{t,d} \quad (38)$$

missä

$F_{t,90,d}$	Syitä vastaan kohtisuoran vetovoiman suunnitteluarvo
n_r	Vahvistavien ruuvien lukumäärä
$R_{t,d}$	Vahvistukseen käytetyn ruuvien aksiaalinen lujuus

5.1.3 Vahvistuksien sijoitus

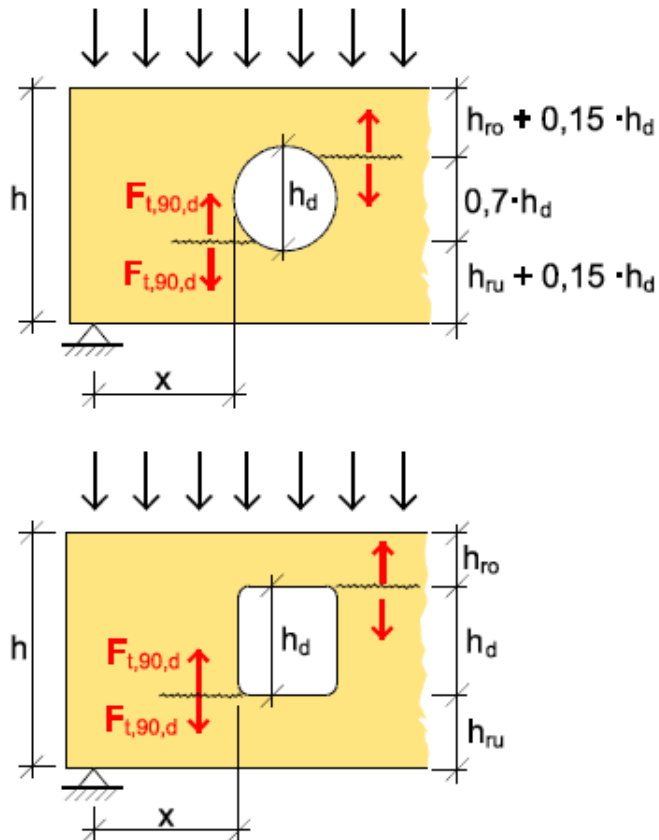
Ruuvivahvistuksien sijoituksessa tulee ottaa huomioon kuvan (12) mukaiset minimietäisyyksivaatimukset. Tässä d on ruuvin sileän osan halkaisija ($d \leq 20\text{mm}$).



KUVA 12 Ruuvivahvistuksen sijoitus. (Puuinfo. 2015.Liimapuukäsikirja. Osa 3)

5.2 Reikien vahvistukset

Reiällisten palkkien vahvistuksessa on sama periaate kuin lovienvahvistuksessa. Reiän reunassa vaikuttava vetovoiman suunnittelu-arvo ei saa ylittää vahvistukseen käytettyjen/käytetyn ruuvien tai liimatangon aksiaalista yhteislujuutta.



KUVA 13 Reiällisen palkin puuruuvivahvistus. (Puuinfo. 2015.Liimapuukäsikirja. Osa 3)

5.2.1 Reiän reunassa vaikuttavan vetovoiman suunnittelu-arvo

Reiällisen palkin reiän reunassa vaikuttava vetovoiman suunnittelu-arvo $F_{t,90,d}$ lasketaan kaavalla

$$F_{t,90,d} = F_{t,90,V,d} + F_{t,90,M,d} \quad (39)$$

missä

$$F_{t,90,V,d} = \frac{V_d \cdot h_d}{4 \cdot h} \cdot \left[3 - \frac{h_d^2}{h^2} \right] \quad (40)$$

$$F_{t,90,M,d} = 0,008 \cdot \frac{M_d}{h_r} \quad (41)$$

missä

V_d	Leikkausvoiman suunnitteluarvo reiän reunassa (etäisyydellä x tuelta)
h_d	Reiän halkaisija
h	Palkin korkeus
M_d	Taivutusmomentin suunnitteluarvo reiän reunassa (etäisyydellä x tuelta)
h_r	min ($h_{ro}+0,15h_d$; $h_{ru}+0,15h_d$) pyöreille rei'ille min (h_{ro} ; h_{ru}) suorakaiteen muotoisille rei'ille

Laskennassa on tarkistettava myös seuraavan ehdon toteutuminen

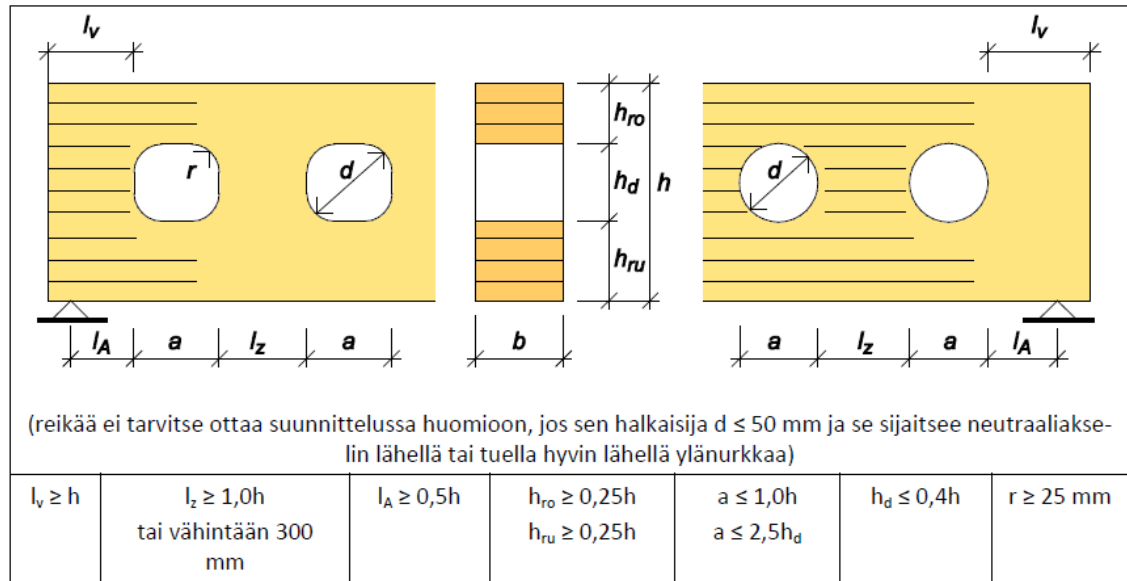
$$\delta_{t,90,d} = \frac{F_{t,90,d}}{0,5 \cdot l_{t,90} \cdot b} \leq k_{t,90} \cdot f_{t,90,d} \quad (42)$$

missä

$F_{t,90,d}$	Reiän reunassa vaikuttavan vetovoiman suunnitteluarvo
$l_{t,90,d}$	0,35 h_d + 0,5 h pyöreille rei'ille 0,5(h_d + h) suorakaiteen muotoisille rei'ille
$k_{t,90,d}$	min (1 ; (450/ h) ^{0,5}), missä h on palkin korkeus

5.2.2 Geometriset vaatimukset palkille

Ruuvivahvistetuille reiällisille palkeille on asetettu geometrisia vaatimuksia (DIN EN 1995-1-1/NA). Oheisessa Liimapuukäsikirjan taulukossa on taulukoituna raja-arvoja. Poikkeuksena on, että DIN EN 1995-1-1/NA-standardissa reiän enimmäiskorkeudeksi on ehdotettu $h_d \leq 0,15h$ kun taas liimapuukäsikirjan ohjeen mukaan tämä arvo on $h_d \leq 0,4h$ ja $r \geq 15\text{mm}$ kun se liimapuukäsikirjassa on $r \geq 25\text{mm}$. (Puuinfo. 2015.Liimapuukäsikirja. Osa 3.)



KUVA 14 Geometriset vaatimukset palkille. (Puuinfo. 2015.Liimapuukäsikirja. Osa 3)

5.2.3 Vahvistuksen ruuvaus

Vahvistus toteutetaan puurakennerruuveilla tai liimatangoilla. Ruuvien tartuntapituutena käytetään arvoa l_{ad} joka valitaan reiän muodon mukaan

$$l_{ad} = h_{ro} \text{ tai } h_{ru} \quad \text{Pyöreille rei'ille} \quad (43)$$

$$l_{ad} = \min\{h_{ro} + 0,15 ; h_{ru} + 0,15 \cdot h_d\} \quad \text{Suorakaiteen muotoisille rei'ille} \quad (44)$$

Vahvistamiseen käytetyn ruuvien aksiaalisenä lujuutena laskennassa käytetään ruuvien vetolujuutta tai ulosvetolujuutta riippuen siitä, kumpi arvo näistä on pienempi. Rakenteen vahvistuksen täytyy täyttää seuraava ehto toimiakseen

$$F_{t,90,d} \leq n_r \cdot R_{t,d} \quad (45)$$

missä

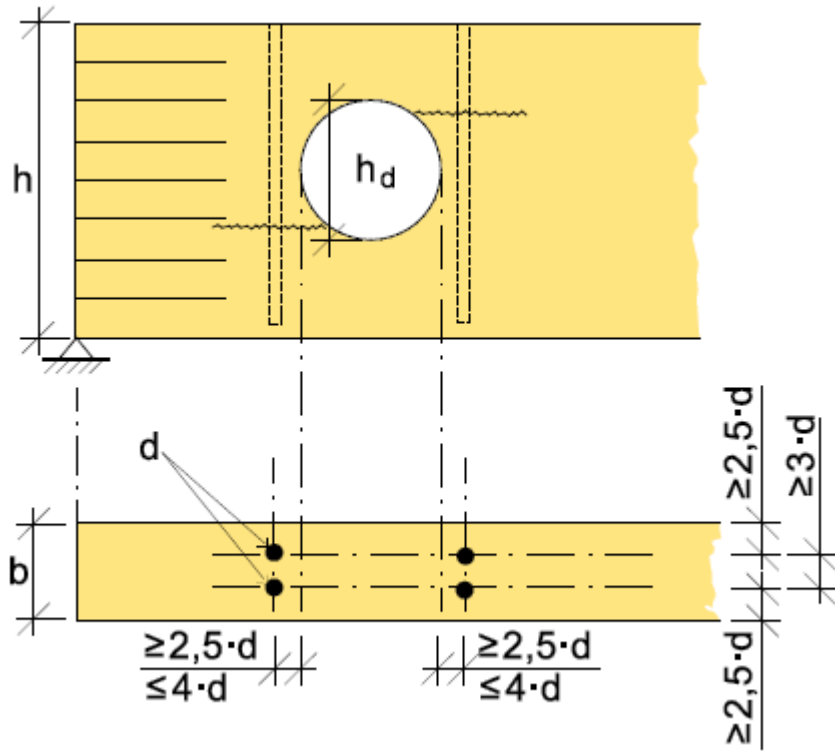
$F_{t,90,d}$ Syitä vastaan kohtisuoran vetovoiman suunnitteluarvo

n_r Vahvistavien ruuvien lukumäärä reiän toisella puolella

$R_{t,d}$ Vahvistukseen käytetyn ruuvien aksiaalinen lujuus

5.2.4 Vahvistuksien sijoitus

Ruuvivahvistuksien sijoituksessa tulee ottaa huomioon kuvan (15) mukaiset minimietäisyysvaatimukset (DIN-EN 1995-1-1/NA). Kunkin terästangon vähimmäispituus tulee olla $2l_{ad}$ ja kierteellisen osan ulkohalkaisija $d \leq 20\text{mm}$.



KUVA 15 Vahvistavien ruuvien sijoitus. (Puuinfo. 2015.Liimapuukäsikirja. Osa 3)

6 POHDINTA

Puurakentamisen liitosmaailma on laaja ja haasteellinen aihe. Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin eri ruuviliitostyyppisiä ja niiden mitoitus. Perustapauksista tehtiin laskuesimerkit havainnollistamaan ja konkretisoimaan aiheeseen liittyviä ohjeita ja kaavoja. Opinnäytetyön teon aikana ilmeni tarve ruuvien lähtötietotaulukosta, missä olisi ilmoitettu eri ruuvivalmistajien antamat omien tuotteidensa lähtötiedot, kuten reunaetäisyydet ja ulosvetolujuudet. Tätä taulukkoa ei tämän opinnäytetyön puitteissa pystytty toteuttamaan työn laajuuden vuoksi, mutta se päätettiin tehdä jatkotutkimuksena yrityksen sisäisesti.

Haastavaa opinnäytetyössä oli rajata käsiteltävät aihealueet ja kirjoittaa yhtenäinen kokonaisuus. Esimerkiksi pelkästään ruuvien reunaetäisyyksistä liitoksissa on olemassa todella paljon erilaisia taulukoita ja laskentamalleja. Lisäksi jokaisella ruuvivalmistajalla on omille ruuveilleen spesifioidut reunaetäisyydet, riippuen ruuvityypistä ja käyttötarkoituksesta. On hankalaa ohjeistaa, miten valita tiettyyn liitokseen oikeanlainen ruuvi, koska liitostyyppisiä on todella monia ja ruuvivalmistajilla on hyvin paljon eri tuotevaihtoehtoja.

LÄHTEET

Kangas, J. 1982. Puurakenteet 3. Liitokset. Jyväskylä: Puuinformaatio Oy ja Rakentajain kustannus Oy.

Kevarinmäki, A. 2005. Puurakenteiden uusia liitostekniikoita. Rakenteiden mekaniikka No.2. Tulostettu: 18.2.2015.
http://rmseura.tkk.fi/rmlehti/2005/nro2/RakMek_38_2_2005_1.pdf

MetsäWood. 2012. Kerto-käsikirja. Ruuviliitosten mitoitus. Tulostettu 10.2.2015.
<http://www.metsawood.com/global/Tools/MaterialArchive/MaterialArchive/Kerto-kasikirja-Ruuviliitokset.pdf>

Puuinfo. 2013. Tekninen tiedote. Puurakenteiden palomitoitus. Tulostettu 19.3.2015

Puuinfo. 2014. Liimapuukäsikirja. Osa 1. Luettu 25.3.2015.
http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Liimapuu_low.pdf.

Puuinfo. 2015. Liimapuukäsikirja. Osa 3. Luettu 25.3.2015.
<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Liimapuuk%C3%A4sikirja%20Osa%203.pdf>.

Rothoblaas Oy. Tietoa yrityksestä. Verkkosivut. Luettu 23.2.2015.
www.rothoblaas.com

SFS-EN 1995-1-1 Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Vahvistettu 30.10.2008. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 1995-1-2 Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Puurakenteiden palomitoitus. Vahvistettu 21.12.2004. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS Intec Oy. Tietoa yrityksestä. Verkkosivut. Luettu 23.2.2015.
www.sfsintec.biz

Spax Oy. Tietoa yrityksestä. Verkkosivut. Luettu 23.2.2015.
www.spax.com

Spax Oy. 2015. Yleisruuvikoulutus. Reima Palmu, Spax Oy. Tampereen ammattikorkeakoulu. Aineisto tulostettu 19.3.2015.

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

Würth Oy. Tietoa yrityksestä. Verkkosivut. Luettu 23.2.2015.
www.wurth.fi

LIITTEET

Liite 1. Kansiruuvin leikkauskestävyyden ominaisarvo yhtä leikettä kohden 1(3)

Kansiruuvin leikkauskestävyyden ominaisarvo yhtä leikettäkohden

Lähtöarvot

Ruuvin halkaisija	$d = 12\text{mm}$
Ruuvin sisähalkaisija	$d_i = 8,5\text{mm}$
Ruuvin pituus	$L = 90\text{mm}$
Ruuvin kierteisen osan pituus	$L_{ef} = 54\text{mm}$
Kannan puoleisen puuosan paksuus	$t_1 = 8\text{mm}$
Kärjen puoleisen puuosan paksuus	$t_2 = 200\text{mm}$
Kannan puoleisen puuosan tiheys	$\rho_1 = 350 \text{ kg/m}^3$
Kärjen puoleisen puuosan tiheys	$\rho_2 = 350 \text{ kg/m}^3$
Kuorman keston ja kosteusvaikutuksen muunnoskerroin	$k_{mod} = 1,1$
Varmuuskerroin	$\gamma_M = 1,0$
Kansiruuvin vetomurtolujuus	$f_{u,k} = 800\text{MPa}$

Ruuvin myötömomentti

$$d_{ef} = \begin{cases} d_i \cdot 1,1 & \text{kun } 0,4 \cdot (L - t_1) \leq 4 \cdot d \\ d & \text{kun } 0,4 \cdot (L - t_1) > 4 \cdot d \end{cases}$$

$$\rightarrow d_{ef} = d_i \cdot 1,1 = 8,5\text{mm} \cdot 1,1 = 9,35\text{mm}$$

$$M_y = 0,3 f_u d_{ef}^{2,6}$$

$$M_y = 0,3 \cdot 800\text{MPa} \cdot 9,35\text{mm}^{2,6} = 80227,16 \text{ Nmm}$$

(jatkuu)

Puun reunapuristuslujuus

2(3)

$$f_{h,1,k} = 0,082 \cdot \rho_1 \cdot (1 - 0,01 \cdot d_{ef}) = 0,082 \cdot 350 \text{kg/m}^3 \cdot (1 - 0,01 \cdot 9,35 \text{mm})$$

$$f_{h,1,k} = 26017 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,1,k} = f_{h,2,k}$$

$$t_u = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{t_1 f_{h,1,k}}{f_h} \\ \frac{t_2 f_{h,2,k}}{f_h} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{8 \text{mm} \cdot 26017 \text{N/mm}^2}{26017 \text{N/mm}^2} = 8 \text{mm} \\ \frac{200 \text{mm} \cdot 26017 \text{N/mm}^2}{26017 \text{N/mm}^2} = 200 \text{mm} \end{array} \right\}$$

$$\rightarrow t_u = 8 \text{mm}$$

Ruuvien leikkauskestävyys

$$R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 f_h t_u d_{ef} \sqrt{1 + \frac{3M_y}{f_h d_{ef} t_u^2}} \\ 2 \sqrt{M_y f_h d_{ef}} \end{array} \right\}$$

missä

f_h $\min(f_{h,1,k}; f_{h,2,k}; f_{h,s,k})$

$f_{h,1,k}$ ja $f_{h,2,k}$ liitoksen reunaosien reunapuristuslujuuksien ominaisarvoja

$$t_u \quad \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{t_1 f_{h,1,k}}{f_h} \\ \frac{t_2 f_{h,2,k}}{f_h} \end{array} \right\}$$

t_1 ja t_2 ruuvien tunkeumasyvyyksiä liitoksen reunapuuosissa

d_{ef} Ruuvien tehollinen halkaisija

$f_{h,s,k}$ kaksileikkeisen liitoksen keskiosan ominaisreunapuristuslujuus

M_y Ruuvien myötömomentti

(jatkuu)

3(3)

$$R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 \cdot 26017 \text{ N/mm}^2 \cdot 8 \text{ mm} \cdot 9,35 \text{ mm} \sqrt{1 + \frac{3 \cdot 80227,16 \text{ Nmm}}{26017 \text{ N/mm}^2 \cdot 9,35 \text{ mm} \cdot 8 \text{ mm}^2}} = 784422,6 \text{ N} \\ 2 \sqrt{80227,6 \text{ Nmm} \cdot 26017 \text{ N/mm}^2 \cdot 9,35 \text{ mm}} = 279399,76 \text{ N} \end{array} \right\}$$

$$\rightarrow R_k = 279399,76 \text{ N} = 279,4 \text{ kN}$$

Vetoruuviliitoksen leikkauskestävyys**Lähtöarvot**

Ruuvin halkaisija	$d = 6,5\text{mm}$
Ruuvin tehollinen halkaisija	$d_{\text{ef}} = 3,95\text{mm}$
Ruuvin pituus	$L = 400\text{mm}$
Kannan puoleisen puuosan paksuus	$t_1 = 80\text{mm}$
Kärjen puoleisen puuosan paksuus	$t_2 = 320\text{mm}$
CLT:n tiheys	$\rho_{k,clt} = 500 \text{ kg/m}^3$
Kuorman keston ja kosteusvaikutuksen muunnoskerroin	$k_{\text{mod}} = 0,8$
Varmuuskerroin	$\gamma_{M1} = 1,25$
Teräслиitososien varmuuskerroin	$\gamma_{M2} = 1,25$
Ruuvin kulma syysuuntaan nähden ruuvin kannan puol.puussa	$\alpha = 45^\circ$
Ruuvin kulma syysuuntaan nähden ruuvin kärjen puol.puussa	$\beta = 45^\circ$
Ruuvauskulma	$\gamma = 45^\circ$
Ruuvin vetolujuus	$f_{\text{ub}} = 900\text{N/mm}^2$
Kierreosan tunkeuma	$l_g = 65\text{mm}$

Ruuvin ulosvetolujuuden ominaisarvo (ruuvi kohtisuorassa syysuuntaa vastaan)

$$f_{ax,k} = 0,52 \cdot d^{-0,5} \cdot l_g^{-0,1} \cdot \rho_{k,clt}^{0,8}$$

$$f_{ax,k} = 0,52 \cdot 6,5\text{mm}^{-0,5} \cdot 65\text{mm}^{-0,1} \cdot \rho_{k,clt}^{0,8} = 19,383 \text{ N/mm}^2$$

Ruuvin ulosvetolujuus (ruuvin kulma syysuuntaan nähden)

$$f_{ax,\alpha,k,1} = \frac{f_{ax,k}}{\sin(\alpha)^2 + 1,5 \cdot \cos(\alpha)^2} = \frac{19,383 \text{ N/mm}^2}{\sin(45)^2 + 1,5 \cdot \cos(45)^2} = 15,507 \text{ N/mm}^2$$

(jatkuu)

2(3)

$$f_{ax,\alpha,k,2} = \frac{f_{ax,k}}{\sin(\beta)^2 + 1,5 \cdot \cos(\alpha)^2} = \frac{19,383 \text{ N/mm}^2}{\sin(45)^2 + 1,5 \cdot \cos(45)^2} = 15,507 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{a,d,1} = k_{mod} \cdot \frac{f_{ax,\alpha,k,1}}{\gamma_{M1}} = 0,8 \cdot \frac{15,507 \text{ N/mm}^2}{1,25} = 9,924 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{a,d,2} = k_{mod} \cdot \frac{f_{ax,\alpha,k,2}}{\gamma_{M1}} = 0,8 \cdot \frac{15,507 \text{ N/mm}^2}{1,25} = 9,924 \text{ N/mm}^2$$

Ruuvien poikkileikkaus

$$A_{SR} = \pi \cdot \left(\frac{d_{ef}}{2}\right)^2 = \pi \cdot \left(\frac{3,95 \text{ mm}}{2}\right)^2 = 12,254 \text{ mm}^2$$

Ruuvien vetokestävyys

$$F_{u,d} = \frac{A_{SR} \cdot f_{u,b}}{\gamma_{M2}} = \frac{12,254 \text{ mm}^2 \cdot 900 \text{ N/mm}^2}{1,1} = 10026,14 \text{ N} = 10,03 \text{ kN}$$

Ristiruuviliitoksen kestävyys

$$R_{C,d} = \min \begin{cases} f_{a,d,1} \cdot d \cdot l_g \\ f_{a,d,2} \cdot d \cdot l_g \\ 0,8 \cdot F_{u,d} \end{cases}$$

$$\rightarrow R_{C,d} = 4,193 \text{ kN}$$

(jatkuu)

3(3)

$$R_{T,d} = \min \begin{cases} f_{a,d,1} \cdot d \cdot l_g \\ f_{a,d,2} \cdot d \cdot l_g \\ 0,8 \cdot F_{u,d} \end{cases}$$

$$\rightarrow R_{T,d} = 4,193 \text{ kN}$$

$$R_d = n_p^{0,9} (R_{C,d} + R_{T,d}) \cdot \cos(\gamma) = 1^{0,9} (4,193 \text{ kN} + 4,193 \text{ kN}) \cdot \cos(45) = 5,93 \text{ kN}$$

Vedetyin vinoruuviliitoksen kestävyyden

$$\mu = 0,26$$

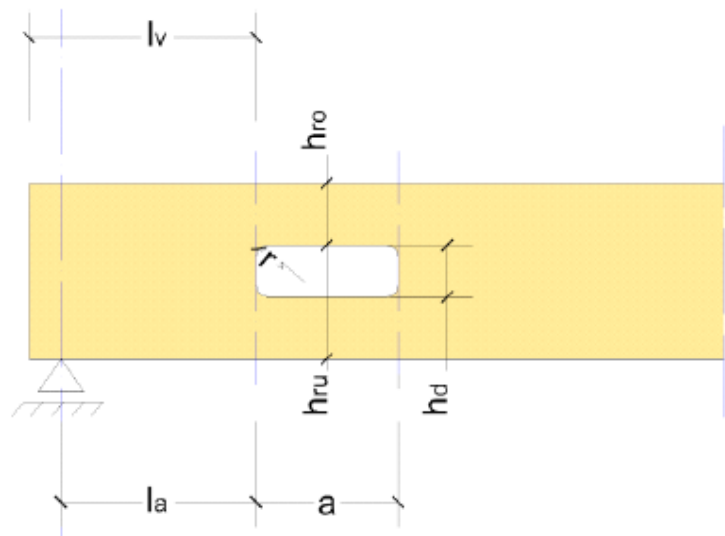
$$\begin{aligned} R_d &= n_p^{0,9} \cdot R_{T,d} \cdot (\cos(\gamma) + \sin(\gamma)) = 1^{0,9} \cdot 4,193 \text{ kN} \cdot (\cos(45) + 0,26 \cdot \sin(45)) \\ &= 3,74 \text{ kN} \end{aligned}$$

Palkin reiän vahvistus puuruuveilla**Lähtöarvot**

Palkin materiaali liimapuuta GL30c

Teräksisten vahvistustankojen luokka	4,8
Luotettavuusluokka 3	$K_{FI} = \gamma_d = 1,1$
Käyttöluokka 1	
Pysyvän kuorman osavarmuuskerroin	$\gamma_g = 1,15$
Muuttuvan kuorman osavarmuuskerroin	$\gamma_q = 1,5$
Liimapuun osavarmuuskerroin	$\gamma_M = 1,2$
Teräksen osavarmuuskerroin	$\gamma_{M2} = 1,25$
Palkin omapaino	$g_{k,1} = 0,3 \text{ kN/m}$
Muu omapaino	$g_{k,2} = 2,0 \text{ kN/m}$
Hyötykuorma	$q_k = 5 \text{ kN/m}$ (palkkien keskinäinen etäisyys 2,0m)
Palkin pituus	6,0m
Palkin korkeus	0,495m
Palkin leveys	0,090m

l_v	600mm
l_a	500mm
a	350mm
h_{ro}	170mm
h_{ru}	170mm
h_d	155mm
r	30mm



(jatkuu)

Kuormitus

2(5)

Lasketaan kuormitusyhdistelmällä: keskipitkä, symmetrinen kuorma, $k_{\text{mod}} = 0,8$

$$q_d = \gamma_d [\gamma_g \cdot (g_{k,1} + g_{k,2}) + \gamma_q \cdot q_k]$$

$$q_d = 1,1 [1,5 \cdot (0,3 \text{ kN/m} + 2,0 \text{ kN/m}) + 1,5 \cdot 5 \text{ kN/m}] = 11,16 \text{ kN/m}$$

Geometrian tarkistus

Tarkistetaan, että palkin reikä ja sen sijoitus on kuvan (KUVA 10) mukaisten geometri-
an raja-arvojen rajoissa.

l_v	600mm	>	$h = 495\text{mm}$	OK!
l_a	500mm	>	$h/2 = 247,5\text{mm}$	OK!
a	350mm	<	$2,5h_d = 387,5\text{mm}$	OK!
h_{ro}	170mm	>	$0,25h = 123,8\text{mm}$	OK!
h_{ru}	170mm	>	$0,25h = 123,8\text{mm}$	OK!
h_d	155mm	<	$0,4h = 198\text{mm}$	OK!
r	30mm	>	$r_{\text{min}} = 25\text{mm}$	OK!
		<	$h = 495\text{mm}$	OK!

Sisäiset voimat reiän reunassa**Leikkaus**

$$V_d = q_d \cdot \left(\frac{L_{\text{palkki}}}{2} - l_a \right) = 11,16 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot \left(\frac{6,0\text{m}}{2} - 0,5\text{m} \right) = 27,9 \text{ kN}$$

Momentti

$$\begin{aligned} M_d &= q_d \cdot \frac{L_{\text{palkki}}}{2} \cdot l_a - q_d \cdot \frac{l_a^2}{2} = 11,16 \text{ kN/m} \cdot \frac{6,0\text{m}}{2} \cdot 0,5\text{m} - 11,16 \text{ kN/m} \cdot \frac{0,5\text{m}^2}{2} \\ &= 15,95 \text{ kNm} \end{aligned}$$

(jatkuu)

3(5)

Vetojäännitys kohtisuoraan syitä vastaan reiän reunassa

$$h_r = \min(h_{ro}; h_{ru}) = 170\text{mm}$$

$$F_{t,90,V,d} = \frac{V_d \cdot h_d}{4 \cdot h} \cdot \left[3 - \frac{h_d^2}{h^2} \right] = \frac{27,9 \text{ kN} \cdot 0,155\text{m}}{4 \cdot 0,495\text{m}} \cdot \left[3 - \frac{0,155\text{m}^2}{0,495\text{m}^2} \right] = 6,338 \text{ kN}$$

$$F_{t,90,M,d} = 0,008 \cdot \frac{15,95\text{kNm}}{0,170\text{m}} = 0,75 \text{ kN}$$

$$F_{t,90,d} = F_{t,90,V,d} + F_{t,90,M,d}$$

$$F_{t,90,d} = 6,338 \text{ kN} + 0,75 \text{ kN} = 7,09 \text{ kN}$$

Vetojäännitysten syitä vastaan kohtisuoraan pitää täyttää ehto:

$$\frac{F_{t,90,d}}{F_{t,90,R}} \leq 1$$

missä

$$F_{t,90,R} = 0,5 \cdot l_{t,90,d} \cdot f_{t,90,d} \cdot b$$

$$l_{t,90,d} = 0,5 \cdot (h_d + h) = 0,5 \cdot (155\text{mm} + 495\text{mm}) = 325\text{mm}$$

$$F_{t,90,R} = 0,5 \cdot 325\text{mm} \cdot 0,3 \cdot 90\text{mm} = 4387,5 \text{ N}$$

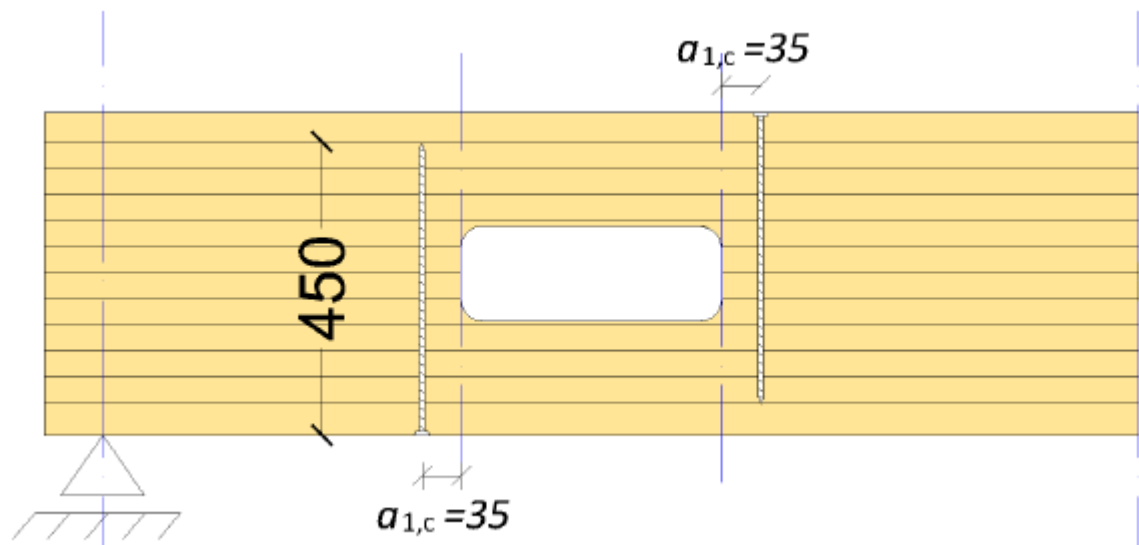
Nyt mitoitusehto:

$$\frac{7,09 \text{ kN}}{4,4 \text{ kN}} = 1,6 \dots > 1$$

➔ Ehto ei täyty joten rakennetta pitää vahvistaa puuruuveilla! (jatkuu)

Täyskierteellisin ruuvein tehty vahvistus

Käytetään täyskierteisiä ruuveja 9 x 480mm. Sijoitetaan ruuvit niin, että molemmille puolille reikää tulee yksi ruuvi. (kuva x)



f_u	1000MPa
d	9mm
d_m	5,9mm
l_{ef}	$h_{ru} = 170mm$

Ruuvien ulosvetokestävyys (akseli kohtisuoraan syitä vastaan)

$$f_{ax,k,s} = 0,52 \cdot d^{-0,5} l_{ef}^{-0,1} \rho_k^{0,8} = 0,52 \cdot 9mm^{-0,5} 170mm^{-0,1} 1,390^{0,8} = 12,3 MPa$$

$$k_d = \min\left(1,0; \frac{d}{8}\right) = 1,0$$

$$F_{ax,k,rk} = \frac{f_{ax,k,s} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot k_d}{1,2 \cos(\alpha)^2 + \sin(\alpha)^2} = \frac{12,3 MPa \cdot 9mm \cdot 170mm \cdot 1,0}{1,2 \cos(90)^2 + \sin(90)^2} = 18819,0 N$$

(jatkuu)

Ruuvien vetolujuus

$$F_{t,s,k} = 0,9 \cdot f_u \cdot \pi \cdot \frac{d_m^2}{4} = 0,9 \cdot 1000 \text{MPa} \cdot \pi \cdot \frac{5,9 \text{mm}^2}{4} = 24605,7 \text{ N}$$

Yhden ruuvin kestävyys aksiaalista voimaa vastaan

$$F_{t,d} = \min \left(\frac{F_{ax,k,rk} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} ; \frac{F_{t,s,k}}{\gamma_{M2}} \right) = \min \left(\frac{18819,0 \text{ N} \cdot 0,8}{1,2} ; \frac{24605,7 \text{ N}}{1,25} \right) = 12546 \text{ N}$$

Nyt vetojännitysten kohtisuoraan syitä vastaan tulee täyttää edelleen ehto:

$$\frac{F_{t,90,d}}{F_{t,d}} = \frac{7,09 \text{ kN}}{12,55 \text{ kN}} = 0,56 < 1$$

→ Nyt OK!

