



Rainer Yli-Koski & Ari Kevarinmäki

## Ruostumattomien terästen mitoituspäätökset puurakenteiden liitoksissa



# **Ruostumattomien terästen mitoitusperusteet puurakenteiden liitoksissa**

Rainer Yli-Koski & Ari Kevarinmäki  
VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

ISBN 951-38-6528-2 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)  
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)

Copyright © VTT 2005

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT  
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT  
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland  
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 4374

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Betonimiehenkuja 3, PL 1801, 02044 VTT  
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 7006

VTT Bygg och transport, Betongblandargränden 3, PB 1801, 02044 VTT  
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 7006

VTT Building and Transport, Betonimiehenkuja 3, P.O.Box 1801, FIN-02044 VTT, Finland  
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7006

Toimitus Maini Manninen

Espoo 2005

Yli-Koski, Rainer & Kevarinmäki, Ari. Ruostumattomien terästen mitoitusperusteet puurakenteiden liitoksissa [Design of stainless steel fasteners in timber structures]. Espoo 2005. VTT Tiedotteita – Research Notes 2279. 102 s. + liitt. 26 s.

**Avainsanat** timber structures, connections, stainless steels, fasteners, corrosion, glued-in rods, yield moment, withdrawal strength, anchorage strength, dimensioning

## Tiivistelmä

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää ruostumattomien terästen mitoitusperusteita puurakenteiden liitoksissa ottaen huomioon rst-materiaalien hyvät lujuus- ja sitkeysominaisuudet. Tässä osatutkimuksessa rajoituttiin normaalilämpötilan mitoitukseen, ja testatut liitokset olivat teräs-puuliitoksia, joissa käytetään puikkoliittimiä. Lisäksi tehtiin puuhun liimattujen tankojen tartuntalujuuskokeita.

Tutkimuksia ruostumattomien terästen käytöstä puurakenteissa löytyi vähän. Austeniittisiä ruostumattomia teräksiä voidaan hitsata ja työstää hyvin. Materiaalin valinnassa tulee huomioida rakenteen käyttöolosuhteet, jotta saadaan kokonaisuuden kannalta taloudellinen ratkaisu. Yleisimmin on saatavilla teräslaaduista EN 1.4301 (A2) ja EN 1.4401 (A4) valmistettuja liittimiä ja liitososia.

Kokeellisessa osassa selvitettiin standardien mukaiset myötömomentin ja ulosvetolujuuden arvot, joita tarvitaan liitosten Eurocode 5:n (EN1995-1-1:2004) mukaisessa mitoituksessa, eräille ruostumattomista teräksistä valmistetuille liittimille. Lisäksi vetoliitostokokeilla varmistettiin laskennallisten leikkauskapasiteettien vastaavuudet koetulosten kanssa. Tulosten perusteella voidaan todeta, että austeniittisistä ruostumattomista teräksistä valmistetuille liittimille voidaan käyttää Eurocode 5:ssä esitettyjä puurakenteiden liitosten leikkauskapasiteetin laskentakaavoja.

Myötömomenttia laskettaessa voidaan täysimääräisesti hyödyntää rst-materiaalin korkea vetomurtolujuus. Kampanaulojen ja ruuvien valmistusprosessi lujittaa terästä ja näin ollen myötömomentin laskennallinen määrittäminen ilman kunkin liitintyyppin testausta on konservatiivista.

Ulosvetokokeissa ei ruostumattomien ja vastaavien hiiliteräksisten kampanaulojen osalta ollut merkittäviä eroja. Ruuveilla ulosvetokoetulokset poikkesivat merkittävästi EN1995-1-1:2004 mukaan lasketuista arvoista. Kirjallisuudesta löytyi koetulosten kanssa saman suuruusluokan ulosvetolujuuksien arvoja.

Ulkopuolisten rst-levyllisten liitosten vetokokeiden tulokset vastasivat hyvin laskennallisia tuloksia, kun laskennassa oli huomioitu liittimien myötömomentti- ja ulosvetokokeiden tulokset. Ankkurinauloilla ja ankkuriruuveilla koetulokset vastasivat paksun levyn kaavoilla laskettuja kapasiteetteja, vaikka levyn paksuuden ja liittimen halkaisijan suhde oli 0,5.

Ruostumattomasta teräksestä valmistetuilla harjaterästangoilla saavutetaan samoja tartuntalujuuksia kuin vastaavalla seostamattomalla tangolla. Käytettäessä pidempiä tartuntapituuksia voidaan ruostumattomien tankojen korkea vetomurtolujuus hyödyntää.

Yli-Koski, Rainer & Kevarinmäki, Ari. Ruostumattomien terästen mitoitusperusteet puurakenteiden liitoksissa [Design of stainless steel fasteners in timber structures]. Espoo 2005. VTT Tiedotteita – Research Notes 2279. 102 p. + app. 26 p.

**Keywords** timber structures, connections, stainless steels, fasteners, corrosion, glued-in rods, yield moment, withdrawal strength, anchorage strength, dimensioning

## Abstract

The purpose of the study was to learn more about the use of stainless steels for connections in timber structures. The study was limited to normal temperature design. Experimental studies were done with steel-to-timber dowel-type connections. Literature study presents basic information about stainless steels and stainless steel fasteners. The weldability and fabrication of austenitic stainless steels is quite good. The types of corrosion that can affect stainless steel building components are most commonly: pitting corrosion, crevice corrosion, galvanic corrosion or stress corrosion cracking. The durability of stainless steels depends on the environment and steel grades. For the economically good result, environment of the structure has to be considered when making a choice between different stainless steel grades. In the literature few studies of the use of stainless steels in timber structures were found. In the market the most common grades in stainless steel fasteners are EN1.4301 (A2) and EN1.4401 (A4).

Fasteners yield moment, withdrawal strength, lateral load carrying capacity of steel-to-timber tensile connections and anchorage strength of glued-in rods were determined in experimental part of this study. Test methods were according to each standard.

Based on the test results of this study, the dowel-type fasteners, produced from austenitic stainless steel, can be designed by Eurocode 5. For nails and screws it is economical to use real tensile strength of fastener, when calculated yield moment. Manufacturing process of screws and threaded nails strengthens the steel of the fastener, so calculated yield moment value for each type of fastener is indeterminate, without testing each type of fastener. Withdrawal strength of annularly threaded nails, produced from stainless steel or non-alloy steel, was almost equivalent in value. Withdrawal strength for screws calculated by EN 1995-1-1 was about double compared to test results. In the literature it was found value of a same order as in tests with non-alloy screws.

The steel to timber tensile test results of shank nails and screws corresponded to the equation value of thick steel plate in single shear, even when ratio of the steel plate thickness to the fastener was 0.5.

The anchorage strength of glued-in rods made of stainless steel reinforcing bars is the same as with the non-alloy steel rods. The results of tensile tested connections corresponded well with the calculated values, when the tested values of yield moment and withdrawal strength were used.

# Alkusanat

Tämä julkaisu on VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan vetämän Tekes-tutkimushankkeen ”Ruostumattomalla teräksellä palonkestäviä puurakenteiden liitoksia” osaraportti. Raportti käsittelee ruostumattomia teräksiä ja niiden käyttöä puurakenteiden liitoksissa normaalilämpötilassa. Hanketta ovat rahoittaneet johtoryhmässä esiintyvät yritykset.

Raportti pohjautuu Rainer Yli-Kosken (2004) ko. projektin puitteissa tekemään diplomityöhön sekä luvun 3.7 osalta Ari Kevarinmäen tekemään tutkimukseen.

Opinnäytetyö tehtiin Teknillisen korkeakoulun ja VTT:n Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan yhteistyönä. Työn valvojana toimi professori Pekka Kanerva ja ohjaajana Ari Kevarinmäki VTT:ltä. Kaikki kokeet tehtiin VTT:llä.

Tutkimuksen johtoryhmään ovat julkaisuhetkellä kuuluneet

Raimo Viherma, puheenjohtaja	Outokumpu Stainless Oy
Ilmari Absetz	Tekes
Jouni Hakkarainen	Finnforest Oyj
Tomi Koskenniemi	Vierumäen Teollisuus Oy
Pekka Nurro	Wood Focus Oy
Kari Viljakainen	Anstar Oy
Pekka Kanerva	TKK
Reijo Talja	MiTek Finland Oy
Veijo Lehtonen	Late-Rakenteet Oy
Pekka Yrjölä	Stalatable Oy
Matti Kokkala	VTT

Kiitämme kaikkia niitä tahoja, jotka ovat osallistuneet tämän tutkimuksen käynnistämiseen ja työn ohjaamiseen.

Espoo, joulukuu 2004

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	4
Alkusanat.....	5
Symboliluettelo.....	8
1. Johdanto.....	11
2. Kirjallisuusselvitys.....	12
2.1 Ruostumattomat teräkset.....	12
2.2 Sovellettavat standardit.....	15
2.2.1 Ruostumattomien terästen nimikkeet ja merkinnät.....	16
2.3 Mekaaniset ominaisuudet.....	19
2.3.1 Liittimet.....	21
2.4 Fysikaaliset ominaisuudet.....	21
2.5 Palo- ja korkeat lämpötilat.....	22
2.6 Säilyvyys.....	24
2.6.1 Korroosiolajit.....	25
2.7 Hitsaus.....	29
2.8 Työstö.....	33
2.9 Materiaalin valinta.....	35
2.9.1 Erilaisia käyttöympäristöjä.....	37
2.10 Ruostumattomat liittimet puurakenteiden liitoksissa.....	39
2.11 Puurakenteissa käytetyt metalliset liittimet ja liitososat.....	40
2.12 Ruostumattomilla liittimillä tehtyjä kokeita.....	42
2.13 Markkinoilla olevat rst-liittimet.....	43
2.13.1 Naulat ja ruuvit.....	43
2.13.2 Pultit.....	45
2.13.3 Levytuotteet ja tangot.....	46
3. Teoreettinen ja kokeellinen tarkastelu.....	47
3.1 Johdanto.....	47
3.2 Teräs-puuliitos.....	47
3.2.1 Puikkoliitoksen leikkauskapasiteetti.....	48
3.2.2 Teräsosien mitoitus.....	52
3.3 Myötömomentin kokeellinen määrittäminen.....	59
3.3.1 Lähtökohta ja kokeen suoritus.....	59



3.3.2	Testattavat liittimet.....	61
3.3.3	Koetulokset .....	63
3.3.4	Tulosten tarkastelu .....	67
3.3.5	Yhteenveto .....	73
3.4	Liittimien ulosvetokokeet.....	74
3.4.1	Lähtökohta ja kokeen suoritus .....	74
3.4.2	Testattavat liittimet ja puutavara.....	75
3.4.3	Tulokset.....	77
3.4.4	Tulosten tarkastelu .....	80
3.4.5	Yhteenveto.....	82
3.5	Vetoliitoskokeet.....	82
3.5.1	Lähtökohta ja kokeen suoritus .....	82
3.5.2	Testattavat liittimet ja puutavara.....	84
3.5.3	Tulokset.....	87
3.5.4	Tulosten tarkastelu .....	87
3.6	Vetoliitoksen optimointi.....	90
3.7	Liimattujen rst-harjatankojen tartuntalujuus .....	92
4.	Yhteenveto.....	95
	Lähdeluettelo .....	97

## Liitteet

- Liite A: Ruostumattomien terästen materiaalitietoja
- Liite B: Myötömomenttikokeen voima-kulma kuvaajia
- Liite C: Ulosvetokokeiden tulokset
- Liite D: Vetoliitoskoe
- Liite E: Liimattujen tankojen tartuntalujuus

# Symboliluettelo

## Puurakenteiden mitoitukseen liittyvät symbolit

$F_{ax,Rk}$	liittimen ulosvetolujuuden ominaisarvo
$F_{k,koe}$	koetuloksista laskettu ominaiskapasiteetti
$F_{max}$	maksimi voima
$F_{v,m}$	keskiarvoilla laskettu liitoksen leikkauskapasiteetti
$F_{v,Rd}$	liittimen laskentaleikkauskapasiteetti leikkausta ja liitintä kohti
$F_{v,Rk}$	liittimen ominaisleikkauskapasiteetti leikkausta ja liitintä kohti
$M_{y,k}$	liittimen myötömomentin ominaisarvo
$M_{y,lask}$	liittimen laskennallinen myötömomenti
$M_{y,m}$	liittimen myötömomentin keskiarvo
$M_{y,Rk}$	liittimen myötömomentin ominaisarvo Euronormi 5:ssä
$R_{l,d}$	lohkeamismurtokapasiteetin mitoitusarvo
$W_p$	täysplastinen taivutusvastus
$a_1$	peräkkäisten liitinten välinen etäisyys puun syiden suunnassa
$a_2$	liitinten välinen etäisyys puun syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa
$a_3$	liittimen päätyetäisyys (kuormitettu tai kuormittamaton pääty)
$a_4$	liitinten reunaetäisyys (kuormitettu tai kuormittamaton reuna)
$d$	halkaisija; sivumitta
$d_{eff}$	tehollinen halkaisija
$f_{ax}$	ulosvetolujuuden parametrin arvo

$f_{c,90,k}$	puun puristuslujuuden ominaisarvo syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa
$f_{h,k}$	puun reunapuristuslujuuden ominaisarvo
$f_{t,0,d}$	puun vetolujuuden mitoitusarvo syiden suunnassa
$f_u$	vetomurtolujuus
$f_{y,m}$	laskennallinen myötöjännitys
$l$	pituusmitta
$l_{ef}$	tehollinen pituus, ruuvien kierreosan tunkeuma miinus ruuvien halkaisija
$n_{ef}$	tehollisesti toimivien liittimien lukumäärä syynsuunnassa
$n_i$	syiden suuntaiseen riviin $i$ sijoitettujen tappivaarujen tai pulttien lukumäärä
$t$	paksuus tai liittimen tunkeuma
$t_{pen}$	liittimen tunkeuma tai kierreosan tunkeuma kärjenpuoleisessa puussa
$\alpha$	puun syyn suuntakulma
$\delta_{max}$	murtokuormaa vastaava siirtymä
$\rho$	puun tiheys
$v$	variassi
$\omega$	puun kosteus

### **Teräsosiin liittyvät merkinnät**

$A_g$	poikkileikkauksen bruttopinta-ala
$A_{net}$	tehollisen poikkileikkauksen nettopinta-ala
$E$	kimmokerroin
$F_{b,Rd}$	reunapuristuskestävyyden mitoitusarvo

$F_{t,Rd}$	pultin vetokestävyysmitoitussarvo
$F_{v,Rd}$	pultin leikkauskestävyyden mitoitussarvo
$M_{c,Rd}$	poikkileikkauksen taivutuskestävyyden mitoitussarvo
$N_{c,Rd}$	poikkileikkauksen puristuskestävyyden mitoitussarvo
$N_{pl,Rd}$	bruttupoikkileikkauksen vetokestävyysmitoitussarvo
$N_{u,Rd}$	nettopoikkileikkauksen vetokestävyysmitoitussarvo
$V_{eff,l,Rd}$	palamurtumiskestävyysmitoitussarvo
$V_{Rd}$	poikkileikkauksen leikkauskestävyyden mitoitussarvo
$W_{eff}$	tehollisen poikkileikkauksen kimmoteorian mukainen taivutusvastus
$W_{el}$	kimmoteorian mukainen taivutusvastus
$W_{pl}$	plastisuusteorian mukainen taivutusvastus
$b$	leveys
$d_0$	reiän halkaisija
$e_1$	liittimen päätyetäisyys
$e_2$	liittimen reunaetäisyys
$f_u$	vetolujuuden ominaisarvo
$f_{ur}$	reduoitu vetomurtolujuuden arvo
$f_y$	myötörajan ominaisarvo (yleensä käytetään 0,2-rajan minimiarvoa)
$h$	korkeus
$p_1$	peräkkäisten liittinten välinen etäisyys teräkselle
$p_2$	liittinten välinen etäisyys voimaa vastaan kohtisuorassa suunnassa

# 1. Johdanto

Puuta käytetään entistä vaativammissa rakenteissa, mikä tuo mukanaan erilaisia liitosratkaisuja. Yleensä näissä on mukana erilaisia metallisia liitososia, joiden täytyy toimia moitteettomasti erilaisissa olosuhteissa. Rakennetta ympäröivät olosuhteet voivat olla kosteita tai kemiallisten aineiden pitoisuudet ovat korkeita tai niiden yhteisvaikutus saattaa aiheuttaa korroosiorasituksia. Tulipalonkestävyys asettaa omat vaatimuksensa myös puurakenteiden liitoksille. Näihin olosuhteisiin ruostumattomilla teräksillä on hyviä ominaisuuksia, kuten hyvä korroosionkestävyys, sitkeys ja hiiliteräksiä suhteellisesti paremmat lujuus- ja jäykkyysominaisuudet korkeissa lämpötiloissa.

Ruostumaton teräs tarkoittaa tässä esityksessä laaja-alaisesti erilaisia seostettuja teräslaatuja, jotka sisältävät vähintään 11 % kromia ja seosaineita, joilla parannetaan korroosionkestävyyttä ja muita ominaisuuksia, kuten lämmönkesto ja lujuus. Pääpaino on rakentamisessa eniten käytettävien austeniittisten teräslaatuojen tarkastelussa. Suomessa ja Ruotsissa on yleisesti käytössä jaottelu ”ruostumattomiin” ja ”haponkestäviin” teräksiin. Tämä saattaa kuitenkin aiheuttaa sekaannusta, varsinkin jos on tarkoitus käsitellä erilaisia teräslaatuja yleisesti. Englannin kielessä käytetään nimitystä ”stainless steel”, joka sisältää laajasti eri ruostumattomat teräkset. Onkin mielekästä kertoa, millaisista teräslaaduista on kulloinkin kyse. Standardien merkintöjen käyttö on selkeä tapa erotella erilaiset teräslaadut.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää ja kehittää ruostumattomien terästen mitoitusperusteita puurakenteiden liitoksissa hyödyntäen niiden hyviä lujuus- ja sitkeysominaisuuksia. Tässä tutkimuksessa rajoituttiin normaalilämpötilaan ja teräs-puuliitoksiin, joissa käytetään ruostumattomasta teräksestä valmistettuja puikkoliittimiä kuten nauloja, ruuveja tai pultteja. Kirjallisuusselvityksessä esitetään perustietoa ruostumattomista teräksistä ja niistä valmistetuista liittimistä. Ruostumattomien terästen hitsausta, työstettävyyttä ja säilyvyyttä sekä materiaalin valintaa erilaisiin olosuhteisiin selostetaan ja lopuksi käsitellään markkinoilla olevia liitososia ja liittimiä.

Kokeellisessa osuudessa määritettiin eräille ruostumattomista teräksistä valmistetuille puikkoliittimille Eurocode 5:n (EN 1995-1-1:2004) mukaisessa mitoituksessa tarvittavia myötömomentin ja ulosvetolujuuden arvoja. Näitä tuloksia verrattiin hiiliteräksistä valmistettujen liittimien arvoihin sekä Eurocode 5:stä että kirjallisuudesta saatuihin tuloksiin. Teräs-puuliitosten laskennalliset leikkauskapasiteettien tulokset varmistettiin veto-liitoskokeilla. Teräs-puuvetoliitosta optimoitiin myös kustannusten kannalta sahatavarakalle, liimapuulle ja kertopuulle. Muuttujina olivat teräslevyn paksuus, teräsmateriaali ja liitinkoko. Puuhun liimattujen ruostumattomien harjaterästankojen tartuntalujuuksia selvitettiin suoralla vetokokeella. Yhteenvetona esitetään liitoksen mitoituksessa huomioitavia seikkoja.

## 2. Kirjallisuusselvitys

Ruostumattomien terästen peruskäsitteiden esittely auttaa sopivan materiaalin valinnassa kuhunkin käyttötarkoitukseen rakentamisessa. Levy- ja liitintuotteista esitetään materiaaliominaisuuksia ja kerrotaan säilyvyyteen vaikuttavista tekijöistä, jotka vaikuttavat hitsattavuuteen, hitsaukseen ja työstettävyyteen. Käyttöympäristöolosuhteet vaikuttavat materiaalin valintaan.

Kirjallisuusselvityksessä haettiin tutkimustuloksia ruostumattomien liittimien käytöstä puurakenteiden liitoksissa. Selvityksessä ilmeni, että ruostumattomien liittimien toimintaa puurakenteiden liitoksissa on tutkittu hyvin vähän. Ruostumattomia teräksiä on ollut mukana metalliliittimien korroosiotutkimuksissa ja niiden mukaan ruostumattomat teräkset kestävät hyvin niin puun ominaisuuksien kuin käyttöolosuhteiden aiheuttamat korroosiorasitukset. Joissakin happamissa puulajeissa, kuten koivu, voi perusteräslaa- duilla (esim. EN 1.4301) kosteissa olosuhteissa esiintyä korroosiota.

Ruostumattomista teräksistä voidaan valmistaa vastaavia tuotteita kuin hiiliteräksestä, mutta erilaisia kokoja ja malleja on rajoitetusti varastotuotteina. Vaikka standardeissa on mainittu runsaasti erilaisia ruostumattomia teräslatuja, niin muita kuin EN 1.4301 (”ruostumaton”) ja EN 1.4401 (”haponkestävä”) valmistettuja tuotteita on melko niukasti saatavilla. Erilaiset liitososat ovat yleensä tilaustuotteita.

### 2.1 Ruostumattomat teräkset

Teräs, jossa on 11–12 % kromia, edustaa ruostumattoman teräksen yksinkertaisinta muotoa. Sillä on riittävä korroosiokestävyys lievästi vedelle alttiissa ympäristössä. Teräksen kromiseostuksen seurauksena teräksen pinnalle syntyy pääasiassa kromioksidia oleva ohut, tiivis, kiinni pysyvä ja sitkeä kerros, jos se on yhteydessä ilmaan tai muuhun hapettavaan ympäristöön. Koska tämä kerros passivoi teräksen, mikä tarkoittaa, että korrosio ei etene aktiivisesti, sitä nimitetään myös passiivikerrokseksi.

Ruostumattomia teräksiä on useita erityyppisiä. Ne jaetaan neljään pääryhmään metallurgisen rakenteen mukaan: austeniittiset, ferriittiset, austeniittis-ferriittiset (duplex-teräkset) ja martensiittiset teräkset. Lisäksi on olemassa erkautuskarkenevat ruostumattomat teräkset. Austeniittisiä ja duplex-teräksiä käytetään yleisimmin rakenteellisissa sovelluksissa (Euro Inox & VTT 2002).

Kun rautapohjaiseen terässeokseen lisätään nikkeliä, niin mikrorakenne muuttuu austeniittis-ferriittiseksi ja edelleen lisäämällä nikkeliä muodostuu austeniittinen rakenne. Martensiittinen mikrorakenne syntyy teräksessä austeniitista leikkautumalla, jolloin rakenteeseen jää sisäisiä jännityksiä, mistä johtuu sen lujuus ja hauraus (Kyröläinen & Lukkari 2002).



mianteollisuudesta, sairaaloista, kuljetustoiminnasta, kotitalouksista, savupiipuista, paperteollisuudesta, ydinlaitteistoista, kellojen kuorista ja rannekkeista.

### **Ferriittiset ruostumattomat teräkset**

Ferriittiset ruostumattomat teräkset sisältävät 12–18 % kromia, mutta niiden hiilipitoisuus on tavallisesti alle 0,08 %, vaikka joskus se saattaa olla 0,15 %. On olemassa ferriittisiä erikoisteräksiä, joiden kromipitoisuus voi olla jopa 29 %. Muita mahdollisia seosaineita ovat molybdeeni (jopa 1,2 %), titaani tai niobi, joita molempia käytetään kiderakenteen stabiloimiseksi, ja rikki, jota käytetään työstettävyyden parantamiseksi. Lujuuden parantamiseksi lisätään pieniä määriä typpeä, 0,10–0,30 %.

Ferriittiset teräkset ovat magneettisia. Niitä voidaan hitsata tietyin varauksin. Uusien laatuojen myötä hitsattavuus on parantunut. Tyypillisiä sovelluksia ovat kulkuvälineiden pakokaasujärjestelmät, säiliöt, kuumavesisäiliöt, astianpesukoneet, pyykinpesukoneet ja keittiövälineet.

### **Austeniittis-ferriittiset ruostumattomat teräkset (duplex-teräkset)**

Ruostumattomissa duplex-teräksissä on korkea, 20–25 % kromipitoisuus, alhainen nikkelpitoisuus, 5–9 %, välillä 0,2–4 % vaihteleva molybdeenipitoisuus ja alhainen, alle 0,06 % hiilipitoisuus. Ne sisältävät typpeä 0,07–0,20 % lujuuden lisäämiseksi sekä duplex-rakenteen stabiloimiseksi toisinaan kuparia jopa 2,5 %.

Duplex-terästen hyvät ominaisuudet ovat suuri lujuus, hyvä jännityskorroosiokestävyys kloridipitoisissa ympäristöissä sekä kohtalaisen hyvä hitsattavuus. Ruostumattomat duplex-teräkset ovat magneettisia. Suositeltava käyttölämpötila on –50 – +250 °C Tyypilliset sovellukset ovat paperi-, kemian-, öljy- ja rakennusteollisuudessa.

### **Martensiittiset ruostumattomat teräkset**

Martensiittisissä ruostumattomissa teräksissä on 12–18 % kromia ja 0,08–0,9 % hiiltä. Varsin korkean hiilipitoisuutensa takia niitä voidaan karkaista. Eräissä on kohtalainen määrä nikkeliä (jopa 4 %) ja molybdeeniä ( $\leq 0,6$  %) korroosiokestävyyden parantamiseksi. Muita seosaineita voivat olla titaani, vanadiini ja niobi. Korkea hiilipitoisuus heikentää korroosiokestävyyttä. Martensiittiset ruostumattomat teräkset ovat magneettisia ja melko hauraita ja niiden hitsaaminen vaatii erityistoimenpiteitä. Näiden seikkojen takia niitä ei käytetä rakentamisessa. Tyypillisiä sovelluksia ovat konetekniikassa pumppujen akselit, läpät ja pesät, turpiinien siivekkeet, rullalaakerit ja kiinnittimet sekä kotitalouksien ja teollisuuden veitsenterät.



## 2.2 Sovellettavat standardit

Tässä esityksessä käytetään ruostumattomien terästen osalta eurooppalaisia EN-standardeja (SFS-EN) ja liittimien osalta ISO 3506-1...4 standardeja sekä puurakenteiden liittimiin liittyen standardiluonnoksia prEN 14592:2002-11 ja prEN 14545:2002-9. Hyvin laajassa käytössä on myös AISI-järjestelmä (American Iron and Steel Institute) ja lisäksi on olemassa erilaisia kansallisia standardeja. Liitteessä A.1 on esitetty eri standardien vastaavuuksia ruostumattomille teräksille. Rakenteiden mitoituksen osalta viitataan Eurocode 3 (EN 1993-1-1...4) Design of steel structures ja Eurocode 5 (EN 1995-1-1 ja 2) Design of timber structures -standardeihin.

- *EN 10088-1: Stainless steels. Part 1: List of stainless steels (SFS-EN 10088-1: Ruostumattomat teräkset. Osa 1: Ruostumattomien terästen luettelo) Siinä esitetään ruostumattomat teräkset, niiden kemiallinen koostumus ja joidenkin fysikaalisten ominaisuuksien, kuten kimmokerroin E, arvoja.*
- *EN 10088-2: Stainless steels. Part 2: Technical delivery conditions for sheet, plate, and strip for general purposes (SFS-EN 10088-2: Ruostumattomat teräkset. Osa 2: Yleiseen käyttöön tarkoitetut levyt ja nauhat. Tekniset toimitusehdot) Siinä esitetään tekniset toimitusehdot ja profiilien muokkaukseen soveltuvien terästen tekniset ominaisuudet ja kemiallinen koostumus.*
- *EN 10088-3: Stainless steels. Part 3: Technical delivery conditions for semi-finished products, bars, rods and sections for general purposes (SFS-EN 10088-3: Ruostumattomat teräkset. Osa 3: Yleiseen käyttöön tarkoitetut tangot, valssilangat, profiilit ja vastaavat puolivalmisteet) Siinä esitetään pitkissä tuotteissa käytettävien materiaalien tekniset ominaisuudet ja kemiallinen koostumus.*
- *SFS-EN 1011-3: Metallisten materiaalien hitsaussuositukset. Osa 3: Ruostumattomien terästen kaarihitsaus. Käsittelee ruostumattomia teräksiä ja niiden hitsausta.*
- *EN ISO 4063 (SFS-EN ISO 4063: Hitsausprosessit)*
- *SFS-EN 1600 Hitsauspuikot ruostumattomien ja tulenkestävien terästen puikkohitsaukseen.*
- *SFS-EN 12072 Hitsauslangat ruostumattomien ja tulenkestävien terästen kaarihitsaukseen.*
- *ISO 3506-1...4 Mechanical properties of corrosion-resistant stainless-steel fasteners.*

## 2.2.1 Ruostumattomien terästen nimikkeet ja merkinnät

### Litteät ja pitkät tuotteet

Eurooppalainen EURONORM ja USA:n AISI ovat eniten käytettyjä järjestelmiä. Tässä esityksessä käytetään standardien SFS-EN 10027-1...2 (1993) mukaisia nimike- ja numerojärjestelmiä. Suomessa, kuten myös Ruotsissa, on yleisesti käytössä jaottelu ruostumattomiin (rostfritt) ja haponkestäviin (syrafast) teräksiin. Tulee olla tarkkana, että eri osapuolet tietävät millaisista teräslaaduista on kulloinkin kyse.

AISI-järjestelmän yleisyyden vuoksi mainittakoon perusasiat. Siinä määritellään jokainen teräslaji numerolla ja tarvittaessa lisäkirjaimella. Esimerkkeinä olkoot: L = niukka-hiilinen ("Low carbon"), N = typpi ("Nitrogen"), Se = seleeni ja Ti = titaani. Sarjat 200 ja 300 on varattu austeniittisille teräksille, sarja 400 martensiittisille ja ferriittisille teräksille ja sarja 600 erkautuskarkaistuille teräksille. Täsmällinen kemiallinen koostumus ja teräksen ominaisuudet esitetään standardissa. Siten 304LN tarkoittaa austeniittista niukkahiilistä (enintään 0,03 %) terästä, joka sisältää tyypeä. Nimellinen kromipitoisuus on 18–20 % ja nikkelpitoisuus 8–12 %.

### SFS-EN 10027-1 nimikejärjestelmä

#### Esimerkkinä **X5CrNi18-10**

X: kyseessä on runsasseosteinen teräs, yhden seosaineen pitoisuus vähintään 5 %.  
5: ilmaisee hiilipitoisuuden keskiarvon prosentin sadasosina, esim. C = 0,05 %.  
Cr, Ni jne.: seosaineiden kemialliset tunnuksot peräkkäin pitoisuuksien alenevassa järjestyksissä; Cr = kromi, Ni = nikkeli ja seosaineiden pitoisuudet ovat %-arvoina. Eri seosaineiden pitoisuudet erotetaan väliviivalla, esim. 18 on kromipitoisuuden keskiarvo, 18 % ja 10 on nikkelpitoisuus, 10 %. Kyseinen merkintä vastaa alla olevaa tapaa käyttäen laatua 1.4301. Taulukossa 2.1 on joitakin ruostumattomia laatuja ja niiden kemialliset koostumukset.

### SFS-EN 10027-2 numerojärjestelmä

Esimerkkinä tarkastellaan materiaalia, jonka tunnus on **1.4307**:

Ensimmäinen numero on 1 ja ilmaisee, että kyseessä on teräs. Kaksi seuraavaa numeroa "43" merkitsevät ruostumatonta terästä, jossa on nikkeliä vähintään 2,5 %, mutta ei molybdeeniä, niobia eikä titaania". Kaksi viimeistä numeroa "07" määrittelevät tarkan seoksen.

Tunnuksen "43" lisäksi on käytössä seuraavat merkinnät:

- "40" nikkeliä alle 2,5 %, mutta ei molybdeeniä, niobia eikä titaania
- "41" nikkeliä alle 2,5 % ja molybdeeniä, mutta ei niobia eikä titaania
- "44" nikkeliä yli 2,5 % ja molybdeeniä, mutta ei niobia eikä titaania
- "45" merkitsee erikoisseosaineita
- "46" kemiallisesti kestävät ja korkealämpötilan Ni-seokset
- "47" tulenkestävät teräkset, joiden Ni-pitoisuus on enintään 2,5 %
- "48" tulenkestävät teräkset, joiden Ni-pitoisuus on vähintään 2,5 %
- "49" muut teräkset korkeisiin lämpötiloihin.

Taulukko 2.1. EN 10088-2 mukaisten terästen kemiallinen koostumus.

	Teräslaji	Seososien pitoisuus painoprosentteina (suurin arvo ja sallittu alue)				
		C	Cr	Ni	Mo	Muut
Austeniittiset teräkset	1.4301	0,07	17,0–19,5	8,0–10,5	-	
	1.4307	0,03	17,5–19,5	8,0–10,0	-	
	1.4318	0,03	16,5–18,5	6,0–8,0	-	N: 0,1–0,2
	1.4401	0,07	16,5–18,5	10,0–13,0	2,0–2,5	
	1.4404	0,03	16,5–18,5	10,0–13,0	2,0–2,5	
	1.4541	0,08	17,0–19,0	9,0–12,0	-	Ti: 5xC–0,7 <sup>1)</sup>
	1.4571	0,08	16,5–18,5	10,5–13,5	2,0–2,5	Ti: 5xC–0,7 <sup>1)</sup>
Duplex teräkset	1.4362	0,03	22,0–24,0	3,5–5,5	0,1–0,6	N: 0,05–0,2
	1.4462	0,03	21,0–23,0	4,5–6,5	2,5–3,5	N: 0,1–0,22

<sup>1)</sup> Titaania on lisätty hiilen stabiloimiseksi ja korroosiokestävyyden parantamiseksi hitsien lämpövaikutusalueella. Matalahiiliset (C ≤ 0,03 %) teräkset 1.4307 ja 1.4404 ovat laajalti korvanneet titaanilla stabiloidut austeniittiset laadut lukuun ottamatta suuria ainepaksuuksia.

## Liittimet

Ruostumattomista teräksistä valmistetuille nauloille ei ole erityistä standardia materiaalien merkintöjen osalta. Merkintöjen osalta voidaan käyttää joko ISO 3506-1 (1997) (ks. Kuva 2.2) tai prEN 14592:2002 mukaan standardissa EN 10088 olevia materiaalimerkintöjä. Lisäksi prEN 14592:2002 asettaa vaatimuksia nauloille, kuten myös ruuveille ja pulteille, materiaaliominaisuuksien suhteen. Mekaanisista ominaisuuksista on kerrottu luvussa 2.3.1. Kuten levytuotteilla, niin myös liittimillä, on yleisesti käytössä jaottelu ruostumattomiin ja haponkestäviin laatuihin. Tämä tulee esille varsinkin liittimien hankinnan yhteydessä, joten on syytä olla tarkkana, että eri osapuolet tietävät millaisista teräslaaduista on kulloinkin kyse.

Standardi ISO 3506-1:1997 käsittelee austeniittisten, "A", martensiittisten, "C" ja ferriittisten, "F" kiinnittimien kemiallisen koostumuksen (Taulukko 2.2) ja mekaaniset ominaisuudet (Taulukko 2.4). Lisäksi siinä on maininta austeniittis-ferriittisestä "FA"-teräksestä, mikä ei vielä sisälly varsinaiseen standardiin. Vaihtoehtoisia, esimerkiksi

EN 10088-3, mukaisia aineita voidaan käyttää, mikäli ne täyttävät standardin vaatimukset. Luokittelussa on kirjaimen lisäksi numero (1, 2, 3, 4 tai 5), joka ilmaisee korroosiokestävyyden siten, että luku 1 on alin ja luku 5 parhain luokka.

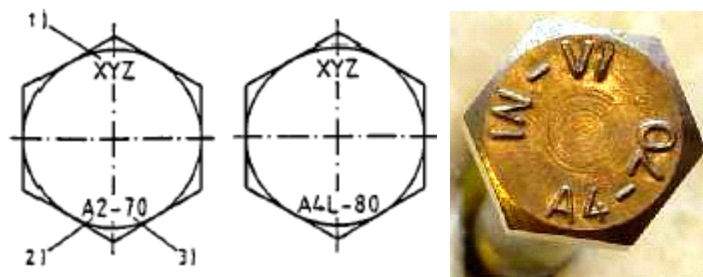
Teräslaji A1 on tarkoitettu koneistettavaksi. Koska teräslaji sisältää runsaasti rikkiä, on teräksen korroosiokestävyys alhainen. A2-luokka vastaa teräksen 1.4301 ja A4 teräksen 1.4401 korroosiokestävyyttä. A3 (vrt. teräslaatu 1.4541) ja A5 (1.4571) ovat stabiloituja laatuja, ja ne ovat raerajakorroosiokestävyydeltään luokkien A2 ja A4 vähähiilisten ( $C \leq 0,03\%$ ) versioiden luokkaa, merkitään ”L” kirjaimella, esimerkiksi A4L. Martensiittinen laatu jaetaan C1-, C3- ja C4-lajeihin sekä ferriittinen ruostumaton teräs merkitään F1. Lujusluokka (ks. kohta 2.4.1) ilmoitetaan numeroilla teräslajin jälkeen. Mutterit esitetään standardissa ISO 3506-2:1997 ja itsekierteittävät ruuvit ISO 3506-4:2003.

Taulukko 2.2. Joidenkin ISO 3506-4 (2003) mukaisten liittimien kemiallinen koostumus.

Teräslaji	Kemiallinen koostumus (paino- %), maksimiarvoja ellei toisin mainita									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Muut
<b>A2</b>	0,1	1	2	0,050	0,03	15–20	a)	8–19	4	
<b>A3</b>	0,08	1	2	0,045	0,03	17–19	a)	9 - 12	1	Joko $Ti \geq 5xC-0,8$ tai $Nb/Ta \geq 10xC-1$
<b>A4</b>	0,08	1	2	0,045	0,03	16–18,5	2-3	10–15	1	
<b>A5</b>	0,08	1	2	0,045	0,03	16–18,5	2-3	10,5–14	1	Joko $Ti \geq 5xC-0,8$ tai $Nb/Ta \geq 10xC-1$
<b>F1</b>	0,12	1	1	0,050	0,03	15–18	a)	1	-	
<b>C1</b>	0,09 - 0,15	1	1	0,040	0,03	11,5–14	-	1	-	
<b>C3</b>	0,17 - 0,25	1	1	0,040	0,03	16–18	-	1,5–2,5	-	

Huom. ISO 3506-4 liitteessä D on annettu kemiallisia koostumuksia liittimille, joita käytetään ympäristöissä, joissa on jännityskorroosion mahdollisuus (esim. uimahallit). Materiaalit 1.4439, 1.4539, 1.4529.  
a) Voi sisältää molybdeenia valmistajasta riippuen.

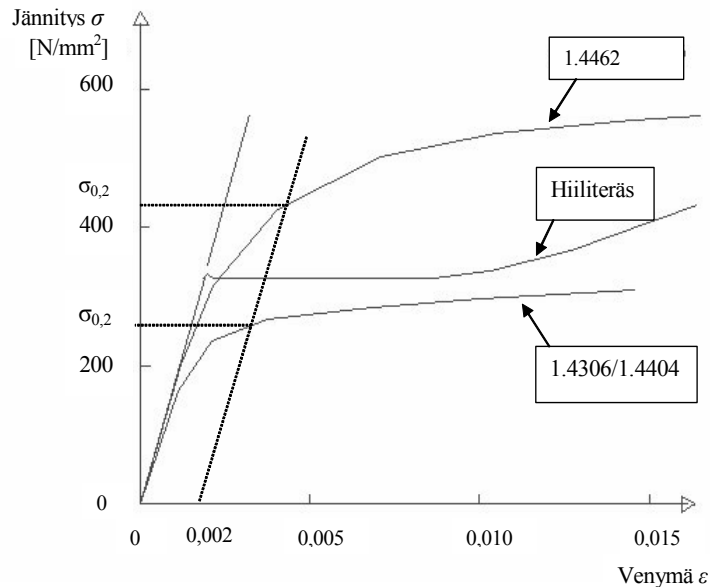
- 1) Valmistajan tunnus
- 2) Teräslaji
- 3) Lujusluokka



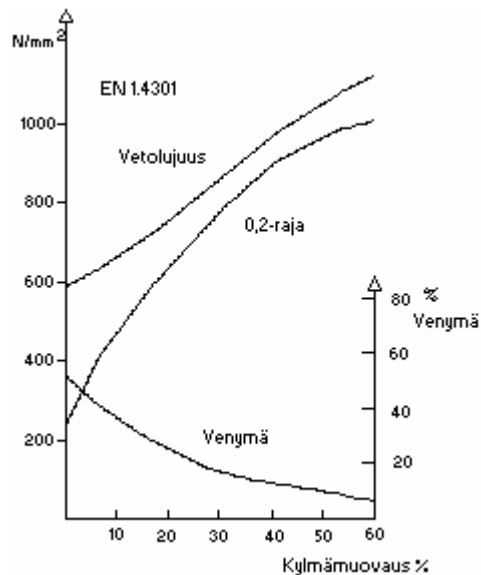
Kuva 2.2. Pultin merkinnät standardin ISO 3506-1:1997 mukaan.

## 2.3 Mekaaniset ominaisuudet

Ruostumattoman teräksen jännitys-venymäkäyttäytyminen eroaa hiiliteräksen vastavasta. Hiiliteräs käyttäytyy tyypillisesti lineaarisesti myötörajaan asti, kun ruostumattoman teräksen jännitys-venymäkäyttäytyminen on epälineaarisempi ilman selvää myötörajaa (Kuva 2.3). Ruostumattomille teräksille myötörajaksi määritetään yleensä pysyvää venymää, perinteisesti 0,2 %:n venymä, vastaava jännityksen arvo.



Kuva 2.3. Jännitys-venymäkäyrä (Lähde ESDEP 18).



Kuva 2.4. Kylmämuovauksen vaikutus lujuuteen (Lähde ESDEP 18).

Muokkauslujittumisella tarkoitetaan plastisen muodonmuutoksen aikaansaamaa rakenteen lujittumista, jota austeniittisilla teräksillä voimistaa työstökarkeneminen. Työstö-

karkenemisessa osa austeniittisestä mikrorakenteesta muuttuu martensiittiseksi. Kylmämuovausprosessi vaikuttaa huomattavasti varsinkin austeniittisten ja duplex- terästen lujuusominaisuuksiin. Tyypillisesti 15 %:n kylmämuovaus kaksinkertaistaa 0,2-rajan (ks. Kuva 2.4). Austeniittisten terästen sitkeys säilyy hyvänä. Muovauksen jälkeinen lämpökäsittely pienentää kohonnutta lujuutta.

Rakenteiden mitoituksen perustana lujuuksien ominaisarvoina käytetään EN 10088-2 mukaisia 0,2-rajan ( $f_y$ ) ja vetomurtolujuuden ( $f_u$ ) mukaisia minimiarvoja. Tehtaan taakamia sertifioituja 0,2-rajan arvoja voidaan myös käyttää. Tämä ilmenee tehtaan aines-todistuksessa. Suositellaan, että vetolujuuden ominaisarvona käytetään EN 10088-2 mukaista miniarvoa (Euro Inox & VTT 2002). Rakentamisessa käytettäville austeniitti-sille ja duplex-teräksille voidaan kimmokertoimeksi valita 200 000 N/mm<sup>2</sup>. Taulukoissa 2.3 a) ja b) on esitetty joidenkin terästen ominaisuuksia EN 10088 mukaan.

Taulukko 2.3 a). Esimerkkejä kylmämuovatuista tuotteista (EN 10088-2).

Aine	Kylmämuovattu lujuuteen	0,2-raja $f_{yc}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Vetomurto-lujuus $f_{uc}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1.4301	Levyt ja nauhat C 700	350	700
	Levyt ja nauhat C 850	530	850
1.4541	Levyt ja nauhat C 700	350	700
	Levyt ja nauhat C 850	530	850
1.4401	Tangot, profiilit C 700	350	700
	Tangot, profiilit C 800	500	800

Taulukko 2.3 b). Ruostumattomien teräksen mekaanisia ominaisuuksia (EN 10088-2).

	Teräslaji	Tuote- muoto <sup>(1)</sup>	Suurin aine- paksuus (mm)	0,2- rajan minimi- arvo <sup>(2)</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	Vetomurto- lujuus (N/mm <sup>2</sup> )	Mitta- pituutta vastaava murto- venymä (%) <sup>(3)</sup>
Austeniittiset kromi-nikkeli perusteräk- set	1.4301	C	6	230	540 – 750	45 <sup>(3)</sup>
		H	12	210	520 – 720	45 <sup>(3)</sup>
		P	75	210	520 – 720	45
	1.4307	C	6	220	520 – 670	45
		H	12	200	520 – 670	45
		P	75	200	500 – 650	45
	1.4318	C	6	350	650-850	35
		H	12	330	650-850	35
		P	75	330	630-830	45
Austeniittiset molybdeeni- kromi teräkset	1.4401	C	6	240	530 – 680	40
		H	12	220	530 – 680	40
		P	75	220	520 – 670	45
	1.4404	C	6	240	530 – 680	40
		H	12	220	530 – 680	40
		P	75	220	520 – 670	45
Stabiloidut austeniittiset teräkset	1.4541	C	6	220	520 – 720	40
		H	12	200	520 – 720	40
		P	75	200	500 – 700	40
	1.4571	C	6	240	540 – 690	40
		H	12	220	540 – 690	40
		P	75	220	520 – 670	40
Duplex- teräkset	1.4362	C	6	420	600 – 850	20
		H	12	400	600 – 850	20
		P	75	400	630 – 800	25
	1.4462	C	6	480	660 – 950	20
		H	12	460	660 – 950	20
		P	75	460	640 – 840	25

Huom.:

(1) C=kylmävalssattu nauha, H=kuumavalssattu nauha/nauhalevy, P=kuumavalssattu levy

(2) Valssaussuuntaan nähden poikittaisessa suunnassa

(3) Venytysoikaistuille materiaaleille minimiarvo on 5 % pienempi

### 2.3.1 Liittimet

Ruostumattomille nauloille ja ruuveille voidaan käyttää ISO 3506 mukaisia lujuusluokkia käyttäjän ja valmistajan sopimuksen mukaan. Nauloille ja puuhun porautuvien ruuvien osalta yleensä on saatavilla vain raaka-aineen vetomurtolujuus. prEN 14592:2002 mukaan austeniittisiä teräksiä voidaan käyttää nauloissa, kun raaka-aineen vetomurtolujuus on vähintään 600 N/mm<sup>2</sup>.

Pulttien ja muttereiden osalta ISO 3506-1 määrittelee yksikäsitteisesti lujuusluokat ja niiden lujuusarvot (Taulukko 2.4). Pulteissa ilmoitetaan lujuusluokka luvulla siten, että luku x 10 ilmaisee vetomurtolujuuden, esimerkiksi 80 x 10 = 800 N/mm<sup>2</sup>. Liittimien veto- ja leikkauskestävyyden laskemiseksi käytetään vetomurtolujuuden minimiarvoa.

Taulukko 2.4. Austeniittisten ja austeniittis-ferriittisten liittimien ominaisuudet (ISO 3506-1:1997).

Teräslaji <sup>1)</sup>	Lujuusluokka <sup>2)</sup>	Läpimitta	Ruuvit	
			0,2-raja $f_{yb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	vetolujuus $f_{ub}$ (N/mm <sup>2</sup> )
A1, A2, A3,	50	≤ M39	210	500
A4 ja A5	70 <sup>2)</sup>	≤ M20	450	700
sekä FA	80 <sup>2)</sup>	≤ M20	600	800

Huomaa: Lujuudet ovat vaadittuja minimiarvoja

<sup>1)</sup> Voidaan käyttää myös muita EN 10088-3 mukaisia teräslajeja.

<sup>2)</sup> Lujuusluokissa 70 ja 80 arvot pitää sopia valmistajan kanssa, kun pituus on suurempi kuin läpimitta kahdeksankertaisena tai kun koko on suurempi kuin M20.

## 2.4 Fysikaaliset ominaisuudet

Austeniittisten ja austeniittis-ferriittisten terästen lämmönjohtavuus on pienempi ja lämpöpiteneminen suurempi kuin ferriittisillä ja martensiittisillä teräksillä. Hiiliteräksen lämpöpiteneminen ( $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ) ja lämmönjohtavuus (52–63 W/m<sup>2</sup>°C) poikkeavat oleellisesti austeniittisten laatuojen vastaavista arvoista. Taulukossa 2.5 esitetään joidenkin hehkutettujen ruostumattomien terästen fysikaalisia ominaisuuksia huoneen lämpötilassa.

Kuten aiemmin on todettu, ferriittiset ja martensiittiset teräkset sekä duplex-teräkset ovat magneettisia. Mikäli austeniittisten terästen ei-magneettisuus on tärkeää, suositellaan lisäohjeiden hankkimista tuotteen valmistajalta, myös hitsauslisäaineet valitaan siten, että ferriitin muodostus on mahdollisimman vähäistä. Lujuusluokkien 70 ja 80 A-teräslajin pultit voivat olla hieman magneettisia johtuen kylmämuokkauksesta.

Taulukko 2.5. Fysikaalisia ominaisuuksia (EN 10088-1).

Teräksen merkintä EN 10088 mukaan		Tiheys kg/m <sup>3</sup>	Lämpölaajenemis- kerroin 20 °C–100 °C x 10 <sup>-6</sup> /K	Lämmön- johtavuus W/m <sup>0</sup> C
Nimi	Numero			
X2CrNi18-7	1.4318	7,9	16,0	15
X2CrNi18-9	1.4307			
X2CrNi19-11	1.4306			
X5CrNi18-10	1.4301			
X6CrNiTi18-10	1.4541			
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	8,0	16,5	
X2CrNiMoN17-11-2	1.4406			
X5CrNiMo17-12-2	1.4401			
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571		16	
X2CrNiMo17-12-3	1.4432			
X2CrNiMo18-14-3	1.4435			
X2CrNiMoN17-13-5	1.4439	8,1	15,8	
X1NiCrMoCuN25-20-7	1.4529			
X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	7,8	13,0	

## 2.5 Palo- ja korkeat lämpötilat

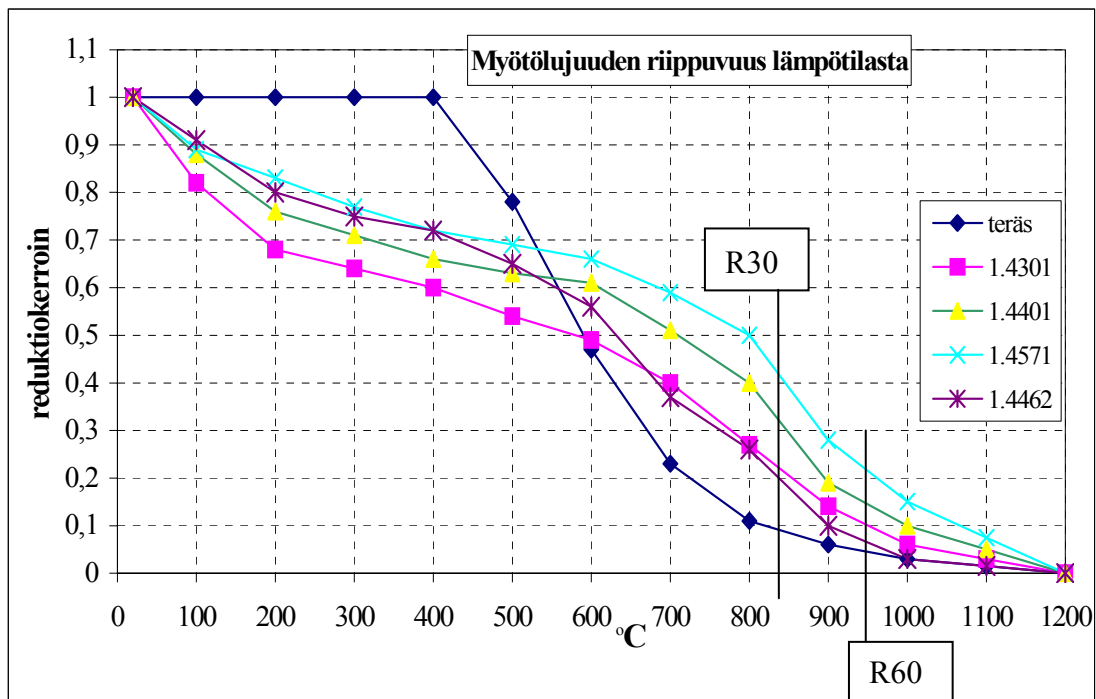
Austeniittiset ja duplex-teräkset säilyttävät yleensä lujuutensa korkeissa lämpötiloissa (yli 550 °C) ja jäykkyytensä kaikissa lämpötiloissa hiiliteräksiä paremmin (kuvat 2.5 ja 2.6) (Euro Inox & VTT 2002). Jännitys-venymäsuhteelle ja muille ominaisuuksille korkeissa lämpötiloissa tiedot voidaan saada EN 10088:sta tai valmistajalta. Pitkäaikainen käyttö korkeissa lämpötiloissa tulee selvittää tapauskohtaisesti. Austeniittisilla laaduilla yli 600 °C:n ja duplex- ja ferriittisillä teräksillä yli 400 °C:n lämpötiloissa otetaan viruma huomioon. Ohjeellisia virumalujuuden arvoja on esitetty mm. standardissa SFS-EN 10028-7:2000. Tässä yhteydessä ei käsitellä pitkäaikaisia korkeita lämpötiloja, joihin on olemassa omat teräslaatussa.

Ruostumattomasta teräksestä tehdyille rakenteille asetettavat palotekniset toimivuusvaatimukset ovat samat kuin hiiliteräkselle asetetut vaatimukset, nimittäin:

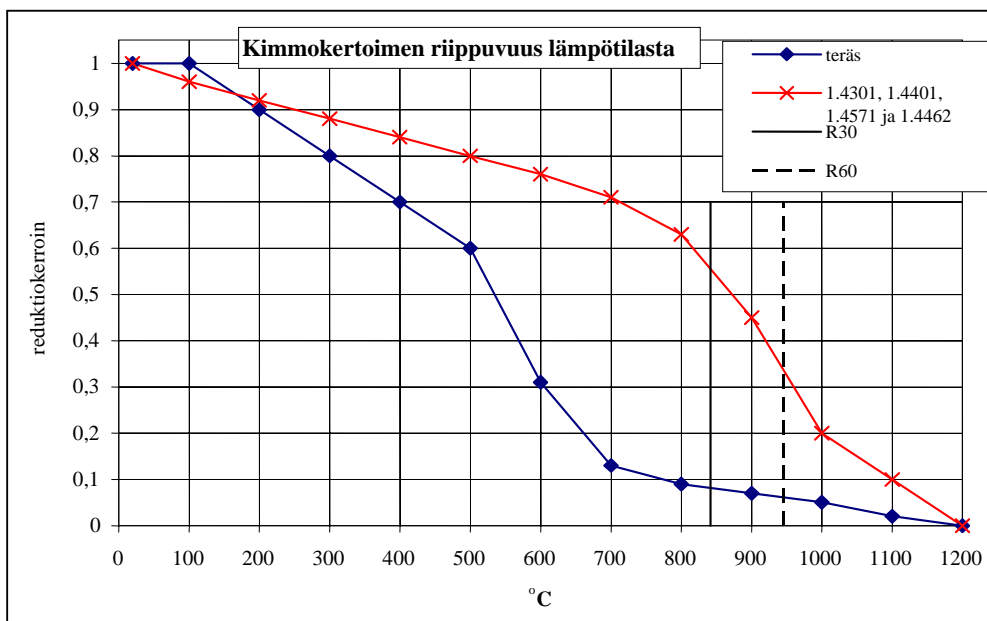
- Kun rakenteelta vaaditaan mekaanista kestävyyttä palotilanteessa, rakenne suunnitellaan ja rakennetaan siten, että se säilyttää kuormankantokykynsä vähintään kyseisen palonkestoluokan vaatiman ajan.
- Jos palosuojaus tai osastoivan rakenneosan suunnittelukriteeri edellyttää muodonmuutoskriteerin käyttöä kantavassa rakenteessa, sovelletaan kyseeseen tulevia muodonmuutoskriteerejä.



Austeniittisten ruostumattomien terästen käyttö suojaamattomana R30-paloluokan rakenteena on mahdollista (Teräsnormikortti n:o 10/1999). Tämä kuten myös Euro Inox & VTT (2002) julkaisussa olevat palomitoitusohjeet täyttävät Eurocode 3:n vaatimukset. Yksinkertaistettu laskentamenetelmän periaate on, että laskenta perustuu vastaaviin laskentayhtälöihin kuin normaalilämpötilamitoitus, mutta materiaalin mekaanisia ominaisuuksia redusoidaan kohonneissa lämpötiloissa esimerkiksi kuvien 2.5 ja 2.6 mukaan (Euro Inox & VTT 2002). Palon lämpötila-aikariippuvuus määritetään ns. standardipalokäyrän mukaan (EN 1991-1-2:2003). Tämän perusteella voidaan teräksen lämpötila laskea.



Kuva 2.5. Myötölujuuden riippuvuus lämpötilasta. Arvot lähteistä; Euro Inox & VTT (2002), teräs SFS-ENV 1993-1-2 (1999).



Kuva 2.6. Kimmokertoimen riippuvuus lämpötilasta. Arvot lähteistä: Euro Inox & VTT (2002), teräs SFS-ENV 1993-1-2 (1999).

## 2.6 Säilyvyys

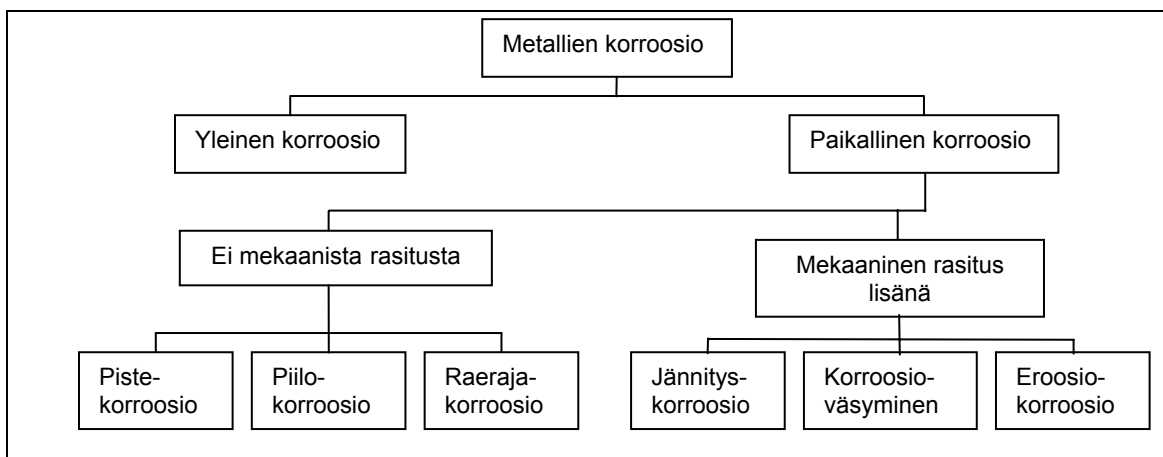
Kaikki rakenteissa yleisesti käytettävät metallit pyrkivät takaisin luonnonmukaiseen tilaansa termodynamiikan lakien mukaan. Tätä ilmiötä sanotaan korroosioksi. Raudan (Fe), kosteuden (H<sub>2</sub>O) ja hapen (O<sub>2</sub>) välille voi syntyä reaktio, jolloin muodostuu ruostetta (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+H<sub>2</sub>O). Ruoste on niin huokoista ja huonosti kiinni metallin pinnassa, ettei se kykene suojaamaan alla olevaa metallia, vaan korroosioprosessi jatkuu, kunnes metalli tuhoutuu. Kosteuden läsnäolo on siis välttämätön ehto korroosion esiintymiselle. Edellä ollutta kutsutaan myös **sähkökemialliseksi korroosioksi**. Toinen korroosio-muoto on **kemiallinen korroosio**, joka on etupäässä kaasujen aiheuttamaa, jolloin metallipinta reagoi suoraan ympäristön kanssa (esim. happi, rikkivety, rikkihöyryt).

Ruostumattoman teräksen pinnalle muodostuu hapellisissa olosuhteissa passiivinen oksidikalvo. Se on kromirikasta oksidia, joka on stabiili, huokoseton ja tiukasti kiinni metallissa. Jos se kuitenkin vaurioituu (esim. naarmuttamalla tai leikkaamalla), se pystyy itsestään korjautumaan ilman läsnä ollessa tai hapettavassa ympäristössä. Tämä kalvo pysäyttää syöpymisen heti alussa, ja kalvon paksuuskin jää erittäin pieneksi, silmillä näkymättömiksi. Ilmiötä sanotaan passivoitumiseksi. Passiivitalassa ruostumattoman teräksen syöpymisnopeus on käytännössä nolla (Kyröläinen & Lukkari 2002). Passiivikalvon muodostumisperiaate on tärkeä, koska olosuhteet, jotka estävät kalvon muodostumisen tai aiheuttavat sen rikkoutumisen, johtavat myös korroosiokestävyyden häviämiseen. Passivoitumattomien metallien syöpymisnopeus kasvaa lineaarisesti, kun ympäristön hapettavuus kasvaa (Kyröläinen & Lukkari 2002).

Tietyn ruostumattoman teräksen korroosiokestävyys riippuu seosaineista, joten jokaisella teräslajilla on hieman erilainen korroosionkestävyys. Ruostumattoman teräksen tyyppi tulee valita käyttöolosuhteiden mukaan. Ruostumaton teräs on altis hiiliteräksen (teräspöly, teräsharjaus, hitsausroiskeet) aiheuttamalle tahriintumiselle ja värjäntymiselle. Huolellinen materiaalin valinta, hyvä yksityiskohtien suunnittelu ja työsuoritus voivat pienentää merkittävästi tahriintumista ja korroosion todennäköisyyttä. Ruostumattomilla teräksillä teollisuusympäristöissä ja meri-ilmastoissa tehdyissä kokeissa ei ole todettu säilyvyyden heikkenemistä, vaikka pientä painon menetystä on esiintynytkin (Euro Inox & VTT 2002).

### 2.6.1 Korroosiolajit

Ruostumattomissa teräksissä korroosio voi ilmetä monella tavalla (ks. Kuva 2.7). Korroosio voi olla tasaista, koko pinnalle ulottuvaa tai paikallista. Tietyissä aggressiivisissa olosuhteissa eräät ruostumattomat teräslajit ovat alttiit paikalliselle vaurioitumiselle. Jäljempänä esitetään keskeisimmät korroosiolajit. Yleinen korroosio tapahtuu metallipinnalla tasaisesti, ja korroosionopeus voidaan ilmoittaa painohäviönä ( $\text{mg/m}^2\text{h}$ ) tai mitamuutoksena ( $\text{mm/vuosi}$ ). Terästä pidetään yleensä käyttöön soveltuvana, jos korroosionopeus on alle  $0,1 \text{ mm/vuosi}$ . Taulukkokirjoista (esim. Jernkontoret 1979) löytyy tieto ruostumattomien terästen yleisestä korroosiosta.

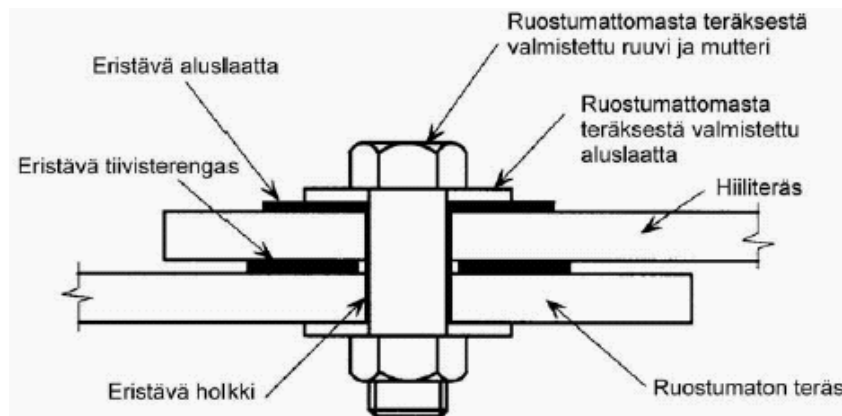


Kuva 2.7. Korroosion ilmenemismuotoja ruostumattomissa teräksissä (Kyröläinen & Lukkari 2002).

#### **Metalliparikorroosio eli galvaaninen korroosio**

Kun kaksi erilaista metallia joutuu kosketuksiin toistensa kanssa sähköä johtavassa nesteessä (esim. epäpuhdas vesi), syntyy sähkövirta anodimetallista katodimetalliin (jalompi metalli) elektrolyytin välityksellä, jolloin epäjalompi (anodi) metalli syöpyy. Ruostumattomien terästen välille metalliparikorroosio on suhteellisen vähäistä.

Erityisesti silloin, kun ruostumaton teräs liitetään hiiliteräksen tai vähän seostetun teräksen kanssa, tulee rakenteet suunnitella siten, että anodi-katodiparin syntyminen estyy. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi eristämällä metallit toisistaan katkaisemalla metallinen kosketus tai estämällä elektrolyytin (sähköä johtava neste) kosketus metalliin esim. maalaamalla tai muulla pinnoitteella. Jos maalaaminen voidaan tehdä vain toiselle pinnalle, on suositeltavaa tehdä se jalommalle metallille (Euro Inox & VTT 2002). Pulttiliitosten ympärille eristys saadaan aikaan eristävillä muovi- tai kumitiivisteillä ja nylon- tai teflon-aluslevyillä ja -holkeilla (ks. Kuva 2.8).



Kuva 2.8. Tyypillinen yksityiskohta erilaisten aineiden liittämiseksi (Euro Inox & VTT 2002).

Korroosionopeus riippuu myös yhteydessä olevien metallien suhteellisista pinta-aloista. Mitä suurempi katodin pinta-ala on suhteessa anodin ala, sitä suurempi syöpmisnopeus on. Suhde on tyypillisesti epäedullinen liitoselementeillä ja liitoksissa. Hiiliteräspultteja ruostumattomissa terässauvoissa tulee välttää, koska ruostumattoman teräksen pinta-ala suhteessa hiiliteräkseen on suuri, ja pultit joutuvat alttiiksi aggressiiviselle syöpmiselle. Vastaavasti hiiliterässauvan syöpyminen ruostumattoman teräspultin rinnalla on paljon hitaampaa. Austeniittiset ruostumattomat teräkset muodostavat tavallisesti bimetaliparin katodin eikä niissä siksi synny korroosiota. Poikkeuksena on pari kuparin kanssa, jota pitäisi yleensä välttää paitsi vaarattomissa tapauksissa.

### **Piste- ja rakokorroosio**

Ruostumattoman teräksen yleisimmät korroosimuodot ovat piste- ja rakokorroosio. Pistekorroosio esiintyy yleensä kloridipitoisissa ympäristöissä. Teräspinnan passiivikalvo on tuhoutunut paikallisesti kloridi-ionien (myös sulfaatit, haloidit) vaikutuksesta. Korroosiotuotteet voivat aiheuttaa voimakasta korroosiota. Pistekorroosio rajoittuu yleensä pintaan eikä aiheuta silloin merkittävää riskiä. Arkkitehtonista ilmettä korroosiotuotteet kuitenkin tahrivat. Rakokorroosion syöpmät syntyvät ahtaisiin rakoihin, tiivisteiden ja likakerroksen alle, paikkoihin joihin passiivisen suojakerroksen säilymi-

sen edellyttämä hapetin ei kunnolla pääse. Rakoja esiintyy muttereiden ja aluslevyjen alla, ruuvin varressa ja myös hitseissä.

Piste- ja rakokorroosion todennäköisyys kasvaa kloridipitoisuuden, lämpötilan kasvaessa. Lisäksi happamuus, alkalisuus ja hapettavien aineiden pitoisuus vaikuttavat korroosion esiintymiseen. Ruostumattoman teräksen kestävyyttä piste- ja rakokorroosiota vastaan parantavat merkittävimmin seosaineet kromi, molybdeeni ja typpi. Likimääräisesti voidaan piste- ja rakokorroosiokestävyyttä arvioida PRE- ja CRE- arvoilla. Nämä ekvivalentit PRE (Pitting Resistance Equivalent) ja CRE (Crevice Resistance Equivalent) määritetään seuraavasti:

$$\text{PRE} = \% \text{ wt Cr} + 3,3(\% \text{ wt Mo}) + 30(\% \text{ wt N}) \quad (\text{Euro Inox \& VTT 2002}).$$

$$\text{CRE} = \% \text{ wt Cr} + 4,1(\% \text{ wt Mo}) + 27(\% \text{ wt N}), \quad \text{wt} = \text{paino-\%}$$

Ruostumattoman teräksen PRE- ja CRE-arvoille ei ole absoluuttista merkitystä, mutta ne ovat hyödyllinen apuväline verrattaessa ruostumattomia teräksiä keskenään.

### **Herkistyminen raerajakorroosiolle ja hitsauskorroosio**

Ruostumattoman teräksen ollessa pitkään 450–850 °C:n lämpötilassa teräksen hiili muodostaa kromin kanssa erkautuvia kromikarbideja, joiden ympäristöön syntyy kromista köyhiä vyöhykkeitä. Tässä tilassa olevia teräksiä kutsutaan herkistyneiksi. Raerajat eivät passivoidu, kuten teräs keskimäärin, ja joka on siten altis korroosiolle, jos olosuhteet ovat riittävän aggressiiviset. Kun ilmiö esiintyy hitsin lämpövaikutusalueella, ilmiötä sanotaan hitsauskorroosioiksi.

Seuraavassa on Euro Inox & VTT (2002) esitetyt tavat estää raerajakorroosio:

- käytetään teräksiä, joiden hiilipitoisuus on pieni
- käytetään titaanilla tai niobilla stabiloitua terästä, koska nämä aineet muodostavat ensi sijassa hiilen kanssa stabiileja yhdisteitä ja siten pienentävät kromikarbidien muodostumisriskiä
- käytetään lämpökäsittelyä (stabilointihevktus), joka on kuitenkin harvinainen käytännössä.

Alhaisen hiilipitoisuuden (maks. 0,03 %) omaavat ruostumattomat teräslajit 20 mm:n ainepaksuuteen asti eivät ole alttiita hitsauksen jälkeiselle raerajakorroosiolle, kun hitsaus suoritetaan kaarihitsausmenetelmillä.

## Jännityskorroosio

Jännityskorroosio on lähinnä austeniittisten ruostumattomien terästen korroosiomuoto ja sitä esiintyy erityisesti lämpimissä kloridipitoisissa olosuhteissa. Jännityskorroosio ilmenee haurasmurtumana vetojännityksen alaisissa rakenteissa siten, että kapea murtuma (särö) etenee materiaalissa läpi koko rakenteen. Jännityskorroosion havaitseminen ennen murtumaa on usein vaikeaa, joten se voi aiheuttaa äkillisiä vaurioita.

Ferriittinen teräs, jonka nikkelpitoisuus on alle 1 %, kestää erittäin hyvin jännityskorroosiota. Myös austeniittis-ferriittiset laadut ovat lähes yhtä hyviä. Austeniittiset vakioaadut, jotka sisältävät nikkeliä 7–9 % (esim. 1.4301), ovat jännityskorroosiokestävyydeltään huonoimpia ja 10,5–3,0 % Ni (esim. 1.4436) sisältävät ovat hieman parempia (Kyröläinen & Lukkari 2002). Austeniittisillä laaduilla nikkeli on seosaine, joka voimakkaimmin pienentää herkkyyttä säröilylle.

Yleensä tarvitaan ainakin seuraavien kolmen tekijän yhteisvaikutus ennen kuin jännityskorroosio on mahdollinen (Ruostumattomat teräkset 2002):

- Riittävä vetojännitys

*Vetojännitys voi olla rakenteellista tai se voi olla peräisin valmistuksen, kuten hitsauksen, taivutuksen ja koneistuksen aiheuttamista jäännösjännityksistä. Paineen tai lämpötilan vaihtelut voivat myös aiheuttaa riittäviä jännitystasoja. Vetojännitykselle ei voida määrittää tarkkaa alarajaa, mutta jopa puolet myötölujuudesta voi olla riittävä.*

- Syövyttävä ympäristö tai passiivikalvon rikkovat ionit

*Kloridit voivat hyvinkin pieninä pitoisuuksina aiheuttaa vaurioita, kun lämpötila on korkea (200 °C) tai ne voivat rikastua teräksen pinnalle. Emäkset ovat vaarallisia väkevinä (yli 20 %) ja kuumina (yli 80 °C). Myös pelkistävät aineet, kuten rikkivety, ovat vaarallisia, kun pH on alhainen. Tämä tekijä ei ole ongelma tyypillisissä talonrakenteissa, mutta esim. uimahalleissa ja maatalouden tuotantotiloissa tulee asia ottaa huomioon (luku 2.9.1).*

- Lämpötila

*Kloridien aiheuttamaa jännityskorroosiota esiintyy harvoin alle 50 °C:n lämpötiloissa (ks. uimahallit 2.9.1). Rikkivety on vaarallinen matalissa lämpötiloissa. On myös tehty havaintoja jännityskorroosiosta huoneenlämpötilassa (Honkasalo 1976), mutta kyseisiä tilanteita esiintyy pääasiassa prosessiteollisuudessa ja niiden laitteissa. Jännityskorroosiota on myös tutkittu meri-ilmastossa (Money & Kirk 1978). Viiden vuoden tutkimuksessa ei havaittu jännityskorroosiota, vaikka lämpötila teräksen pinnalla nousi kesäisin 60 °C:seen.*

## 2.7 Hitsaus

Tässä esityksessä kerrotaan yleisluonteisesti ruostumattomien terästen hitsauksesta ja syvällisten tietojen osalta ohjataan lähdekirjallisuuteen. Rakennneosan hitsattavuus koostuu kolmesta osatekijästä: perusaineen, rakenteellisesta ja valmistuksellisesta hitsattavuudesta. Nämä kolme tekijää ovat läheisesti sidoksissa toisiinsa. Perusaineen hitsattavuus on materiaaliominaisuus, johon valmistus vaikuttaa melko paljon, mutta rakenne vain vähän (Kyröläinen & Lukkari 2002).

Ruostumattomien terästen luonteesta ja moninaisuudesta johtuen hitsattavuutta rajoittavat eri teräksillä eri tekijät. Austeniittiset vakioteräkset (1.4301 ja 1.4432 sekä näiden johdannaiset) ovat yleensä parhaiten hitsattavia. Kaarihitsauksessa esiintyy haurastumis- ja murtumisilmiöitä kuten kuumahalkeilua, sitkeyden huonontumista ja ”sigmahaurautta” duplex-teräksillä. Kuumahalkeilua voidaan ehkäistä austeniittisissä vakioteräksissä ferriitin avulla (vähintään 5 % ferriittiä hitsissä). Lisäksi korroosiokestävyys voi huonontua. Oleellista on, että käytetään oikeita hitsausprosesseja ja että käytetään perusaineen kanssa yhteensopivia lisäaineita ja että pätevöityneet hitsaajat tekevät työn. Tämä on tärkeä hitsin riittävän lujuuden ja oikean muodon saavuttamiseksi sekä hitsin ja ympäröivän perusaineen korroosiokestävyyden säilymiseksi.

Ruostumattomien terästen alhainen lämmönjohtavuus johtaa jyrkempiin lämpötilaeroihin ja yhdessä suuremman lämpöpitenemisen kanssa aiheuttaa suurempia hitsausjännityksiä ja -muodonmuutoksia kuin hiiliteräksillä. Hitsausmuodonmuutoksia voidaan pienentää mm. seuraavilla toimenpiteillä: pieni hitsausenergia, taka-askelhitsaus, monipalkohitsaus, siltahitsien käyttäminen, symmetriset liitokset ja hitsin pinta-alan pienentäminen.

### **Hitsausmenetelmät**

Taulukossa 2.6 on esitetty yleisiä sulahitsausmenetelmiä, joita voidaan käyttää ruostumattomille teräksille. Puikkohitsaus on edelleen yleinen menetelmä monipuolisuutensa ja pienten laitekustannustensa vuoksi. Lankahitsausmenetelmät ovat kuitenkin yleistyneissä. Puikkohitsaus on metallikaarihitsausta, jossa valokaari palaa hitsauspuikon ja työkappaleen välillä. Aineensiirtyminen tapahtuu sulapisaroina puikosta hitsisulaan. Puikon päällysteestä muodostuvat kuona ja kaasut suojaavat hitsaustapahtumaa. MIG/MAG-hitsauksessa valokaari palaa suojaakaasun ympäröimänä hitsauslangan (umpilanka) ja työkappaleen välillä. Suojaakaasuna MIG-hitsauksessa käytetään inerttiä kaasua (Ar, He tai Ar+He) ja MAG-hitsauksessa aktiivista kaasua (Ar+O<sub>2</sub>, Ar+CO<sub>2</sub>) (ks. liite A.4). TIG-hitsauksessa valokaari palaa suojaakaasun (yleensä Ar) ympäröimänä sulamattoman volframielektrodin ja työkappaleen välillä. TIG-hitsaus voidaan tehdä ilman lisäainetta tai lisäaineen kanssa.

Taulukko 2.6. Hitsausmenetelmät (SFS-ENV 1993-1-4:1999).

Hitsausprosessi (EN ISO 4063)	Soveltuvat Tuotemuodot	Liitosmuodot	Ainepaksuusalue	Hitsausasennot	Soveltuvuus konepaja- tai asennusolosuhteisiin
111 Puikkohitsaus	Kaikki paitsi ohutlevyt	Kaikki	3 mm <sup>(1)</sup> tai suurempi	Kaikki	Kaikki
131 MIG-hitsaus	Kaikki	Kaikki	2 mm <sup>(1)</sup> tai suurempi	Kaikki	Kaikki <sup>(2)</sup>
141 TIG-hitsaus	Kaikki	Kaikki	Enintään 10 mm asti	Kaikki	Kaikki <sup>(2)</sup>
121/122 Jauhekaari- ja jauhekaari-lankahitsaus	Kaikki paitsi ohutlevyt	Kaikki	3 mm <sup>(1)</sup> tai suurempi	Vain jalkoasento	Kaikki
2 Vastushitsaus	Vain ohutlevyt	Kaikki	n. 3 mm suurimmillaan	Kaikki	Kaikki

1) Riippuu käytettävän hitsausliitoksen tyypistä.  
2) Herkempi sääälle kuin muut hitsausprosessit ja vaaditaan parempaa suojausta ympäristön suhteen.

Ruostumattomia teräksiä hitsattaessa hitsausvirrat ovat alhaisempia kuin seostamattomilla teräksillä johtuen suuremmasta langan resistiivisyydestä. Esimerkiksi puikkohitsauksessa voidaan virralle esittää karkeat ohjearvot (Kyröläinen & Lukkari 2002):

Hitsausvirta (A) = 30 x puikonhalkaisija (mm), ruostumattomilla ja

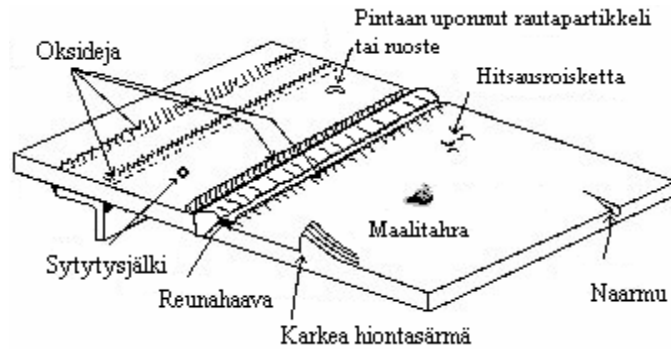
Hitsausvirta (A) = 40 x puikonhalkaisija (mm), seostamattomilla teräksillä.

### **Korroosion välttäminen ja jälkikäsittely**

Yleinen puhtaus ja saasteettomuus ovat tärkeitä hyvän hitsauksen laadun saavuttamiseksi. Öljyt ja muut hiilivedyt sekä vahaliidulla tehdyt merkinnät poistetaan niiden hajoamisen ja hiilen syntymisen välttämiseksi. Hitsissä ei saa olla sinkkiä, mukaan lukien sinkityistä tuotteista syntyvä sinkki, eikä kuparia ja sen seoksia.

Ruostumattoman teräksen osalta on tärkeämpää kuin hiiliteräksen osalta vähentää kohtia, joissa rakokorroosio voi alkaa. Hitsausvirheet, kuten reunahaava, vajaa tunkeuma, roiske ja kuona ovat kaikki mahdollisia korroosion paikkoja ja ne tulee siten minimoida. Sytytysjäljet ja sytyttäminen irtonaisella maadoituksella vahingoittavat myös passiivikerrosta ja aiheuttavat mahdollisesti ennenaikaista korroosiota ja siten vahingoittavat valmiin rakenteen ulkonäköä. Kuvassa 2.9 on esitetty mahdollisia korroosion esiintymiskohtia ja teräspinnan virheitä.





Kuva 2.9. Korroosion esiintymiskohtia hitsausliitoksessa tai pinnan virheissä.

Raerajakorroosio ei yleensä ole ongelma vähän hiiltä sisältävillä austeniittisilla ruostumattomilla teräksillä (esim. 1.4307 ja 1.4404). Hitsauskorroosion vaikutus voi kuitenkin ilmetä tavanomaisen määrän hiiltä sisältävillä teräksillä (ei koske niukkahiilisiä tai stabiloituja laatuja), jos levyn paksuus on suurempi kuin noin 10 mm (Euro Inox & VTT 2002). Katkopienahitsejä ja ei-jatkuvia osittain läpihitsattuja päittäishitsejä tulee välttää korroosiomahdollisuuden pienentämiseksi lukuun ottamatta lieviä ympäristöolosuhteita. Katkonaisia päittäishitsejä tulee käyttää varoen meri-ilmastossa tai voimakkaasti saastuneissa ympäristöissä erityisesti tilanteissa, joissa voi esiintyä kapillaarisuutta. Kloridipi-toisissa olosuhteissa hitsiliitokset on syytä aina peitata.

Seuraavassa on lähteessä Euro Inox & VTT (2002) esitettyjä hitsien jälkikäsittelyohjeita:

”Hitsin viimeistelyyn tavallisimmin käytettävät menetelmät ovat teräsharjaus ja hiominen. Viimeistelyn määrä minimoidaan ja jos mahdollista se rajoitetaan teräsharjaukseen. Tämä sen takia, että pinnan hiomisessa syntyvä lämpö voi vaikuttaa korroosionkestävyyteen. Käytettävien teräsharjojen tulee olla tehty ruostumattomasta teräksestä ja niitä tulee käyttää vain näille ruostumattomille teräksille. Hiekka- ja lasikuulapuhallus muistuttavat lopputulokseltaan harjausta. Hiekka- tai lasikuulat tunkeutuvat harjausta paremmin pinnan onkaloihin, joten esim. hiilenpoisto hitsin pinnasta on perusteellisempaa kuin harjauksessa. Teräspinta aktivoituu myös puhalluksessa, joten paras korroosionkestävyys saavutetaan peittaamalla tai passivoimalla suihkupuhallettu pinta.

Hyvä käytäntö on poistaa kaikki lämmöstä aiheutuva värjäntyminen eli ns. päästövärit. Keltainen lämmöstä aiheutuva värjäntyminen voi kuitenkin olla hyväksyttävissä, jos ruostumaton teräs antaa hyvän korroosionkestävyyden tarkasteltavassa ympäristössä. Jos näin ei kuitenkaan ole tai kun väri ei ole esteettisistä syistä hyväksyttävissä, väri voidaan poistaa peittaamalla tai lasihelmillä. Peittäus voidaan suorittaa upotuspeittauksena tai käyttämällä tahnoja valmistajien ohjeiden mukaan.

Hitsin pinnan vasarointi on edullinen hitsin jälkikäsittely. Se aiheuttaa puristusjännityksiä pintaan, joka parantaa väsymiskestävyyttä ja kestävyttä jännityskorroosiosta aiheu-

tuva säröilyä vastaan sekä parantaa esteettistä ulkonäköä. Vasarointia ei kuitenkaan saa käyttää väsymiskestävyyden parantamisen perusteena. Metallin irrottaminen merkittävästi työstämällä aiheuttaa jännityksen poistumista ja sen takia muodonmuutoksia hitsattuun tuotteeseen. Tapauksissa, joissa muodonmuutokset ovat sellaisia, että mittatoleransseja ei voida saavuttaa, vaaditaan jännityksiin kohdistuvaa lämpökäsittelyä. Yleensä tämä on käytännöllistä vain pienikokoisille rakenneosille ja vain niukkahiilisille lajeille (kuten 1.4307 ja 1.4404) tai stabiloiduille lajeille (kuten 1.4541 ja 1.4571) herkistymisen välttämiseksi.”

### **Lisäaineet**

Yhteensopivat hitsausaineet valitaan siten, että niiden myötöraja ja murtolujuus ylittävät perusaineen vastaavat arvot. Hitsausmetallin tulee olla vähintään yhtä jaloa kuin perusaine riittävän korroosiosuojan saavuttamiseksi. Lisäaineiden valmistajilta on saatavilla ohjeita materiaalien ja hitsausvirtojen valintaan. Liitteessä A.4 on listattu lisäaineita laajemmin kuin taulukossa 2.7.

*Taulukko 2.7. Lisäaine koostumuksia muutamille ruostumattomille teräksille.*

<b>Teräs (EN 10088-1)</b>	<b>Lisäaine (SFS-EN 1600/12072)</b>
1.4301	19 9 L
1.4432	19 12 3 L
1.4462	22 9 3 N L
1.4439	18 15 5 N L

Lisäaine standardi SFS-EN 1600 viittaa puikkoihin ja 12072 lankoihin. Esimerkiksi merkintä SFS-EN 1600: *E 19 12 3 L R 3 2* tarkoittaa:

- E* hitsauspuikko. (SFS-EN 12072 mukaan langat merkitään *G*-kirjaimella.)
- 19 12 3 L* koostumus (*Cr Ni Mo*, *L*: matala hiilipitoisuus)
- R* päällystetyyppi (*R*: rutiili, *B*: emäs)
- 3* riittoisuus
- 2* hitsausasento

Eripariliitoksiksi kutsutaan kaarihitsauksessa liitoksia, joissa perusaineet, hitsiaine ja perusaine tai kaikki kolme ovat erityyppistä terästä (Ruostumattomat teräkset 2002). Seostamattoman ja ruostumattoman teräksen hitsauksen onnistumiselle on oleellista sopivan lisäaineen käyttö ja sekoittumisen hallinta. Tarkasteluun voidaan käyttää ns. Schaffler-diagrammia.

Kylmämuokattujen ruostumattomien terästen hitsauksessa voidaan hitsille saavuttaa helposti C700-luokan lujuus. Tätä ja ruostumattomien terästen hitsausta on käsitelty kirjassa Kyröläinen & Lukkari (2002), Ruostumattomat teräkset ja niiden hitsaus.

## 2.8 Työstö

Ruostumattomille teräksille on käytettävissä tavanomaiset terästen työstömenetelmät kuten leikkaus, lävistys, taivutus, särmäys, venytys- ja rullamuovaus jne. Austeniittisten ruostumattomien terästen työstettävyyden kannalta merkittäviä tekijöitä ovat muokkauslujittuminen ja suuri murtositkeys. Yleisesti ottaen muovattavuus on hyvä ja lastuttavuus tyydyttävä. Muokkauslujittumisen vuoksi muovaavan työstön voimantarve on suurempi kuin monilla muilla metalleilla. Austeniittisillä teräksillä n. 50 % ja duplex-teräksillä jopa enemmän (Euro Inox & VTT 2002).

### Leikkaus ja lävistys

Leikkaaminen ja sahaaminen soveltuvat hyvin ruostumattomille teräksille, kun huomioidaan teho vaatimukset. Sitkeydestä johtuen on eduksi käyttää pieniä välyksiä ja mahdollisuuksien mukaan pinnoitettuja työkaluja (Ruostumattomat teräkset 2002). Giljotiinileikkuri soveltuu hyvin suorille linjoille.

Konesahalla sahattaessa käytetään leikkuunestettä jäähdytykseen. Sahattaessa esim. alle 6 mm:n paksuisia aineita käytetään terää, jossa on hampaita 10 kappaletta / 25 mm. Paksummilla tuotteilla hammastus on harvempi. Sahausnopeus on austeniittisillä teräksillä 80 liikettä minuutissa ja syöttönopeus 0.15 mm / liike. (SSINA 4-99-5)

Ruostumattomia teräksiä ei voida leikata happi-asetyleeni-polttoleikkausmenetelmällä ilman leikkausjauhetta, joten termisiksi leikkausmenetelmiksi soveltuvat:

- laserleikkaus, alle 10 mm:n paksuuksille
- plasmaleikkaus, paksut levyt ja profiilit
- jauheleikkaus, paksut levyt ja profiilit.

Vesisuihkuleikkaus on hyvä tilanteissa, joissa on tarpeen välttää lämmöntuontia leikkauskohtaan. Se soveltuu materiaalipaksuuksille 75 mm asti. Vesisuihkuleikkauksen käyttö on lisääntynyt ja hinnat halventuneet (Architects' Guide...1997).

Reiät voidaan valmistaa poraamalla tai lävistämällä. Porausta käytettäessä tulee käyttää teräväkärkistä poraa oikeassa kulmassa ja oikeaa leikkausnopeutta. Pyöreäpäisen pistepuikon käyttöä ei suositella, koska se lujittaa teräksen pintaa. Voidaan käyttää keskitysreikä tai jos pistepuikkoa on käytettävä, sen tulee olla kolmion muotoinen. Lävistämistä voidaan käyttää austeniittisillä teräksillä noin 20 mm:n ainepaksuuteen asti; lujemmilla duplex-teräksillä suurin mahdollinen ainepaksuus on pienempi. Pienin lävistettävissä olevan reiän halkaisija on 2 mm suurempi kuin levyn paksuus. Lävistettyjä reikiä tulee välttää korrodoivissa olosuhteissa johtuen reiän reunojen muokkauslujittumisesta. (Euro Inox & VTT 2002)

## Taivutus

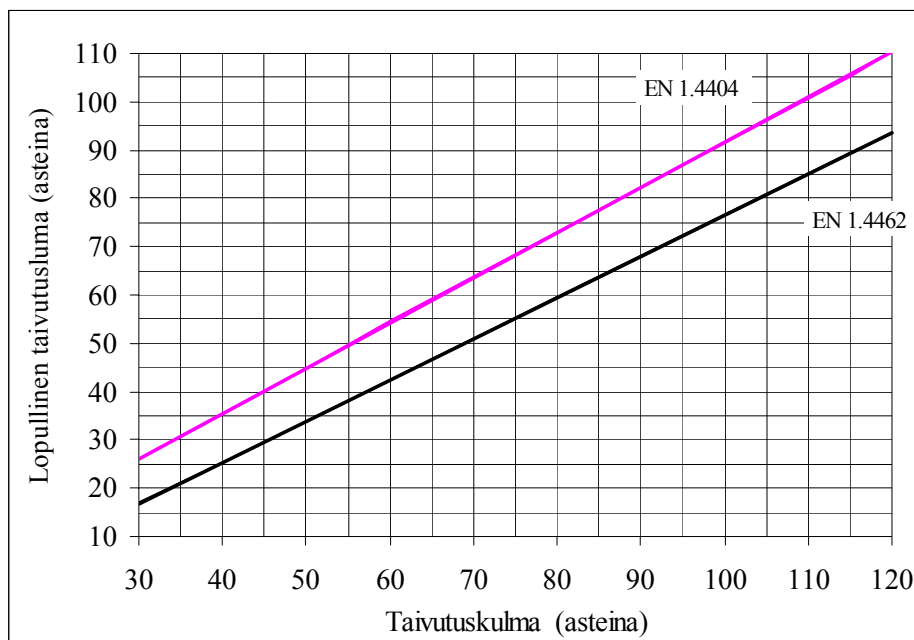
Ruostumattomien terästen suuri sitkeys sallii niinkin pienien säteiden käytön taivutuksessa kuin puolet ainepaksuudesta hehkutetuilla aineilla. Yleisesti suositellaan seuraavia minimiarvoja sisäpuolisille pyöristyssäteille (SFS-ENV 1993-1-4:1999):

$2t$  austeniittisille teräksille  
 $2,5t$  duplex-teräksille,  
missä  $t$  on aineen paksuus.

Putkia taivutettaessa otetaan huomioon seuraavat ohjeet:

- Putken ulkohalkaisijan ja seinämän paksuuden suhde ei saa ylittää arvoa 15 (kalliiden työkalujen välttämiseksi)
- Taivutussäteen (putken keskilinjalla) tulee olla vähintään  $2,5d$ , missä  $d$  on putken ulkohalkaisija
- Hitsi sijoitetaan lähelle neutraaliakselia hitsin taivutusjännitysten pienentämiseksi.

Ruostumattomien terästen takaisinjousto on suurempi kuin hiiliteräksillä. Takaisinjousto on riippuvainen taivutussäteen suhteesta paksuuteen sekä mm. myötölujuudesta. Suhteen tai myötölujuuden kasvaessa jousto kasvaa. Kuva 2.10:ssä on esitetty taivutuskulmia 2 mm:n levyllä.



Kuva 2.10. Taivutuksen takaisinjousto 2 mm:n levyllä (IMOA 2001, Lähde Outokumpu Stainless oy).

## 2.9 Materiaalin valinta

Valittaessa oikeantyyppistä ruostumatonta terästä täytyy ottaa huomioon kohteen ympäristö, valmistusvaiheet, pinnan viimeistely ja rakenteen huolto. Vaikka aine ei vaadi paljon kunnossapitoa, niin syövyttävässä ympäristössä korroosionestotekniikkaa on osattava hyödyntää riittävästi. Austeniittinen ruostumaton teräs, EN 1.4401, soveltuu useimpiin kohteisiin, joissa teräs on pitkäaikaisessa käytössä ulkoilmassa myös rannikkoalueille ja raskaan teollisuuden rasittamille paikoille. Vähemmän vaativissa ulko-olosuhteissa voidaan käyttää terästä EN 1.4301, jossa ei ole molybdeeniä.

Ympäristön syövyttävyyteen vaikuttavia tekijöitä ovat: kosteus, ilman lämpötila, kemikaalien olemassaolo ja niiden pitoisuus, happipitoisuus jne. Korroosio edellyttää kosteuden läsnäoloa. Esimerkiksi lämmitetyt ja tuuletetut rakennukset voidaan luokitella kuiviksi, jolloin korroosio on epätodennäköinen. Myös maatalouden tuotantorakennuksissa olosuhteet (ammoniakki, rikkivety, suolat, kosteus ja lämpötila) korroosion esiintymiselle ovat mahdolliset (Kivinen 2003). Rannikkoalueet ovat hyvin syövyttäviä ilman kloridi-ionien korkean pitoisuuden takia, ja merisumulle alttiit rakenteet ovat erityisessä korroosiovaarassa. Ruostumattoman teräksen välitön lähiympäristö (esim. aineita, joiden kanssa teräs saattaa joutua kosketukseen), pinnan laatu, teräksen lämpötila ja odotettavissa oleva jännitystaso otetaan myös huomioon. Ruostumattoman teräksen pinnanlaadulla on vaikutusta korroosiokestävyyteen. Yleisesti sileä pinta on karheaa parempi. Pinnanlaatuja on esitetty liitteessä A.5.

Eri lajien soveltuvuutta voi selvittää käyttämällä hyväksi vastaavissa sovelluksissa ja ympäristöissä ruostumattomista teräksistä saatuja kokemuksia. Taulukko 2.9 opastaa sopivien lajien valintaan eri ilmasto-olosuhteissa. Se perustuu ruostumattomien teräslevykoekappaleiden pitkäaikaiseen altistukseen erilaisissa sijaintipaikoissa.

Ruostumattomien terästen mekaanisten ominaisuuksien vaatimukset huomioidaan rakenteen mukaan. Selvitetään erilaiset kuormitustyyppit, esim. käyttötilan kuormat ja jaksolliset kuormat, värähtelyt, seismiset kuormat. Voi olla myös tarpeen määrittää lämpenemis-/ jäähtymisjaksojen vaikutus. Valmistuksen helppous, profiilien saatavuus, pinnan viimeistely ja kustannukset on myös otettava huomioon. Liitteessä A.2 on eräs valintakaavio SS 2333 (EN 1.4301) ja SS 2343 (EN 1.4436) ruostumattomille teräksille (Raaka-ainekäsikirja; Muokatut teräkset: 1984).

Harkittaessa koneistettavien (lastuavasti työstettävien) ruostumattomien terästen käyttöä liittimissä on oltava varovainen. A1 teräslajin liittimiä, joiden rikkipitoisuus altistaa ne korroosiolle, ei saa käyttää ruuvien tai pulttien materiaalina. (SFS-ENV 1993-1-4:1999). Taulukko 2.8 esittää erilaisten metallien soveltuvuutta liitososissa. Ruostumattoman liittimen käyttö sinkityn tai seostamattoman teräslevyn kanssa lisää galvaanista korroosiota (ks. luku 2.6.1) olosuhteissa ( $RH \geq 80 \%$  ja  $T \geq 0 \text{ }^\circ\text{C}$ ), joissa teräslevy on altis korroosiolle. Olo-

suhteissa, joissa kosteutta voi kondensoitua pintoihin, hiiliteräslevy voi ruostua ja rst-liitin saattaa kiihdyttää sitä. Kuivissa olosuhteissa galvaanista korroosiota ei tapahdu.

Taulukko 2.8. Galvaanisen korroosion vaikutus liitosiin (SSINA 1995).

<b>Liitin</b> <b>Perusaine</b>	Sinkki / sinkitty teräs	Alumiini	Seostamaton teräs	Kupa- riprons- si- Monel	Martensiittinen- ruostumaton, 1.4000	Austeniittinen ruostumaton, 1.4301,1.4401
Sinkki /sinkitty teräs	A	B	B	C	C	C
Alumiini	A	A	B	C	Ei suositella	B
Seostamaton teräs	AD	A	A	C	C	B
Kupari, pronssi, Monel	ADE	AE	AE	A	A	B
Ferriittinen 1.4016	ADE	AE	AE	A	A	A
Austeniittinen 1.4301,1.4401	ADE	AE	AE	AE	A	A
A. Liitin ei aiheuta korroosiota perusmetallissa. B. Liitin lisää hieman korroosiota perusmetallissa. C. Liitin voi lisätä korroosiota huomattavasti perusmetallissa.				E. Perusmetalli lisää korroosiota liittimessä. D. Liittimen pinnoite poistuu ensin ja jättää liittimen metallin paljaaksi.		
HUOMAA: Metallipinnankäsittely ja olosuhteet voivat muuttaa korroosioaktiivisuutta.						

Taulukko 2.9. Suositeltavat teräslajit eri ilmasto olosuhteissa (Architects' Guide...1997, SFS-ENV 1993-1-4:1999).

Teräslaji EN 10088	Ympäristön tyyppi ja korroosioluokka											
	Maaseutuilmasto			Kaupunki-ilmasto			Teollisuusilmasto			Meri-ilmasto		
	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H
1.4301	✓	✓	✓	✓	✓	(✓)	(✓)	(✓)	x	✓	(✓)	x
1.4311												
1.4541												
1.4318												
1.4401	0	0	0	0	✓	✓	✓	✓	(✓)	✓	✓	(✓)
1.4404												
1.4406												
1.4571												
1.4439	0	0	0	0	0	0	0	0	✓	0	0	✓
1.4462												
1.4529												
1.4539												
<b>Korroosio-olosuhteet:</b>												
L: Alhainen. Alhaisimmat korroosio-olosuhteet ko. ympäristössä. Esim. tiettyyn lämpötilaan lämmitetyt tilat, joissa on alhainen kosteus tai alhaiset lämpötilat.												
M: Keskimääräinen. Melko tyypillinen ko. tyyppisessä ympäristössä.												
H: Korkea. Korroosion todennäköisyys korkeampi kuin tyypillistä ko. ympäristössä. Esim. korroosio kasvaa pysyvän korkean kosteuden, korkean ympäröivän lämpötilan tai erityisesti aggressiivisten ilman saasteiden takia.												
<b>Avainsanat:</b>												
0 Mahdollisesti ylimitoitu korroosion kannalta katsoen.												
✓ Todennäköisesti paras valinta korroosionkestävyyden ja kustannusten kannalta.												
x Todennäköisesti tapahtuu liiallista korroosiota.												
(✓) Tarkastelun arvoinen, jos ryhdytään sopiviin varotoimenpiteisiin (so. määritellään suhteellisen tasainen pinta ja sen jälkeen pinta pestään säännöllisesti).												

## **Eri teräslaatuojen saatavuus**

Yleisimmin saatavilla olevia ruostumattomia austeniittisia ja duplex-teräslaatuja levyinä ja tankoina ovat EN 1.4301, 1.4401, 1.4432, 1.4462. Titaanistabiloituja levyjä EN 1.4541 ja 1.4571 on jonkin verran markkinoilla. EN 1.4318:n käyttö lisääntynee rakenteissa sen suuremman lujuuden ansiosta verrattuna 1.4301:een. Rakenneputkia on saatavilla edellä mainituista laaduista. Valsattuja profileja on yleensä saatavilla 1.4301 ja 1.4401 laaduista. Liittimien saatavuutta on käsitelty luvussa 2.13. Liitteessä A.3 on esitetty joistakin ruostumattomista teräslaaduista valmistettujen 2 mm paksujen levyjen ohjeellisia hintoja kylmävalsattuna, pinnanlaatu 2B, sekä kylmämuokattuna.

### **2.9.1 Erilaisia käyttöympäristöjä**

Kuten aikaisemmin on mainittu, rakenteiden tai niiden osien käyttöolosuhteet tulee huomioida ruostumattomien terästen valinnassa. Katetut ulko-olosuhteet esimerkiksi teiden ja katujen läheisyydessä voivat olla klorideille alttiina (NiDi 2001).

Makeanveden epäpuhtauksien pitoisuudet vaihtelevat suuresti, kuitenkin yleensä EN 1.4301 tyyppiset teräkset riittävät. Murtovesissä (Itämeri) tulee käyttää vähintään EN 1.4401 terästä ja merivesissä vielä enemmän kromia ja molybdeeniä sisältäviä laatuja. Korroosiokestävyyteen vaikuttavat veden virtausnopeus, raot rakenteissa ja lämpötila. (Jernkontoret 1979)

## **Uimahalliolosuhteet**

Uimahalleissa käytetään klooripohjaisia desinfiointiaineita. Näiden aineiden reagoimissa esimerkiksi urean kanssa syntyy mm. kloramiinia, joka voi haihtuessaan aiheuttaa jännityskorroosiota ruostumattomille teräksille jo huoneenlämpötilassa (Oldfield & Todd 1991). Lisäksi haihtuvan kosteuden mukana kulkeutuu muitakin kloridi-ioneja sisältäviä aineita ja ne mahdollisesti tiivistyvät metallipinnoille sekä voivat vähitellen rikastua paikallisesti. Pintojen puhdistus estää rikastumisen, mutta aina se ei ole mahdollista. Nykyisissä kylpylänomaisissa uimahalleissa on korkea veden (esim. 29 °C ja joissakin altaissa jopa 37 °C) ja ilman (esim. 28 °C) lämpötila, mikä lisää korroosiorasituksia haihdunnan lisääntymisenä ja lämpötilaerojen kasvuna.

Kuormaa kantavissa rakenteissa tai rakenneosissa ei saa käyttää muuten yleisesti käytettyjä 1.4301, 1.4401 tai 1.4432 ruostumattomia teräslaatuja niiden jännityskorroosiovaaran vuoksi (SFS-ENV 1993-1-4:1999, Stainless steel in swimming... 1995), mikäli säännöllinen puhdistus ei ole mahdollista. Sopivia materiaaleja ovat prEN 1993-1-4:2004 mukaan 1.4529, 1.4547, 1.4539, 1.4565, kun kloridipitoisuus vedessä on 250

mg/l tai alle. Suuremmilla pitoisuuksilla soveltuvat edellä olleista muut paitsi 1.4539. Duplex-teräksillä (1.4462) pistekorrosiomahtoisuus voi rajoittaa sen käyttöä. Liittimet tulee valmistaa jostakin näistä teräksistä vastaavan korroosiokestävyyden saavuttamiseksi (SFS-ENV 1993-1-4:1999). Hitsisaumat tulee peitata, jotta niissä saavutetaan riittävä korroosionkestävyys.

### **Maatalousrakennukset**

Kotieläinrakennuksien ullakkotilojen tuuletuksessa ja höyrinsuluissa on usein puutteita. Huono tuuletus saa aikaan kondensoitumista, homekasvua ja sinkittyjen teräsosien valkoruostetta. (Kurkela. ym. 2003)

Tyypillinen kotieläinrakennuksen runko on kantavat ulkoseinät + NR -kattoristikko. Mikäli olosuhteet ovat esimerkiksi paikallisesti pitkään kosteat,  $RH > 90 \%$ , on puun lahoaminen ja sinkityn hiiliteräksen korrosio mahdollinen. Myös sisätiloissa liittimien korrosio paikallisesti on otettava huomioon.

Kotieläinrakennuksissa esiintyy erilaisia kaasuja, joista teräksille korroosiota aiheuttavia ovat mm. ammoniakki ( $NH_3$ ) ja sen yhdisteet ja rikkivety ( $H_2S$ ). Kostean rikkivetykaasun pitoisuudet ovat yleensä niin pieniä, ettei se aiheuta ongelmia. Ammoniakkipitoisuudet ovat suurimpia lattianrajassa, mikä aiheuttaa voimakasta korroosiorasitusta kalusteille. Ammoniakkikaasujen vaikutusta sinkittyjen naulalevyjen tai muiden kantavien rakenteiden teräsosien ajalliseen kestävyteen on vaikea arvioida (Kivinen 2003). Ristikoita, joissa on käytetty sinkittyjä naulalevyjä, ei tule käyttää olosuhteissa, joissa esiintyy ammoniakkihöyryä, kuten lietesäiliön katot. Lisäksi tuotantorakennuksen yläpohjan höyrinsulun tiiveyteen tulee kiinnittää huomiota.

Riskowskin ja kumppaneiden (1999) tekemän tutkimuksen mukaan maidontuotannossa olevien navettojen korroosiorasitus on melko suuri, vaikka pöly ja ammoniakkipitoisuudet ovat alhaisia. Suhteellinen kosteus on niissä korkea ja lämpötilan ylin ja alin arvo vaihtelee melko laajalla alueella. Laboratoriotestien (Zhu ym. 1999) mukaan matalassa ammoniakkipitoisuudessa paljas hiiliteräs oli alttiimpi korroosiolle kuin korkeissa pitoisuuksissa. Sinkityllä teräksellä ei ollut merkittävää eroa eri pitoisuuksien välillä. Pitoisuuksilla alle 50 ppm, mikä on tavallista sikaloissa (MMM-RMO-C2.2 (2002) raja-arvo on 10 ppm), paljaan teräksen korroosionopeus oli suurempi kuin sinkityllä teräksellä.

Korroosiotaulukoiden (Jernkontoret 1979) mukaan ruostumattomat teräkset EN 1.4301 ja 1.4432 (myös 1.4401) kestävät hyvin ammoniakkia ja rikkivetyä. EN 1.4301 ei sen sijaan kestä väkeviä etikka- ja muurahaihappoja, joita myös esiintyy kotieläinrakennuksissa normaaleissa lämpötiloissa.



## 2.10 Ruostumattomat liittimet puurakenteiden liitoksissa

Kirjallisuuskatsauksessa löytyi muutama artikkeli ja ohje, joissa oli käsitelty ruostumattomista teräksistä tehtyjä liittimiä puurakenteiden liitoksissa. Kahdessa tutkimuksessa (Werner & Siebert 1991 ja Wolfe ym. 1993) oli ruostumattomia liittimiä mukana yhdessä hiiliteräksestä valmistettujen liittimien kanssa. Australialaisen naulalevyvalmistajan (MiTek Australia Ltd.) ohjeissa on annettu mitoitusarvot ruostumattomalle naulalevyille. Yhdysvalloissa naula- ja naulauslevyinä voidaan käyttää ruostumattomia teräksiä (ANSI/TPI 1-2002 (2003), Stevens 1996), vähintään kromi-nikkeliseosta, kun teräksen myötö- ja murtolujuudet ovat vastaavat kuin hiiliteräksellä (n. 227 MPa ja 310 MPa). Jännityskorroosion mahdollisuus tulee kuitenkin aina ottaa huomioon. Korroosion kannalta on tutkittu mm. nauloja kyllästetyissä tai muutoin käsitellyissä puutuotteissa ja myös käsittelemättömässä puussa.

Eurocode 5 standardissa (EN 1995-1-1:2004) ja mm. USA:n (NDS) The National Design Specification for Wood Construction (AF&PA 2001) mainitaan, että austeniittisia ruostumattomia teräksiä voidaan tai tulee käyttää, kun olosuhteet ovat korroosiolle alttiit. Myös muiden maiden puurakenteiden normeissa ja kirjallisuudessa sekä puu- että rst-tuoteteollisuuden suosituksissa on mainintoja kyseisten liittimien tai liitososien käytöstä korroosiolle alttiissa ympäristössä. Taulukko 2.10:ssa on liittimien korroosiosuojauksen minimivaatimukset. Ruostumattomina teräslaatuina käytetään EN 1.4301 (AISI 304), A2 ja 1.4401 (AISI 316), A4. prEN 14592:2002 mukaan ruostumattomina materiaaleina pitää käyttää vähintään EN 1.4436 tai EN 1.4301 tai vastaavia laatuja.

*Taulukko 2.10. Esimerkkejä liitososien korroosiosuojauksen vähimmäisvaatimuksista. (ISO 2081 (1986), EN 1995-1-1:2004)*

Liitin	Käyttöolosuhdeluokka <sup>b</sup>		
	1	2	3
Naulat ja ruuvit $d \leq 4$ mm	Ei ole	Fe/Zn 12c <sup>a</sup>	Fe/Zn 25c <sup>a</sup>
Pultit, Tappivaarnat, naulat ja ruuvit $d > 4$ mm	Ei ole	Ei ole	Fe/Zn 25c <sup>a</sup>
Hakaset	Fe/Zn 12c <sup>a</sup>	Fe/Zn 12c <sup>a</sup>	Ruostumaton teräs
Naulalevyt ja teräslevyt, paksuus enintään 3 mm	Fe/Zn 12c <sup>a</sup>	Fe/Zn 12c <sup>a</sup>	Ruostumaton teräs
Teräslevyt, paksuus 3–5 mm	Ei ole	Fe/Zn 12c <sup>a</sup>	Fe/Zn 25c <sup>a</sup>
Teräslevyt, paksuus yli 5 mm	Ei ole	Ei ole	Fe/Zn 25c <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Jos kuumasinkitysmahdollisuus on käytettävissä Fe/Zn 12c korvata Z275:lla ja Fe/Zn 25c Z350:lla, molemmat EN 10147 mukaisesti.

<sup>b</sup> Erityisen syövyttävissä olosuhteissa on harkittava kuumasinkityksen tai ruostumattoman teräksen käyttöä.

*Käyttöolosuhdeluokassa 1* puun kosteus asettuu tasapainokosteuteen, joka vastaa lämpötilaa 20 °C ja suhteellinen kosteus korkeintaan muutaman viikon aikana vuodessa ylittää 65 % (puutavaran kosteus korkeintaan 12 %).

*Käyttöolosuhdeluokassa 2* puun kosteus asettuu tasapainokosteuteen, joka vastaa lämpötilaa 20 °C ja suhteellinen kosteus korkeintaan muutaman viikon aikana vuodessa ylittää 85 % (puutavaran kosteus korkeintaan 20 %).

*Käyttöolosuhdeluokassa 3* ilmasto-olot ovat sellaiset, että puutavaran kosteus nousee korkeammaksi kuin käyttöolosuhdeluokassa 2.

Metallipinnan ei tarvitse olla silminnähdessä märkä, jotta korroosiota tapahtuisi. Riittää, kun ympäristön suhteellinen kosteus ylittää tietyn kriittisen arvon, joka vaihtelee yleensä välillä 80–95 %. Ilmassa oleva rikkidioksidi lisää metallien korroosionopeutta, erityisesti tavallisen teräksen ja sinkin. (Suomi-Lindberg ym. 1999)

Puun kosteuspitoisuuden kasvu lisää metallisten liittimien korroosioriskiä puussa ja nopeuttaa korroosioprosessia sekä lisää puusta haihtuvien aineiden määrää, ja sienten kasvu puussa saattaa lisäntyä, mikä edelleen voi lisätä korroosioriskiä. Korroosiotuotteet saattavat myös edesauttaa puun vaurioitumista ja kiihdyttää sienten kasvua. (Kubler 1992)

Eri puulajeista vapautuu haituvia, korroosiota aiheuttavia aineita, kuten etikkahappoa, muurahaishappoa tai formaldehydiä, yleensä korkeissa lämpötiloissa ja/tai kosteissa olosuhteissa. Etikkahappohöyryt aiheuttavat eniten korroosiota ja pystyvät vaikuttamaan jo erittäin pieninä pitoisuuksina. (Kirilov 1988, Farmer 1962)

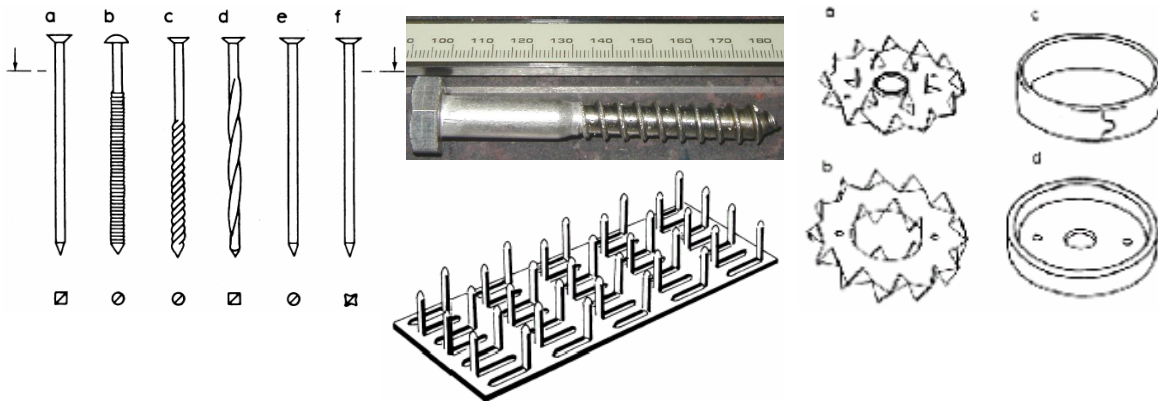
Puunsuoja-aineiden, kuten suolapitoisten kyllästysaineiden ja palosuoja-aineiden, vaikutuksesta puussa olevien metalliliittimien korroosioriski kasvaa kosteissa olosuhteissa (Suomi-Lindberg ym. 1999, Martin 2002, Wood Handbook 1999). Pitkäaikaisessa käytössä kosteissa olosuhteissa CCA- ja ACA-kyllästeiden vaikutuksesta sinkityillä nauiloilla on todettu korroosion olevan liian suurta (Baker 1992). Liitinvalmistajan teettämässä tutkimuksissa on myös uusien kyllästysaineiden todettu lisäävän korroosioriskiä (Simpson Strong-Tie 2003).

Edellä olleissa tutkimuksissa on ollut mukana ruostumattomia liittimiä, AISI 304 (EN1.4301) ja AISI 316 (1.4401), joiden on todettu kestävän erittäin hyvin korroosiota. Ruostumattomien terästen kestävyys puusta haihtuvia aineita vastaan on myös erittäin hyvä. Rakenteelliset seikat voivat myös edesauttaa korroosioriskiä, esimerkiksi liitoksen sijainti ja muoto.

## **2.11 Puurakenteissa käytetyt metalliset liittimet ja liitososat**

Tavanomaiset mekaaniset liittimet jaetaan kahteen ryhmään sen mukaan, kuinka ne siirtävät voimia liitettävien rakenneosien välillä. Pääryhmään kuuluvat puikkomaiset liittimet. Niissä kuorman siirto aiheuttaa puikkoon taivutusta ja reunapuristus- ja leikkausjännityksiä puussa puikon kohdalla. Hakaset, naulat, ruuvit, pultit ja tappivaarnat kuuluvat tähän ryhmään. Toiseen liitintyyppiryhmään kuuluvat rengas-, lautas-, ja hammasvaarnat sekä naulalevyt. Niillä voimat siirtyvät pääasiassa rakenneosien pintojen kautta suuren kosketusalan avulla. (Racher 1996)

Naulat ovat yleisimpiä liittimiä. Niitä valmistetaan erikokoisina ja muotoisina ja eri materiaaleista (Kuva 2.11). Ruostumattomasta teräksestä (rst) valmistettujen naulojen valikoima on rajallinen. Nauloja käytetään kantavissa rakenteissa puu-puu-liitoksissa yksi- tai kaksileikkeisinä. Mikäli reunakappaleet ovat terästä tai puulevyä, tulee nauloja käyttää yksileikkeisinä (Racher 1996). Leikkausliitoksen kapasiteettia voidaan lisätä teräslevyillä (esim. naulauslevyt) ja/tai käyttämällä kampanauloja tai muita profiloituja nauloja. Myös erilaisten muotokiinnikkeiden kanssa on syytä käyttää profiloituja nauloja (ks. Kuva 2.12).



Kuva 2.11. Erilaisia liittimiä: naulat, kansiruuvi, naulalevy, hammas- ja rengasvaarnoja.

Kansiruuvit ja puuruuvit, joiden kierreosan sydänlähimitta on noin 70 % karan halkaisijasta, ovat olleet yleisiä puurakenteissa käytettyjä ruuvityyppejä. Nykyisin on myös ns. itsekierteyttäviä (self tapping) yleisruuveja tai nimenomaan puurakenteisiin tarkoitettuja ruuveja. Ruuveja voidaan käyttää kuten nauloja erilaisissa sovelluksissa tai missä tarvitaan hyvää tartuntalujuutta. Mikäli halkaisija on  $d \geq 6\text{ mm}$ , tulee reikä esiporata. Ruostumattomasta teräksestä valmistetaan laaja valikoima erilaisia ruuveja.

- 1) kuumasinkitt,
- 2) sähkösinkitty
- 3) ruostumaton teräs (EN 1.4401)



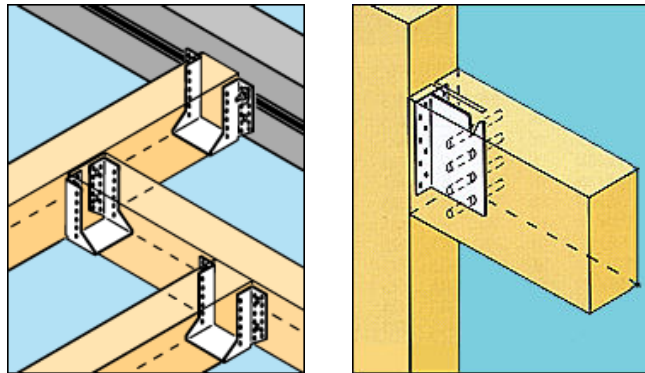
Kuva 2.12. Ankkurinaulojen kärkiä,  $d = 4\text{ mm}$ .

Pultteja ja tappivaarnoja käytetään yleensä kaksi- tai monileikkeisissä liitoksissa. Molemille porataan reiät. Pulteille reikä on yleensä 1 mm suurempi kuin pultin paksuus. Pultit tulee voida kiristää tarvittaessa. Tappivaarnoille reikä on tapin kokoinen, ja vaarnoja käytetään teräs- ja puulevyjen kanssa sekä puu-puuliitoksissa. Materiaalina käytetään standardoituja teräslaatuja.

Naulalevy on ristikoiden jatkoksissa ja nurkkaliitoksissa käytettävä liitintyyppi, jonka käyttö yleistyi nopeasti puurakenteiden teollisessa valmistuksessa. Naulalevyt valmistetaan siten, että 0,9–2,5 mm paksusta teräslevystä naulat meistetään ja taivutetaan koh-tisuoraan levyn tasoa vastaan. Naulojen ja levyyn syntyneiden reikien koko, sijainti ja muoto ovat kullekin naulalevytyypille ominaisia. Samassa naulalevyssä voi olla myös erilaisia nauloja ja hampaita. Naulalevyjä käytetään liittämään kaksi tai useampia sa-manpaksuisia puuosia toisiinsa. Levyn ulkonemat (naulat) puristetaan puuhun taso- tai pyöröpuristimella, niin että levyn ja puun pinnat ovat kosketuksissa toisiinsa. Levyt sijoitetaan pareittain liitettävien puiden molemmin puolin. Naulalevyillä koottujen ra-kenteiden suunnittelu ja valmistus on luvanvaraista toimintaa.

Vaarnalevyillä on mahdollista siirtää suuria voimia kasvattamatta liitoksen kuormia siirtävää puupintaa. Ristikon liitoksiin voidaan saada lähes täydellinen nivel käyttämällä yhtä vaarnaa usean puikkoliittimen sijaan. Liitoksen aukeaminen estetään aluslevyyn varustetuilla pulteilla. (Racher 1996)

Puuliitoksissa käytetään usein erilaisia teräslevyistä hitsaamalla tai muokkaamalla val-mistettuja liitososia. Sinkitystä teräksestä valmistetut kulma-, naulaus- ja palkkikengät ovat yleisiä (ks. Kuva 2.13). Ruostumattomia putkiprofiileja valmistetaan erilaisista teräslaaduista ja niiden yhteiskäyttö puun kanssa voi olla mielekästä palonkestävyyttä tavoiteltaessa.



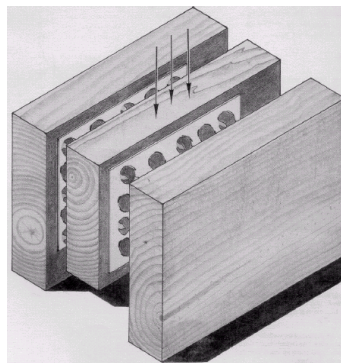
Kuva 2.13. Muotokiinnikkeitä (Lähde: [www.simpsonstrongtie.dk](http://www.simpsonstrongtie.dk)).

## 2.12 Ruostumattomilla liittimillä tehtyjä kokeita

Tutkimuksia ruostumattomien terästen käytöstä puurakenteiden liitoksissa on hyvin vähän. Muita ominaisuuksia kuin mekaanista lujuutta, kuten liittimen korroosio puussa ja puutuotteissa, sen sijaan on tutkittu. Niissä todetaan, että olosuhteiden ollessa kosteat korroosioriski on olemassa ja silloin tulee käyttää sellaisia materiaaleja jotka kestävät, kuten ruostumaton teräs.

Werner ja Siebert (1991) ovat tutkineet naulojen puikkoliitosteorian mukaisen myötömomentin määrittämistä. Tutkimuksessa oli mukana myös ruostumattomista teräksistä valmistettuja nauloja. Heidän käyttämänsä testimenetelmä perustui Johansenin (1988) tekemään ehdotukseen ”Nordtest Method” (1989) naulojen taivutuslujuuden määrittämiseksi. Kyseisen testin periaate on sama kuin standardin EN 409 (1993) myötömomentin määrittämiseksi. Heidän mukaansa tarkan myötömomentin määrittäminen profiloille nauloille voidaan saada vain testaamalla. Gehri (1996) on teoksessa Puurakenteet STEP 1 esittänyt Wernerin & Siebertin (1991) tutkimukseen viitaten sähkösinkityn ja ruostumattoman kampanaulojen, halkaisijaltaan 4 mm ja 6 mm, ominaismyötömomenteiksi  $M_{y,k} = 6,37 \text{ Nm}$  ja  $20,0 \text{ Nm}$ . Nämä arvot on otettu sinkittyjen naulojen tuloksista. Kokeissa ruostumattomille nauloille oli saatu suurempia myötömomentin arvoja. Naulojen lankamateriaalille tulokset olivat sen sijaan päinvastaiset.

Wolfe ym. (1993) ovat tutkineet liitosta, jossa kaksipuoleisilla naulalevyillä on liitetty sahatavarakappaleita toisiinsa, leikkausvoimaa siirtävä levy (Shear transfer plate, Kuva 2.14). Niitä voidaan käyttää mm. pilareina, sillan kansina ja kehän osina. Kokeissa oli materiaaleina kuumasinkitty ja ruostumaton teräs. Tulosten mukaan ruostumattomasta teräksestä tehdyssä liitoksessa siirtymät olivat hieman suurempia kuin galvanoidulla mutta liitoksen lujuus, varsinkin tiheän puun yhteydessä, oli suurempi.



Kuva 2.14. Shear transfer plate (Wolfe . ym. 1993).

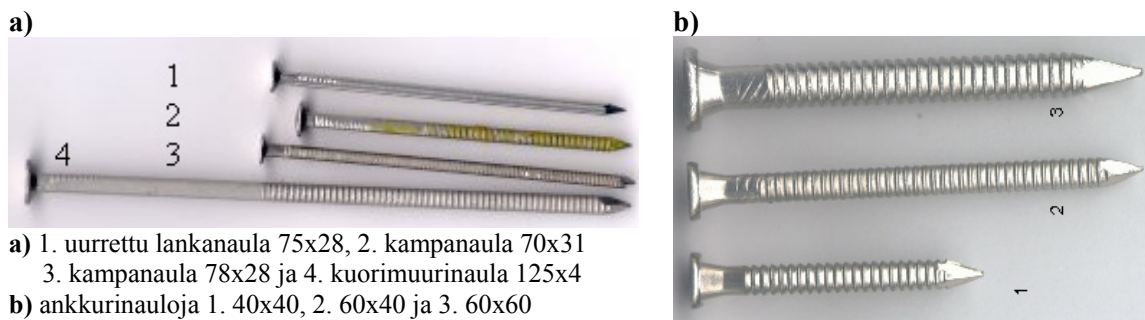
## 2.13 Markkinoilla olevat rst-liittimet

### 2.13.1 Naulat ja ruuvit

Markkinoilta yleisesti saatavat ruostumattomat naulat ovat lanka-, kampa- ja ankkurinauloja. Suomessa lankanauulat ovat uurrettuja nelikulmaisia nauloja, tavallisesti kokoa 75 x 2,8 ja 100 x 3,4, ulkomailla on myös pyöreitä lankanauloja, halkaisijaltaan yleensä 3,1 mm tai alle. Kampanaulat ovat halkaisijaltaan myös yleensä suurimmillaan 3,1 mm, ja niiden käyttötarkoitus on lähinnä ulkoverhousmateriaalien kiinnitykset tai kyllästetyn puutavaran liitokset. Kuorimuurinauloja,  $d = 4 \text{ mm}$ , valmistetaan 125–200 mm:n mittai-

sina. Ruostumattomien naulauslevyjen ja muotokiinnikkeiden liittämiseen puurakenteis-  
sa on vastaavat ankkurinaulat kuin sinkityillekin tuotteille, kuitenkin valmistajia on vä-  
hemmän ja ne ovat yleensä tilaustuotteita.

Kaikkien ruostumattomien naulojen saatavuus vaihtelee myyjien ja valmistajien vali-  
koimissa, ja niiden toimitusajat voivat olla pitkät. Teräslaatuina Pohjoismaissa on pää-  
asiassa EN 1.4401 (AISI 316), mutta myös laatua EN 1.4301 käytetään. Valmistajat  
tekevät tuotteet valmiiksi tiettyyn halkaisijakokoon muokatuista langoista joiden veto-  
murtolujuus on 700–950 N/mm<sup>2</sup> tuotteesta riippuen. Saman tuotteen sisällä voi myös  
olla vaihtelua. Kuvassa 2.15 esitetään joitakin rst-naulatyyppejä.



*Kuva 2.15. Ruostumattomia nauloja.*

Ruuvien materiaaleina on käytetty austeniittisiä ja ferriittisiä laatuja, A2 (EN 1.4301) ja  
A4 (1.4401) sekä F1 (EN 1.4016). Teräslatu A2 on yleisin varastovalikoimissa. F1 on  
melko harvinainen, ja sen korroosiokestävyys on huonompi kuin austeniittisten laatu-  
jen. Yleisruuvien tyyppisten ruostumattomien ruuvien eri mittojen valikoima on pienempi  
kuin hiiliteräksestä valmistetuilla. Perinteisten puuruuvien, joissa kierreosan ulkoal-  
kaisija on sama kuin sileän varren, valikoima sen sijaan on vähäinen. Toisaalta kansi-  
ruuveja on hyvin saatavana A2- ja A4-teräksistä. Lisäksi puulle tarkoitettuja yleisruuvien  
tyyppisiä ns. itsekierteytyviä (self tapping) ruuveja on valmistajien valikoimissa (ks.  
Kuva 2.16). Teräsohutlevyjen ja erilaisten verhoukasettien kiinnittämiseen puuhun on  
lähinnä A2-laadusta valmistettuja ruuveja. Ruostumattomilla itseporautuvilla ruuveilla  
ei käytännössä voida porautua ruostumattomien teräsohutlevyjen läpi.

Naulauslevyjen ja erilaisten muotokiinnikkeiden kanssa käytetään ankkurinauloja tai  
ankkuriruuveja, joiden kanta on muotoiltu niin, että ne asettuvat tiiviisti levyn reikään.  
Ankkuriruuvilla on parempi tartuntalujuus kuin vastaavan pituisella ankkurinaulalla.



Kuva 2.16. Rst-ruuveja. Alin on ankuriruuvi ja muut yleisruuveja.

Naulojen ja ruuvien hinnat vaihtelevat suuresti hankintapaikan ja -määrän mukaan. Tukkukauppioiden hinnastoissa olevat hinnat ovat yleensä muutaman kappaleen erille. Hankintoja tehtäessä on järkevää tehdä tarjouspyyntöjä, jotta voi verrata todellisia hintoja. Ohessa on ohjeellisia hintoja (ALV 0 %) joillekin liittimille ja teräslaaduille:

Ankurinaulat	EN 1.4401	n. 18	EUR / kg
Kampanaulat	EN 1.4401	15–40	EUR / kg
Kansiruuvit	A4 (EN 1.4401)	12–35	EUR / kg
Ruuvit	A4 (EN 1.4401)	11–25	EUR / kg
	A2 (EN 1.4301)	9,5–20	EUR / kg

Myös muista teräslaaduista on erikoistilauksena saatavilla niin nauloja kuin ruuveja, mutta toimitusajat ovat pitkät ja tuotteiden hinnat korkeita. Valmistajien mukaan kysynnän lisääntyessä valikoimat erilaisista ruostumattomista teräslaaduista ja liitintyypeistä kasvaa.

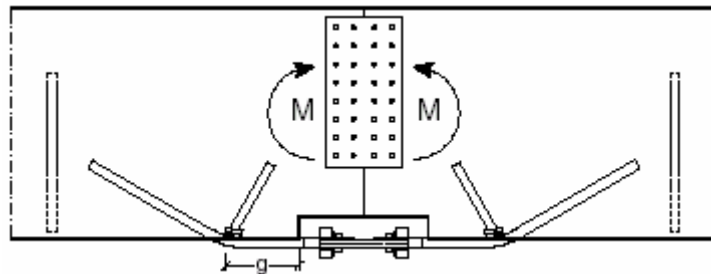
### 2.13.2 Pultit

Pulttien osalta teräslautujen valikoima on laaja, sillä tilauksesta on saatavilla kaikkia ISO 3506:n mukaisia liittimiä. Parhaiten on saatavilla ISO 3506:n mukaisilla merkinnöin laatuja A2 (EN 1.4301) ja A4 (EN 1.4401) lujusluokkien ollessa 50, 70, 80 (500, 700 ja 800 N/mm<sup>2</sup>). Varastotuotteissa ollaan Suomessa siirtymässä lujusluokkaan 80. Mutterit ovat ISO 3506-2:n mukaisia, ja niidenkin sekä aluslevyjen osalta teräslaudut A2 ja A4 ovat saatavilla varastotoimituksina. Muilla teräslaaduilla toimitusajat ovat pitkät ja tuotteiden hinnat korkeita, esimerkiksi M6x80 teräslaadusta A5 maksaa jopa 800 euroa kappale, ja toimitusaika voi olla yli puoli vuotta.

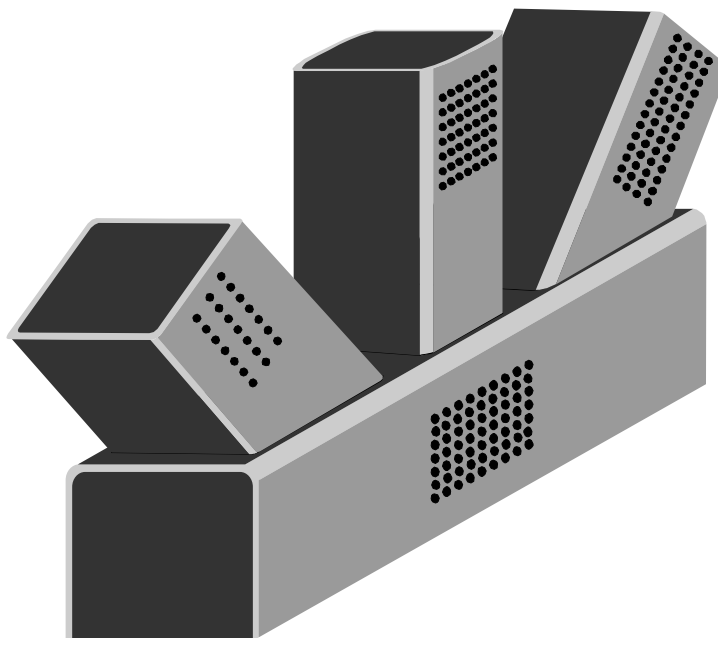
Kuten nauloilla ja ruuveilla myös pulteilla hinnat vaihtelevat hankintapaikan ja määrän mukaan. Pulttikoon kasvaessa kilohinnat yleensä laskevat. Metrikierteisten pulttien kilohinnat vaihtelivat kyselyn mukaan yleisesti saatavilla olevilla tuotteilla siten, että teräslaudu A2 on 6,5–15 EUR / kg ja laatu A4 8–20 EUR / kg (ALV 0 %). Hintaan vaikuttaa myös kunkin dimension saatavuus, sillä varsinkin kaikkia luetteloissa olevia pituuksia ei aina ole varastotuotteena.

### 2.13.3 Levytuotteet ja tangot

Ruostumattomasta teräksestä, yleensä EN 1.4401, valmistettuja muotokiinnikkeitä on saatavilla tilauksesta. Esimerkiksi BMF:n tuote- ja suunnitteluohjeissa ruostumattomien kiinnittimien ja nauhojen kapasiteetiksi oletetaan 80 % vastaavanlaisen sinkityn tuotteen kapasiteetista. Konepajatuotteina voidaan tilata ruostumattomia erikoisosia tai vakiovalikoimatuotteita, esimerkiksi vinotankoliitos ja hitsatut liitososat (ks. Kuvat 2.17 ja 2.18). Teräslaatuina on saatavilla EN 1.4301 ja 1.4401 tai 1.4432 sekä joitakin paksuuksia EN 1.4462 eli duplex-teräs. Muina teräslaatuina olevia osia on hyvin vaikea saada ainakin pienenä eränä, poikkeuksena voidaan mainita putkiprofilit, joista on kohtuudella saatavilla vähähiilisiä tai stabiloituja (EN 1.4571) laatuja. Ruostumattomista teräslävyyistä EN 1.4301 ja EN 1.4401 valmistettujen naulauslevytyyppisten osien hinnat työstettynä ovat noin 3,50 EUR/kg ja 4,80 EUR/kg (ALV 0 %).



Kuva 2.17. Liimattu vinotankoliitos, palkin jatkos (Lähde: Anstar Oy).



Kuva 2.18. Ristikon holkkiliitos.



## 3. Teoreettinen ja kokeellinen tarkastelu

### 3.1 Johdanto

Teoreettisen ja kokeellisen tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, millä edellytyksillä puurakenteiden teräs-puuliitoksia voidaan mitoittaa normaalilämpötilassa Eurocode 5:n (EN 1995-1-1:2004) mukaan, kun käytetään ruostumattomista teräksistä valmistettuja liitososia. Ruostumattomien teräsosien mitoituksesta esitetään Euro Inox & VTT (2002) käsikirjan mukaiset laskentakaavat.

Eurocode 5:ssä puikkoliitokset mitoitetaan Johansenin (1949) puikkoliitosteorian pohjalta. Mitoitusyhtälöissä tarvitaan mm. puikkoliittimen myötömomentin arvo ja liittimen ulosvetolujuus. Kokeellisessa tutkimuksessa määritettiin joidenkin ruostumattomista teräksistä valmistettujen naulojen, ruuvien ja pulttien myötömomentit ja verrattiin niitä Eurocode 5:n (EC5) arvoihin sekä kokeessa olleisiin hiiliteräsliittimiin ja aikaisempaan tutkimukseen. Lisäksi määritettiin joidenkin kampanaulojen ja ruuvien ulosvetoparametrin arvot ja verrattiin niitä EC5:n arvoihin sekä eri lähteistä saatuihin tuloksiin.

Teräs-puuvetoliitoskokeilla haluttiin varmistaa EN 1995-1-1:n soveltuvuus ruostumattomista teräksistä valmistettujen liitosten mitoitukseen, kun lähtöarvoina käytetään kokeellisia myötömomentin ja ulosvetolujuuden arvoja. Vetoliitoksen teräslevyjen paksuudet ja liittimien sijoittelu kussakin koesarjassa valittiin siten, että yksittäisen liittimen toimintaa voidaan selvittää.

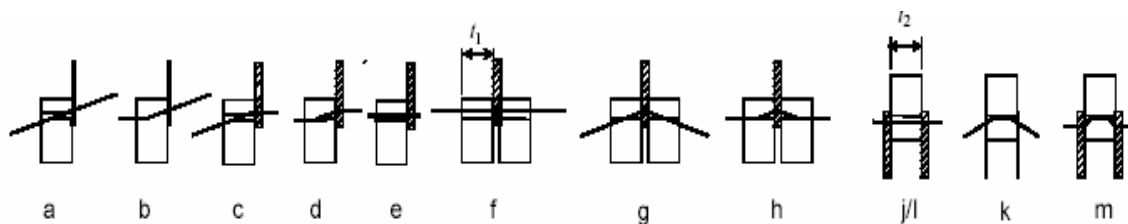
### 3.2 Teräs-puuliitos

Puikkoliitoksen murtolujuus riippuu joko liitettävien osien reunapuristumista tai samanaikaisesta liitososien reunapuristumista ja liittimeen syntyvästä yhdestä tai useammasta plastisesta nivelestä. Standardissa EN1995-1-1 on lisäksi otettu huomioon liittimen taipuessa syntyvät liittimen pituussuuntaiset voimat, ”rope effect”. Nämä aiheutuvat puun ja liittimen välisestä kitkasta ja tartunnasta sekä liittimen kannan tai pultin aluslevyn aiheuttamasta sidonnasta. Liittimen kallistuneella osalla on kuorman suuntainen komponentti (Hilson 1996).

Liittimien sijoitus ja koot, niiden keskinäiset välit, reuna- ja päätyetäisyydet on valittava siten, että vaaditut lujuudet saavutetaan. On myös otettava huomioon, että liitoksen lujuus on yleensä pienempi kuin yksittäisten liittimien summa, kun liitoksessa on useita liittimiä. Teräs-puuliitoksen kapasiteetti on riippuvainen teräslevyn paksuudesta. Eurocode 5 (EC5) mukaan, jos levyn paksuus on  $t \leq 0,5d$ , puhutaan ohuesta levystä. Jos  $t \geq d$ , puhutaan pak-susta levystä, missä teräksen ja puun rajapintaan muodostuu plastinen nivel. Väliarvot voidaan interpoloida lineaarisesti. Teräksen kestävyys tulee myös tarkistaa. Vedetyille sauvanpäälliitoksille tarkistetaan myös lohkeamiskestävyys esimerkiksi RIL 205–2003; Puurakenteiden suunnittelun tai EC5:n informatiivisen Annex A:n mukaan.

### 3.2.1 Puikkoliitoksen leikkauskapasiteetti

Kuva 3.1:ssä on esitetty teräs-puuliitosten murtotavat. EC5:ssä on annettu liittimen leikkauskapasiteetin laskentakaavat liittintä ja leikettä kohti. Näistä esimerkkinä kaavat (3.1)–(3.2). Leikkauskapasiteetin ominaisarvoksi saadaan kussakin tapauksessa yhtälöryhmän minimiarvo. Tämän perusteella voidaan myös päätellä murtotapa. Kirjaimet vastaavat kuvan merkintöjä. Mitoitusyhtälöihin sijoitetaan termit ominaisarvoina, mikä poikkeaa esistandardin (ENV1995-1-1) tavasta. Liitoksen osavarmuuskertoimeksi EN1995-1-1:2004 suositellaan  $\gamma_M = 1,3$ .



Kuva 3.1. Erilaiset murtotavat teräs-puuliitoksissa (EN1995-1-1:2004).

Yksileikkeisen liitoksen, jossa ulommat teräslevyt ovat ohuet (so.  $t \leq 0,5d$ ), leikkauskapasiteetin ominaisarvo liittintä kohti saadaan kaavasta:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0,4 f_{h,k} t_1 d & \text{(a)} \\ 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(b)} \end{cases} \quad (3.1)$$

Yksileikkeinen liitos, jossa ulommat teräslevyt ovat paksut (so.  $t \geq d$ ),

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d \left[ \sqrt{2 + \frac{4 M_{y,Rk}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(c)} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(d)} \\ f_{h,k} t_1 d & \text{(e)} \end{cases} \quad (3.2)$$

missä

- $F_{v,Rk}$  on liittimen ominaisleikkauskapasiteetti liittintä ja leikettä kohti, [N],
- $f_{h,k}$  on puun reunapuristuksen ominaislujuus kullekin liitintyyppille, [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ],
- $t_1$  ovat puun paksuus tai liittimen tunkeuma, [mm],
- $d$  on liittimen läpimitta, [mm],
- $M_{y,Rk}$  on liittimen myötömomentin ominaisarvo kullekin liitintyyppille, [Nmm].

Edellä olleissa kaavoissa ensimmäinen termi yhtälön oikealla puolella on Johansenin myötöteoriaan perustuva kapasiteetti. Toinen termi,  $\frac{F_{ax,Rk}}{4}$ , on liittimen aksiaalisen voi-

man, ns. “rope effect” -vaikutuksen osuus. Tämä osuus saa olla Johansenin osasta enintään seuraavasti (EN 1995-1-1:2004):

- Pyöreät naulat 15 %
- Neliömäiset naulat 25 %
- Muut naulat 50 %
- Ruuvit 100 %
- Pultit 25 %
- Tappivaarnat 0 %

Ulosvetolujuuden,  $F_{ax,Rk}$ , ominaisarvo määritetään kunkin liittimen osalta annettujen ohjeiden mukaisesti.

### **Myötömomentin ominaisarvo**

EC5 antaa laskentakaavat vain sileille nauloille, jotka ovat pyöreitä tai neliskulmaisia. Myötömomenttien laskentakaavat saadaan EN1995-1-1:2004:n mukaan seuraavista kaavoista:

- pyöreä naula ja ruuvit ( $d \leq 6$  mm),

$$M_{y,Rk} = \frac{f_u}{600} \cdot 180 \cdot d^{2,6} \quad (3.3)$$

- nelikulmainen naula,

$$M_{y,Rk} = \frac{f_u}{600} \cdot 270 \cdot d^{2,6} \quad (3.4)$$

- sekä pultit ja tappivaarnat ( $d > 6$  mm):

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_u \cdot d^{2,6} \quad (3.5)$$

missä

$d$  on pyöreän liittimen sileän osan halkaisija, neliskulmaisen naulan pienin sivumitta tai ruuveilla:

1) kierteen ulkohalkaisija = sileän varren halkaisija  $\Rightarrow d_{eff} = d$

2) kierteen ulkohalkaisija > sileän varren halkaisija  $\Rightarrow d_{eff} = 1,1 \cdot d_{sisä}$

$d_{sisä}$  on kierreosan sisähalkaisija,

$f_u$  on naulan raaka-aineen (min. 600 MPa) tai ruuvin raaka-aineen vetomurtolujuus tai pultin vetomurtolujuus.

Mikäli kaavat (3.3)–(3.5) eivät sovellu tai ei ole muuta luotettavaa selvitystä, tulee myötömomenti määrittää testaamalla standardien EN 409 (1993) ja prEN 14592 (2002) mukaan.

## Ulosvetolujuus ja aksiaalinen kapasiteetti

Nauloille ulosvetolujuus lasketaan kaavalla:

$$F_{ax,Rk} = f_{ax,k} d t_{pen} \quad (3.6)$$

missä

- $d$  on naulan läpimitta
- $t_{pen}$  on naulan tunkeuma tai kierreosan tunkeuma kärjenpuoleisessa puussa,
- $f_{ax,k}$  on ulosvetolujuuden parametri.

EN 1995-1-1:2004 antaa vain sileille nauloille parametrin kaavan, kun tunkeuma on vähintään  $12d$ ,  $f_{ax,k} = 20 \times 10^{-6} \rho_k^2$ . Muissa tapauksissa parametri ( $f_{ax,k}$ ) määritetään koekallisesti standardin EN 1382 (1999) mukaan.

Ruuveilla ulosvetolujuus lasketaan EN 1995-1-1:2004 kaavalla:

$$F_{ax,\alpha,Rk} = (\pi d l_{ef})^{0,8} f_{v,ax,\alpha,k} \quad (3.7)$$

missä

$$f_{v,ax,\alpha,k} = \frac{f_{ax,k}}{\sin^2 \alpha + 1,5 \cos^2 \alpha} \quad (3.8)$$

$$f_{ax,k} = 3,6 \times 10^{-3} \rho_k^{1,5} \quad (3.9)$$

- $\alpha$  on ruuvien kulma puun syihin nähden
- $\rho_k$  on puun ominaistiheys, [kg/m<sup>3</sup>].
- $d$  on kierteen kohdalla oleva halkaisija
- $l_{ef}$  on kierreosan tunkeuma vähennettynä ruuvien halkaisijalla

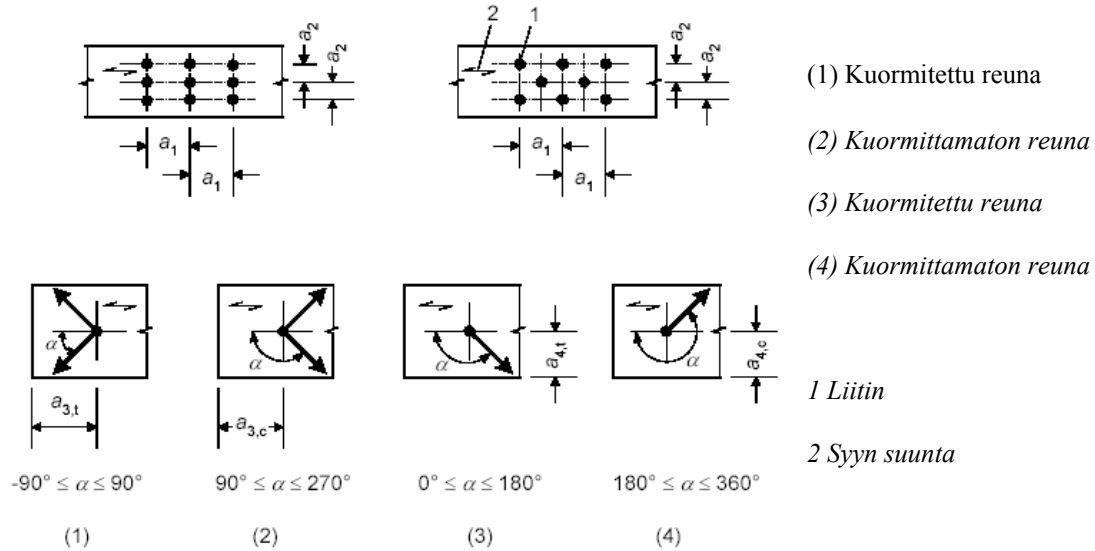
**Kaavat (3.7)–(3.9) antavat koetuloksiin nähden korkeita arvoja (ks. kappale 3.4).**

Pulteille aksiaalinen kapasiteetti määritetään pultin vetokestävyyden, aluslevyn tai teräslevyn kapasiteetin mukaan. Aluslevyn kapasiteetti lasketaan siten, että puun puristuslujuutena kohtisuoraan syitä vasten käytetään aluslevyn alla arvoa  $3,0 \cdot f_{c,90,k}$ . Teräslevyn kapasiteetti rajoitetaan siten, että oletetaan se pyöreäksi aluslevyksi, jonka halkaisija on pienempi arvoista ( $12t$ ,  $4d$ ), missä  $t$  on levyn paksuus ja  $d$  on pultin halkaisija.

## Liitinten sijoittelu sekä lisäohjeita

Eurocode 5 määrittelee reuna- ja päätyetäisyydet ja keskinäiset välit kullekin liittimelle. Näitä arvoja on taulukoitu ko. standardiin. Teräs-puuliitoksissa naulojen keskinäistä etäisyyttä voidaan pienentää kertoimella 0,7. Tämä ei siis koske reuna- ja päätyetäi-

syyskiä. Kuvassa 3.2 on periaate liittimien sijoittelusta ja etäisyyksien merkinnät. Teräs-puuvetoliitoksissa tulee myös huomioida lohkeamis- tai leikkauslohkeamismurtomahdollisuus (ks. kaava (3.12) ja EC5:n liite A.)



Kuva 3.2. Liitinkaavio (EN1995-1-1).

Eurocode 5:n esistandardin (ENV 1995:1993) kansallisiin sovellusohjeisiin on annettu lisäohjeita vedetyille sauvanpäälliitoksille. Tehollisesti toimivien pulttien tai tappivaarnojen lukumäärä vedetyille sauvanpäälliitoksille puun syiden suuntaisesti sijoitetussa liitintä on:

$$n_{i,ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} n_i \\ n_i^{0,9} \sqrt[4]{\frac{a \cdot t}{50 \cdot d^2}} \end{array} \right. \quad (3.10)$$

missä

$n_i$  on syiden suuntaiseen riviin  $i$  sijoitettujen tappivaarnojen tai pulttien lukumäärä,

$d$  on liittimen paksuus,

$t$  on sisäpuun paksuus teräs-puu-teräs-liitoksissa ja tappivaarnan tai pultin mutteripään sileän osan pituus ulkopuussa puu-teräs-puu-liitoksissa,

$$a = \begin{cases} \min(a_1, a_3) & \text{kun } n_i \geq 2 \\ a_3 & \text{kun } n_i = 1 \end{cases} \quad (3.11)$$

$a_1$  on peräkkäisten liitinten välinen etäisyys puun syiden suunnassa,

$a_3$  on päätyetäisyys.

Tämän lisäksi puun syiden suuntaisesti vedetyissä sauvanpäälliitoksissa tulee tarkistaa liitosalueen puuosan lohkeaminen (RIL 205-2003), jos liittimet sijaitsevat useammassa

kuin yhdessä puun syiden suuntaisessa rivissä ( $n_{\perp} > 1$ ). Vedetyn sauvan liitosvoima ei saa ylittää sauvanpään lohkeamismurtokapasiteettia:

$$R_{l,d} = A_{t,net} \cdot k_1 \cdot f_{t,0,d} \quad (3.12)$$

missä

$$f_{t,0,d} \text{ on puun vetolujuuden mitoitusarvo ilman kokovaikutuskorjausta,} \quad (3.13)$$

$$k_1 = \begin{cases} 1,45 & \text{sahatavaralla ja liimapuulla} \\ 1,15 & \text{Kerto - S: llä, kun } f_{t,0,k} = 38 \text{ N/mm}^2 \end{cases}$$

$$A_{t,net} = (n_{\perp} - 1) \cdot (a_2 - d) \cdot t_{ef} \quad (3.14)$$

missä

- $n_{\perp}$  on rinnakkaisten liitinrivien lukumäärä syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa,
- $a_2$  on liitinrivien välinen etäisyys puun syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa,
- $d$  on liittimelle poratun reiän halkaisija ja
- $t_{ef}$  on tappivaarnan tai pultin pituuden rajoittama puusauvan tehollinen paksuus, josta on vähennetty esim. puusauvassa sijaitsevat tappivaarnan viisteet, pultin kierreosuus ja teräksisille liitoslevyille sahatut urat.

### 3.2.2 Teräsosien mitoitus

Ruostumattomista teräksistä tehtyjen rakennusosien mitoitus on samankaltaista kuin tavanomaisista rakenneteräksistä valmistettujen rakenteiden mitoitus. Liittimeen kohdistuu leikkaus- tai vetorasitus tai niiden yhteisvaikutus. Yleensä sekä ruuvin kannan että mutterin alla käytetään aluslaattaa. Ohjeita liittimien ja liitososien valinnalle esitetään luvussa 2. Kiinnitykseen kohdistuva leikkausrasitus siirtyy ruuvien ja liitettävien osien välisen reunapuristuksen välityksellä.

Seuraavassa esitetään ”Ruostumattomien terästen käyttökantavissa rakenteissa – Käsi- kirja” (Euro Inox & VTT 2002) mukaan teräslevyn mitoituksessa tarvittavia menetelmiä normaalilämpötilassa. Kirjan suositukset ovat mahdollisuuksien mukaan yhteneväisiä Eurocode 3 – Teräsrakenteiden suunnittelu, esistandardien osien kanssa:

ENV 1993-1-1 *Design of steel structures: General rules and rules for buildings (SFS-ENV 1993-1-1: Teräsrakenteiden suunnittelu. Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt.)*

ENV 1993-1-2 *Design of steel structures: Structural fire design (SFS-ENV 1993-1-2: Teräsrakenteiden suunnittelu. Rakenteellinen palomitoitus.)*

ENV 1993-1-3 *Design of steel structures: Cold-formed thin gauge members and sheeting.* (SFS-ENV 1993-1-3: *Teräsrakenteiden suunnittelu. Kylmämuovaamalla valmistetut ohutlevysauvat ja -levyt.*)

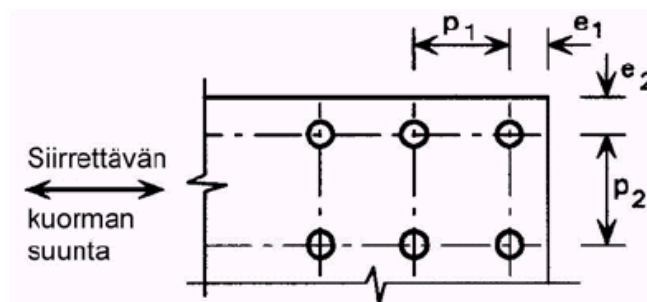
ENV 1993-1-4 *Design of steel structures: Stainless steels* (SFS-ENV 1993-1-4: *Teräsrakenteiden suunnittelu. Ruostumattomat teräkset.*)

ENV 1993-1-5 *Design of steel structures: Plated structural elements* (SFS-ENV 1993-1-5: *Teräsrakenteiden suunnittelu. Levyrakenteet.*)

Taulukko 3.1. ENV 1993-1-4 liittyvän Suomen kansallisen soveltamisasiakirjan mukaan käytetään seuraavia osavarmuuslukuja.

Kestävyys:	Merkintä	Lukuarvo (ENV 1993-1-4)
Poikkileikkausluokat 1, 2 ja 3	$\gamma_{M0}$	1,10
Poikkileikkausluokka 4	$\gamma_{M1}$	1,10
Sauvojen nurjahdus	$\gamma_{M1}$	1,10
Nettoleikkaus ruuvien reikien kohdalla	$\gamma_{M2}$	1,25
Ruuvikiinnitykset	$\gamma_{Mb}$	1,25
Hitsauskiinnitykset	$\gamma_{Mw}$	1,25
Palotekninen mitoitus	$\gamma_{M,fi}$	1,00

Liitinten keskinäinen etäisyys määräytyy yleensä puun liitintäisyyksien mukaan. Teräksen päätyetäisyyden  $e_1$  ja reunaetäisyyden  $e_2$  (ks. Kuva 3.3) minimiarvo pulteilla on  $1,4d_0$ , missä  $d_0$  on ruvin reiän halkaisija. Riittävän reunapuristuskestävyyden saavuttamiseksi päätyetäisyyden tulee yleensä olla minimiarvoa suurempi. Pääty- ja reunaetäisyyden suurin arvo on suurempi arvoista ( $12t$ ; 150 mm), missä  $t$  on ohuimman liitettävän uloimman osan paksuus. ENV 1993-1-3 (1996) esittää ruuvien ja niittien osalta seuraavat arvot  $e_1 \geq 3d$  ja  $e_2 \geq 1,5d$ , missä  $d$  on liittimen paksuus.



Kuva 3.3. Reikien sijainnin merkinnät.

Liittimien keskeltä keskelle välin  $p_1$  (ks. Kuva 3.3.) minimiarvo on  $2,3d_0$  voiman suunnassa. Vastaava minimiarvo voimaa vastaan kohtisuorassa suunnassa  $p_2$  on  $2,7d_0$ . Limitettyjen liitinrivien tapauksessa yhdensuuntaisten liitinrivien välisen etäisyyden minimiarvona voidaan käyttää arvoa  $p_2 = 1,5d_0$ , jos limitetyssä linjassa olevan minkä tahansa kahden liittimen välinen minimietäisyys on  $2,2d_0$ .

### **Brutto poikkileikkaus**

Poikkileikkausominaisuuksia laskettaessa kiinnittimien reikiä ei tarvitse ottaa huomioon. Suuret aukot tulee sen sijaan ottaa huomioon.

### **Nettopoikkileikkaus**

Poikkileikkauksen tai sen osan nettopinta-alaksi valitaan bruttopinta-ala, josta vähennetään kaikki aukot liittimien reiät mukaan lukien. Liittimien reikiä vähennettäessä käytetään reikien nimellisiä halkaisijoita. Kun reikiä ei ole limitetty, bruttopoikkileikkauksesta vähennettäväksi pinta-alaksi valitaan vaikuttavaa jännitystä vastaan kohtisuorassa olevien reikien pinta-alojen yhteenlaskettu suurin summa. Jos reiät eivät sijaitse symmetrisesti poikkileikkauksen keskilinjan suhteen, käytetään tehollista pinta-alaa, joka saadaan kertomalla nettopinta-ala pienennystekijällä  $k_A$ .

$$k_A = 1 - \frac{d_0}{b} \left( 1 - \frac{2e}{b} \right) \quad (3.15)$$

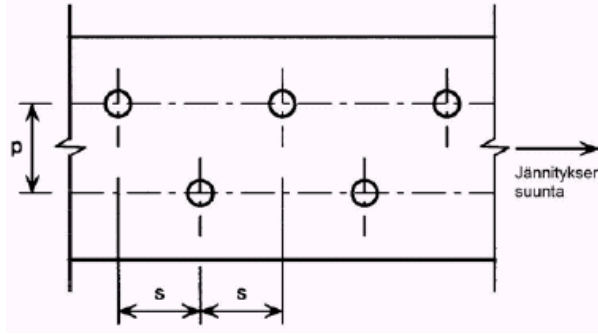
missä

- $d_0$  on reiän halkaisija,
- $e$  on päätyetäisyys,
- $b$  on poikkileikkauksen leveys.

Kun käytetään limitettyjä reikiä (ks. Kuva 3.4), valitaan teholliseksi nettopinta-alaksi pienempi arvoista:

- tehollinen nettopinta-ala, joka vastaa tilannetta, että reikiä ei ole siirretty;
- bruttopinta-ala, josta vähennetään kaikkien reikien poikkileikkausten summa (kaikissa linjoissa, jotka ulottuvat sauvan tai sen osan yli) ja johon lisätään arvo  $(s^2t)/4p$  jokaista sarjassa olevaa reikien mittaväliä kohti.  $s$  ja  $p$  esitetään kuvassa 3.4.





Kuva 3.4. Limitetyt reiät.

### Vetokestävyys

Pelkästään tasaisesti vedetyn poikkileikkauksen vetokestävyys  $N_{t,Rd}$  on pienempi arvoista:

a) bruttopoikkileikkauksen vetokestävyuden mitoitusarvo:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A_g \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (3.16)$$

missä

- $A_g$  on poikkileikkauksen bruttopinta-ala,
- $f_y$  on myötörajan ominaisarvo (yleensä käytetään 0,2-ajan minimiarvoa),
- $\gamma_{M0}$  on osavarmuusluku (Taulukko 3.1).

b) nettopoikkileikkauksen vetokestävyuden mitoitusarvo liittimien reikien kohdalla:

$$N_{u,Rd} = \frac{k_r A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \quad (3.17)$$

missä

- $A_{net}$  on tehollisen poikkileikkauksen nettopinta-ala,
- $f_u$  on vetolujuuden ominaisarvo (yleensä käytetään standardin minimiarvoa),
- $\gamma_{M2}$  on osavarmuusluku (ks. Taulukko 3.1).

$$k_r = \min \left[ 1 + 3r \left( \frac{d_0}{u} - 0,3 \right), 1 \right] \quad (3.18)$$

missä

- $r = [\text{liittimien lkm. poikkileikkauksessa}] / [\text{kiinnityksen liittimien kokonaislkm.}]$ ,
- $d_0$  on ruuvien reiän nimellishalkaisija,
- $u = 2e_2$  mutta  $u \leq p_2$ .

Sitkeässä käyttäytymisessä bruttopoikkileikkauksen mukaisen arvon tulee olla pienempi kuin nettopoikkileikkauksen mukaan laskettu.

### **Poikkileikkauksen puristuskestävyys**

Poikkileikkauksen puristuskestävyys  $N_{c,Rd}$ , kun resultoiva voima vaikuttaa painopisteen kautta (poikkileikkausluokat 1, 2 ja 3) tai tehollisen poikkileikkauksen painopisteen kautta (poikkileikkausluokka 4) voidaan laskea seuraavasti:

$$N_{c,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{poikkileikkausluokat 1, 2 ja 3} \quad (3.19)$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{poikkileikkausluokka 4} \quad (3.20)$$

missä

$A_{eff}$  on tehollinen poikkileikkausala.

### **Poikkileikkauksen taivutuskestävyys**

Kun leikkausvoimaa ja aksiaalista voimaa ei ole, poikkileikkauksen taivutuskestävyyden mitoitusarvo yksiaksaalisessa taivutuksessa  $M_{c,Rd}$  lasketaan kaavoista:

$$\begin{aligned} M_{c,Rd} &= W_{pl} f_y / \gamma_{M0} && \text{poikkileikkausluokat 1 ja 2} \\ M_{c,Rd} &= W_{el} f_y / \gamma_{M0} && \text{poikkileikkausluokka 3} \\ M_{c,Rd} &= W_{eff} f_y / \gamma_{M1} && \text{poikkileikkausluokka 4} \end{aligned} \quad (3.21)$$

missä

$W_{pl}$  on plastisuusteorian mukainen taivutusvastus,

$W_{el}$  on kimmoteorian mukainen taivutusvastus,

$W_{eff}$  on tehollisen poikkileikkauksen kimmoteorian mukainen taivutusvastus.

### **Poikkileikkauksen leikkauskestävyys**

Poikkileikkauksen leikkauskestävyys  $V_{Rd}$  voidaan yleensä laskea kaavasta:

$$V_{Rd} = \frac{A_v f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \quad (3.22)$$

missä

$A_v$  on leikkauspinta-ala, joka voidaan laskea seuraavasti:

Kylmämuovattut C-profiilit, kuormitus on uuman suuntainen:  $t h$

Valssatut ja kylmämuovatut rakenneputket, joiden ainepaksuus on vakio:

- kuorma on uumien suuntainen:  $A_g h/(b+h)$

- kuorma on laippojen suuntainen:  $A_g b/(b+h)$

Pyöreät rakenneputket, joiden ainepaksuus on vakio:  $2 A_g / \pi$

$A_g$  on bruttopoikkileikkauksen pinta-ala,

$h$  on kokonaiskorkeus,

$b$  on kokonaisleveys.

Lisäksi tarvittaessa tarkistetaan lommahdus, nurjahdus ja yhdistetyt rasitukset.

### **Reunapuristuskestävyys**

Teräslevyn reunapuristuskestävyys lasketaan summaamalla yksittäisten liittimien reunapuristuskestävyyden arvot  $F_{b,Rd}$ , jotka lasketaan kaavasta:

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot \alpha \cdot f_{ur} d \cdot t}{\gamma_{Mb}} \quad (3.23)$$

missä

$\alpha$  on  $\min\left(1, \frac{e_1}{3d}, \frac{p_1}{3d} - \frac{1}{4}\right)$

$d$  on ruuvien halkaisija,

$t$  on levyn paksuus.

Yksileikkeisessä lattaterä liitoksessa, jossa on vain yksi liitin tai vaikuttavaan voimaan nähden kohtisuorassa suunnassa oleva liitinrivi, reunapuristuskestävyys lasketaan kaavasta (3.23) käyttäen  $\alpha$ :lle arvoa 0,6.

Murtorajatilassa kaavassa (3.23) voidaan käyttää arvoa:

$$f_{ur} = f_u$$

missä  $f_u$  on liitettävän levyn vetomurtolujuuden ominaisarvo (yleensä standardin mukaista vetomurtolujuuden minimiarvoa). Kuitenkin ruostumattomien terästen tapauksessa liittimen reiän venyminen käyttörajan kuormilla rajoittaa muutoin käytettävissä olevan reunapuristuskestävyyden hyödyntämistä. Erillisen käyttörajan tarkastelun välttämiseksi suositellaan, että reiän liiallisen venymisen välttämiseksi murtorajatilalaskelmissa käytetään pienennettyä arvoa  $f_{ur}$ , joka lasketaan kaavasta:

$$f_{ur} = 0,5 f_y + 0,6 f_u \quad (3.24)$$

missä

$f_y$  on myötörajan ominaisarvo (yleensä käytetään 0,2-rajan minimiarvoa).

Liitinryhmän kestävyys voidaan määrittää yksittäisten kiinnittimien reunapuristusten  $F_{b,Rd}$  summana edellyttäen, että yksittäisen liittimen leikkauskestävyyden mitoitusarvo  $F_{v,Rd}$  on vähintään yhtä suuri kuin vastaava reunapuristuskestävyyden mitoitusarvo  $F_{b,Rd}$ . Muussa tapauksessa liitinryhmän kestävyys lasketaan pienimmän yksittäisen liittimen kestävyuden perusteella kertomalla ko. arvo liittimien lukumäärällä.

**Liittimen** reunapuristus lasketaan kaavasta:

$$F_{b,Rd} = (2,5 f_{ub} t d) / \gamma_{Mb} \quad (3.25)$$

missä  $f_{ub}$  on liittimen vetomurtolujuus.

Mikäli  $f_{ub} / f_{ur} \geq 1$  ei liittimen reunapuristus ole määräävä.

### Palamurtumiskestävyys

Palamurtumiskestävyys voidaan laskea käyttäen ENV 1993-1-1:n (1996) tai prEN 1993-1-8:n (2002) ohjeita.

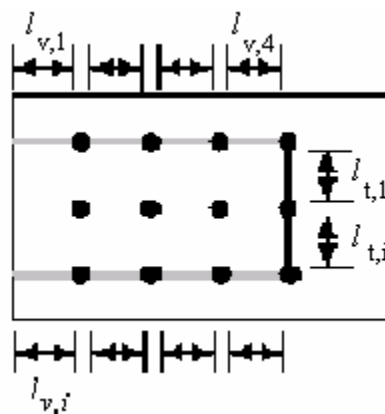
$$V_{eff,1,Rd} = \frac{f_u A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y A_{nv}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \quad \text{prEN 1993-1-8} \quad (3.26)$$

missä

$$A_{nt} = t \cdot \sum_i l_{t,i} \quad \text{ja} \quad A_{nv} = t \cdot \sum_i l_{v,i} \quad (3.27)$$

missä

$l_{t,i}$  ja  $l_{v,i}$  katso Kuva 3.5.,  
 $t$  on levyn paksuus.



Kuva 3.5. Palamurtumisen piiri.

## **Pultin vetokestävyys ja leikkauskestävyys**

Pultin vetokestävyuden mitoitusarvo  $F_{t,Rd}$  lasketaan kaavasta:

$$F_{t,Rd} = (0,9 f_{ub} A_s) / \gamma_{Mb} \quad (3.28)$$

missä,  $A_s$  on pultin jännityspoikkipinta-ala.

Pultin leikkauskestävyuden mitoitusarvo  $F_{v,Rd}$  lasketaan kaavasta:

$$F_{v,Rd} = (0,6 f_{ub} A) / \gamma_{Mb} \quad (3.29)$$

missä,  $A$  on pultin kierteettömän varren pinta-ala. Puurakenteiden liitoksissa kierreosa sijoitetaan liitososien ulkopuolelle.

## **3.3 Myötömomentin kokeellinen määrittäminen**

### **3.3.1 Lähtökohta ja kokeen suoritus**

Myötömomentti voidaan laskea Eurocode 5:ssä (EC5) annetuilla kaavoilla ottaen huomioon kunkin kaavan ehdot tai määrittää se kokeellisesti standardien EN 409:1993 ja prEN 14592:2002 mukaan. Profiloituille nauloille Eurocode 5 ei anna laskentakaavaa. Ruuveille ja pulteille myötömomentin kokeellinen määrittäminen tehdään kuten nauloille käyttäen kuitenkin maksimi taivutuskulmana  $\alpha = 45/d^{0,7}$ , kun kulma nauloilla on 45 astetta.

Tutkimuksessa selvitettiin kokeellisesti eräiden ruostumattomista teräksistä valmistettujen liittimien myötömomenttien arvoja ja verrattiin tuloksia seostamattomiin vastaaviin liittimiin sekä EC5:stä tai aikaisemmista kokeista saatuihin tuloksiin. Lisäksi pyrittiin johtamaan kaava, jolla myötömomentti voitaisiin laskea. Vertailun mahdollistamiseksi testeissä oli mukana sinkittyjä hiiliteräsliittimiä. Austeniittisille ruostumattomille teräksille ominaista on niiden muokkauslujittuminen. Tätä vaikutusta myötömomenttiin pyrittiin myös selvittämään.

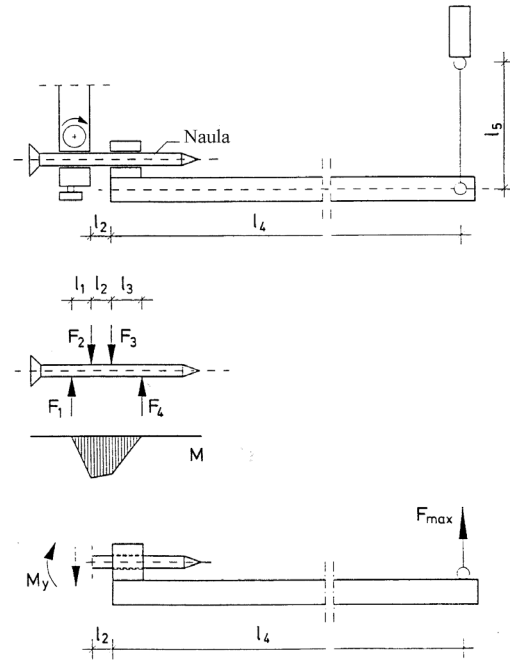
Kuvissa 3.6–3.8 esitetään myötömomentin testausperiaate ja koelaitteisto. Laitteesta on käännettävä vipuvarsi, jolla liitin taivutetaan. Taivutuksen yhteydessä mitataan voima- ja kulma-anturilla vastaavat arvot, jotka tallennetaan tietokoneelle. Voima-antureita voidaan vaihtaa riittävän tarkkuuden saavuttamiseksi. Kulman muutosta mitattiin potentiometrillä.

$l_1$  ja  $l_3$  ovat tukimitat,  $\geq 2d$

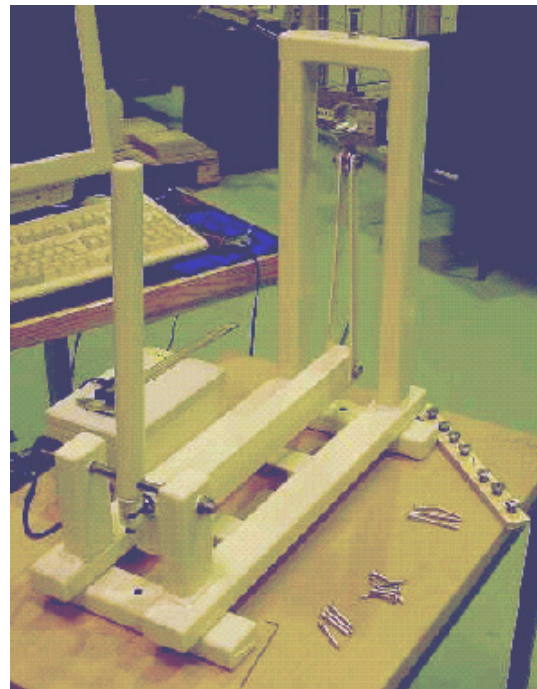
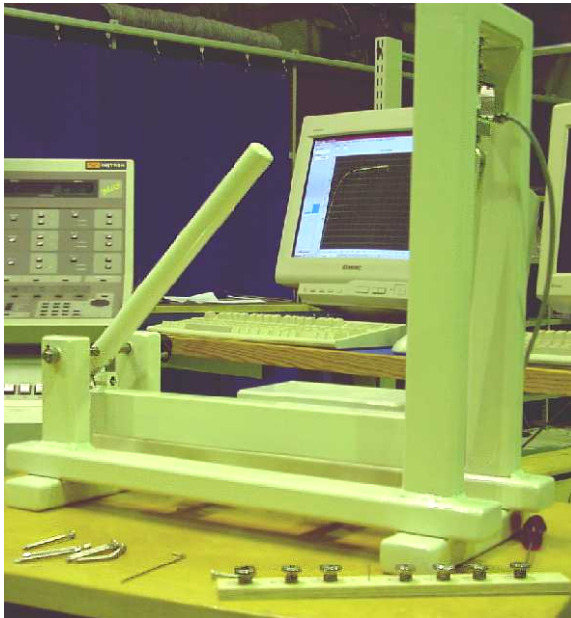
$l_2$  on liittimen vapaa väli,  $d \leq l_2 \leq 3d$

$l_4$  on vaakapalkin pituus, 416 tai 415[mm] ja massat vastaavasti 1,04 kg ja 1,08 kg.

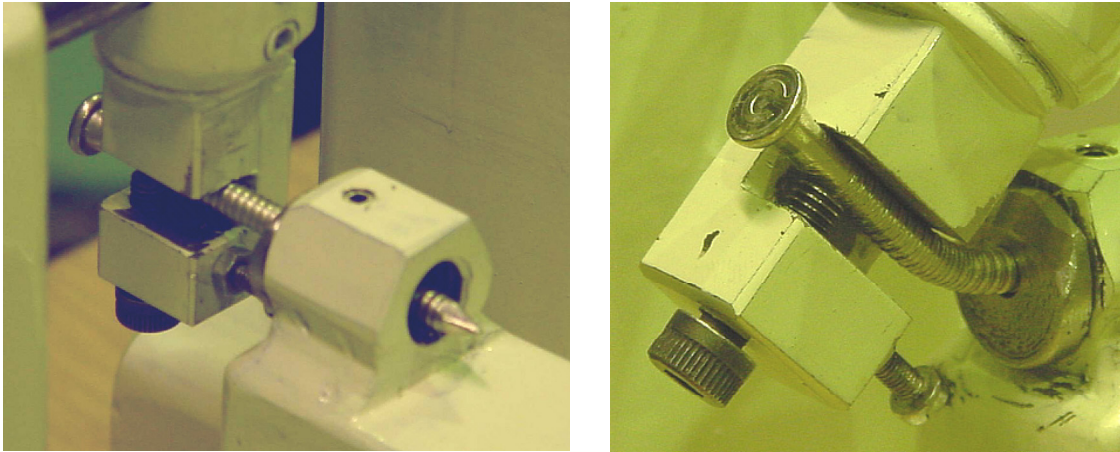
$l_5$  on varsi, joka siirtää voiman anturille. Mikäli  $l_2$  ja  $l_4$  mittoja muutetaan, tulee se ottaa huomioon laskennassa. Vaakapalkin ( $l_4$ ) ja varren ( $l_5$ ) välinen kulma ei saa testissä muuttua yli 0,1 radiaania.



Kuva 3.6. Testausperiaate.



Kuva 3.7. Kuvia testilaitteesta.



Kuva 3.8. Naulan myötömomentin määrittäminen.

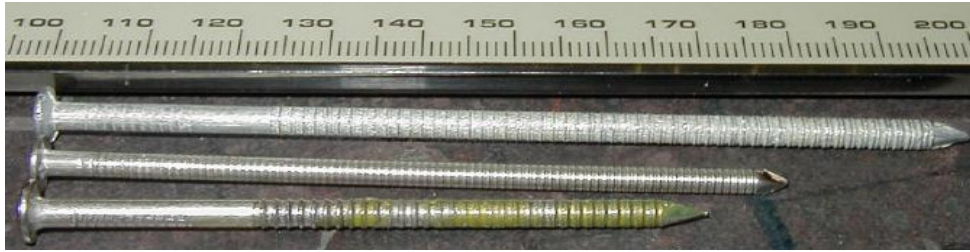
### 3.3.2 Testattavat liittimet

Kokeessa testattiin taulukkojen 3.2–3.4 mukaiset liittimet (ks. Kuvat 3.9–3.11). Jokainen liitin testattiin erikseen. Taulukoissa oleva  $l_2$  tarkoittaa liittimen vapaata väliä testissä. Ruostumattomien ankkurinaulojen raaka-aineen vetomurtolujuus on valmistajan ilmoituksen mukaan vähintään  $750 \text{ N/mm}^2$  ja muilla ruostumattomilla nauloilla raaka-aineen vetomurtolujuus on valmistajien ilmoitusten mukaan vähintään  $700 \text{ N/mm}^2$ . Sinkityillä nauloilla se on vastaavasti vähintään  $600 \text{ N/mm}^2$ .

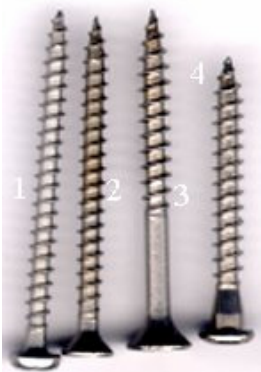
Taulukko 3.2. Testatut naulat.

Teräslaatu	Liitin	koodi	lukumäärä	$d_{\text{varsi}}$	$d_{\text{ulko}}$	$l_2$
EN 1.4401	Ankkurinaula 40x4,0	AA1	30	4,01	4,22	4,02
EN 1.4401	Ankkurinaula 60x6,0	AA2	25	6,01	6,21	11,39
EN 1.4401	Ankkurinaula 60x4,0	AA3	25	4,01	4,21	10,08
Kuumasinkitty	Ankkurinaula 40x4,0	AA4	20	4,14	4,37	4,08
EN 1.4401	Ankkurinaula 50x4,0	AA5	15	4,01	4,21	4,08
Sähkösinkitty	Ankkurinaula 40x4,0	AA6	30	4,01	4,38	4,97
EN 1.4401	Kampanaula 35x2,5	KN1	15	2,5	2,63	4,14
EN 1.4401	Kampanaula 78x2,8	KN2	15	2,8	2,86	4,14
EN 1.4401	Kampanaula 70x3,1	KN3	20	3,13	3,32	5,89
EN 1.4401	Kampanaula 125x4,0	KN4	15 + 15 <sup>1)</sup>	4,0	4,09	10,08
kuumasinkitty	Kampanaula 100x3,1	KN5	10 + 5 <sup>1)</sup>	3,27	3,44	6,02
EN 1.4401	Lankanaula 75x2,8 uurrettu	LN1	20	2,77 pienempi sivumitta		4,86
kuumasinkitty	Lankanaula 100x3,4	LN2	9	3,62 – ” ” –		6,06
kuumasinkitty	Lankanaula 75x2,8	LN3	9	2,91 – ” ” –		4,86

<sup>1)</sup> Naulan sileäosan + profiiliosan testausmäärät.



Kuva 3.9. Testattuja kampanauloja: ylhäältä alas: KN5, KN2, KN3.



1. RR3 4,0x50\_A4
2. RR1 4,0x50\_A2
3. RR4 5,0x50\_A2
4. AR 5,0x40\_A2



- (vas.) 40x4,0  
AA4 (kuumas.),  
AAS (sähkös.),  
AA1 (1.4401),  
AA3 60x4,0  
(1.4401) ja  
AA2 60x6,0  
(1.4401).

Kuva 3.10. Testattuja ruuveja

Kuva 3.11. Testattuja nauloja.

Taulukko 3.3. Testatut ruuvit.

Teräslaatu	Liitin	koodi	määrä	d <sub>varsi</sub>	d <sub>sisä</sub>	d <sub>ulko</sub>	l <sub>2</sub>
EN 1.4301,A2	Ankkuriruuvi 5,0*40	AR	20	4,8	3,17	4,71	5,3
EN 1.4301, A2	4,0*50	RR1	21	3,07	2,70	4,15	6,0
EN 1.4301, A2	6,0*80	RR2	20	4,3	3,83	6,00	10,74
EN 1.4401, A4	4,0*50	RR3	25	3,03	2,69	4,05	5,8
EN 1.4301, A2	6,5*100	STR	17 + 12 <sup>1)</sup>	5,11	4,52	6,42	10,16
EN 1.4301, A2	Yleisruuvi 5*50	RR4	20	3,49	3,01	5,0	7,09
EN 1.4301, A2	Yleisruuvi 3,5*40	RR5	20	2,5	-	3,43	4,46
Seostamaton teräs	Yleisruuvi 5*50	RR6	9	3,48	3,02	4,79	8,57
EN 1.4401 (A4)	Yleisruuvi 6*70	RR7	30	4,25	3,84	5,91	10,76
EN 1.4401 (A4)	Kansiruuvi 10*80	KR1	15	9,47	6,97	9,69	9,8
EN 1.4401 (A4)	Kansiruuvi 10*80	KR2	15	9,54	7,37	9,86	10,0



Taulukko 3.4. Testatut pultit

Teräslaatu	Liitin	koodi	määrä	$d_{\text{varsi}}$	$d_{\text{sisä}}$	$d_{\text{ulko}}$	$l_2$
A2-80	M8*60 täyskierre	RP1	15	-	6,47	7,85	8,6
A4-70	M10*100, osakierre	RP2	20 Sileäosa	9,97	8,35	9,98	10,24
A4-80	M8*60 täyskierre	RP3/A	10	-	6,40	7,85	8,5
A4-80	M8*60 osakierre	RP3/B	10 kierreraja	7,84	6,46	7,83	8,5
EN 1.4432, A4L -80	M8*100 - 88	RP4	20 sileäosa	7,83	6,48	7,9	8,6
A4	Kierretanko M10*80	RP5	10	-	8,20	9,82	10,1

Kierretangon vetomurtolujuudeksi on ilmoitettu 700 MPa.



Kuva 3.12. Testattuja rst-pultteja.

### 3.3.3 Koetulokset

Liittimien myötömomenttien arvot lasketaan EN 409 mukaan seuraavasta yhtälöstä

$$M_y = \max \left\{ F_{\max} \cdot \left[ l_4 + \left( 1 - \frac{G_{\text{lev}}}{2 \cdot F_{\max}} \right) \cdot l_2 \right] \right. \quad (3.30)$$

missä

$F_{\max}$  on suurin käytettävä voima-anturin lukema, [N]

Anturin lukemaksi valitaan toinen seuraavista arvoista:

1. Myötäneen liittimen antama maksimi voiman arvo,
2. Mikäli taivutuksessa saavutetaan nauloilla  $\alpha = 45^\circ$ , ruuveilla ja pulteilla  $\alpha = 45/d^{0,7}$ , kulma ennen maksimi voimaa, niin voimaksi otetaan ko. kulman kohdalta voiman arvo.

$G_{lev}$  on vaakapalkin omapaino, [N]

$l_2$  on liittimen vapaa väli, [mm]

$l_4$  on vaakapalkin pituus, [mm].

Tulokset on esitetty taulukoissa 3.5–3.7. Jokaisen koekappaleen  $F_{max}$  arvoista on laskettu kunkin liittimen myötömomentin arvo. Arvoille  $F_{max}$  ja  $M_y$  on laskettu keskiarvo, -hajonta, varianssi. Myötömomentin ominaisarvo<sup>1)</sup> on laskettu standardin EN 1990 (2002) liitteen D luvun D7 menetelmän ” $V_x$  unknown” mukaan käyttäen myötömomentin keskiarvoa ja varianssina  $v$  vähintään 5 % (prEN 14358:2002). Liitteessä B on esitetty voima-kulmakuvaajat liittimille. Voimana on  $F_{max}$ :n keskiarvo.

## Naulat

Taulukko 3.5. Naulojen maksimivoimien keskiarvot ja lasketut myötömomenttien arvot.

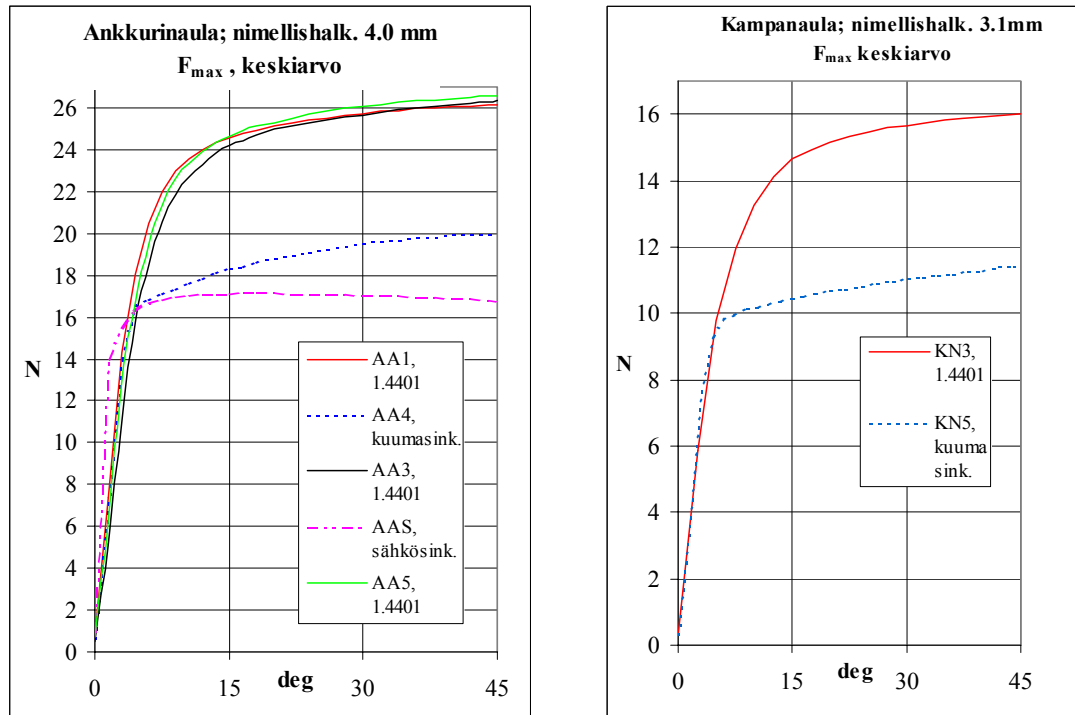
Liitin	$F_{max}$ [N] keskiarvo	$M_{y,m}$ [Nmm] keskiarvo	var $v$ [%] <sup>1)</sup>	$M_{y,k}$ [Nmm] omi- naisarvo <sup>1)</sup>	Myötökohta
AA1	26,2	11094	2,9	10134	kampa
AA2	82,6	35325	1,1	32216	kampa
AA3	26,3	11182	2,1	10198	kampa
AA4	20,1	8493	4,1	7745	kampa
AA5	26,2	11279	4,3	10196	kampa
AAS	17,3	7330	3,4	6684	kampa <sup>2)</sup>
KN1	7,3	3087	2,1	2791	kampa
KN2	9,5	3997	2,2	3613	kampa
KN3	16,0	6760	3,9	6111	kampa (10 kpl)
KN3	16,3	6897	0,8	6094	varsi (5 kpl)
KN4	24,6	10464	3,5	9459	kampa
KN4	22,0	9331	4,2	8435	varsi
KN5	11,5	4823	1,9	4359	kampa (10 kpl)
KN5	11,7	4933	1,9	4358	varsi (5 kpl)
LN1	12,7	5361	2,1	4889	-
LN2	23,2	9819	1,5	8861	- <sup>2)</sup>
LN3	11,4	4841	5,1	4361	-

<sup>1)</sup> Ominaisarvoa laskettaessa varianssina on käytetty vähintään 5 %. (prEN 14358).

<sup>2)</sup>  $F_{max}$  saavutettiin ennen kuin kulman raja-arvo.

---

<sup>1)</sup> **Huom.** Esitetty  $M_{y,k}$  edustaa testatun liittinerän myötömomenttia – testattujen liittimien todellisen halkaisijan ja materiaalin vetolujuuden poikkeamat nimellisarvoista tulee ottaa huomioon suunnitteluarvossa.



Kuva 3.13. Naulojen voima-kulmakuvaajia,  $F_{max}$  on keskiarvona.

## Ruuvit

Taulukko 3.6. Ruuvien koetulokset ja lasketut myötömomenttien arvot.

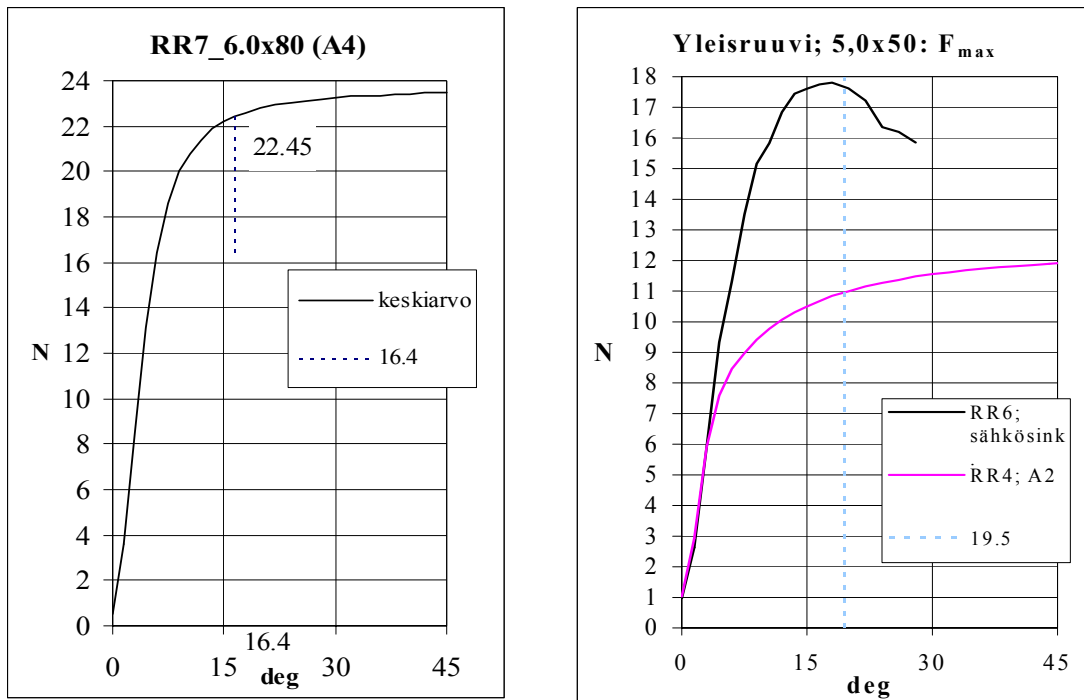
Liitin	$F_{max}$ [N] keskiarvo	$M_{y,m}$ [Nmm] keskiarvo	var $\nu$ [%] <sup>1)</sup>	$M_{y,k}$ [Nmm] ominaisarvo <sup>1)</sup>	Myötö- kohta	kulma [°]
AR	11,8	4974	1,3	4536	kierre	18,8
RR1	8,8	3695	1,4	3370	kierre	21,1
RR2	21,8	9243	2,0	8430	kierre	16,4
RR3	8,3	3504	2,6	3196	kierre	21,0
STR	47,4	20142	2,6	18208	kierre <sup>3)</sup>	14,6
STR	48,9	20805	2,1	18807	sileä	14,6
RR4	10,9	4633	4,6	4225	kierre	19,5
RR5	4,7	1983	4,0	1809	kierre	23,1
RR6	17,9	7567	3,0	6829	kierre	19,5 <sup>2)</sup>
RR7	22,5	9528	1,2	8690	kierre	16,4
KR1	154	65598	5,7	58381	kierre	9,3
KR2	162	68651	2,2	62060	kierre	9,3

<sup>1)</sup> Ominaisarvoa laskettaessa varianssina on käytetty vähintään 5 %. (prEN 14358).

<sup>2)</sup>  $F_{max}$  saavutettiin ennen kuin kulman raja-arvo (Kuva 3.14).

Kulma tarkoittaa standardin määrittelemää maksimi taivutuskulmaa.

<sup>3)</sup> Pienen myötömomentin arvo saatiin kierreosalla.



Kuva 3.14. Yleisruuvien voima-kulmakuvaajia,  $F_{max}$  on keskiarvona sekä tarkasteltava taivutuskulma standardin mukaan.

## Pultit

Taulukko 3.7. Rst-pulttien koetulokset ja lasketut myötömomenttien arvot.

Liitin	$F_{max}$ keskiarvo [N]	$M_{y,m}$ keskiarvo [Nmm]	var $\nu$ [%] <sup>1)</sup>	$M_{y,k}$ ominaisarvo [Nmm] <sup>1)</sup>	Myötökohta <sup>2)</sup>	kulma [°]
RP1	112	46308	1,7	41863	kierreosa	10,7
RP2	278	115233	3,1	105093	sileäosa	9,0
RP3/A	113	46625	2,0	42149	kierreosa	10,7
RP3/B	143	59322	1,7	53628	kierreraja	10,7
RP4	147	60903	4,9	55543	sileäosa	10,7
RP5	195	82977	1,7	75011	kierre	9,1

<sup>1)</sup> Ominaisarvoa laskettaessa varianssina on käytetty vähintään 5 %. (prEN 14358:2003).

<sup>2)</sup> Myötökohdan paikka on valittu kyseisiin paikkoihin.

Kulma tarkoittaa standardin määrittelemää maksimi taivutuskulmaa.

Pulttien voima-kulmakuvaajat on esitetty liitteessä B.  $F_{max}$  on voiman keskiarvo.

### 3.3.4 Tulosten tarkastelu

Koetuloksista voidaan havaita, että ruostumattomista teräksistä valmistetut liittimet myötäävät ilman selkeää myötökohta. Hiiliteräksestä valmistetuilla liittimillä sen sijaan on havaittavissa myötökohta.

#### Naulat

Taulukossa 3.8 on esitetty kampanaulojen raaka-aineen vetomurtolujuuden,  $f_u$ , tiedossa oleva vähimmäisarvo. Eurocode 5:n mukainen myötömomentin laskentakaava pyöreälle naulalle ja ruuville ( $d \leq 6$  mm) on esitetty kohdassa 3.2.1, kaava (3.3).

Laskennallinen myötöjännityksen keskiarvo saadaan kaavasta:

$$f_{y,m} = M_{y,m} / W_p \quad (3.31)$$

missä

$M_{y,m}$  on myötömomentin keskiarvo koetuloksista,  
 $W_p = d^3/6$  on täysplastinen taivutusvastus pyöreälle naulalle, missä  $d$ :n arvona on käytetty mitattua sileän varren halkaisijaa.

Kaava (3.32) (ks. Kuva 3.15) on koetulosten pohjalta määritetty mahdollinen rst-kampanaulojen myötömomentin laskentakaava, joka pätee vain kokeessa olleille liittimille. Hiiliteräksestä valmistetuille kampanauloille kyseinen kaava antaa epävarmalla puolella olevia arvoja (ks. AAS Taulukko 3.8.).

$$M_{y,lask} = \frac{f_u}{600} \cdot 210 \cdot d^{2,6} \quad (3.32)$$

*Taulukko 3.8. Kampanaulojen myötömomentin vertailu EN 1995 pyöreän naulan yhtälöön ja laskennallinen myötöjännitys sekä  $M_{y,lask}$ .*

RST-kampanaulat											sinkityt naulat			
	KN1	KN2	KN3	KN4	KN4 kampa	AA1	AA3	AA5	AA2	WERNER & SIEBERT	KN5	AAS	AA4	
$f_u$ (raaka-aine)	700	700	700	700	700	750	750	750	750	600	600	600	600	600
$d$	2.51	2.81	3.12	4.00	4.00	4.01	4.01	4.01	6.01	4.07	5.98	3.27	4.01	4.14
$M_{y,m}$	3087	3997	6760	9331	10464	11094	11182	11279	35325	9090	27430	4823	7330	8493
$M_{y,Rk\_EC5}^1)$	2298	3082	4046	7719	7719	8324	8324	8324	23837	6922	18823	3918	6676	7236
$f_{y,m} = M_{y,m}/W_p$	1171	1081	1336	875	981	1032	1040	1050	976	809	770	828	680	718
$M_{y,lask}$	2717	3648	4753	9220	9220	9879	9879	9879	28349	7903	22679	4074	7903	7903

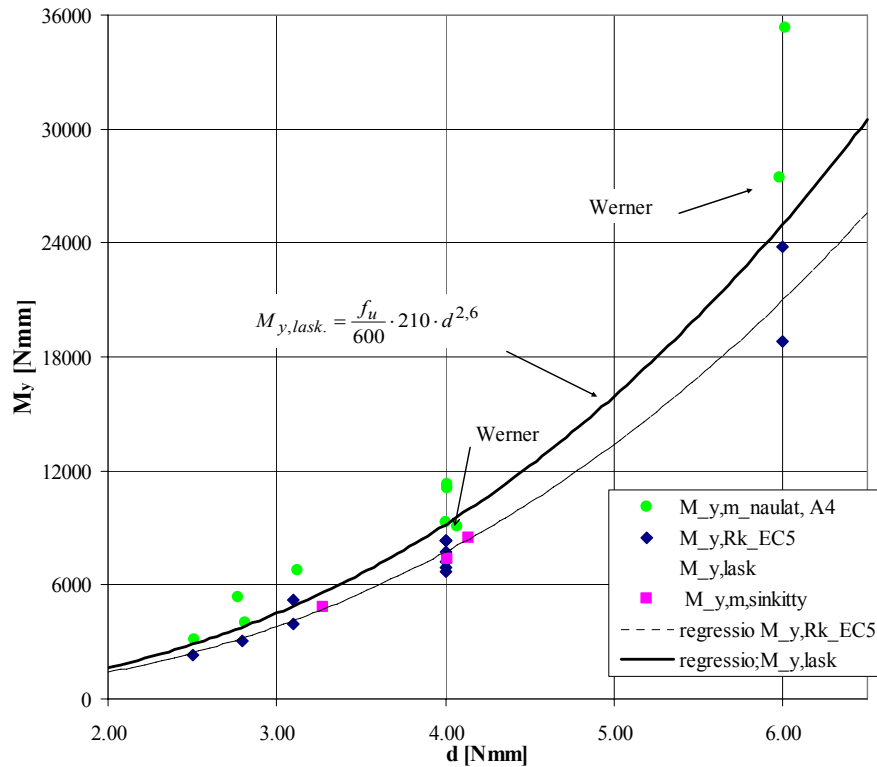
<sup>1)</sup>  $M_{y,Rk}$  on laskettu mitatuilla halkaisijan  $d$  arvoilla.

Werner & Siebert (1991) ovat tehneet myötömomenteitestejä vastaavalla periaatteella. Heidän testeissään on ollut mukana ruostumattomia nauloja. Esimerkiksi 4,0 mm:n kampanauloilla heidän myötömomentin keskiarvo oli 9090 Nmm, kun tässä kokeessa vastaavan kokoisella ankkurinaulalla se on 11094 Nmm. Tarkkoja tietoja ko. naulan materiaaliominaisuuksista ei ole. Kampaosan sisähalkaisijassa on eroa 0,19 mm. Gehri (1996) esittää eo. tutkimukseen viitaten sähkösinkityille ja ruostumattomille kampanauloille ominaismyötömomentin arvoiksi 6,37 Nm ( $d = 4,0$  mm) ja 20,0 Nm ( $d = 6,0$  mm).

Muutamille nauiloille tehtiin vetomurtovoiman maksimiarvon määrittäminen (ks. Taulukko 3.9). Vetokokeiden tuloksista voi havaita, että KN4-kampaosan valmistus on lujittanut naulaa, sillä niin myötömomentin arvo kuin vetomurto määräytyivät sileän varsiosan mukaan. Vetomurtovoiman määrittäminen muilla nauiloilla tehtiin ainoastaan kampaosalle niiden pituudesta johtuen. Tuloksista havaitaan, että naulan kampaosan valmistus lujittaa materiaalia. Myötölujittumista tapahtuu myös taivutuskokeen aikana.

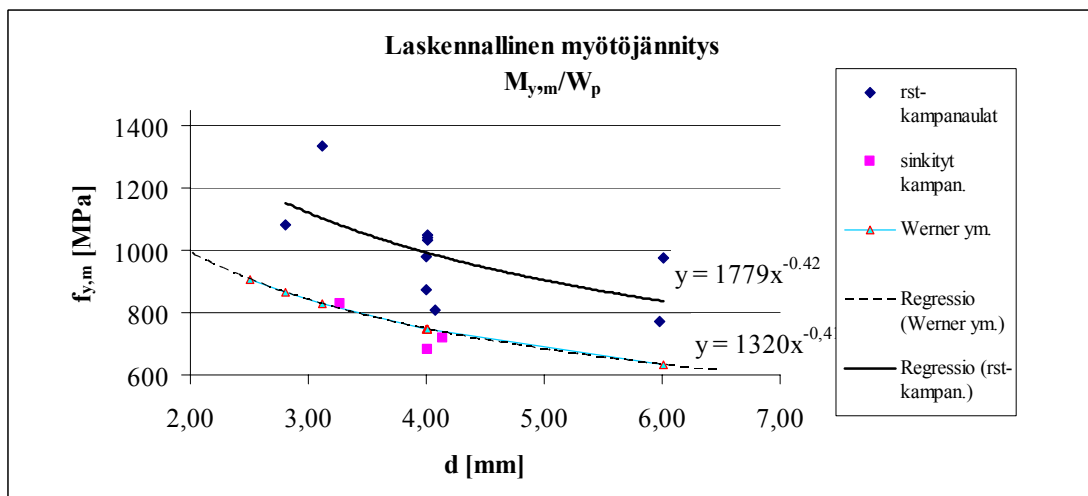
*Taulukko 3.9. Joidenkin nauilojen vetomurtokokeesta saatuja tuloksia. Mitta  $d_{sisä}$  on kampaosalle otettu valmistajien taulukoista.*

Naula	Vetomurtovoima keskiarvo, [N]	$d_{sisä}$	$d_{nimellinen}$	$f_u$ ( $d_{nimellinen}$ )	$f_u$ ( $d_{sisä}$ )	Murtokohta	$f_{y,m} = M_{y,m}/W_p$
KN3	8600	2,86	3,1	1140	1349	kampaosa	1336
KN4	8780	4,0	4,0	699	699	sileä varsi	875
AA3	9995	3,6	4,0	796	982	kampaosa	1040
AA2	22000	5,6	6,0	778	894	kampaosa	976



Kuva 3.15. Naulojen myötömomenttien keskiarvot sekä testatuille pyöreille nauloille EC5:n mukaiset ominaisarvot kaavasta (3.3) ja rst-kampanauloille ehdotetulla kaavalla (3.32) laskettu regressiokäyrä.

Kokeen tulokset osoittavat, että ruostumattomista teräksistä valmistettujen kampanaulojen myötömomentin ominaisarvo  $M_{y,k}$  voidaan laskea turvallisesti EC5:n kaavalla (ks. kaava (3.3)). Tällöin varsinkin isommilla halkaisijoilla kapasiteettia jää käyttämättä. Naulan raaka-aineen vetomurtolujuuden todellinen arvo on mielekästä sijoittaa yhtälöön.



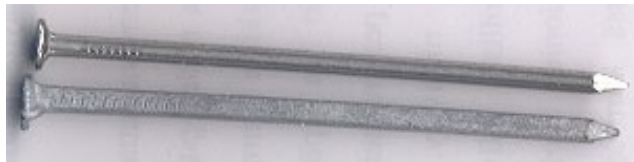
Kuva 3.16 Kampanaulojen laskennallinen myötöjännitys.

Eurocode 5:n mukainen myötömomentin laskentakaava nelikulmaiselle naulalle on esitetty kohdassa 3.2.1,  $M_{y,Rk} = \frac{f_u}{600} \cdot 270 \cdot d^{2,6}$ . Taulukossa 3.10 esitetyn vertailun perusteella voidaan todeta, että ruostumattomasta teräksestä valmistetut lankanaulat noudattavat hyvin EC5:n kaavaa, kun materiaalin vetolujuus  $f_u$  otetaan huomioon.

*Taulukko 3.10 Lankanaulojen myötömomentin vertailu EC5:n nelikulmaisen naulan yhtälöön ja laskennallinen myötöjännitys.*

Lankanaula	$f_u$ (raaka-aine)	$d$	$M_{y,m}$	$M_{y,Rk\_EC5\_d}$	$f_{y,m} = M_{y,m}/W_p$
LN1	700	2.77	5361	4454	1009
LN2	600	3.62	9819	7656	828
LN3	600	2.91	4841	4340	786

LN1 on profiililtaan uurrettu EN 1.4401 sekä LN2 ja LN3 ovat kuumasinkittyjä.  
 $W_p = d^3/4$  (poikkileikkaus on neliö).



Kuva 3.17. Lankanauloja 75x2,8. LN1 (ylh.), LN3 (alempi).

## Ruuvit

Taulukossa 3.11 on ruuvien raaka-aineen vetomurtolujuudelle,  $f_u$ , ilmoitettu vähimmäisarvo. EN1995-1-1:n mukainen myötömomentin laskentakaavat ruuville ( $d \leq 6$  mm), kaava (3.3), pultille ja ruuville ( $d > 6$  mm), (3.5), on esitetty kohdassa 3.2.1.  $M_{y,lask}$  on laskettu sijoittamalla kaavaan (3.3) kerroin 205 kertoimen 180 tilalle.

*Taulukko 3.11. Rst-ruuvien myötömomentin vertailu EC5:n mukaan laskettuihin arvoihin sekä laskennallinen myötöjännitys ja myötömomenti  $M_{y,lask}$ , [N,mm].*

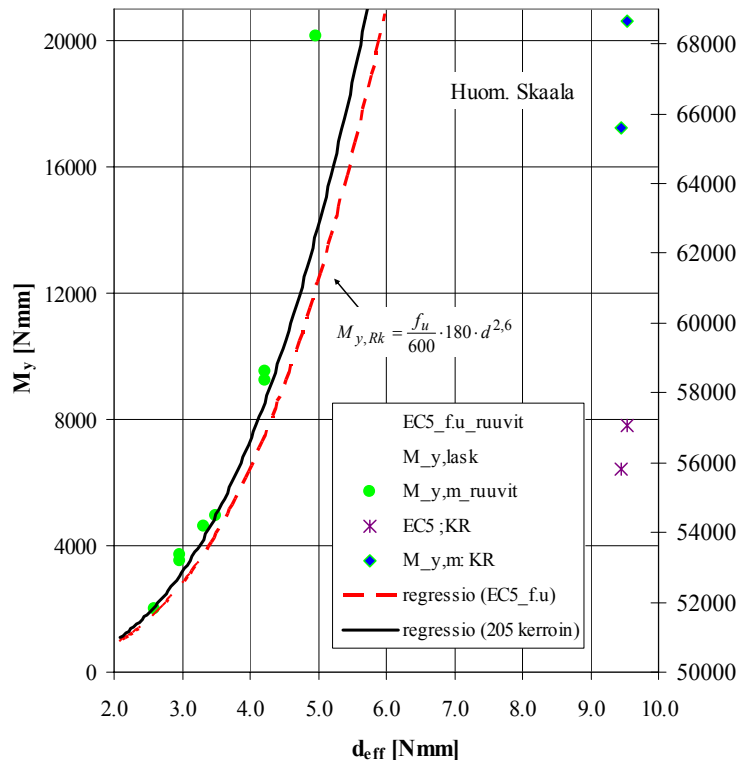
	RST-ruuvit									
	RR5	RR1	RR3	RR4	AR	RR7	RR2	STR	KR1	KR2
$f_u$ (raaka-aine)	500	500	500	540	550	540	500	700	540	540
$d_{eff}$	2,60	2,96	2,97	3,31	3,49	4,22	4,22	4,97	9,46	9,54
$d_{nimellinen}$	3,5	4,0	4,0	5,0	5,0	6,0	6,0	6,5	10,0	10,0
$M_{y,m}$	1983	3695	3504	4633	4974	9528	9243	20142	65598	68651
$M_{y,Rk\_EC5\_d_{eff}}$	1792	2518	2542	3643	4245	6861	6353	13589	55825	57061
$f_{y,m} = M_{y,m} / W_p$	680	856	802	766	704	759	736	983	873	773
$M_{y,lask}$	2041	2868	2896	4148	4834	7814	7235	15477		

$W_p = d_{eff}^3/6$  on täysplastinen taivutusvastus, missä  $d_{eff}$ :n arvona on käytetty 1,1x mitattu kierreosan juuren läpimitta.



Kuvasta (3.14) voidaan havaita sähkösinkityn ruuvien RR6 saavuttavan  $F_{\max}$  arvon hie-  
man ennen raja-arvona olevaa kulmaa. Testissä jokainen ko. ruuvi meni äkillisesti poik-  
ki. EC5:n mukaan  $M_{y,Rk} = 4763 \text{ Nmm}$ , kun  $d_{\text{eff}} = 3,32 \text{ mm}$  ja  $f_u = 700 \text{ MPa}$ .

Kuvassa 3.18 käyrät eivät sisällä kansiruuveja,  $d > 6 \text{ mm}$ . Niiden tulokset ja EC5:n arvo  
ovat oikean puoleisella pystyakselilla. Vertailun perusteella ruuveille voidaan käyttää  
EC5:n myötömomentin yhtälöitä, kun otetaan huomioon raaka-aineen vetomurtolujuus.  
Liitinkohtaiset tarkemmat arvot vaativat EN 409 mukaisen testin.



Kuva 3.18. Rst-ruuvien myötömomenttien koetulosten vertailu EC5:n mukaisiin arvoihin sekä myötömomenti  $M_{y,lask}$ .

### Pultit

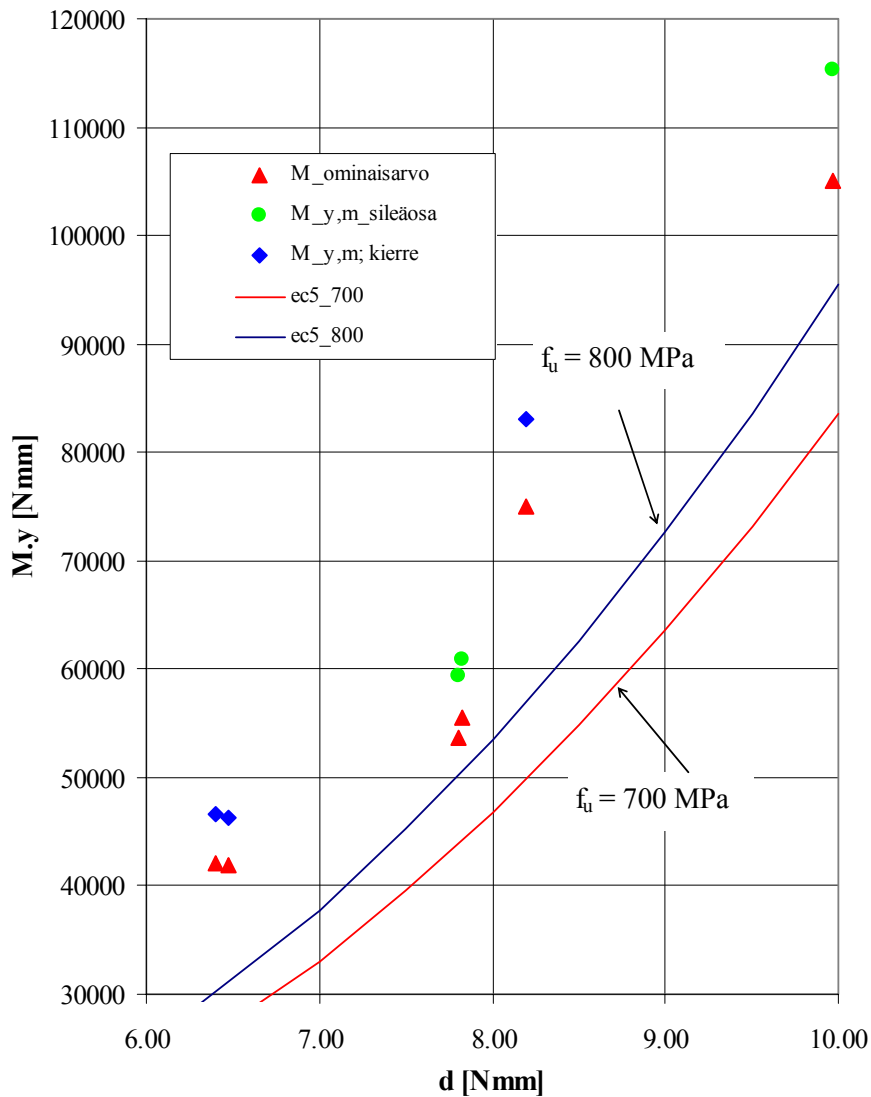
Ruostumattomasta teräksestä valmistetuilla pulteilla ei tullut esille selvää myötökohtaa. Tuloksista (Taulukko 3.12 ja Kuva 3.19) voidaan havaita, että kaavalla (3.5) laskettu myötömomenti, varsinkin 10 mm:n pultilla (RP2), jää alle kokeessa saadun tuloksen. Osaksi tämä johtuu siitä, ettei kaava ole plastisuusteorian mukainen ja todennäköisesti lujuusluokkaan 70 pultilla tapahtuu muokkauslujittumista enemmän kuin lujuusluokassa 80.

Taulukko 3.12 Rst-pulttien myötömomentin vertailu EC5:n yhtälöön ja laskennallinen myötöjännitys, [N, mm].

Pultti	$f_{u,k}$	$d$	$d_{sisä}$	$M_{y,m}$	$M_{y,Rk\_EC5\_d_{sisä}}$	$M_{y,Rk\_EC5\_d}$	$f_{y,m} = M_{y,m}/W_p$	$f_{y,m}^{1)}$	$M_{y,Rk\_EC5}^{1)}$
RP1	800	-	6,47	46308	30801	-	1026	872	35457
RP2	700	9,97	-	115233	-	50414	698	-	-
RP3/A	800	-	6,40	46625	29942	-	1067	878	35457
RP3/B	800	7,84	-	59322	-	50246	747	-	-
RP4	800	7,83	-	60903	-	50582	761	-	-
RP5	700	-	8,20	82977	49904	-	903	785	56312

$W_p$  on täysplastinen taivutusvastus, missä  $d$ :n arvona on käytetty mitattua sileän osan halkaisijaa tai sisähalkaisijaa.

<sup>1)</sup> Myötölujuudet ja -momentit on laskettu jännityspoikkileikkausalasta saadulla halkaisijalla.



Kuva 3.19. Rst-pulttien myötömomentin vertailu EC5:n (kaava (3.5)) mukaisiin arvoihin.

Laskennallinen myötöjännitys pulteilla, joille koe on tehty sileältä osalta, on lähellä pultin vetomurtolujuutta. Voidaan todeta, että EC5:n mukaisia kaavoja käyttäen saadaan varmalla puolella olevia tuloksia, ja mikäli halutaan täysimääräisesti hyödyntää pultin myötömomentti, on se määritettävä kokeellisesti. Pulttien kierreosalle (RP1 ja RP3/A) ja kierretangolle (RP5) tehdyissä kokeissa laskennallinen myötöjännitys ylittää ilmoitetun vetomurtolujuuden, kun myötöjännitys on laskettu kierteen sisähalkaisijan mukaan.

Pultin RP4 testissä oli kahta eri valmistuserää. Testin aikana oli havaittavissa systemaattinen ero voimassa  $F_{\max}$ , keskiarvot 150 N ja 142 N.

### 3.3.5 Yhteenveto

Kokeessa saadut tulokset pätevät vain testattuihin liittineriin. Tulosten soveltaminen kullekkin liittintyyppille yleisesti saadaan kaavasta:

$$M_{y,m} = M_{y,m,koe} \frac{f_u}{f_{mitattu}} \left( \frac{d_n}{d_{mitattu}} \right)^{2,6} \quad (3.33)$$

missä

$f_u$  on naulan / ruuvien raaka-aineen tai liittimelle annetun vetomurtolujuuden ominaisarvo,

$d_n$  on liittimen nimellismitta,

$d_{mitattu}$  on mitattu todellinen halkaisija,

$f_{mitattu}$  on raaka-aineelle aineodistuksesta saatu vetomurtolujuus tai liittimen vetokokeella määritetty lujuus,

2,6 on EC5:n laskentakaavassa liittimen halkaisijalle käytettävä eksponentti.

Testin tulokset osoittavat, että ruostumattomista teräksistä valmistettujen liittimien myötömomentin ominaisarvot,  $M_{y,k}$ , voidaan laskea Eurocode 5: n kaavoilla (ks. kaavat (3.3)–(3.5)). Naulojen ja ruuvien raaka-aineiden vetomurtolujuuksien todellisia arvoja on syytä käyttää ao. yhtälöissä, koska tällöin saadaan taloudellisempia tuloksia. Mikäli halutaan hyödyntää myötömomentti täysimääräisesti, tulee se määrittää EN 409 mukaan, sillä erilaisten profiloitujen liittimien myötömomentti laskennallisesti ei ole mahdollista. Kierretangon tai pultin kierreosan myötömomenttia ei voi laskea suoraan EC5:n kaavalla käyttäen nimellistä halkaisijaa. Sen sijaan käytettäessä jännityspoikki-leikkausosalasta laskettua halkaisijaa kaavassa (3.5) saadaan hyväksyttävät arvot.

## 3.4 Liittimien ulosvetokokeet

### 3.4.1 Lähtökohta ja kokeen suoritus

Ulosvetokokeilla haluttiin selvittää ruostumattomista teräksistä valmistettujen ruuvien ja profiloitujen naulojen ulosvetolujuutta sekä verrata tuloksia sinkityn naulan tuloksiin ja aikaisempiin tutkimustuloksiin. Parametri riippuu liitintyyppistä, puulajista ja puun tiheydestä. Profiloituille nauiloille EC5 ei anna laskentakaavaa. Ruuveille ulosvetolujuuden parametriksi syitä vastaan kohtisuoraan lasketaan EN1995:2004:n mukaan kaavasta (3.9),  $f_{ax,k} = 3,6 \times 10^{-3} \rho_k^{1,5}$ . Mikäli lujuusparametria ei ole ilmoitettu, määritetään parametri  $f_{ax}$  kokeellisesti standardin EN 1382 (1999) mukaan.

Kokeessa käytettiin Instron 8502 hydraulista kuormituslaitetta (ks. Kuva 3.20). Laitteen vetopäähän kiinnitettiin voima-anturi (5 tai 10 kN). Voima-anturin ja kuormituslaitteen siirtymä sekä aika tallennettiin tietokoneelle jatkokäsittelyä varten. EN 1382:n mukaan maksimivoima,  $F_{max}$ , tulee saavuttaa ajassa  $90 \pm 30$  sekuntia.



*Kuva 3.20. Testilaitteisto.*

### 3.4.2 Testattavat liittimet ja puutavara

Taulukko 3.13. Testatut naulat.

Teräslaatu	Liitin	koodi	Pituus L [mm]	Liitin määrä sahatavara	Liitin määrä Kerto-S
EN 1.4401	ankkurinaula 4,0*40	AA1	40 (kok.)	10	5
EN 1.4401	ankkurinaula 6,0*60	AA2	62,3 (kok.)	10	-
Sähkösinkitty	ankkurinaula 4,0*40	AAS	40 (kok.)	10	5
EN 1.4401	kampanaula 2,8*78	KN2	78 (kok.)	10	5
EN 1.4401	kampanaula 3,1*70	KN3	70 (kok.)	10	-
kuumasinkitty	kampanaula 3,1*100	KN5	98,5 (kok.)	10	-

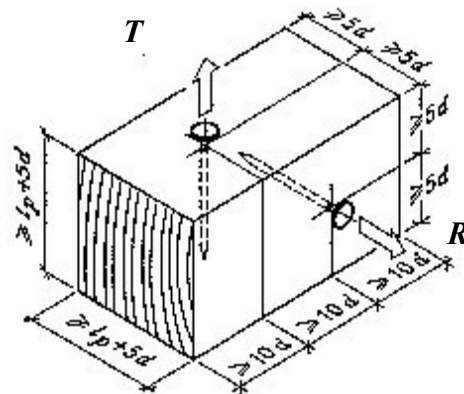
Kok = kokonaispituus

Taulukko 3.14. Testatut ruuvit.

Teräslaatu	Liitin	koodi	Pituus L [mm]	Liitin määrä sahatavara	Liitin määrä Kerto-S
EN 1.4301 (A2)	Ankkuriruuvi 4,5*45	AR	40 (kanta)	10	5
EN 1.4301, (A2)	6,0*80	RR2	80 (kok.)	10	-
EN 1.4401 (A4)	4,0*50	RR3	50 (kanta)	10	-
EN 1.4301 (A4)	Yleisruuvi 6*70	RR7	70 (kanta)	10	5
EN 1.4401 (A4)	Kansiruuvi M10*80	KR1	80 (kanta)	10	5

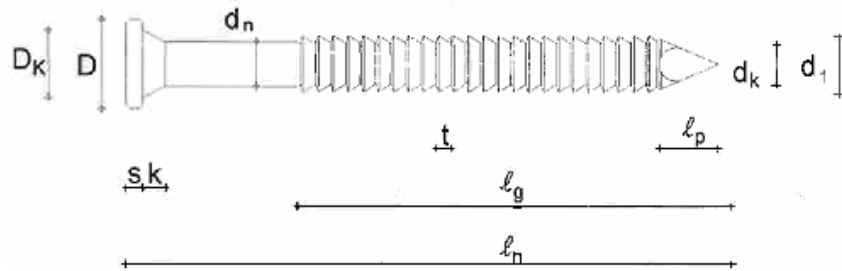
Kok = kokonaispituus ja kanta = kärjestä kannan alle

Puutavarana käytettiin lujuusluokan C30 kuusisahatavaraa,  $\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$ , ja kerto-puuta, Kerto-S,  $\rho_k = 480 \text{ kg/m}^3$ . Kansiruuville (KR1) esiporattiin  $\varnothing 7 \text{ mm}$  reikä, jonka pituus  $L = 50 \text{ mm}$ . Puutavara oli tasaannutettu RH 65 %:n ja  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ :n tasapainokosteuteen. Pituuksien vähimmäismitat ilmenevät taulukosta 3.15 ja kuvasta 3.21. Merkintä (45+45+45) tarkoittaa liimaamalla valmistettuja kappaleita. Kunkin puukappaleen kosteus- % ja tiheys  $\rho_w$  ilmenevät liitteestä C. Koekappaleiden mitat ja koekappalekohtaiset vuosilustojen suunnat on raportoitu Yli-Kosken (2004) diplomityössä.



Kuva 3.21. Liittimien sijoittelu koekappaleessa. T = tangentin ja R = säteen suuntaan.

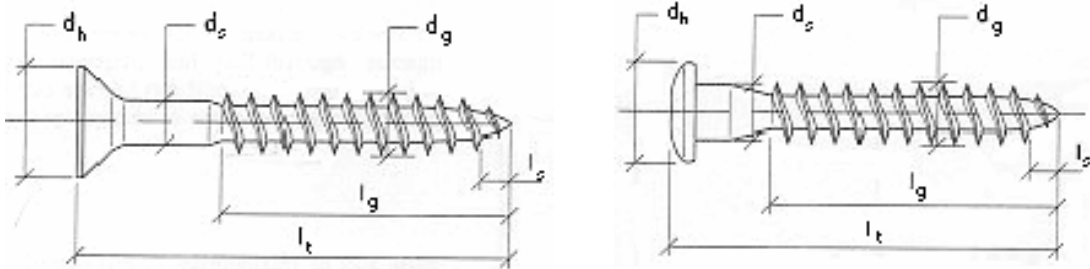
Naulat vasaroiitiin ja ruuvit kierrettiin ruuvivääntimen avulla puuhun. Liittimen todellinen tunkeuma puuhun mitattiin valmistuksen jälkeen.



Kuva 3.22. Ankkurinaulan profiili.

Taulukko 3.15. Liittimen tunkeuma ja puutavaran mitat.

Liitin	koodi	tunkeuma $l_p$	5xd 10xd	profiilin $l_g$	Sahatavara $\geq(l_p+5d)x30d$	Kerto-S $\geq(l_p+5d)x20d$
ankkurinaula (A4) 40x4,0	AA1	30	20 40	30	50x50x120	63x50x80 tai 45x50x80
ankkurinaula (A4) 60x6,0	AA2	40	30 60	50	(45+45+45)x95x200	-
ankkurinaula (s.sinkitty) 40x4,0	AAS	30	20 40	30	50x50x120	63x50x80 tai 45x50x80
kampanaula 78x2,8 (A4)	KN2	30	14 28	70	45x45x120	45x50x60
kampanaula 70x3,1 (A4)	KN3	30	16 31	40	45x45x120	-
kampanaula 100x3,1 (kuumasink.)	KN5	30	16 31	70	45x45x120	-
ankkuriruuvi 5,0x40, A2	AR	30	24 48	34	58x70x150	63x50x100
Spax-S 6,0*80, A2	RR2	30	30 60	60	60x60x180	-
Spax-S 4,0x50, A4	RR3	30	20 40	47	50x50x120	-
Yleisruuvi 6,0x70, A4	RR7	35	30 60	58	65x65x180	63x50x100
Kansiruuvi 10x80, A4	KR1	46	50 100	48	(45+45+45)x100x300	90x100x200



Kuva 3.23. Ruuvien profiileja.



Kuva 3.24. Ulosvetokokeita nauloille.

### 3.4.3 Tulokset

Liittimien ulosvetolujuuden parametrit saadaan EN 1382 mukaan seuraavasta yhtälöstä:

$$f_{ax} = \frac{F_{max}}{d \cdot l_p} \quad (3.34)$$

missä

- $F_{max}$  on suurin käytettävä voima-anturin lukema, [N]
- $l_p$  on liittimen tunkeuma puussa tai profiilin pituus puussa, [mm]
- $d$  on liittimen halkaisija [mm]. Nauloilla se on varren sileän osan mitta ja ruuveilla kierreosan halkaisija.

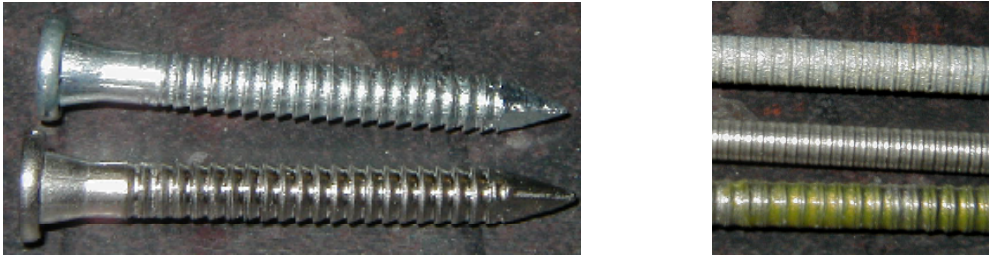
Kaikilla liittimillä murtotapa oli puun murtuminen liittimen reunassa. Murtumiseen kulunut aika vaihteli n. 60 ja 120 sekunnin välillä standardin vaatimusten mukaan. Joillakin yksittäisillä liittimillä 120 sekuntia ylittyi, mutta se ei aiheuttanut merkittäviä eroja koetuloksiin.

Kunkin yksittäisen liittimen tulokset on esitetty liitteen C taulukossa C.1. Taulukoissa 3.16 ja 3.17 on esitetty naulojen ja ruuvien koetulosten voiman keskiarvo, hajonta ja kaavalla (3.34) laskettu parametri  $f_{ax}$  sekä tiheyskorjatun voiman  $F_{cor}$  arvo ja sitä vastaava parametri  $f_{ax,cor}$ . Lisäksi siitä ( $f_{ax,cor}$ ) on laskettu parametrin ominaisarvo EN 1990 liitteen D menetelmän ” $V_x$  unknown” mukaisesti. Tiheyskorjattuja arvoja käytetään, koska puukappaleiden tiheydet oli valittu ISO 8970 (1989) menetelmän 2 mukaan. Tiheyskorjaus koetulokseen,  $F_o$ , tehdään ISO 8970:n kaavalla:

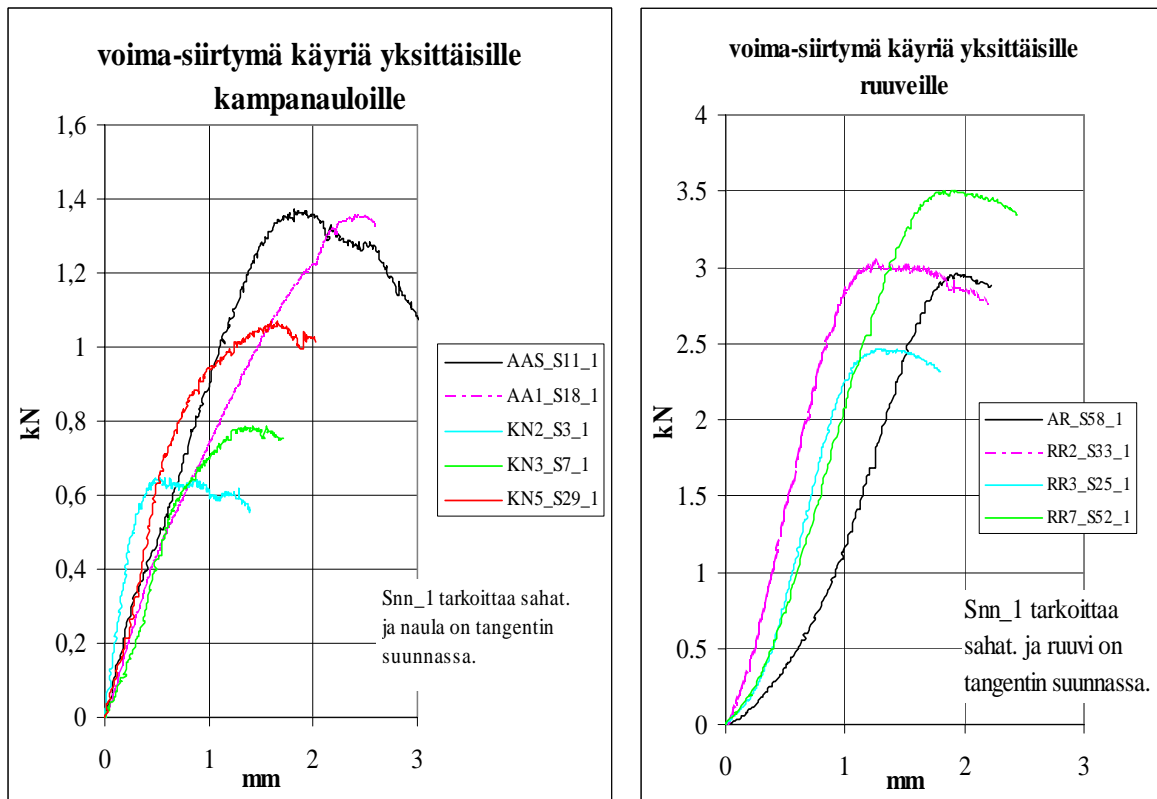
$$F_{cor} = F_o \left( \frac{\rho_k}{\rho} \right)^c \quad (3.35)$$

missä

- $\rho$  on tarkasteltavan kappaleen tiheys,
- $\rho_k$  on ominaistiheys johon tulokset halutaan sovittaa,
- $c$  on kokeellinen tai teoreettinen potenssi, joka riippuu puun ja liittimen, ominaisuuksista. Ulosvetokokeissa on käytetty nauloille  $c = 2$  ja ruuveille  $c = 1,5$ .



Kuva 3.25. Ankkurinaulat (yllä) AAS ja AA1 ja kampanauloja (oik.) KN5, KN2 ja KN3.



Kuva 3.26. Ulosvetokokeen voima-siirtymäkäyriä eräille liittimille.



Taulukko 3.16. Naulojen ulosvetolujuuskokeen tuloksia sekä laskettu parametri  $f_{ax}$ .

Naula	Puu: saha- tavara tai Kerto-S	Keski- tiheys [kg/m <sup>3</sup> ]	kos- teus %	tunkeu- ma puuhun $l_p$ [mm]	Ulosveto- voiman keskiarvo testissä $F_{max}$ [N]	var v [%]	Tiheys- korjattu ulosveto- voiman keskiarvo $F_{cor}$ [N]	Ulosveto- paramet- rin kes- kiarvo testissä $f_{ax,m}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Tiheys- korjattu ulosveto- paramet- rin kes- kiarvo $f_{ax,cor}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	var v [%]	Ulosveto- paramet- rin ominaisarvo $f_{ax}$ [N/mm <sup>2</sup> ] 1)	Ehdo- tus CIB code ks. kaava (3.36) 2)
ankkurinaula (AA1) 40x4,0 EN 1.4401	Saha	463	14,6	30	1293	10,3	1055	10,75	8,77	11,3	6,87	6,35
	Kerto-S	540	11,6	30	1858	3,7	1487	15,44	12,36	2,6	9,48	8,29
ankkurinaula (AAS) 40x4,0 sähkösinkitty	Saha	464	14,7	30	1176	11,3	962	9,77	8,00	10,5	6,32	6,35
	Kerto-S	539	11,7	30	1754	8,3	1414	14,58	11,76	10,1	8,99	8,29
ankkurinaula (AA2) 60x6,0 EN 1,4401	Saha	437	13,1	40	1852	14,5	1705	7,70	7,09	14,2	5,16	6,35
kampanaula (KN2) 78x2,8 EN1.4401	Saha	462	14,6	30	600	19,1	500	7,15	5,95	16,8	3,95	6,35
	Kerto-S	558	10,1	30	1147	12,5	940	13,65	11,19	11,8	8,11	8,29
kampanaula (KN3) 70x3,1 EN1.4401	Saha	436	14,4	30	806	11,3	746	8,58	7,95	10,4	6,35	6,35
kampanaula (KN5) 100x3,1 kuumasin- kitty	Saha	431	14,5	30	949	19,4	912	9,68	9,29	23,0	5,19	6,35

$F_{cor} = (\rho_k/\rho)^2 * F_{max}$ , missä  $\rho_k = 420 \text{ kg/m}^3$ . 1)  $f_{ax} = f_{ax,cor} - k*s$ ,  $k = 1,92$  sahatavara paitsi, AAS ja KN2  $k = 2$  ja Kertopuulla  $k = 2,33$   
Kertopuulla  $\rho_k = 480 \text{ kg/m}^3$

1) Hajontana on käytetty vähintään 10 %  
2) Sahatavaralle on käytetty tiheyttä 420 kg/m<sup>3</sup> ja kertopuulle 480 kg/m<sup>3</sup>.

Taulukko 3.17. Ruuvien ulosvetolujuuskokeen tuloksia sekä laskettu parametri  $f_{ax}$ .  
Halkaisijana  $d$  on käytetty mitattuja arvoja.

Ruuvi	Puu: saha- tavara tai Kerto-S	Keski- tiheys [kg/m <sup>3</sup> ]	Kos- teus %	Tunkeu- ma puuhun $l_p$ [mm]	Ulosveto- voiman keski- arvo testissä $F_{max}$ [N]	var v [%]	Tiheyskorjattu ulosveto- voiman keskiarvo $F_{cor}$ [N]	Ulosveto- paramet- rin keskiarvo testissä $f_{ax,m}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Tiheys- korjattu ulosveto- paramet- rin keskiarvo $f_{ax,cor}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	var v [%]	Ulosveto- paramet- rin ominaisarvo $f_{ax}$ [N/mm <sup>2</sup> ] 1)
Ankkuriruuvi (AR) 5,0x40, A2	Saha	481	13,9	30	2920	10,3	2489	20,58	17,54	13,7	12,91
	Kerto-S	556	11,7	30	2964	4,2	2431	20,89	17,13	4,7	13,14
Spax-S (RR3) 4,0x50 A4	Saha	461	14,8	30	2359	16,0	2014	19,41	16,58	11,7	12,85
SPAX-S (RR2) 6,0x80, A2	Saha	429	14,5	30	2859	7,0	2742	15,89	15,23	4,9	12,31
Yleisruuvi (RR7) 6,0x70, A4	Saha	454	13,6	35	3592	9,1	3282	17,36	15,87	5,5	12,82
	Kerto-S	546	12,0	35	3546	10,9	2921	17,14	14,12	11,2	10,43
Kansiruuvi (KR1) 10x80, A4	Saha	442	12,9	46	6140	12,2	5734	13,78	12,86	13,1	9,62
	Kerto-S	558	11,7	40	5560	8,7	4432	14,34	11,44	9,2	8,43

$F_{cor} = (\rho_k/\rho)^2 * F_{max}$ , missä  $\rho_k = 420 \text{ kg/m}^3$ .  $f_{ax} = f_{ax,cor} - k*s$ ,  $k = 1,92$  sahatavaralla ja kertopuulla  $k = 2,33$  (KR1:llä  $k = 2,63$ )  
Kertopuulla  $\rho_k = 480 \text{ kg/m}^3$

1) Hajontana on käytetty vähintään 10 %

### 3.4.4 Tulosten tarkastelu

#### Naulat

Yhtälöitä kampanaulojen ulosvetoparametrille, puun tiheyden funktiona, ovat esittäneet mm. Ehlbeck & Siebert (1988):

$$f_{ax,k} = 36 \times 10^{-6} \rho_k^2 \quad (3.36)$$

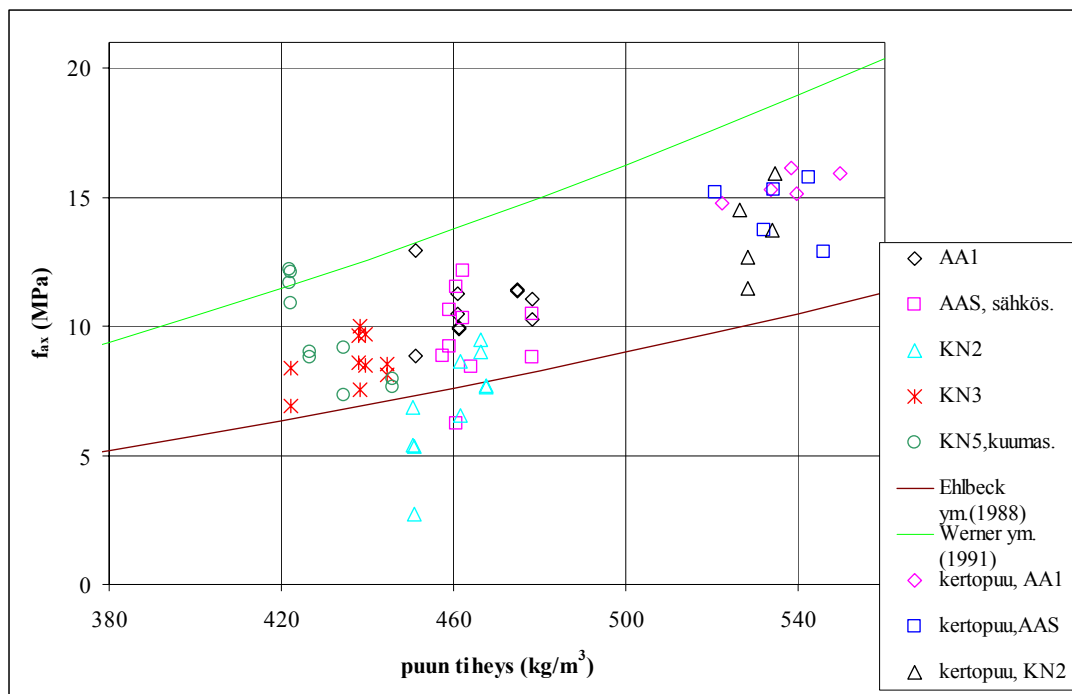
missä  $\rho_k$  on puun ominaistiheys, [kg/m<sup>3</sup>].

ja Werner & Siebert (1991):

$$f_{ax,k} = 65 \times 10^{-6} \rho_k^2 \quad (3.37)$$

Heidän testeissään ei ole ollut mukana ruostumattomia kampanauloja.

Kuva 3.27 sisältää koetuloksista laskettujen  $f_{ax,m}$  arvojen lisäksi edellä olleiden yhtälöiden pohjalta lasketut ominaisarvokäyrät. Taulukko 3.16:een on laskettu sahatavaran ( $\rho_k = 420 \text{ kg/m}^3$ ) ja kertopuun ( $\rho_k = 480 \text{ kg/m}^3$ ) kaavan (3.36) mukaiset ominaisarvot, joita on verrattu koetuloksista laskettuihin ominaisarvoihin. Varsinkin ankkurinaulojen tyyppisille kampaprofiileille kaava (3.36) antaa hyväksyttäviä arvoja.



Kuva 3.27. Kunkin kampanaulan koetuloksesta kaavalla (3.34) laskettu ulosvetoparametrin,  $f_{ax,m}$ , arvo todellisella puun tiheydellä sekä vertailukäyrät.

## Ruuvit

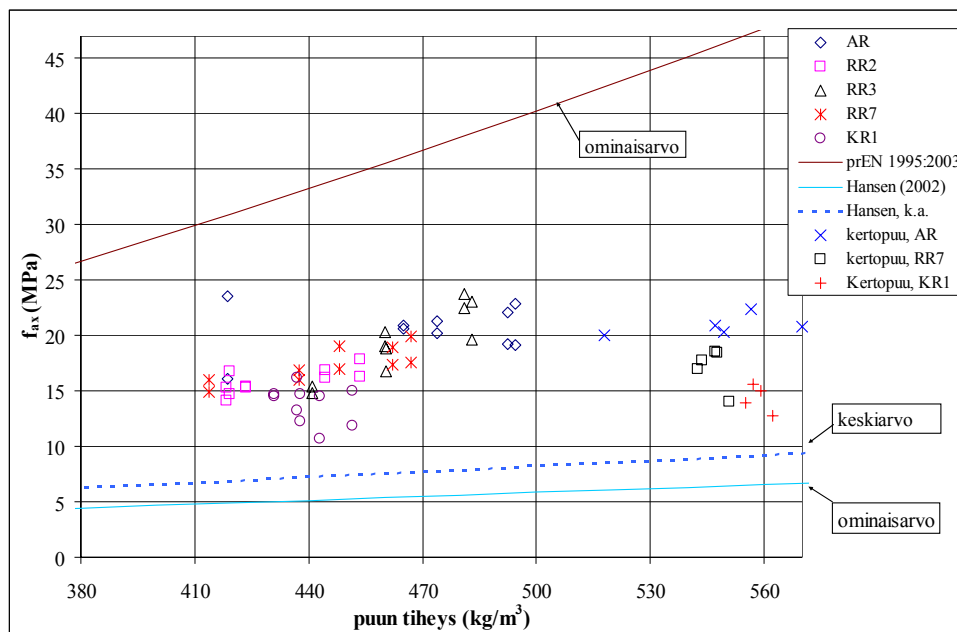
Ruuveille EN1995-1-1:2004:n mukainen ulosvetoparametrin kaava (3.8) antaa selvästi korkeampia arvoja (ks. Kuva 3.28) kuin mitä ovat kokeen tulokset kaavalla (3.34) laskien. Kyseisissä kaavoissa tarkoitetaan eri asioita, joten ruuvien ulosvetokapasiteettien vertailu antaa paremman kuvan tulosten tasosta. Ulosvetokapasiteetiksi yhdelle ruuville EN1995:n mukaan saadaan kaavasta (3.7). Taulukko 3.18:een on laskettu ulosvetokapasiteetteja eri lähteiden mukaan käyttäen ominaistiheyksiä  $420 \text{ kg/m}^3$  kuuselle ja  $480 \text{ kg/m}^3$  kertopuulle. Voidaan havaita, että EN1995-1-1:2004 antaa selvästi korkeampia arvoja kuin muut laskentatavat ja koetulokset, joten sen käyttö ulosvetolujuuden laskentaan on epävarmalla puolella.

Hansen (2002) on tehnyt vastaavien ns. itsekiertyvien ruuvien ulosvetokokeita. Kokeissa ei ole ollut ruostumattomia ruuveja. Hänen tuloksensa ovat samaa suuruusluokkaa kuin tässä tutkimuksessa tehtyjen kokeiden tulokset. Hansen esittää ulosvetokapasiteetin lineaarista riippuvuutta puun tiheydestä:

$$F_{ax,k} = \pi \cdot d \cdot l_{ef} \cdot 0,0117 \rho_k \quad [\text{N}] \quad (3.38)$$

Kaavasta (3.38) nähdään, että ulosvetoparametri  $f_{ax,k} = \pi \cdot 0,0117 \rho_k \approx 0,037 \rho_k$ .

Sahatavaralle RIL 205-2003:n kaava (ks. Taulukko 3.18<sup>2)</sup>) antaa koetulosten kanssa suuruusluokaltaan parempia arvoja kuin EN1995. Kokeessa kertopuulla ei saavutettu suuremmasta tiheydestä huolimatta sahatavaraan verrattuna korkeampia ulosvetokapasiteetteja. Kansiruuveilla maksimivoima jäi jopa alhaisemmaksi.



Kuva 3.28. Kunkin ruuvien koetuloksesta kaavalla (3.34) laskettu ulosvetoparametrin arvo  $RH65\%$  todellisella puun tiheydellä sekä vertailukäyrät.

Taulukko 3.18. Ulosvetokapasiteetin vertailu ruuveille, sahatavaralle  $\rho_k = 420 \text{ kg/m}^3$  ja kertopuulle  $\rho_k = 480 \text{ kg/m}^3$ .

Ruuvi	Puu: kuusisaha-tavara tai Kerto-S	Tunkeuma puuhun $l_p$ , [mm]	Ulosveto-voiman keskiarvo testissä $F_{\max}$ , [N]	Tiheys-korjattu ulosveto-voiman keskiarvo $F_{\text{cor}}$ , [N] <sup>1)</sup>	Ulosveto kapasiteetti $R_k$ (RIL 205-2003), [N] <sup>2)</sup>	EN 1995-1-1:2004 $F_{\text{ax,a,k}}$ [N]	Hansen K.F. (2002) $F_k$ , [N]	$F_{k,\text{koe}}$ , [N]
ankkuriruuvi (AR) 5,0x40, A2	Saha	30	2920	2489	2247	3555	1845	1832
	Kerto-S	30	2964	2431	2402	4344	2109	1864
Spax-S (RR3) 4,0x50, A4	Saha	30	2359	2014	1765	3208	1622	1562
SPAX-S (RR2) 6,0x80, A2	Saha	30	2859	2742	2149	4127	2223	2215
Yleisruuvi (RR7) 6,0x70, A4	Saha	35	3592	3282	2552	4755	2654	2652
	Kerto-S	35	3546	2921	2728	5810	3033	2157
Kansiruuvi (KR1) 10x80, A4	Saha	46	6140	5734	5443	8433	5432	4288
	Kerto-S	40	5560	4432	4857		5182	3267

<sup>1)</sup>  $F_{\text{cor}} = (\rho_k/\rho)^2 * F_{\max}$ , missä  $\rho_k = 420 \text{ kg/m}^3$ .

<sup>2)</sup>  $R_k = f_{\text{ax,k}}(l_{\text{ef}} - d)$ , jossa  $f_{\text{ax,k}} = (1,5 + 0,6d)\sqrt{\rho_k}$ ,  $l_{\text{ef}}$  on kierreosan pituus puussa ja  $d$  on sileän osan halkaisija.

### 3.4.5 Yhteenveto

Koetuloksissa ei ole systemaattista eroa siinä, oliko liitin normaalin tai tangentin suuntaisesti puun vuosirenkaisiin nähden. Tulokset pätevät vain testatuille liitintyypeille. Voidaan havaita, että kampanaulojen tulokset noudattelevat melko hyvin kaavaa (3.36). Ainoastaan naulan KN2 tulokset sahatavaralla jäävät osittain sen alle. Kertopuussa vastaava eroa ei ole havaittavissa. KN2:n profiili on melko sileä verrattuna muihin. Sähkösinityn ja ruostumattoman ankkurinaulan välillä ei ollut merkittävää eroa ulosvetolujuuden suhteen. Kampanaulojen ulosvetoparametri  $f_{\text{ax,k}}$  tulisi määrittää kokeellisesti kullekin liitintyypille, mikäli halutaan olla varmoja kunkin naulan kapasiteetista. Ruuvien osalta EN1995-1-1:2004 kaavat ovat selvästi virheellisiä, ja tähän tarvitaan nopeasti korjaus.

## 3.5 Vetoliitoskokeet

### 3.5.1 Lähtökohta ja kokeen suoritus

Kokeiden tavoitteena oli varmistaa, että käytettäessä ruostumattomista teräksistä valmistettuja liitososia normaalilämpötilassa, saavutetaan EN 1995-1-1:2004 mukaan lasketut teräs-puuvetoliitoksen kapasiteetit. Kuormitus on siis syiden suunnassa. Lasken-

nallisessa mitoituksessa on huomioitu ruostumattomille liittimille aikaisemmin tehdyt kokeet myötömomenttien ja ulosvetolujuuksien arvoissa. Lisäksi levypaksuuden suhteena liittimen läpimittaan on käytetty Eurocode 5:n jakoa, ohuisiin (so.  $t \leq 0,5d$ ) ja paksuihin levyihin (so.  $t \geq d$ ) laskennallisen leikkauskapasiteetin määrittämisessä. Arvioidut keskimääräiset murtokuormat,  $F_{est}$ , (ks. Taulukko 3.20) on saatu kertomalla kapasiteetin ominaisarvo 1,25:llä.

Koekappaleiden laskennallista kapasiteettia määrittäessä on otettu huomioon ENV 1995 kansallisten sovellusohjeiden ohjeet vedetyille sauvanpäälliitoksille. Pulttien välinen etäisyys syyn suunnassa on laskettu kaavalla (3.10) niin, että kaikki pultit toimivat tehollisesti. Lisäksi liitinrivien välinen etäisyys  $a_2$  on laskettu kaavasta (3.12) niin, että lohkeamismurto ei ole mitoittava.

Puurakenteissa käytettävien liitosten vetokapasiteetin määrittäminen kokeellisesti tehtiin standardin EN 1380 (1999) mukaan. Kokeessa mitattiin maksimi murtovoima ja siirtymä. Testiin käytettiin Instron 8502 hydraulista materiaalinkoestuslaitetta. Siirtymät mitattiin levyjen ja puun väliltä pisteestä (ks. Kuva 3.30) HBM W10TK ( $\pm 10$  mm) siirtymäantureilla. Voima- ja siirtymäantureiden lukemat ja aika tallennettiin tietokoneelle jatkokäsittelyä varten. Kuormitus tehtiin standardin ISO 6891 (1983) mukaan. Kokeessa kuormitetaan ensin 40 % arvioidusta murtokuormasta, minkä jälkeen ko. kuorma pidetään 30 sekuntia ja palataan 10 %:n kuormitusasteeseen. Tästä 30 sekunnin kuluttua aloitetaan kuormitus murtoon saakka.

Testilaitteisto oli säädetty niin, että koe päättyy kun on saavutettu  $1,2 \times F_{est}$  (ks. Taulukko 3.20). Koe aloitettiin sarjalla VTS1-2. Liitos toimi kuitenkin paksun levyn teorian mukaan oletuksena olleen ohuen levyn sijaan ( $F_{est}$  oli 15 kN). Tästä syystä ensimmäisellä kappaleella kuormitus päättyi  $F = 18$  kN kohdalla. Koe jatkettiin murtoon pysähdyksen jälkeen. Tämän jälkeen testilaitteisto säädettiin niin, ettei kuormitus pysähdy. Samalla tarkastettiin arvioidut voimat muille koesarjoille. Pulttiliitoksessa arvioituun voimaan tehtiin korjaus puun tiheyden osalta käyttäen ominaistiheytenä  $420 \text{ kg/m}^3$ . VTS1-1 sarja ajettiin kuitenkin loppuun 15 kN asetuksilla.



Kuva 3.29. Testilaitteisto.



Kuva 3.30. Koekappale testissä.

### 3.5.2 Testattavat liittimet ja puutavara

Teräslevyjen teräslaatu oli EN 1.4571, jonka 0,2 % rajan minimiarvo on 240 MPa ja vetomurtolujuus 540 MPa. Pinnanlaatu oli 2B eli kylmävalssattu sileä pinta. Testatut liittimet on esitetty taulukossa 3.19.

Taulukko 3.19. Testattavat liittimet ja teräslevyn paksuudet.

Teräslaatu / vetomurtolujuus $f_u$ <sup>1)</sup> [MPa] / liitin	Liitin	Koodi	Teräslevyn paksuus	Liitinmäärä / liitos sahatavara	Liitinmäärä / liitos Kerto-S
EN 1.4401 / 750	ankkurinaula 50x4,0	AA5	2 mm	8	-
EN 1.4401 / 750	ankkurinaula 60x4,0	AA3	4 mm	8	-
EN 1.4401 / 750	ankkurinaula 50x4,0	AA5	4 mm	-	8
A2 / 550	ankkuriruuvi 5,0x40	AR	2 mm	8	-
A4-80 / 800	Pultti M8x110	RP6	4 mm	4	-

<sup>1)</sup> Nauloilla ja ruuveilla  $f_u$  on raaka-aineen minimiarvo.

Puutavarana pyrittiin käyttämään kuusisahatavaraa,  $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$ , joka vastaa lujuusluokkaa C24 ja kertopuuta, Kerto-S,  $\rho_k = 480 \text{ kg/m}^3$ . Puutavara tasaannutettiin RH 85 %:iin lämpötilassa +20 °C. Tämän jälkeen puutavarasta työstettiin koekappaleet. Teräslevyt kiinnitettiin 3 viikon kuluttua ja 1 viikko sen jälkeen suoritettiin vetokoe. Tuon ajan koekappaleet olivat RH 65 %:ssa lämpötilan ollessa +20 °C. Puukappaleiden tiheydet ja kosteudet on esitetty taulukossa 3.21.

Taulukko 3.20. Koekappaleet ja arvioidut murtokuormat,  $F_{est}$ .

Liitin	Liitoskoodi *)	Puutavara	Liitoksia kpl	Voima $F_{est}$ $1,25 \cdot F_{v,Rk}$	Korjattu $F_{est}$
AA5 50x4,0 8 kpl	VTS1-2-i	Saha 70x100x500	6	15,0 kN	
AA5 50x4,0 8 kpl	KVT1-4-i	Kerto-S 51x100x500	6	26,5 kN	30 kN
AA3 60x4,0 8 kpl	VTS2-4-i	Saha 70x100x500	6	22,5 kN	25 kN
AR 5,0x40 8 kpl	VTS3-2-i	Saha 70x100x500	6	12,0 kN	25 kN
RP6 M8x110 4kpl	VTS4-4-i	Saha 70x100x500	6	69,0 kN	75 kN

\*) Merkinnän alkuosa viittaa vetoliitokseen ja puutavaraan, numero 2 tai 4 teräslevyn paksuuteen [mm] ja  $i = 1, 2, 3$ .

Sahatavarakappaleet valittiin siten, että liitosalueella ei ollut oksia. Kustakin kappaleesta tehtiin kolme rinnakkaista koetta, jolloin tutkittavien liitosten määrä oli kuusi. Naulat vasaroitiin käsin. Ruuvit ruuvattiin aluksi koneella ja loppukiristys käsin. Pulteille porattiin 9 mm:n reikiä, joihin pultit asennettiin ja kiristettiin käsityökaluin. Nauloilla tunkeumana puuhun käytetään ulosvetolujuuden,  $F_{ax}$ , laskelmissa kampaosan pituutta, joka ko. nauloilla on  $l_p = L - 10 \text{ mm}$ . Ankkuriruuvilla  $l_p = 33 \text{ mm}$ . Kokonaistunkeuma  $t_1 = L - \text{levyn paksuus}$ , kun  $L$  on liittimen pituus. Pulteilla  $l_p = \text{puun paksuus } t_2$ .

Taulukko 3.21. Puukappaleiden kosteus- % ja tiheys testattaessa.

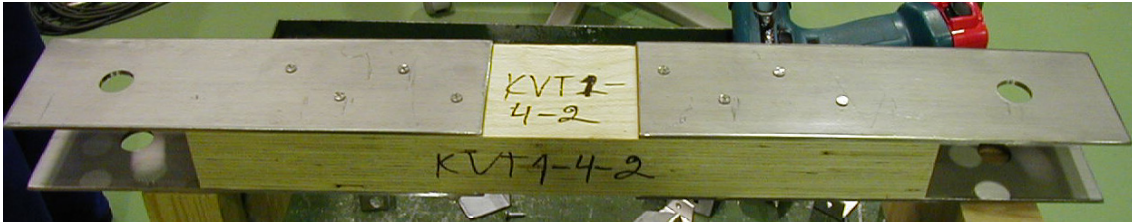
Koekappaleen tunnus	Kosteus $\omega$ %	Tiheys $\rho_w$ $\text{kg/m}^3$	Koekappaleen tunnus	Kosteus $\omega$ %	Tiheys $\rho_w$ $\text{kg/m}^3$	Koekappaleen tunnus	Kosteus $\omega$ %	Tiheys $\rho_w$ $\text{kg/m}^3$
VTS1-2-1	15,0	405	VTS4-4-1	14,9	425	VTS3-2-1	15,6	496
VTS1-2-2	15,4	384	VTS4-4-2	16,0	435	VTS3-2-2	15,1	420
VTS1-2-3	16,0	462	VTS4-4-3	15,3	434	VTS3-2-3	15,1	424
Keskiarvo	15,5	417	keskiarvo	15,4	431	Keskiarvo	15,3	447
var $v$ [%]	3,1	9,7	var $v$ [%]	3,6	1,2	var $v$ [%]	2,0	9,6
VTS2-4-1	15,0	384	KVT1-4-1	12,0	537			
VTS2-4-2	15,4	394	KVT1-4-2	11,9	531			
VTS2-4-3	15,6	438	KVT1-4-3	11,9	535			
Keskiarvo	15,3	405	Keskiarvo	12,0	534			
var $v$ [%]	2,0	7,1	var $v$ [%]	0,7	0,6			

Liittimien väliset etäisyydet sekä reuna- ja päätyetäisyydet ilmenevät alla olevasta taulukosta 3.22 ja liitteessä D olevista kuvista. Nauloilla ja ruuveilla välit on valittu minimiarvoja suuremmiksi, jotta liittimen toiminta tulisi selvästi esille.

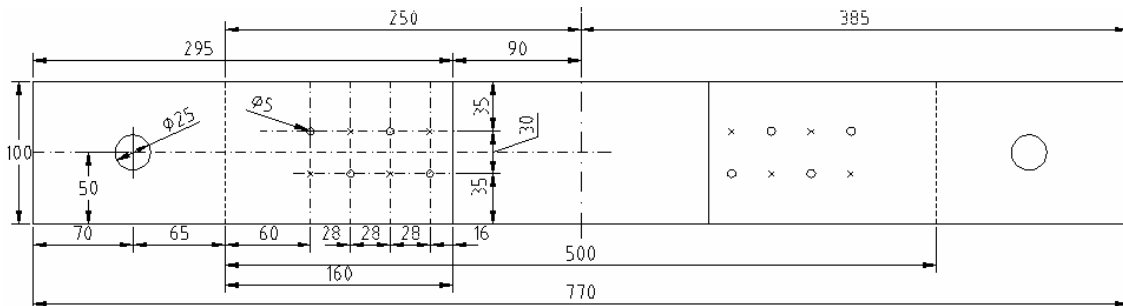
Taulukko 3.22. Liittimien etäisyydet.

Koekappale Etäisyydet	VTS1-2-i; AA5 50x4,0	VTS2-4-i; AA3 60x4,0	VTS3-2-i; AR 5,0x40	VTS4-4-i; RP6 M8x110	KVT1-4-i; AA5 50x4,0
Liitin väli $a_1$ / EN 1995 (min. syyn suuntaan)	56 mm / 28 mm (0,7*10d)	80 mm / 28 mm (0,7*10d)	56 mm / 35 mm (0,7*10d)	65 mm / 40 mm (5d) <sup>1)</sup>	80 mm / 28 mm (0,7*10d)
Liitin väli $a_2$ / EN 1995 (min. kohtisuor. syyn suuntaan)	30 mm / 14 mm (0,7*5d)	30 mm / 14 mm (0,7*5d)	30 mm / 18 mm (0,7*5d)	44 mm / 14 mm (4d) <sup>2)</sup>	30 mm / 14 mm (0,7*5d)
Päätyetäisyys $a_{3,t}$ / EN 1995 (min. kuormitettu pääty)	60 mm / 60 mm (15d)	60 mm / 60 mm (15d)	60 mm / 75 mm (15d) <sup>3)</sup>	80 mm / max(7d, 80 mm)	60 mm / 60 mm (15d)
Reunaetäisyys $a_{4,t}$ / EN 1995 (min. kuormittamaton pääty)	35 mm / 20 mm (5d)	35 mm / 20 mm (5d)	35 mm / 25 mm (5d) <sup>3)</sup>	28 mm / 24 mm (3d)	35 mm / 20 mm (5d)
Teräslevyn päätyetäisyys $e_1$ / ENV 1993-1-3	16 mm / 12 mm (3d)	20 mm / 12 mm (3d)	16 mm / 12 mm (3d)	20 mm / 12 mm (1,5d)	16 mm / 12 mm (3d)

- 1) Liitinväli laskettu siten, että kaikki pultit toimivat tehollisesti (kaava 2.20).
- 2) Liitinväli laskettu siten, että lohkeamismurto ei mitoiteta (kaava 2.22). Mitta  $a_2 = 44$  mm on riittävä kokeessa olleille puille, mutta ei riitä kun ominaistiheys on C24 luokan mukainen.
- 3) Ruuvien tehollinen halkaisija  $d_{eff} = 3,5$  mm, jolloin myös päätyetäisyysvaatimus täyttyy.



Kuva 3.31. Koekappale: KVT1-4-2, AA5-naula;  $t = 4$  mm.



Kuva 3.32. Koekappaleet: VTS1-2-i, AA5-naula ja VTS3-2-i, AR-ruuvi;  $t = 2$  mm.



### 3.5.3 Tulokset

Tulokset on esitetty taulukossa 3.23. Siitä ilmenevät yksitaisen kokeen voima, siirtymä ja murtotapa sekä rinnakkaisista kokeista keskiarvo ja varianssi. Murtotapa viittaa EN 19951-1 (ks. Kuva 3.1) merkintöihin. Voima-siirtymäkäyrät on esitetty liitteessä D.

Taulukko 3.23. Koetulokset.

Koekappale	Voima $F_{max}$ [kN]	Murto siirtymä		Koekappale	Voima $F_{max}$ [kN]	Murto siirtymä	
		[mm]	Murtotapa			[mm]	Murtotapa
VTS1-2-1	23,2	11	c)	VTS2-4-1	24,9	20	c) / d)
VTS1-2-2	23,5	19	c)	VTS2-4-2	25,7	18	d)
VTS1-2-3	25,8	19	c) tai d)	VTS2-4-3	26,0	15	d)
Keskiarvo $F_{max,m}$	24,2			Keskiarvo $F_{max,m}$	25,5		
var $v$ [%]	5,9			var $v$ [%]	2,3		
VTS3-2-1	27,5	10	c)	KVT1-4-1	31,8	15	c) / d)
VTS3-2-2	21,9	18	c)	KVT1-4-2	32,3	14	c) / d)
VTS3-2-3	24,3	13	c)	KVT1-4-3	32,2	17	d)
Keskiarvo $F_{max,m}$	24,6			Keskiarvo $F_{max,m}$	32,1		
var $v$ [%]	11,4			var $v$ [%]	1,0		
VTS4-4-1	78,7	10	k) / m) ja lopulta puun halkeaminen				
VTS4-4-2	76,4	9	k) ja lopulta puun halkeaminen				
VTS4-4-3	76,8	10	k) ja lopulta puun halkeaminen				
Keskiarvo $F_{max,m}$	77,3		Kaikissa tapauksissa n. 54 kN kuormalla pulteissa myötöä ja puun reunapuristusta.				
var $v$ [%]	1,6						

### 3.5.4 Tulosten tarkastelu

Taulukko 3.24:ään on laskettu puun ominais- ja keskitiheydellä sekä liittimien koetulosten ominais- ja keskiarvoilla kunkin liitoksen kapasiteetti. Lisäksi taulukossa on vetoliitostokokeen tuloksista lasketut ominaisarvot. Ominaisarvot on laskettu EN 1990 liitteen D mukaisesti (5 % -fraktiili) ja hajontana on käytetty vähintään 10 %. Kussakin koesarjassa oli kuusi liitosta.

Sähkösinkitylle naulalle AAS 40x4,0 laskennalliset liitoskapasiteetit kokeen mukaisessa vetoliitoksessa, VTS1-2-i ja  $\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$ , ovat 10,0 kN / 13,8 kN (vrt. Taulukko 3.24) ja naulalle AA1 40x4,0 vastaavasti 10,0 kN / 14,8 kN. Ensimmäinen luku on ohuen levyn kaavojen ja toinen paksun levyn kaavojen mukaan laskettuja arvoja. Laskennassa on hyödynnetty myötömomentti- ja ulosvetokokeiden tuloksia. Näin ollen ruostumattona nauloilla saataisiin hieman suurempi kapasiteetti. Tämä oletus pätee vain kokeessa olleille liitintyypeille ja levypaksuuksille. Lyhyeen naulaan ei muodostu myötöniveltä,

joten kapasiteetit ovat samat ohuen levyn kaavojen mukaan. Kuitenkin kokeessa 2 mm:n levyllä naulaan muodostui myötökohta kartio-osan juureen, samoin oli ruuvilla AR (ks. Kuva 3.33 ja Kuva 3.34). Tämä vastaa paksun levyn kaavojen mukaista toimintaa, murtotapa c). Gehri (1996) viittaa tutkimuksiin (Ehlbeck & Görlacher 1982), joissa on saavutettu paksun levyn mukaisia kapasiteetteja 2 mm:n teräslevyllä ja 4 mm:n ankurinaulalla tehdyissä teräs-puuliitoksissa.

Taulukko 3.24. Puun ominais- ja keskitiheyden mukaan laskettuja kapasiteetteja.

Koesarja	Puu	$\rho_m$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$F_{max}$ [kN]	var $v$ [%]	$F_{k,koe}$ [kN]	$F_{v,Rk}$ [kN]	$F_{v,m}$	
							$t = 2$ mm	$t = 4$ mm ( $t \geq d$ )
VTS1-2-i	C30	417	24,2	5,9	18,9 <sup>1)</sup>	12,6	13,8	19,7
KVT1-4-i	Kerto-S	534	32,1	1,0	25,1 <sup>1)</sup>	21,3	-	25,1
VTS2-4-i	C30	405	25,5	2,3	20,0 <sup>1)</sup>	18,9	-	21,4
VTS3-2-i	C40	447	24,6	11,4	18,5 <sup>2)</sup>	10,7	11,6	16,8
VTS4-4-i	C40	431	77,3	1,6	60,4 <sup>1)</sup>	59,9	-	63,7

$F_{v,Rk}$  on koekappaleiden ominaistiheydellä ja liittimien ominaisuuksien ominaisarvoilla laskettu liitoksen ominaiskapasiteetti EN 1995-1-1 mukaan.

$F_{v,m}$  on koekappaleiden keskitiheydellä ja liittimien ominaisuuksien keskiarvoilla laskettu liitoksen kapasiteetti. ( $t \geq d$ ) paksun levyn kaavojen mukaan laskettu liitoksen kapasiteetti.

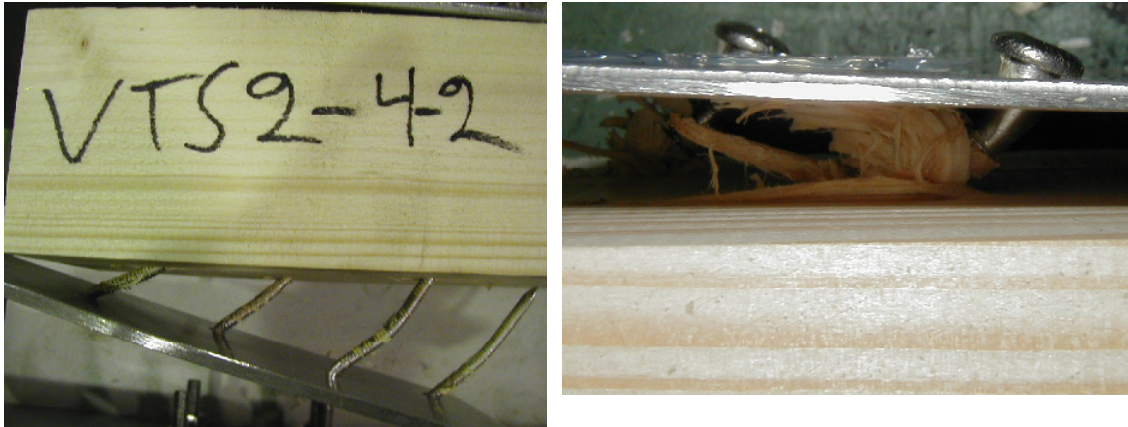
<sup>1)</sup>  $F_{k,koe} = F_{max,m} - 10\% \cdot F_{max,m} \cdot 2,18$ . Hajontana,  $s$ , on siis käytetty vähintään 10 %.

<sup>2)</sup>  $F_{k,koe} = F_{max,m} - s \cdot 2,18$



Kuva 3.33. Vetoliitoksokokeessa olleita nauvoja AA5 (kaksi ylintä) ja AA3 sekä ankkuri-ruuvit AR (oik.). Alhaalla vasemmalla liitoksen KVT1-4-3 murtotapa, naula AA5.

Liitokset, joissa oli ankkurinauloja ( $d = 4 \text{ mm}$ ) ja 4 mm paksu teräslevy, käyttäytyivät oletusten mukaan. Puun sisään syntyvä myötönivel ei ollut niin selkeä kuin teräslevyn alle muodostunut.



Kuva 3.34. Liitoksen VTS2-4-2 murtotapa; ankkurinaula AA3 60x4,0. Oikealla liitoksen VTS3-3-2 murtotapa; ankkuriruuvi AR.

Pulttiliitoksissa kaikissa koekappaleissa pultin myötääminen alkoi noin 54 kN:n kuormalla. Pulttiliitoskoeksessa koekappaleen VTS4-4-1 puussa oli jonkin verran reaktiopuuta. Todennäköisesti tämän vuoksi puu katkesi äkillisesti. Muissa koekappaleissa lopullinen murto oli puun halkeaminen. Ennen kuin puukappaleet hajosivat, kaikissa liitoksissa oli tapahtunut pultin myötäämistä, ja pultin alla puu oli reunapuristunut (Kuva 3.35).



Kuva 3.35. Pulttiliitos VTS4-4-3.

Yhteenvetona voidaan todeta, että kokeessa olleiden kaltaiset ruostumattomasta teräksestä valmistetut puikkoliittimet soveltuvat teräs-puuliitoksiin. Niiden toiminta oli puikkoliitosteorian mukaista, ja Eurocode 5:n mitoituskaavat soveltuvat laskennalliseen mitoitukseen. Kun otetaan huomioon ruostumattomien naulojen ja ruuvien raaka-aineen todellinen vetomurtolujuus, materiaali saadaan hyödynnettyä tehokkaasti. Kartiokantaisilla nauloilla ja ruuveilla voisi käyttää ohuenkin teräslevyn yhteydessä paksun levyn laskentakaavoja. Vetoliitoksissa tulee huomioida puun lohkeamismurto-mahdollisuus. Teräslevyjen reunapuristuminen ei tässä kokeessa tullut määrääväksi. Liittimien alla oli havaittavissa pientä kokoonpuristumaa.

### 3.6 Vetoliitoksen optimointi

Koetulosten, liitteen A.3 ja materiaalien hintojen pohjalta voidaan arvioida optimaalisia teräs-puuvetoliitoksia. Muuttujina vertailussa käytetään teräslevyn paksuutta, teräsmateriaalia ja erilaisia tässä työssä esiintyneitä liitintyyppjä: ankkurinaula, ankkuriruuvi ja pultti. Sahatavarassa käytetään lujuusluokkaa C24 liimapuuna GL32 ja kertopuuna Kerto-S. Poikkileikkauksen vetokapasiteetista hyödynnetään 70 %. Vetoliitoksen kapasiteetit lasketaan EN 1995-1-1 mukaan huomioiden tässä tutkimuksessa saadut tulokset, kun aikaluokka on lyhytaikainen ja käyttöluokka on 2. Kustannuksissa on mukana teräslevyn työstöstä ja liittimien asennuksesta aiheutuvat kustannukset mutta ei puutavaran hintaa. Naulauksen ja ruuvauksen hintana on käytetty 0,05 euroa / kpl sekä pulttaukselle ja poraukselle 0,7 euroa / kpl. Teräslevyn kestävyys on tarkistettu kappaleen 3.2.2 mukaisesti. Pulttiliitoksessa on tarkistettu lohkeamismurto ja tehollisten pulttien lukumäärä. Tulokset on esitetty taulukoissa 3.25–3.28.

*Taulukko 3.25. Yksileikkeisen naulaliitoksen optimointi, sahatavara C24 70x195.*

Teräslevy [mm]	Liitin ankkurinaula	$F_d$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [N]	liitin määrä, n	Euroa (EN 1.4301 teräs)	Euroa / kN	Euroa (EN 1.4571 teräs)	Euroa / kN
2	40x4,0	93	797	116	18,7	0,20	19,8	0,21
4	40x4,0	93	1141	81	16,8	0,18	18,5	0,20
2	50x4,0	93	1007	92	16,6	0,18	17,6	0,19
4	50x4,0	93	1335	69	15,9	0,17	17,4	0,19
4	60x4,0	93	1546	60	15,1	0,16	16,5	0,18
3	50x3,1	93	1002	92	13,9	0,15	14,1	0,15

Taulukko 3.26. Ankkuriruuvi- ja pulttiliitos, sahatavara C24 70x195.

Teräslevy [mm]	Liitin	$F_d$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [N]	liitin määrä n	Euroa (EN 1.4301 teräs)	Euroa / kN	Euroa (EN 1.4571 teräs)	Euroa / kN
3,5	AR 5,0x45	93	1181	78	13,4	0,14	14,5	0,16
2,0	A4-70 M6x110	93	2665	18	19,9	0,21	20,9	0,23

Taulukko 3.27. Ankkurinaula, -ruuvi- ja pulttiliitos, liimapuu GL32 115x360.

Teräslevy [mm]	Liitin	$F_d$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [N]	liitin määrä n	Euroa (EN 1.4301 teräs)	Euroa / kN	Euroa (EN 1.4571 teräs)	Euroa / kN
3,5	AN 50x3,5	482	1436	335	54,9	0,11	58,5	0,12
3,5	AR 5,0x40	482	1355	355	52,9	0,11	56,7	0,12
4	A4-70 M10x180	482	7333	33	90,1	0,18	98,4	0,20

Taulukko 3.28. Ankkurinaula, -ruuvi- ja pulttiliitos, kertopuu Kerto-S 75x360.

Teräslevy [mm]	Liitin	$F_d$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [N]	liitin määrä n	Euroa (EN 1.4301 teräs)	Euroa / kN	Euroa (EN 1.4571 teräs)	Euroa / kN
4	AN 60x4,0	497	1937	257	47,5	0,10	51,9	0,10
4	AR 5,0x40	497	1446	344	53,4	0,11	57,7	0,12
4	A4-70 M10x110	497	7659	32	89,0	0,18	100,3	0,20

Naula- ja ruuviliitoksissa päästään edullisimpiin ratkaisuihin, kun liittimen halkaisijan  $d$  suhde levypaksuuteen  $t$  on noin 1. Tällä hetkellä rst-ankkurinaulojen hinta on korkea (n. 18 €/kg), joten liittimen halkaisijan pienentäminen laskee kustannuksia, vaikka liittimiä tarvitaan enemmän. Mikäli korrosio tai palomitoitus ei aseta erityisiä vaatimuksia, niin perusteräslaadut ovat edullisimpia. Hinnassa ei ole kuitenkaan suuria eroja, joskin seostetumpien laatuojen saatavuus voi asettaa rajoituksia. Tehdyissä kokeissa ankkurinaulaan muodostui myötönivel myös 2 mm:n levyllä. Taulukko 3.25:n mukaisen tarkastelun tuloksena saadaan sahatavaralle edullisimmaksi levypaksuudeksi 2 mm ja naulaksi 40x4,0 kustannuksen ollessa 0,14 €/kN, kun teräs on EN 1.4301.

Taulukko 3.26:een on laskettu myös ankkuriruuvien ja pulttiliitoksen edullisimmat levypaksuudet ja liitinkoot sahatavaralle 70x195. Vetoliitoskokeessa myös ruuville muodostui myötönivel 2 mm:n levyllä. Tästä saataisiin optimi levypaksuudeksi 2 mm ja ruuviksi 5,0x40 kustannuksen ollessa 0,12 €/kN, kun teräslaatu on EN 1.4301.

Pulttiliitoksissa teräslevyn paksuuden kasvattaminen lisää liitoksen kapasiteettia, mutta vastaavasti levyn hinta kasvaa hieman enemmän kuin liitinmäärän väheneminen tuo säästöjä. Kuitenkin puutavaran paksuuden ollessa yli 100 mm levyn paksuntaminen tuo säästöjä. Erot ovat molemmissa tapauksissa pieniä; saman pulttikoon sisällä, alle sentin / kN.

Naula- ja ruuviliitoksissa ruostumattomilla osilla valmistettu liitos on noin kaksi kertaa kalliimpi verrattuna sinkitystä hiiliteräksestä valmistettuihin liitososiin, ruostumattoman teräksen laadusta riippuen. Pulttiliitoksissa hintaero on 1,5–2. Ruostumattomien liitosien kysynnän kasvun voidaan olettaa alentavan niiden kustannuksia.

### 3.7 Liimattujen rst-harjatankojen tartuntalujuus

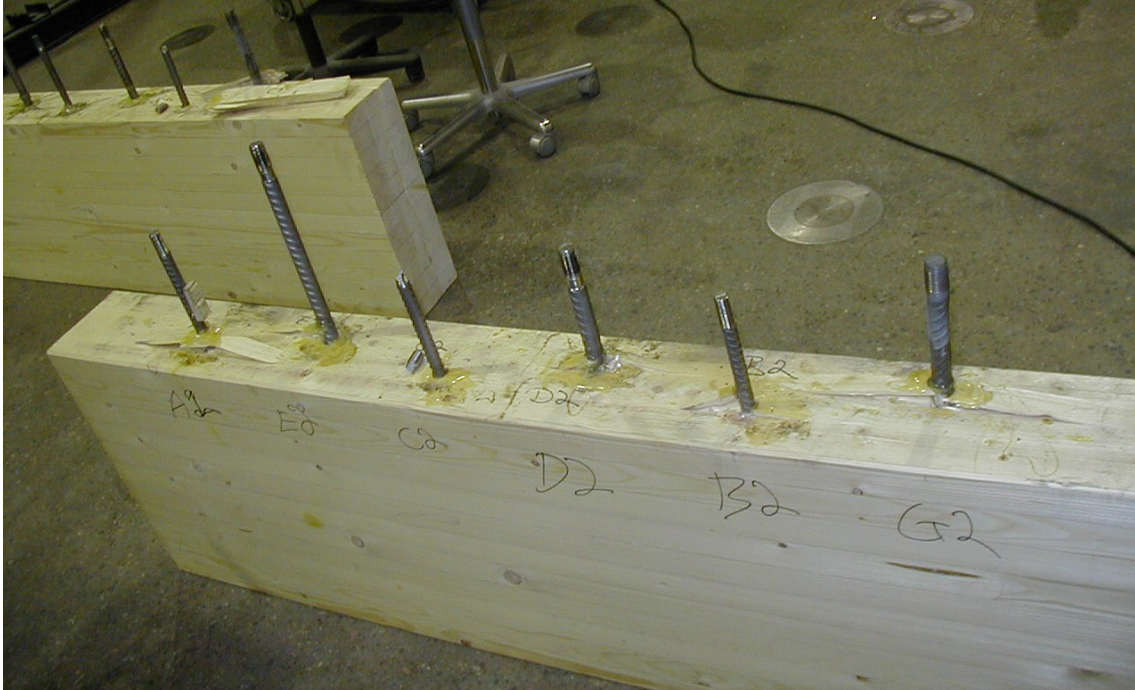
Yksittäisten liimattujen ruostumattomien tankojen tartuntalujuudet testattiin kolmella eri tartuntapituudella ( $l_a$ ) halkaisijaltaan ( $d$ ) 16 mm:n tangolle ja kahdella tartuntapituudella ( $d$ ) 20 mm:n tangolle. Tangot olivat kuumavalssattuja harjaterästankoja. Ruostumaton teräs oli laadultaan EN 1.4306 (AISI 304 L). Referenssikoesarjana oli yleisestä A500HW -harjateräksestä (seostamaton) valmistetut tangot ( $f_{y,k} = 500 \text{ N/mm}^2$ ).

Tangot, ( $d$ ) 16 ja 20 mm, liimattiin epoksiliimalla liimapuupalkiin tehtyihin väljiin reikiin ( $D = 20$  ja  $25$  mm). Taulukko 3.29:ssä on esitetty testimuuttujat ja arvioitavat kuormat. Tangot tulivat  $90^\circ$ :n kulmaan puun syihin nähden (ks. Kuva 3.36). Liimapuun keskitiheys oli  $\rho_w = 493 \text{ kg/m}^3$  ja kosteus  $\omega = 13 \%$ . Tangot vetokuormitettiin ja siirtymä tangon ja liimapuupinnan väliltä mitattiin. Kussakin koesarjassa oli kolme rinnakkaista koekappaletta. Taulukko 3.30:ssä esitetään kokeiden tulokset ja kaavoilla (3.40)–(3.41) lasketut tartuntalujuudet. Liitteessä E on esitetty koesarjojen voima-siirtymäkuvaajat.

*Taulukko 3.29. Tartuntakokeen koesarjat: halkaisija ( $d$ ), reiän halkaisija ( $D$ ), tartuntapituus ( $l_a$ ), tangonpituus ( $L$ ), liimasauman ala ( $A$ ) ja arvioitu kuorma ( $F_{est}$ ).*

Koesarja	materiaali	$d$ [mm]	$D$ [mm]	$l_a$ [mm]	$L$ [mm]	$A$ [mm <sup>2</sup> ]	$F_{est}$ [kN]
A	EN 1.4306	16	20	240	400	15079	110
B	EN 1.4306	16	20	360	500	22619	110
C	EN 1.4306	16	20	480	650	30158	110
D	EN 1.4306	20	25	300	450	23561	170
E	EN 1.4306	20	25	480	600	37698	190
G	hiiliteräs	20	25	300	450	23561	170





Kuva 3.36. Koekappaleita tartuntalujuustestien jälkeen.

Keskimääräinen tartuntalujuus poratun reiän pinta-alalle lasketaan:

$$f_{a,m} = \frac{F_{\max}}{\pi \cdot D \cdot l_a} \quad (3.39)$$

missä  $F_{\max}$  on murtokuorman keskiarvo.

Vertailun vuoksi, tartuntalujuuden ominaisarvo laskettiin sekä Kangaksen (1994) esittämällä suunnittelumenetelmällä että Eurocode 5:n (draft prEN 1995-1, 2003-05-28) esitettyllä laskentakaavalla. Kangaksen mukaan kaikilla syyn suuntakulmilla  $\alpha \geq 15^\circ$

$$f_{a,k} = 6,5 \cdot (1 - l_a / 100d) \quad [\text{N/mm}^2] \quad (3.40)$$

EC5:n standardiehdotuksessa (draft prEN 1995-1, 2003-05-28) annettiin liimatuille tangoille tartuntalujuus kaikille syyn suuntakulmille

$$f_{a,k} = 5,5 \cdot \frac{\tanh \omega}{\omega} (1 - l_a / 100d) \quad [\text{N/mm}^2] \quad (3.41)$$

$$\text{missä} \quad \omega = \frac{0,016 \cdot l_a}{\sqrt{D}} \quad (3.42)$$

HUOM: Kaikki liimattujen tankojen suunnitteluohjeet poistettiin EN1995:2004:stä.

Taulukko 3.30. Liimattujen tankojen tartuntakokeen tulokset.  $\delta_{max}$  on tangon siirtymä murtokuormalla  $F_{max}$ .  $f_{t,m}$  on tangon vetojännitys murtokuormasta.

koe- sarja	$d$ (mm)	$D$ (mm)	$l_a$ (mm)	$\delta_{max}$ (mm)	$F_{max}$ (kN)	var $v$ (%)	$f_{t,m}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{a,m}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{a,k}$ (3.40) (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{a,k}$ (3.41) (N/mm <sup>2</sup> )
A	16	20	240	1,23	98,4	5,8	489	6,53	5,53	4,46
B	16	20	360	2,00	142,5	6,0	709	6,30	5,04	3,67
C	16	20	480	2,02	166,0 *)	2,6	826	5,51	4,55	3,00
D	20	25	300	2,52	141,1	12,9	449	5,99	5,53	4,26
E	20	25	480	3,81	203,6	5,4	648	5,40	4,94	3,26
G	20	25	300	1,32	142,4	9,3	453	6,04	5,53	4,26

\*) Tangon vetomurto. Tartuntamurto muissa koesarjoissa.

Koetulosten mukaan liimatuilla ruostumattomilla harjaterästangoilla tartuntalujuus vastaa seostamattomien harjaterästankojen lujuuksia. Ruostumattomien terästen korkea vetomurtolujuus, jopa 800 MPa saakka, voidaan hyödyntää käyttäen pitkää tartuntapituutta.

Kaikissa koesarjoissa tartuntalujuus vastaa hyvin Kangaksen (1994) esittämällä kaavalla (3.40) laskettuja arvoja. Myös pisimmällä tartuntapituudella ( $30d$ ) kaavan (3.40) pituusvaikutus on oikein arvioitu. Eurocode 5:een ehdotetussa kaavassa (3.41) tartuntapituuden vaikutus on selvästi liian konservatiivinen.



## 4. Yhteenveto

Standardeissa on laaja valikoima erilaisia ruostumattomia teräslaatuja. Erilaisten laatu-  
jen saatavuus rajoittuu niin levy-, tanko- tai liitintuotteilla ”ruostumattomaan” EN  
1.4301 tai ”haponkestävään” EN 1.4401 tai EN 1.4432 -laatuihin. Ongelmat saatavuu-  
dessa liittyvät kysynnän vähäisyyteen muilla teräsladuilla. Tilauksesta on saatavissa  
erilaisia teräksiä, mutta tällöin hinta on korkea tai on tilattava tietty vähimmäismäärä.  
Varsinkin liittimien, naulojen, ruuvien ja pulttien kohdalla tukku- ja vähittäiskaupassa ei  
tunneta erityisen hyvin muita teräslaatuja kuin A2 ja A4.

Metallien korroosio erilaisissa olosuhteissa tunnetaan melko hyvin. Puurakenteissa on  
käytetty pitkään sinkittyjä liitintuotteita. Kosteissa olosuhteissa tai kemiallisille aineille  
altistuessa sinkittyjen tuotteiden pitkäaikaiskestävyys ei kuitenkaan ole aina riittävä.  
Ruostumattomien terästen käyttöä korroosiolle alttiissa ympäristössä on rajoittanut han-  
kintahinta. Rakenteiden elinkaariajattelu on lisäämässä ruostumattomien terästen käyttöä.  
Puuta käytetään entistä vaativammassa rakenteissa, mikä tuo mukanaan muun muassa  
kosteus-, palotekniset ja arkkitehtoniset seikat entistä enemmän huomioon otettaviksi.  
Ruostumattomilla teräksillä voidaan tuoda uusia mahdollisuuksia näihin seikkoihin.

Ruostumattomien terästen käyttöä kantavissa puurakenteiden liitoksissa on tutkittu hy-  
vin vähän. Normit ja ohjeet sallivat niiden käytön, ja mitoitus tehdään käytännössä hiili-  
teräksen laskentakaavoilla. Puikkoliitosteoriaan perustuvissa laskentamalleissa käyte-  
tään puikkoliittimillä myötömomentin tai taivutuslujuuden arvoja. Normit antavat mah-  
dollisuuden määrittää erilaisille liittimille näitä arvoja, mutta käytännössä niin ei tehdä.  
Tällöin on mahdollista, ettei ruostumattoman teräksen sitkeysominaisuuksia ja muok-  
kauslujittumista saada hyödynnettyä.

Puurakenteiden puikkoliitosten mitoittamiseksi normaalilämpötilassa, ruostumattomista  
teräksistä valmistettuja liitososia käytettäessä, esitetään koetulosten ja kirjallisuusselvi-  
tyksen pohjalta seuraavia ehdotuksia.

Teräslaatu-  
jen valinnassa arvioidaan rakennetta ympäröivät olosuhteet, jotta saadaan  
korroosio- ja lujuusominaisuuksiltaan taloudellinen materiaali. Erilaisten liitososien kor-  
roosiokestävyyden tulee täyttää olosuhteiden vaatimukset. Tämä koskee myös liitososi-  
en hitsiliitoksia.

Puikkoliitoksen kapasiteetti voidaan myös ruostumattomia teräksiä käytettäessä laskea  
Eurocode 5:n mukaan. Laskennallisen kapasiteetin lisäksi tulee huomioida liitinten si-  
joittelusta annetut ohjeet. Pultti- ja vaarnaliitokset voidaan mitoittaa suoraan Eurocode  
5:n mukaan ottaen huomioon myös lohkeamismurron mahdollisuus. Kun teräslevyt ovat  
puun reunoilla ja levypaksuuden suhde naulan halkaisijaan on  $\geq 0,5$ , voitaisiin liitoksen

kapasiteetti laskea paksun levyn kaavoilla, jos naulan tai ruuvin kanta on kartiomainen ja sovitus reikään on tiivis. Tämä pätee myös hiiliteräsluottimille.

Ruostumattomista teräksistä valmistettujen naulojen ja ruuvien myötömomentin laske-  
misessa on järkevää hyödyntää raaka-aineen todellinen vetomurtolujuus. Rst- kam-  
panauloille tulos on silti konservatiivinen. Kokeessa olleille ankkurinauloille voidaan  
kaavassa (3.3) kertoimen 180 sijaan käyttää 210:tä. Kun liitin halutaan hyödyntää te-  
hokkaasti, myötömomentti kannattaa määrittää standardien EN 409 (1993) ja prEN  
14592 (2002) mukaan valmistajakohtaisesti kullekin liitintyypille sen eri halkaisijami-  
toille ja materiaalivaihtoehdoille.

Ruostumattomille ja sinkityille kampanauloille, joiden profiili on kartiomainen (ankku-  
rinaulat), ulosvetoparametrin ominaisarvo voidaan laskea kaavalla (3.36),  
 $f_{ax,k} = 36 \times 10^{-6} \rho_k^2$ . EN1995-1-1:2004:n kaavoja ei pidä käyttää ruuvien ulosvetolujuu-  
den (kaavat (3.7)–(3.9)) määrittämisessä. Itseporautuvien ruuvien ulosvetokapasiteetti  
voidaan laskea puun syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa kaavalla (3.38) ellei ulosve-  
toluujutta ole määritetty kokeellisesti.

Ruostumattomien liimattujen harjaterästankojen, kuin myös seostamattomien tankojen,  
tartuntalujuus voidaan laskea Kangaksen (1994) esittämällä kaavalla (3.40) ja rst-  
tankojen korkea vetomurtolujuus voidaan hyödyntää ainakin 800 MPa saakka.

Teräsosat mitoitetaan Eurocode 3 – Teräsrakenteiden suunnittelu, esistandardien osien  
mukaan. ”Ruostumattomien terästen käyttökantavissa rakenteissa – Käsikirja” (Eu-  
roInox & VTT 2002) on myös selkeä ohje teräsosien mitoitukseen. Kirjan suositukset  
ovat mahdollisuuksien mukaan yhteneväisiä Eurocode 3:n kanssa. Kappaleessa 3.2.2  
mitoituskaavat on esitetty koosteena.

## Lähdeluettelo

Ala-Outinen, T. 1996. Fire Resistance of austenitic stainless steels Polarit 725 (EN 1.4301) and Polarit 761 (EN 1.4571). VTT Research Notes 1760. Espoo. Technical Research Centre of Finland. 34 s. + 30 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1996/T1760.pdf>

American Forest & Paper Association (AF&PA). 2001. The National Design Specification for Wood Construction (NDS). American Forest & Paper Association. Washington, D.C., USA

ANSI/TPI 1-2002. 2003. Commentary & Appendices to National Design Standard for Metal Plate Connected Wood Truss Construction. Madison, WI, USA. Truss Plate Institute.

Architects' Guide to Stainless Steel. 1997. SCI-Publication 179. Berkshire, UK. The Steel Construction Institute. 202 s.

Baker, A. J. 1992. Corrosion of nails in CCA- and ACA-treated wood in two environments. Forest Products Journal, Vol. 42, No. 9, s. 39–41.

Ehlbeck, J. & Görlacher, R. 1982. Mindestnagelabstände bei Stahlblech-Holznagelung. Research Report, Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine. Universität Karlsruhe, Germany.

Ehlbeck, J. & Siebert, W. 1988. Axially loaded nail- Proposals for supplement to the CIB code. Int. Council Build. Res. Studied Documentation Working Commission W18A-Timber Struct. CIB.W18A/21-7-5. Universität Karlsruhe, Germany.

EN 1382. 1999. Timber structures – Test methods – Withdrawal capacity of timber fasteners.

EN 1990. 2002. Eurocode- Basis of structural design.

EN 1991-1-2. 2003. Eurocode 1: Actions on structures. Part 1–2: General actions. Actions on structures exposed to fire. Brussels. European Committee for Standardization (CEN). 60 s.

EN 1995-1-1. 2004. Eurocode 5 – Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings. Brussels. CEN. 123 s.

EN 409. 1993. Timber structures – Test methods – Determination of the yield moment of dowel type fasteners – Nails. Brussels. CEN. 8 s.

ENV 1993-1-3. 1996. Eurocode 3: Design of steel structures, Supplementary rules for cold formed thin gauge members and sheeting. Brussels. CEN.

ENV 1995-1-1. 1993. Eurocode 5: Design of timber structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings. Brussels. CEN.

Euro Inox. 2001. Welding of stainless steels. Teoksessa: Cunat, P.-J. Material and Applications Series, Vol. 3, Brussels, s. 24–25.

Euro Inox & VTT. 2002. Käsikirja – Ruostumattomien terästen käyttö kantavissa rakenteissa. 2. painos Euro Inox:n käsikirjasta: Design Manual for Structural Stainless Steel. Espoo. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT:n Rakennussarja, julkaisu 3. 164 s.

European Steel Design Education Programme (ESDEP). Luento 18: Ruostumattomat teräokset. <http://www.vtt.fi/virtual/try/Esdep/index.html>

Farmer, R. H. 1962. Corrosion of metals in association with wood. Part1. Corrosion by acidic vapors from wood. WOOD August, s. 326–328.

Gehri, E. 1996. Ripustus- ja ankkurointiliitokset. Teoksessa: Kurkela, J. Lahtinen, R. Muilu, J. & Mäki-Ketelä, L. (suom. toim.). Puurakenteet STEP 1, luento C13. Helsinki. Rakennustieto Oy. s. C13/1–C13/8.

Hansen, K. F. 2002. Mechanical properties of self-tapping screws and nails. Can. Journal of Civil Eng. 29, s. 725–733.

Hilson, B. O. 1996. Puikkoliitokset – teoriaa. Teoksessa: Kurkela, J. Lahtinen, R. Muilu, J. & Mäki-Ketelä, L. (suom. toim.). Puurakenteet STEP 1, luento C3. Helsinki. Rakennustieto Oy. s. C3/1–C3/11.

Honkasalo, A. 1976. Stress corrosion cracking of austenitic stainless steel at room temperature. Helsinki. Teknillinen korkeakoulu. Väitöskirja. 23 s.

International Molybdenum Association (IMOA). 2001. Practical Guidelines for the Fabrication of Duplex Stainless Steel. London, UK. The International Molybdenum Association. 47 s.

ISO 2081. 1986. Metallic coatings. Electroplated coatings of zinc on iron or steel. Geneva. ISO.

ISO 3506-1...3. 1997. Mechanical properties of corrosion-resistant stainless-steel fasteners. – Part 1: Bolts, screws and studs. 21 s. – Part 2: Nuts. 15 s. – Part 3: Set screws and similar fasteners not under tensile stress. Geneve. ISO. 13 s.

ISO 3506-4. 2003. Mechanical properties of corrosion-resistant stainless-steel fasteners. Part 4: Tapping screws. Geneve. ISO. 17 s.

ISO 8970 (EN 28970). 1989. Timber structures – Testing of joints made with mechanical fasteners – Requirements for wood density. Geneve. ISO.

Jernkontoret. 1979. Korroosiotaulukot – Ruostumattomat teräkset. Tukholma. Jernkontoret.

Johansen, K. W. 1949. Theory of timber connections. International Association of Bridge and Structural Engineering. Publication No. 9:249-262. Bern.

Johansen, M. 1988. Bending strengt of nails – Testing fo proposal for NORDTEST method. Dokumentation of SBI-project R13-78: ”Nails in wood: Bending strength”. Danish Building Research Institute, Hørsholm, Dänemark.

Kangas, J. 1994. Joints of glulam structures based on glued-in ribbed steel rods. VTT Publications 196. Espoo, VTT. 61 s. + liitt. 20 s. ISBN 951-38-4634-2

Kirilov, A. et al. 1988. Acidity of Heartwood and Sapwood in some Eucalypt Species. *Holzforschung*, Vol. 42, s. 253–258.

Kivinen, T. 2003. Suurten maatalousrakennusten puurunkoratkaisut – Olosuhdemittaukset ja toiminnalliset mallit. MTT:n selvityksiä 35. Vihti. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. 61 s. <http://www.mtt.fi/mtts/pdf/mtts35.pdf>

Kubler, H. 1992. Corrosion of nails in wood construction interfaces. *Forest Products Journal*, Vol. 42, No. 1, s. 47–49.

Kurkela, J., Kivinen, T., Westman, V.-M. & Kevarinmäki, A. 2003. Suurten maatalousrakennusten puurunkoratkaisut – Esivalmistetut rakennusjärjestelmät. VTT Tiedotteita 2194. Espoo. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 116 s. + liitt. 39 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2194.pdf>

Kyröläinen, A. & Lukkari, J. 2002. Ruostumattomat teräkset ja niiden hitsaus. 2. painos. Helsinki, MET-julkaisuja nro 14/2002, Metalliteollisuuden Kustannus Oy. 526 s.

Martin, Z. A. 2002. Mechanical fasteners and connections. Chapter 8. Teoksessa: APA engineered wood handbook [electronic resource, pdf], Williamson, T.G. (toim.). New York, USA. Knovel (Painettuna McGraw-Hill).

MiTek Australia Ltd. Gang-Nail Truss System Manual: Gang Nail Connectors – How They Work. [www.mii.com/australia](http://www.mii.com/australia) [connectr.pdf]

MMM-RMO-C2.2. 2002. Maatalouden tuotantorakennusten lämpöhuolto ja huoneilmasto. Maa- ja metsätalousministeriön asetus Nro 100/01, liite 10. 9 s.

Money, K. L. & Kirk, W. W. 1978. Stress Corrosion Cracking Behavior of Wrought Fe-Cr-Ni Alloys in Marine Atmosphere. Materials Performance, Vol. 17, No. 7, July 1978, s. 28–36.

Nickel Development Institute (NiDi). 2001. Stainless Steels in Architecture, Building and Construction, Guidelines for Corrosion Prevention. Reference Book Series No. 11 024. 44 s.

Nordtest Method. 1989. NT BUILD 343: Nails in wood: Bending strength, Espoo, NORDTEST. 4 s.

Oldfield, J. W. & Todd B. 1991. Room temperature stress corrosion cracking of stainless steels in indoor swimming pool atmospheres. British Corrosion Journal 1991, Vol. 26, No. 3. s. 173–182.

prEN 14358. 2003-8. Timber Structures – Fasteners and wood-based products – Calculation of characteristic 5-percentile value and acceptance criteria for a sample. Brussels CEN.

prEN 14545:2002-09 Timber structures- Connectors-Requirements. Brussels CEN.

prEN 14592:2002-11 Timber structures- Fasteners-Requirements. Brussels CEN.

prEN 1993-1-4. 2004. Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1.4: General rules Supplementary Rules for Stainless steels. Brussels. CEN. 42 s.

prEN 1993-1-8. February 2002. Design of steel structures. Part 1–8: Design of joints. Brussels CEN.

Raaka-ainekäsikirja, Muokatut teräkset. 1984. Helsinki. Metalliteollisuuden Keskusliitto.

Racher, P. 1996. Mekaaniset puuliitokset – Yleistä. Teoksessa: Kurkela, J., Lahtinen, R., Muilu, J. & Mäki-Ketelä, L. (suom. toim.). Puurakenteet STEP 1, luento C1. Helsinki. Rakennustieto Oy. s. C1/1–C1/10.

RIL 205-2003. Puurakenteiden suunnittelu-Euronormi, RIL, Helsinki, 2003.

Riskowski, G. L., Day, D. L., Zhu, J., Stubbins, J. F., Jepson, W. P. & Mackie, R. I. 1999. Corrosion in Animal Facilities Urbana, Illinois. Illinois Pork Producers Assn., Department of Agriculture; University of Illinois, USA.

Ruostumattomat teräkset. 2002. Erillispainos julkaisusta Muokatut teräkset: Raaka-ainekäsikirja 2001. Helsinki. Metalliteollisuuden Keskusliitto (MET). 64 s.

SFS-EN 10027-1. 1993. Terästen nimikejärjestelmät. Osa 1: Terästen nimikkeet ja tunnuksset. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto (SFS). 33 s.

SFS-EN 10027-2. 1993. Terästen nimikejärjestelmät. Osa 2: Numeerinen järjestelmä. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto (SFS). 18 s.

SFS-ENV 1993-1-2. 1999. Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1–4 Yleiset säännöt. Rakenteellinen palomitoitus. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto (SFS).

SFS-ENV 1993-1-4. 1999. Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1–4 Yleiset säännöt. Ruostumattomia teräksiä koskevat lisäsäännöt. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto (SFS).

Simpson Strong-Tie. 2003. Preservative treated wood. Technical Bulletin, T-PTWOOD03. Simpson Strong-Tie Company, USA. 4 s. <http://www.strongtie.com>

SSINA (The Specialty Steel Industry of North America). 1995. Designer Handbook: Stainless Steel Fasteners. Washington, D.C., USA. 22 s. <http://www.ssina.com>

SSINA (The Specialty Steel Industry of North America). 4-99-5. Designer Handbook: Stainless Steel Fabrication. Washington, D.C., USA. 14 s. <http://www.ssina.com>

Stainless Steels in swimming pool buildings. 1995. Nickel Development Institute (NiDi), 16 s.

Stevens, R. F. 1996. Metal Connector Plate. Teoksessa: Mechanical Connections in Wood Structures, Chapter 5. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 84. American Society of Civil Engineers, New York, N. Y., USA. s. 147–172.

Suomi-Lindberg, L., Viitaniemi, P., Häkkä-Rönholm, E. & Ritschkoff, A.-C. 1999. Metalliliittimien korroosio puurakenteissa. Biokorroosio. VTT Julkaisuja 839. Espoo. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 50 s.+ 9 s. ISBN 951-38-5016-1

Teräsnormikortti N:o 10/1999. Austeniittisestä ruostumattomasta teräksestä valmistettujen rakenteiden palotekninen mitoitus. Helsinki, Teräsrakenneyhdistys ry. 9s.

Werner, H. & Siebert, W. 1991. Neue Untersuchungen mit Nägeln für den Holzbau. Holz als Roh- und Werkstoff 49, s. 191–198.

Wolfe, R., Bohnhoff, D. & Nagel, R. 1993. Stiffness and Strength Properties of Shear Transfer Plate Connections. Res. Pap FPL-RP-517. Madison, WI, USA. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory. 25 s.

Wood handbook-Wood as an engineering material. 1999. General Technical Report FPL-GTR-113. Madison, WI, USA. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 463 s.

Yli-Koski, Rainer. 2004. RST-Liittimien mitoituserusteet puurakenteiden liitoksissa. Diplomityö, Espoo, Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto. 107 s. + 40 s.

Zhu, J., Riskowski, G.L. & Mackie, R.I. 1999. A laboratory study on metal corrosion by ammonia gas. Transactions of the ASAE. Vol. 42, No. 3, s. 783–787.



# **Liite A: Ruostumattomien terästen materiaalitietoja**

## **Liite A.1. Ruostumattomien terästen merkintöjen vastaavuus**

Standardin EN 10088 merkintöjen vastaavuus saksalaisten, englantilaisten, ranskalais-  
ten, ruotsalaisten, espanjalaisten ja yhdysvaltalaisien merkintöjen kanssa esitetään tau-  
lukossa A.1.1.

Taulukko A.1.1. Ruostumattomien terästen merkintöjen vastaavuus.

EN 10088 mukainen laji		Saksa (DIN)		Englanti	Ranska	Italia	Ruotsi	Espanja	USA	
Nimi	Nro	Nimi	Nro	BSI	AFNOR	UNI	SIS	UNE	AISI	
X5CrNi18-10	1.4301	X5 CrNi 18 10	1.4301	304 S 15 304 S 16 304 S 31	Z 6 CN 18-09	X5 CrNi 18 10	2332 2333	3504	304	S30400
X2CrNi19-11	1.4306	X2 CrNi 19 11	1.4306	304 S 11	Z 2 CN 18-10	X2 CrNi 18 11	2352	3503	304 L	S30403
X2CrNi18-9	1.4307	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X6CrNiTi18-10	1.4541	X6 CrNiTi 18 10	1.4541	321 S 31	Z 6 CNT 18-10	X6 CrNiTi 18 11	2337	3523	321	S32100
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	X5 CrNiMo 17 12 2	1.4401	316 S 31	Z 6 CND 17-11	X5 CrNiMo 17 12	2347	3534	316	S31600
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	X2 CrNiMo 17 13 2	1.4404	316 S 11	Z 2 CND 17-12	X2 CrNiMo 17 12	2348	3533	316 L	S31603
X2CrNiMo17-12-3	1.4432	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X2CrNiMo18-14-3	1.4435	X2 CrNiMo 18 14 3	1.4435	316 S 13	Z 2 CND 17-13	X2 CrNiMo 17 13	2353	3533	316 L	S31603
X1 NiCrMoCu25-20-5	1.4539	X1 NiCrMoCuN 25 20 5	1.4539	-	Z 1 CNDU 25 20	-	2562	-	904 L	N 08904
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	X6 CrNiMoTi 17 12 2	1.4571	320 S 31	Z 6 CNDT 17-12	X6 CrNiMoTi 17 12	2350	3535	316 Ti	S31635
X2CrNiN18-10	1.4311	X2 CrNiN 18 10	1.4311	304 S 61	Z 2 CN 18-10 Az	-	2371	-	304 LN	S30453
X2CrNiMoN17-11-2	1.4406	X2 CrNiMoN 17 11 2	1.4406	316 S 62	Z 2 CND 17-12 Az	-	-	-	316 LN	S31653
X2CrNiMoN17-13-5	1.4439	X2 CrNiMoN 17 13 5	1.4439	-	-	-	-	-	317 LMN	S31726
X1 NiCrMoCuN25-20-7	1.4529	X1 NiCrMoCuN 25 20 6	1.4529	-	-	-	-	-	-	-
X2CrNiN18-7	1.4318	X2 CrNiN 18 7	1.4318	-	-	-	-	-	301 LN (302 LN)	-
X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	X2 CrNiMoN 22 5 3	1.4462	Duplex 2205	Z 2 CND 22-5 Az	-	2377	-	-	S31803

## **Liite A.2 Materiaalin valinta. (Raaka-aine käsikirja, Muokatut teräkset: 1984)**

SS 2333 vastaa EN 1.4301 ja SS 2343 vastaa EN 1.4436

Ruostumattomien terästen tärkein ominaisuus on hyvä korroosionkestävyys. Austeniittisten terästen muita tärkeitä ominaisuuksia ovat hyvä tulenkestävyys, sitkeys matalissa lämpötiloissa, hyvä lujuus korkeissa lämpötiloissa, hyvä muokattavuus ja hyvä hitsattavuus. Näiden terästen heikkoutena ovat vaatimaton myötöraja, taipumus jännityskorroosioon kloridipitoisissa liuoksissa ja huono lastuttavuus. Yleistä korroosiota esiintyy ruostumattomissa teräksissä harvoin. Tällöin teräs on aktivoitunut kauttaaltaan, ja metalli syöpyy samalla nopeudella kaikkialta. Ruostumaton teräs katsotaan kestäväksi josakin ympäristössä, jos yleinen eli tasainen korroosionopeus on pienempi kuin 0,1 mm/vuosi. Tällöin edellytetään, että paikallista korroosiota ei esiinny. Terästen SS 2333 (EN 1.4301) ja SS 2343 (EN 1.4436) yleistä korroosionkestävyyttä on esitetty seuraavassa valintakaaviossa ja kuvissa A.2.1–4. Yleisen korroosiokestävyyden rajana on pidetty syöpymisnopeutta maks. 0,1 mm/ vuosi.

### **Valintakaavio**

Seuraavassa esitettävän valintakaavion lähtökohdaksi on otettu korroosionkestävyys.

Valintaan kuuluvat seuraavat neljä vaihetta:

1. Yleinen korroosionkestävyys: olosuhteet, joissa SS 2333 ja SS 2343 kestävät.
2. Terästen SS 2333 ja SS 2343 erityisominaisuudet yleisen korroosion kannalta kummankin teräksen osalta erikseen.
3. Paikallisen korroosion kestävyys ensi sijassa kloridipitoisuuden ja käyttölämpötilan avulla mitattuna, kun  $\text{pH} = 5$ .
4. Luettelo olosuhteista, joissa teräkset SS 2333 ja SS 2343 eivät kestä yleistä eivätkä myöskään paikallisia korroosioilmiöitä.

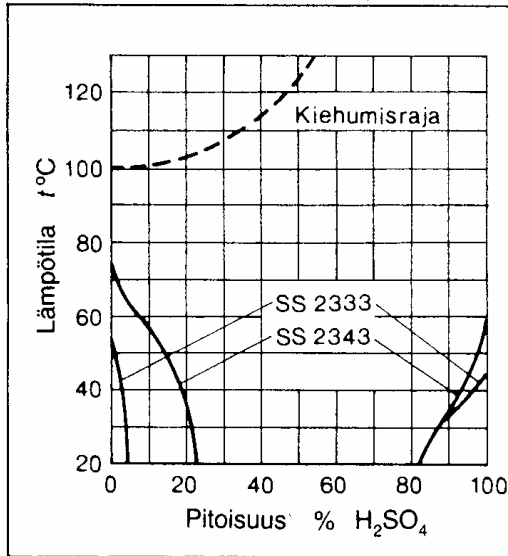
Valintakaavion tarkoituksena on auttaa materiaalin valitsijaa näkemään hyväksyttävät ja hylättävät olosuhteet. Valintakaavio ohjaa myös tulkitsemaan paikallisen korroosion kannalta vaarallisimpien muuttujien eli lämpötilan ja kloridipitoisuuden muutosten vaikutuksia. Valintakaavio on suuntaa antava. Lopullista valintaa tehtäessä on jokainen tapaus käytävä huolella läpi myös muiden kuin tässä esitettyjen olosuhdemuuttujien osalta.

### **Valintaan liittyviä lisätietoja**

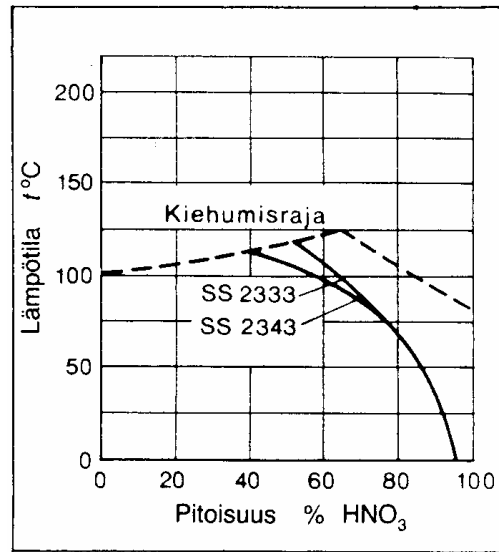
Terästen keskinäisessä valinnassa tulee hintasyistä suosia terästä SS 2333, mikäli valintakaavio ei erityisesti ohjaa teräksen SS 2343 käyttöön. Mekaanisten ominaisuuksien ja valmistettavuuden kannalta teräksillä SS 2333 ja SS 2343 ei ole eroja. Usein esitetään hitsattavuuden varmistamiseksi hiilipitoisuutta maks. 0,03 % tai niin sanottua stabiloidun teräksen käyttöä. Tämä on yleensä tarpeetonta ja kustannuksia lisäävää, sillä terästen SS 2333 ja SS 2343 hiilipitoisuusvaatimuksen maks. 0,05 % on riittävä herkistymisen vält-

tämiseksi hitsauksessa, kun aineenpaksuudet ovat alle 50 mm. Stabiloidut teräkset ovat alttiita muun muassa niin sanotulle veitsenviiltokorroosiolle, joka on eräs raerajakorroosion muoto. Muut ruostumattomat teräkset tulevat kyseeseen silloin, kun esimerkiksi lujuus, kulumiskestävyys tai lastuttavuus tulee määrääväksi valintakriteeriksi.

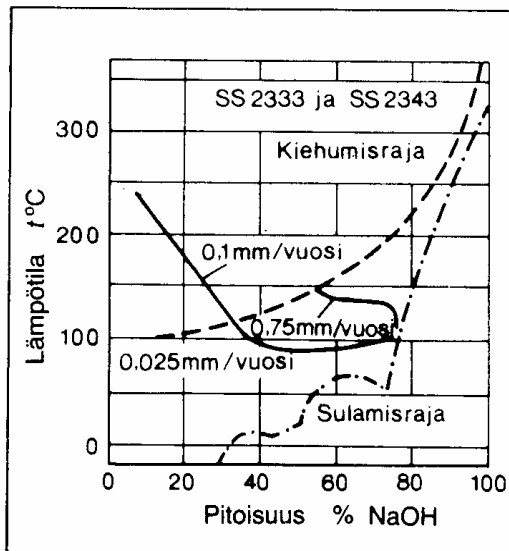
Yleinen korrosio voidaan estää ainoastaan välttämällä edellä esitettyjä vaarallisia alueita. Yleinen korrosio ei kuitenkaan ole ruostumattomille teräksille oleellinen, vaan paikalliset korrosioilmiöt.



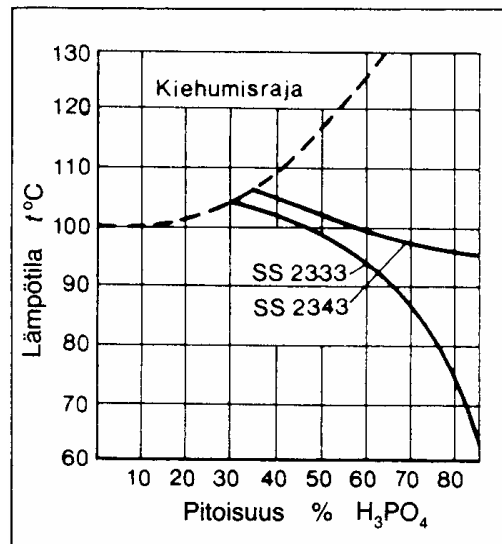
Kuva 1. Rikkihappo.



Kuva 2. Typpihappo.



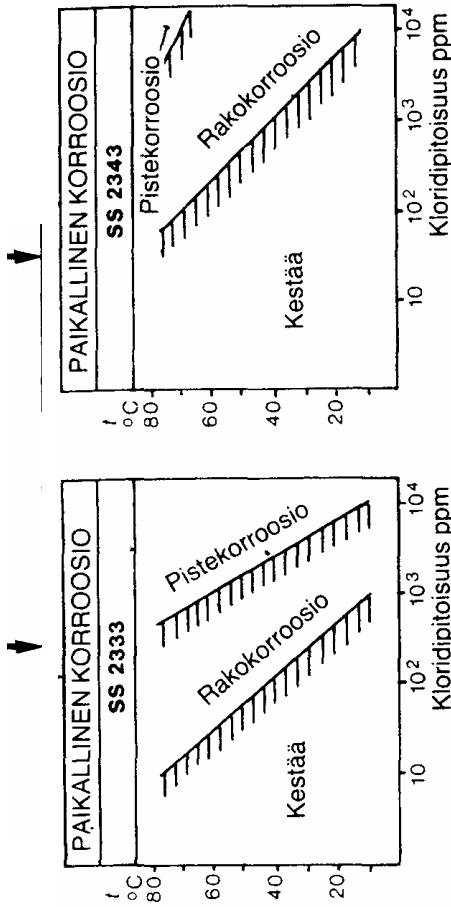
Kuva 3. Natriumhydroksidi.



Kuva 4. Fosforihappo.

Kuvat 1–4. Austeniittisten terästen yleiskorroosionkestävyys eri käyttöympäristöissä. Ehjät viivat: keskimääräinen korroosionopeus 0,1 mm/vuosi. Näiden käyrien alapuolella voidaan teräksiä pitää yleiskorroosiota kestävinä.

YLEINEN KORROOSIO	
SS 2333 JA SS 2343 KESTÄVÄT	50°C P, J
Alumiinikloridi	5%
<b>Ammoniakk</b>	Natriumhydroksidi
Ammoniumsulfidi	Natriumsulfidi
Kalsiumsulfidi	20°C
Hililitetrakloridi	100 °C
<b>Kloorikaasu</b>	(kuiva)
Kromihappo	20%
Kromihappo	10%
Kromihappo	5%
Fluorikaasu	(kuiva)
Kalsiumkloridi	5%
Kuparikloridi	1%
Natriumbisulfaatti	2%
Kaliumhydroksidi	50%
	50°C P
	20°C P
	20°C
	20°C
	P = pistekorrosiovaara
	J = jännityskorrosiovaara



### YLEINEN KORROOSIO

#### SS 2333 JA SS 2343 EIVÄT KESTÄ

YLEINEN KORROOSIO	
SS 2333 on parempi kuin SS 2343 seuraavissa olosuhteissa:	SS 2343 kestävä, mutta SS 2333 ei kestä seuraavia olosuhteita:
Kalsinoitu sooda	<b>Etikkahappo</b>
Hiihappo	Kaliumbisulfaatti
Tulistettu höyry	Alumiinisulfaatti
Tislattu vesi	Kaliumbisulfiitti
Typpihappo (kuva 2)	SS 2343 on parempi kuin SS 2333 lievästi hapettavissa hapoissa, emäksissä sekä Mo-seostuksensa ansiosta rako-, piste- ja jännityskorroosiota sekä korrosioväsymistä vastaan.
Rikkihappo (kuva 3)	

YLEINEN KORROOSIO					
Alumiinikloridi	5%	100°C	Kromihappo	5%	kiehuva
Ammoniumkloridi	20%	kiehuva	Kromihappo	10%	kiehuva
Aniliinihydrokloridi			Kromihappo	50%	20°C
Bariumkloridi			Kuparikloridi	8%	kiehuva
Bromi			Fluorikaasu	(kostea)	
Kalsiumhypokloriitti	6%	100°C	Suolahappo		
Kloorivetyhappo			Fluorivetyhappo		
Klooridioksidi	(kostea)	20°C	Kaliumhydroksidi	50%	kiehuva
<b>Kloorikaasu</b>	(kostea)	20°C	Natriumbisulfaatti	15%	85°C
			<b>Merivesi</b> (paikallinen korrosio)		

**TÄSSÄ TAPAUKSESSA ON VALITTAVA MUU MATERIAALI KUIN SS 2333 JA SS 2343**

Paikallisen korroosion rajat perustuvat luokassa NaCl tehtyihin kokeisiin tilanteessa pH 5. Paikallista korrosioalttiutta arvioitaessa on syytä tarkastella erityisesti kloridien konsentroitusmahdollisuutta.

### Liite A.3. Ruostumattomien terästen hintoja (lähde: Outokumpu Stainless oy)

Hinnat ovat 2 mm:n levyille. Pinnanlatu 2B. Perushinta tammikuu 2004

	€/ton	€/ton	€/ton yht.		R <sub>p0,2</sub> min.	
Teräslaatu	Perushinta	AAF (seosainelisiä) joulukuu 2003			N/mm <sup>2</sup>	
EN 1.4301	1450	881	2331		230	
EN 1.4318	1650	430	2080	EN 1.4318=EN 1.4301 + 200 eur+AAF	350	Typpiseoste
EN 1.4541	1650	628	2278	EN 1.4541=EN 1.4301 + 200 eur+AAF	220	Ti stabiloitu
EN 1.4401	1900	884	2784		240	
EN 1.4432	1900	964	2864		240	Mo 2,5%
EN 1.4571	2100	884	2984	EN 1.4571=EN 1.4401 + 200 eur+AAF	240	Ti stabiloitu
EN 1.4462	3056	589	3645		480	duplex

#### **Kylmämuokatut**

**C 700** lujuuteen on saatavilla analyysiä 1.4318

350

- toimitustilassa 2B, täyttää rajan ilman lujitusta

**C 850** lujuusluokkaan saa maks. 5,0 mm levyn tai nauhan seuraavin perushinnoin, toimituksiin Q1/2004 + AAF:

	€/ton	€/ton	€/ton yht.		R <sub>p0,2</sub> min.	
Teräslaatu	Perushinta	AAF			N/mm <sup>2</sup>	
EN 1.4301	1850	544	2394		530	
EN 1.4541	1950	628	2578		530	
EN 1.4401	2300	884	3184		530	
EN 1.4436	2340	964	3304		530	
EN 1.4571	2300	884	3184		530	

Kylmämuokattujen hinnat ohjeellisia 2,0 mm:n levyille, hinta nousee paksuuden ohentuessa.

## Liite A.4. Hitsauksen suojakaasun ja hitsauslisäaineiden valinta. (Euro Inox, 2001)

Selecting Shielding Gases for Welding of Stainless Steels <sup>(1)</sup>

The choice of shielding gas has a significant influence on the following factors:

• Shielding Efficiency (Controlled shielding gas atmosphere)	• Surface Appearance (Oxidation, spatters)
• Metallurgy, Mechanical Properties (Loss of alloying elements, pickup of atmospheric gases)	• Arc Stability and Ignition
• Corrosion Resistance (Loss of alloying elements, pickup of atmospheric gases, surface oxidation)	• Metal Transfer (if any)
• Weld Geometry (Bead and penetration profiles)	• Environment (Emission of fumes and gases)

*Taulukko A.4.1. Hitsauksen suojakaasujen valinta.*

Welding Process	Shielding Gas, Plasma Gas	Backing Gas
G.T.A.W. (Gas Tungsten Arc Welding)	Ar Ar + H <sub>2</sub> (up to 20%) – <sup>(1)</sup> Ar + He (up to 70%) Ar + He + H <sub>2</sub> <sup>(1)</sup> Ar + N <sub>2</sub> <sup>(2)</sup>	Ar N <sub>2</sub> <sup>(2)</sup> N <sub>2</sub> + 10% H <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>
P.A.W. (Plasma Arc Welding)	Idem G.T.A.W.	Idem G.T.A.W.
G.M.A.W. (Gas Metal Arc Welding / MIG)	98% Ar + 2% O <sub>2</sub> 97% Ar + 3% CO <sub>2</sub> 95% Ar + 3% CO <sub>2</sub> + 2% H <sub>2</sub> <sup>(1)</sup> 83% Ar + 15% He + 2% CO <sub>2</sub> 69% Ar + 30% He + 1% O <sub>2</sub> 90% He + 7.5% Ar + 2.5% CO <sub>2</sub>	Idem G.T.A.W.
F.C.A.W. (Flux Cored Arc Welding)	No 97% Ar + 3% CO <sub>2</sub> 80% Ar + 20% CO <sub>2</sub>	No Idem G.T.A.W.
L.B.W. (Laser Beam Welding)	He Ar	Idem G.T.A.W.
Ar: argon; H <sub>2</sub> : hydrogen; He: helium; N <sub>2</sub> : nitrogen; CO <sub>2</sub> : carbon dioxide		

<sup>(1)</sup> Hydrogen-containing mixtures must not be used for welding ferritic, martensitic or duplex stainless steels.

<sup>(2)</sup> For welding nitrogen-containing austenitic and duplex stainless steels, nitrogen can be added to the shielding gas.

Taulukko A.4.2. Suositeltavia hitsauslisäaineita ruostumattomien terästen hitsauksessa.

Base Material			Welding Consumables		
EN 10088		AISI <sup>(1)</sup>	EN 1600	EN 12072	EN 12073
Name	Number		Covered Electrodes <sup>(2)</sup>	Wires and Rods <sup>(3)</sup>	Flux Cored Electrodes <sup>(4)</sup>
X5CrNi18-10	1.4301	304	E 19 9	G 19 9 L	T 19 9 L
X2CrNi18-9	1.4307	304 L	E 19 9 L	G 19 9 L	T 19 9 L
X2CrNi19-11	1.4306				
X5CrNiTi18-10	1.4541	321	E 19 9 Nb	G 19 9 Nb	T 19 9 Nb
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	316	E 19 12 2	G 19 12 3 L	T 19 12 3 L
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	316 L	E 19 12 3 L	G 19 12 3 L	T 19 12 3 L
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	316 Ti	E 19 12 3 Nb	G 19 12 3 Nb	T 19 12 3 Nb
X2CrNiMo18-15-4	1.4438	317 L	E 19 13 4 N L	G 19 13 4 L	T 13 13 4 N L
X10CrNi18-8	1.4310	301	E 19 9	G 19 9 L	T 19 9 L
X2CrNiN18-7	1.4318	301 L	E 19 9 L	G 19 9 L	T 19 9 L
X12CrNi23-13	1.4833	309 S	E 22 12	G 22 12 H	T 22 12 H
X8CrNi25-21	1.4845	310 S	E 25 20	G 25 20	T 25 20
X25CrNiMo18-15-4	1.4438	317 L	E 19 13 4 N L	G 19 13 4 L	T 13 13 4 N L
X2CrTi12	1.4512	409	E 19 9 L	G 19 9 L	T 13 Ti
X6Cr17	1.4016	430	E 17 or 19 9 L	G 17 or 19 9 L	T 17 or 19 9 L
X3CrTi17	1.4510	430 Ti / 439	E 23 12 L	G 23 12 L	T 23 12 L
X2CrMoTi18-2	1.4521	444	E 19 12 3 L	G 19 12 3 L	T 19 12 3 L
X2CrTiNb18	1.4509	441	E 23 12 L	G 23 12 L	T 23 12 L
X6CrMo17-1	1.4113	434	E 19 12 3 L	G 19 12 3 L	T 19 12 3 Nb
X2CrNiN23-4	1.4362	-	E 25 7 2 N L	G 25 7 2 L	T 22 9 3 N L
X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	-	E 25 7 2 N L	G 25 7 2 L	T 22 9 3 N L
X12Cr13	1.4006	410	E 13 or 19 9 L	G 13 or 19 9 L	T 13 or 19 9 L
X20Cr13	1.4021	-	E 13 or 19 9 L	G 13 or 19 9 L	T 13 or 19 9 L
X30Cr13	1.4028	420	E 13 or 19 9 L	G 13 or 19 9 L	T 13 or 19 9 L

<sup>(1)</sup> AISI: American Iron and Steel Institute

<sup>(2)</sup> Covered electrodes for manual metal arc welding of stainless and heat resisting steels. There are two basic flux coverings: basic (B) or lime (direct current) and rutile ( R ) or titania (di rector alternating current)

<sup>(3)</sup> Wire electrodes, wires and rods for arc welding of stainless and heat-resisting steels: G for G.M.A.W., W for G.T.A.W., P for P.A.W. or S for S.A.W.

<sup>(4)</sup> Tubular cored electrodes for metal arc welding with or without a gas shield of stainless and heat resisting steels



## Liite A.5. Pinnanlaadut standardin SFS-EN 10088-2:n mukaisesti

Levyjen arkki ja nauhojen käsittelytilat ja pinnanlaadut 1)

	Lyhenne 2)	Käsittelytila	Pinnanlaatu	Huomautukset
Kuuma- valssattu	1U	Kuumavalssattu, ei lämpökäsitelty, ei hilseenpoistoa	Pinnalla valssaushilsettä	Sopiva jatkovalmistukseen esim. edelleen valssattavat nauhat
	1C	Kuumavalssattu, lämpökäsitelty, ei hilseenpoistoa	Pinnalla valssaushilsettä	Sopiva osiin, joista hilse poistetaan tai jotka työstetään tai tiettyihin kuumalujiin sovelluksiin
	1E	Kuumavalssattu, lämpökäsitelty, mekaaninen hilseenpoisto	Hilseetön	Hilseenpoistomenetelmä, esim. karkea hionta tai kuulapuhallus, riippuu teräslajista ja tuotteesta, ja se on valmistajan valittavissa, ellei toisin sovi.
	1D	Kuumavalssattu, lämpökäsitelty, peitattu	Hilseetön	Tavallinen pinnanlaatu useimmille teräksille haluttaessa hyvää korroosionkestävyyttä. Myös yleinen pinnanlaatu jatkojalostukseen. Hiontajäljet ovat sallittuja. Ei yhtä sileää kuin 2D tai 2B.
Kylmä- valssattu	2H	Muokkauslujitettu	Kirkas	Kylmämuokattu lujuuden lisäämiseksi
	2C	Kylmävalssattu, lämpökäsitelty, ei hilseenpoistoa	Sileä, pinnalla hehkutushilsettä	Sopiva osiin, joista hilse poistetaan tai jotka työstetään tiettyihin kuumalujiin sovelluksiin.
	2E	Kylmävalssattu, lämpökäsitelty, mekaaninen hilseenpoisto	Karhea ja mattamainen pinta	Tavallinen pinnanlaatu vaikeasti peitattaville teräksille. Pinta voidaan peitata jälkepäin.
	2D	Kylmävalssattu, lämpökäsitelty, peitattu	Sileä	Sopiva muovaukseen. Ei yhtä sileää kuin 2B tai 2R.
	2B	Kylmävalssattu, lämpökäsitelty, peitattu, viimeistelyvalssattu	Sileämpi kuin 2D	Tavallisin pinnanlaatu useimmille teräksille haluttaessa hyvää korroosionkestävyyttä, sileyttä ja tasomaisuutta. Myös yleinen pinnanlaatu jatkojalostukseen. Viimeistelyvalssaus voidaan korvata venytysoikaisulla.
	2R	Kylmävalssattu, kiiltohehkutettu 3)	Sileä, kirkas ja heijastava	Sileämpi ja kiiltävämpi kuin 2B. Tavallinen pinnanlaatu jatkojalostukseen.
	2Q	Kylmävalssattu, karkaistu ja päästetty, hilseetön	Hilseetön	Joko karkaistu ja päästetty suojaakaasussa tai hilseenpoisto lämpökäsittelyn jälkeen

1) Kaikki valmistusmenetelmät ja pinnanlaadut eivät sovellu jokaiselle teräslajille.

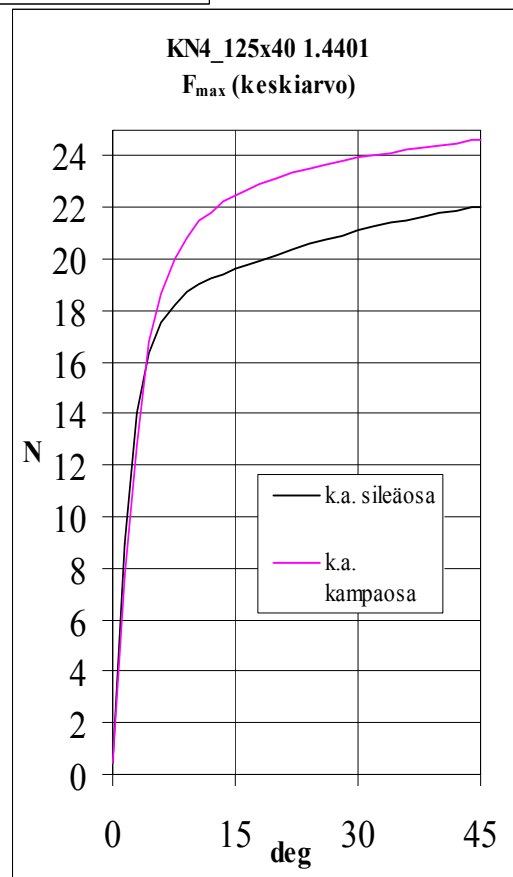
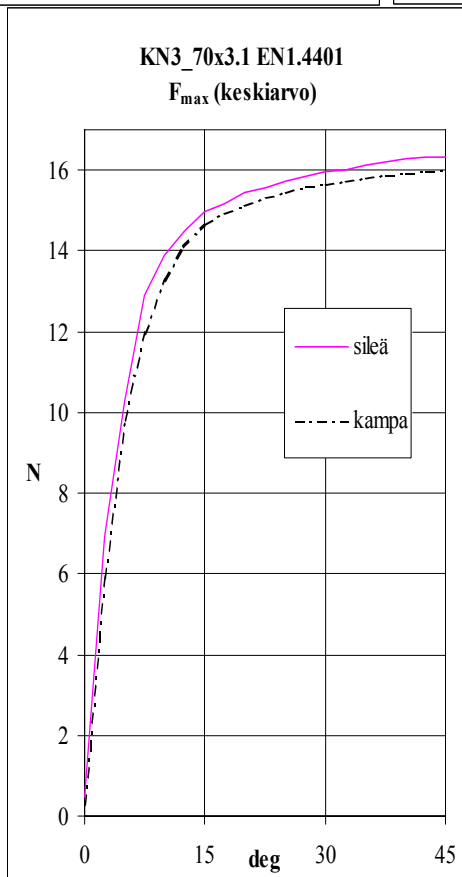
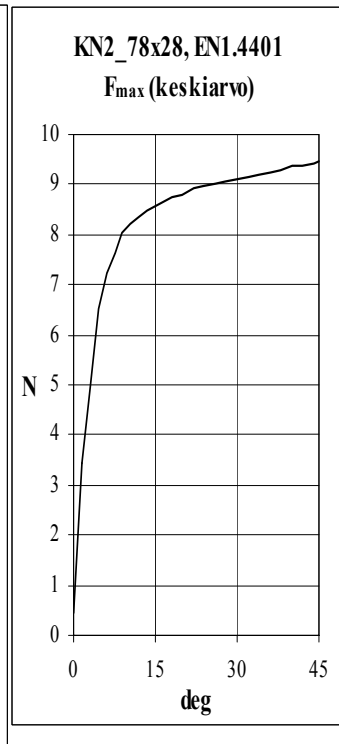
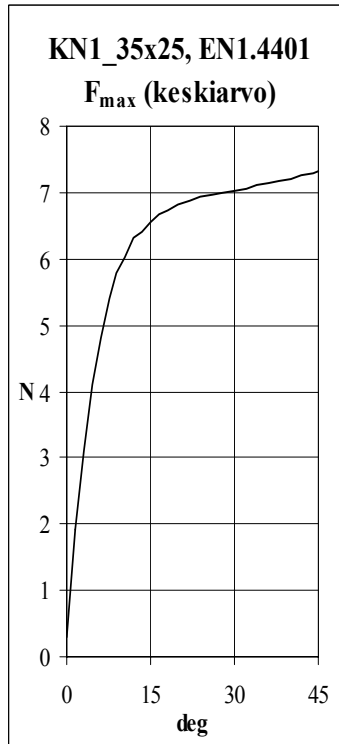
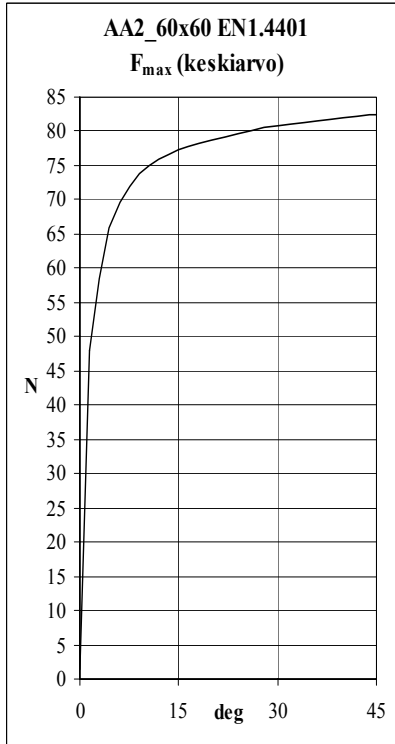
2) Ensimmäinen merkki, 1 = kuumavalssattu, 2 = kylmävalssattu.

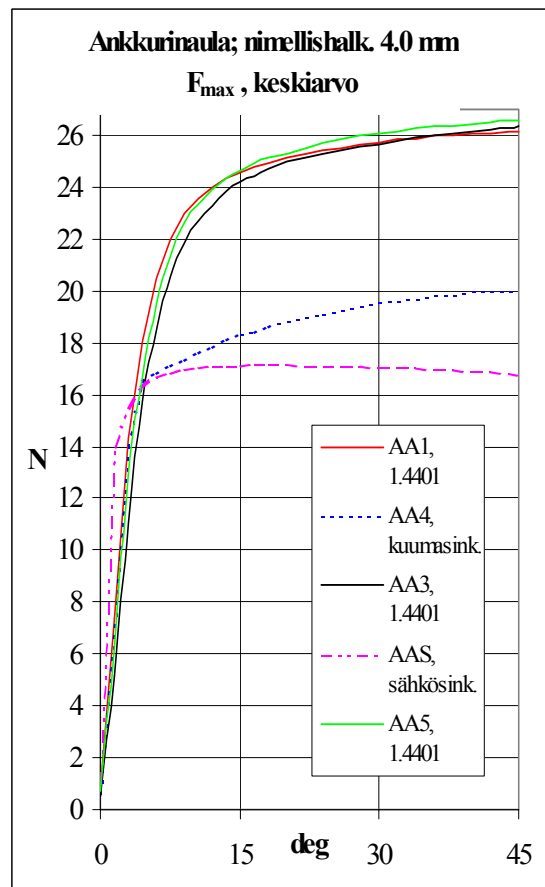
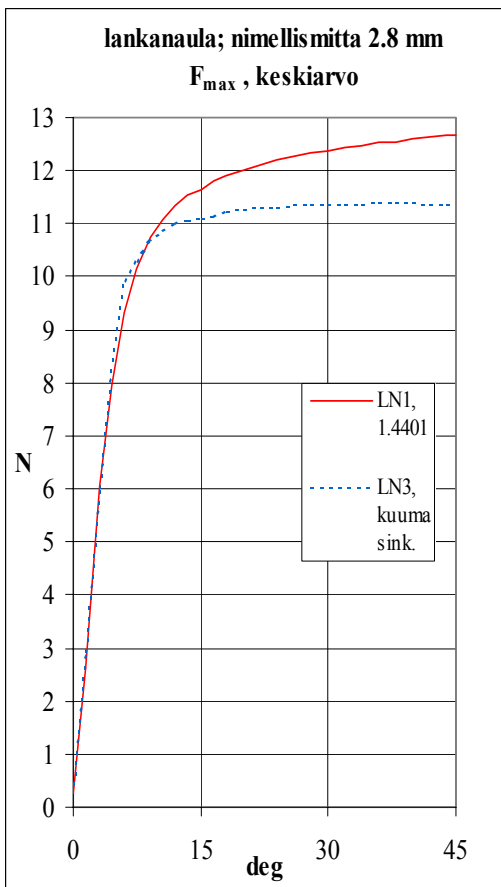
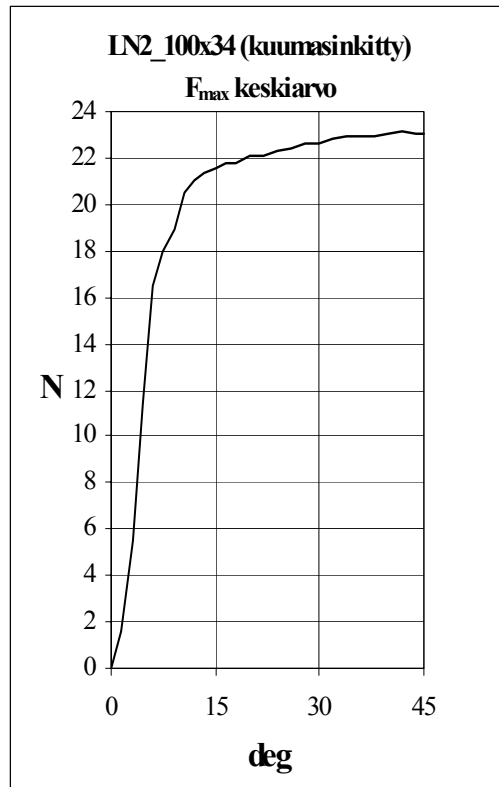
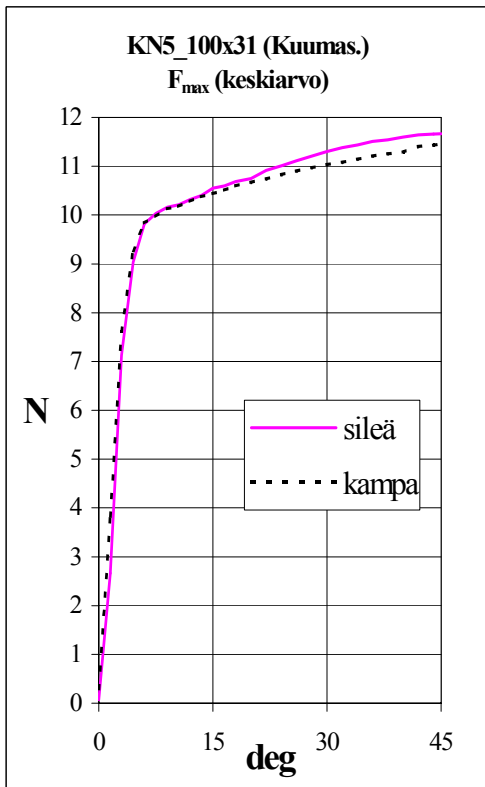
3) Voidaan viimeistelyvalssata.



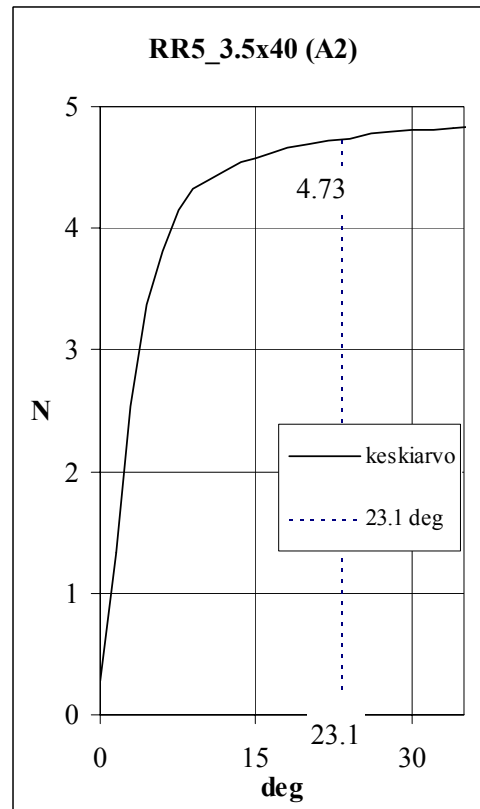
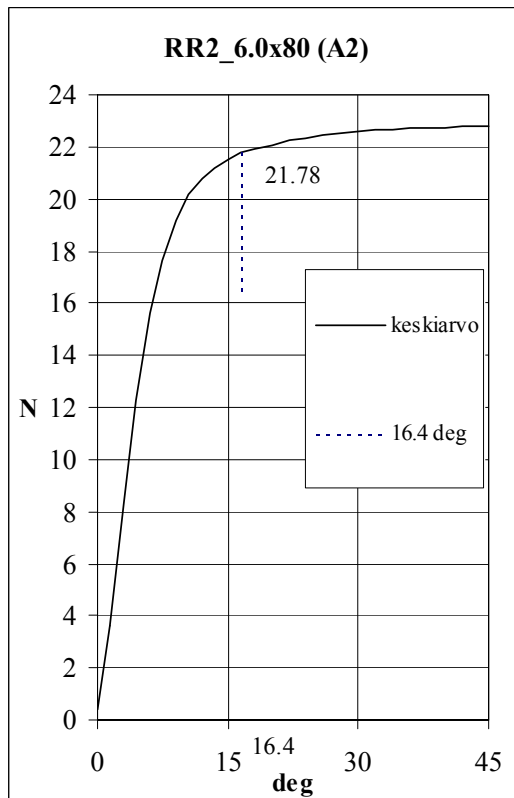
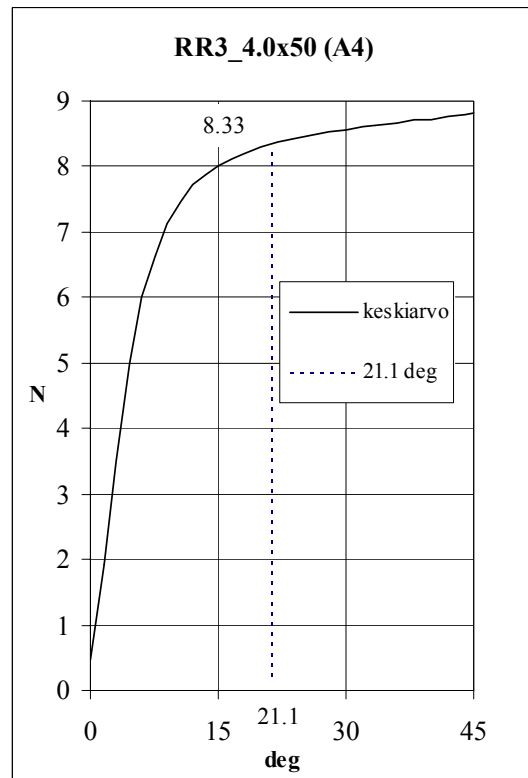
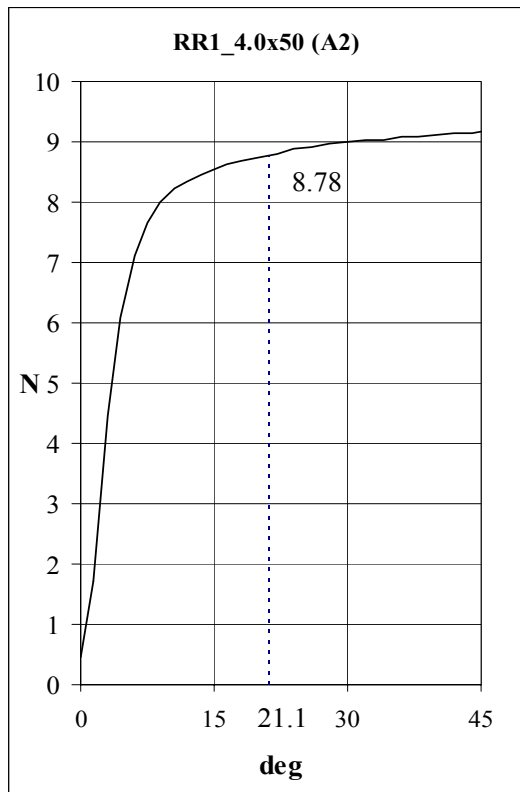
# Liite B: Myötömomenttikokeen voimakulmakuvaaja

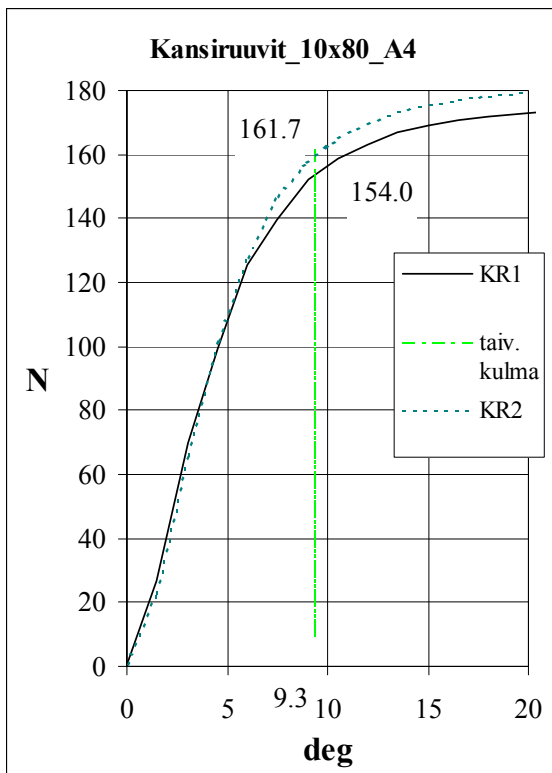
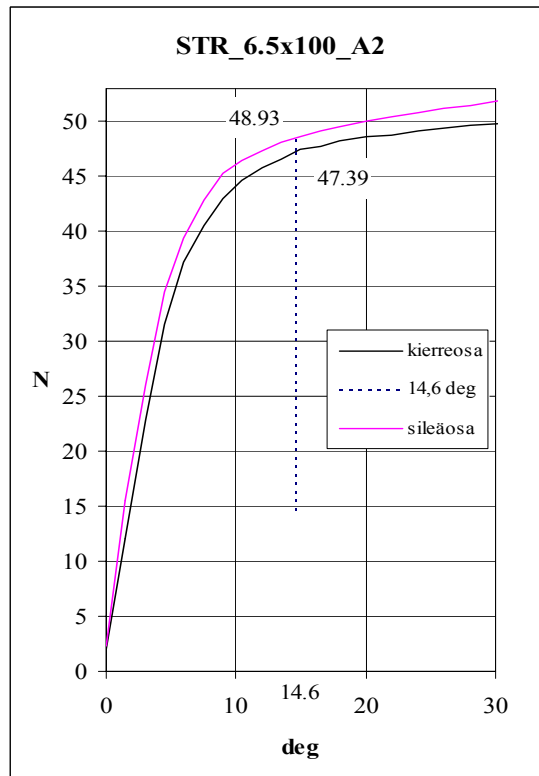
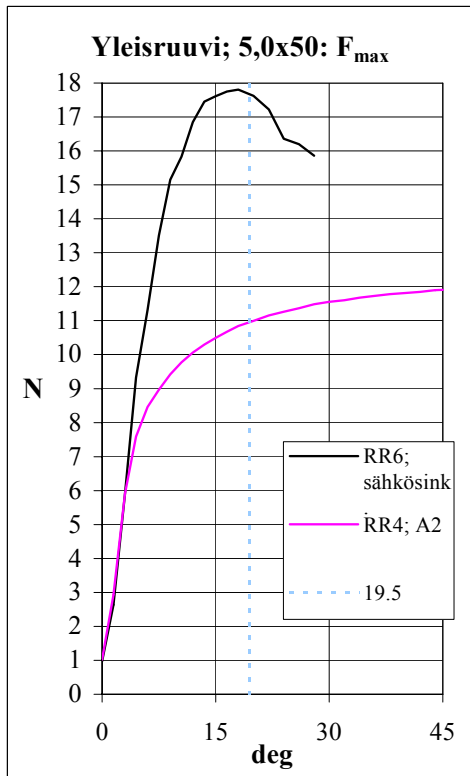
## Naulat



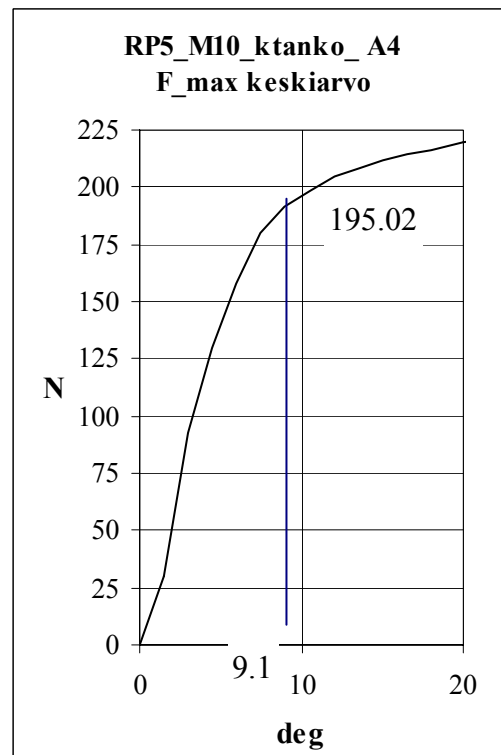


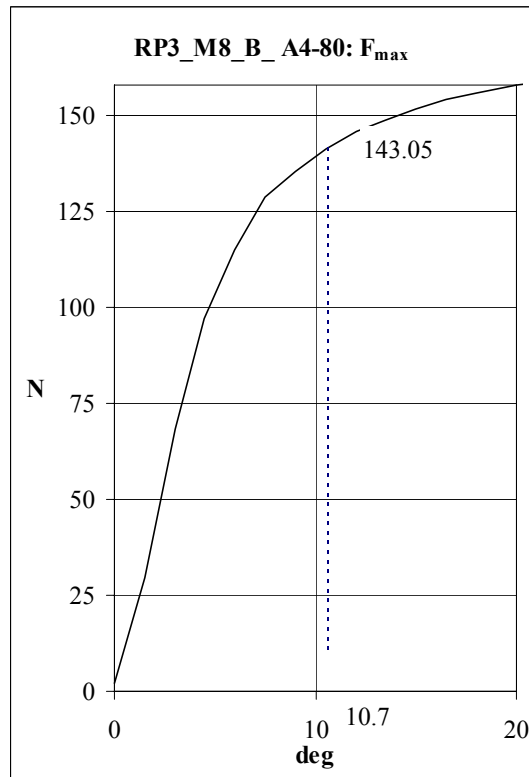
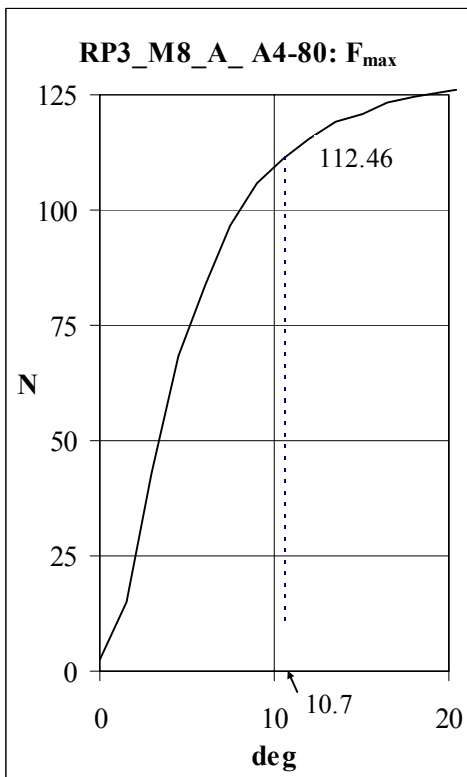
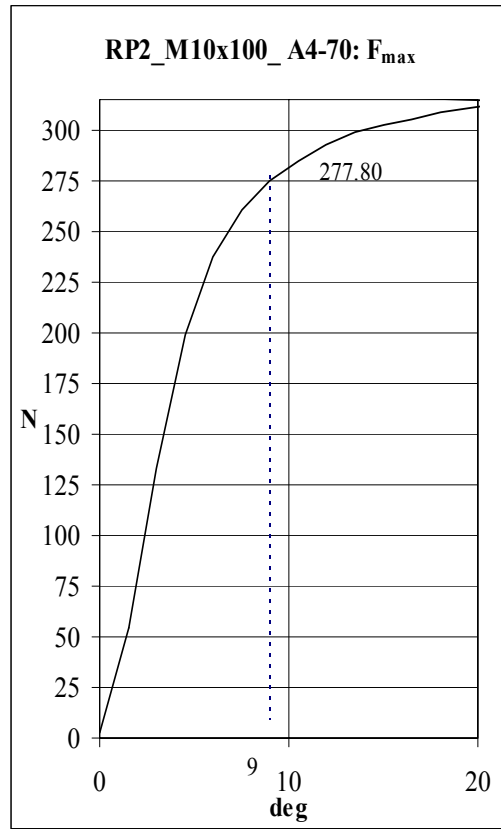
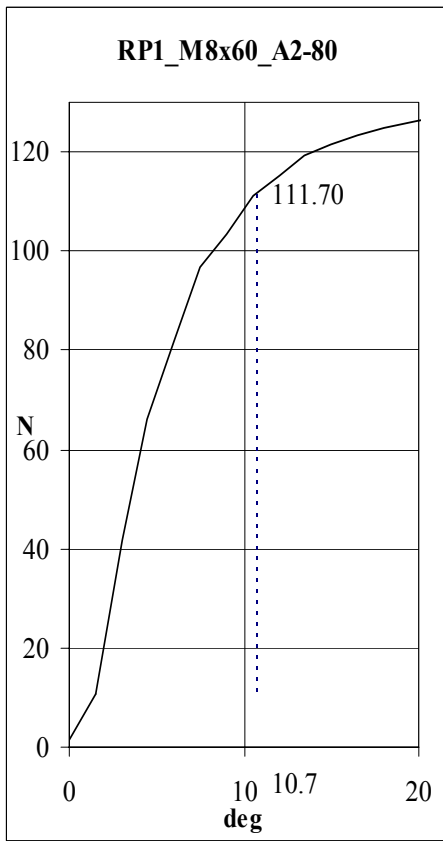
## Ruuvit

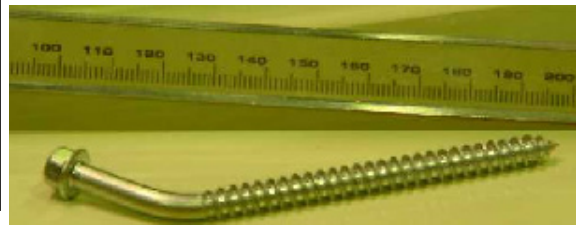
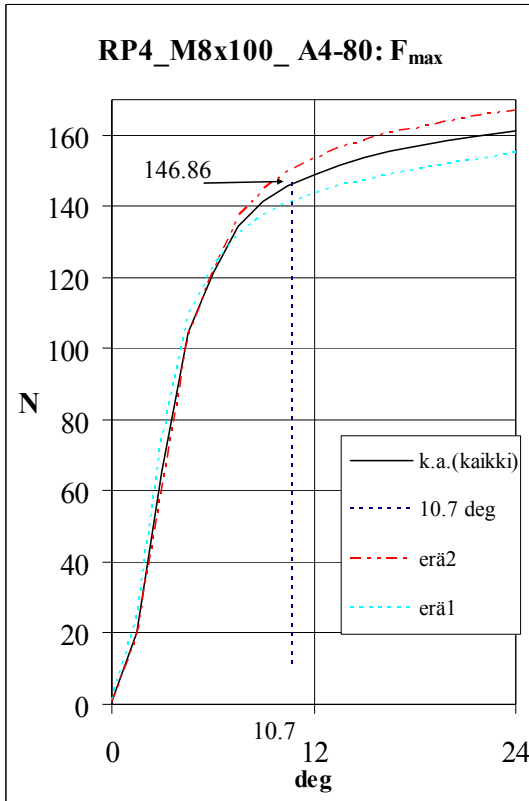




Pulttien voima-kulma kuvaajia.







*Testattuja liittimiä.*



# Liite C: Ulosvetokokeiden tulokset

Taulukko C.1. Ulosvetokokeiden tulokset.

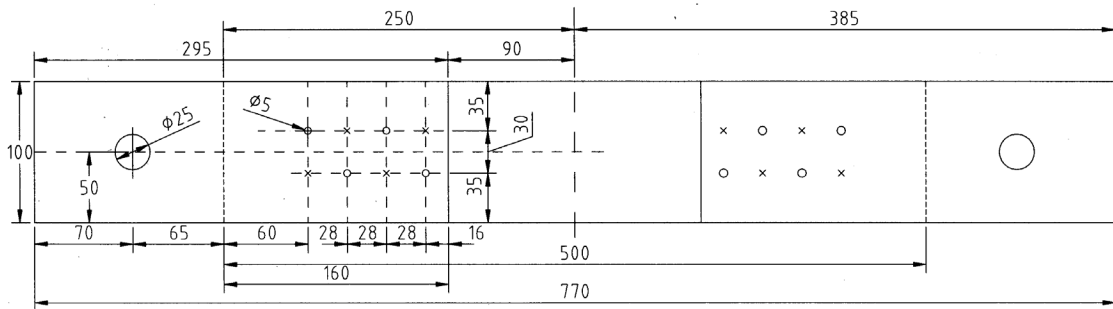
Liitin	Kosteus-%	Tiheys $\rho_w$ kg/m <sup>3</sup>	Tiheys $\rho_o$ kg/m <sup>3</sup>	$F_{max}$ [kN] Tangentin suuntaan, T	$F_{max}$ [kN] Säteen suun- taan, R		
Saha							
AA1	14,6	474	414	1,37	1,37	tunkeuma $l_p$	
AA1	14,7	478	417	1,33	1,23	30	mm
AA1	14,8	461	401	1,36	1,26	halkaisija d	
AA1	14,2	461	404	1,20	1,19	4,01	mm
AA1	14,9	451	393	1,55	1,07		
	14,6	463	406	1,29		keskiarvo	kN
		11,1		0,13		hajonta	10,3 %
Kerto-S							
AA1	11,7	522	467	1,78		tunkeuma $l_p$	
AA1	11,3	549	494	1,92		30	
AA1	11,8	533	477	1,84		halkaisija d	
AA1	11,7	538	482	1,94		4,01	
AA1	11,6	540	483	1,82			
	11,6	540	481	1,86		keskiarvo	kN
		9,97		0,07		hajonta	3,7%
Saha							
AA2	12,9	440	389	1,30	2,03	tunkeuma $l_p$	
AA2	13,0	433	383	1,77	2,07	40	
AA2	13,2	444	392	2,19	1,99	halkaisija d	
AA2	13,1	428	379	1,64	1,90	6,01	
AA2	13,0	442	392	1,62	2,01		
	13,1	437	387	1,85		keskiarvo	kN
		6,6		0,27		hajonta	14,5 %
Saha							
AAS	14,7	460	402	1,38	1,01	tunkeuma $l_p$	
AAS	14,7	459	400	1,11	0,75	30	mm
AAS	14,6	478	417	1,26	1,28	halkaisija d	
AAS	14,8	462	403	1,46	1,06	4,01	mm
AAS	14,8	458	398	1,06	1,24		
	14,7	464	404	1,18		keskiarvo	kN
		8,4		0,13		hajonta	11,3 %
Oheisen naulan testituloksissa on jätetty huomioimatta pienin ja suurin voima, koska pienin tulos poikkeaa oleellisesti muista.							
Kerto-S							
AAS	11,8	521	465	1,83		tunkeuma $l_p$	
AAS	11,7	532	476	1,65		30	mm
AAS	11,6	546	489	1,55		halkaisija d	
AAS	11,6	534	479	1,84		4,01	mm
AAS	11,7	542	486	1,90			
	11,7	539	479	1,75		keskiarvo	kN
		9,9		0,15		hajonta	8,3 %

				$F_{\max}$ [kN]	$F_{\max}$ [kN]		
Liitin	Kosteus-%	Tiheys $\rho_w$ kg/m <sup>3</sup>	Tiheys $\rho_o$ kg/m <sup>3</sup>	Tangentin suuntaan, T	Säteen suun- taan, R		
Saha							
KN2	14,2	450	394	0,45	0,58	tunkeuma $l_p$	
KN2	14,6	462	403	0,55	0,73	30	mm
KN2	14,7	468	408	0,65	0,64	halkaisija d	
KN2	14,7	466	406	0,80	0,76	2,8	mm
KN2	14,4	451	394	0,45	0,23		
	14,6	461	401	0,60		keskiarvo kN	
		8,3		0,11		hajonta	19,1 %
Oheisen naulan testituloksissa on jätetty huomioimatta pienin ja suurin voima, koska pienin tulos poikkeaa oleellisesti muista.							
Kerto-S							
KN2	10,0	526	478	1,22		tunkeuma $l_p$	
KN2	10,0	534	485	1,15		30	mm
KN2	10,1	534	485	1,34		halkaisija d	
KN2	10,1	528	480	0,96		2,80	mm
KN2	10,1	528	479	1,07			
	10,1	531	481	1,15		keskiarvo kN	
		3,7		0,14		hajonta	12,5 %
Saha							
KN3	14,5	439	384	0,80	0,91	tunkeuma $l_p$	
KN3	14,2	422	369	0,79	0,65	30	mm
KN3	14,4	438	383	0,71	0,94	halkaisija d	
KN3	14,4	438	383	0,81	0,91	3,13	mm
KN3	14,4	445	389	0,80	0,76		
	14,4	436	382	0,81		keskiarvo	
		8,4		0,09		hajonta	11,3 %
Saha							
KN5	14,5	427	373	0,86	0,88	tunkeuma $l_p$	
KN5	14,6	422	368	1,20	1,14	30	mm
KN5	14,4	446	389	0,78	0,75	halkaisija d	
KN5	14,2	434	380	0,72	0,90	3,27	mm
KN5	14,7	422	368	1,07	1,19		
	14,5	431	376	0,95		keskiarvo kN	
		10,1		0,18		hajonta	19,4 %
Saha							
AR	13,3	419	370	3,34	2,29	tunkeuma $l_p$	
AR	14,0	493	432	3,13	2,73	30	mm
AR	13,9	495	434	3,24	2,71	halkaisija d	
AR	13,3	474	418	3,02	2,87	4,73	$d_{\text{kierre}}$
AR	14,2	465	407	2,96	2,93	3,49	$d_{\text{eff}}$
	13,9	481	412	2,92		keskiarvo kN	
		30,7		0,30		hajonta	10,3 %

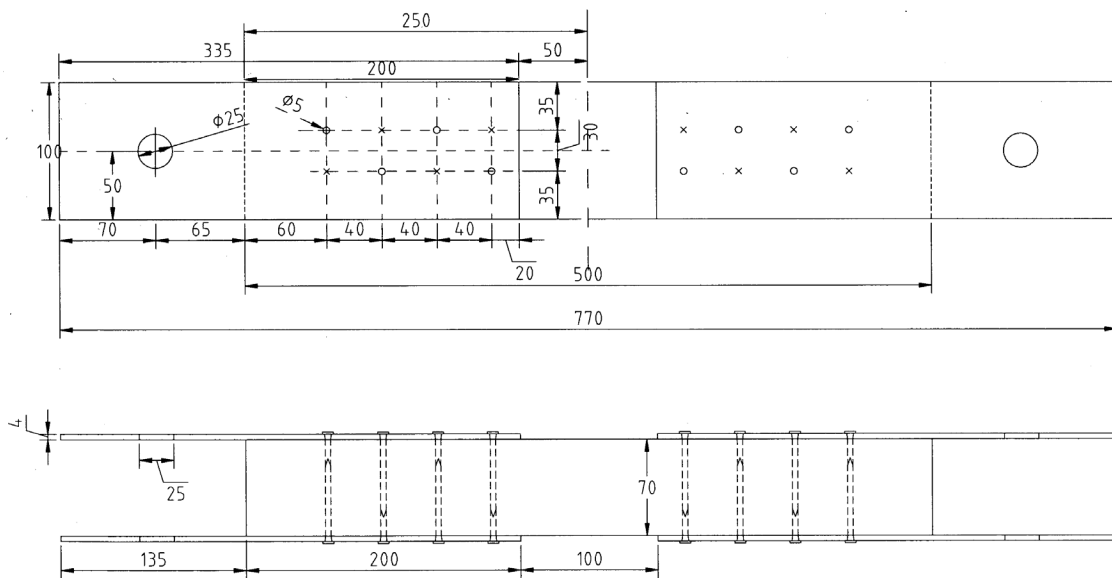
				$F_{max}$ [kN]	$F_{max}$ [kN]		
Liitin	Kosteus-%	Tiheys $\rho_w$ kg/m <sup>3</sup>	Tiheys $\rho_o$ kg/m <sup>3</sup>	Tangentin suuntaan, T	Säteen suun- taan, R		
AR	11,6	518	464	2,85		tunkeuma $l_p$	
AR	11,6	547	490	2,96		30	mm
AR	11,7	570	510	2,95		halkaisija d	
AR	11,5	549	493	2,89		4,73	$d_{kierre}$
AR	11,8	557	498	3,17		3,49	$d_{eff}$
	11,7	556	491		2,96	keskiarvo	kN
		19,2			0,13	hajonta	4,2%
Saha							
RR2	13,1	444	393	3,04	2,91	tunkeuma $l_p$	
RR2	14,4	419	367	3,02	2,65	30	mm
RR2	14,6	423	370	2,75	2,78	halkaisija d	
RR2	14,8	454	395	2,93	3,21	6,0	mm
RR2	14,5	418	365	2,76	2,54		
	14,5	429	378		2,86	keskiarvo	kN
		16,1			0,20	hajonta	7,0 %
Saha							
RR3	14,9	481	419	2,73	2,88	tunkeuma $l_p$	
RR3	15,1	483	420	2,39	2,81	30	mm
RR3	14,4	441	386	1,87	1,80	halkaisija d	
RR3	14,9	460	400	2,47	2,31	4,05	mm
RR3	14,9	461	401	2,28	2,04		
	14,8	461	405		2,36	keskiarvo	kN
		17,3			0,38	hajonta	16,0 %
Saha							
RR7	13,2	414	366	3,32	3,08	tunkeuma $l_p$	
RR7	13,1	438	387	3,31	3,49	35	mm
RR7	13,7	467	411	3,63	4,13	halkaisija d	
RR7	14,2	448	392	3,51	3,94	5,91	mm
RR7	13,4	462	407	3,93	3,59		
	13,6	454	399		3,59	keskiarvo	kN
		21,2			0,33	hajonta	9,1 %
Kerto-S							
RR7	12,0	547	489	3,85		tunkeuma $l_p$	
RR7	12,0	548	489	3,81		35	mm
RR7	12,0	544	485	3,68		halkaisija d	
RR7	12,0	542	484	3,50		5,91	mm
RR7	11,9	551	492	2,90			
	12,0	546	488		3,55	keskiarvo	kN
		3,3			0,39	hajonta	10,9 %

				$F_{max}$ [kN]	$F_{max}$ [kN]		
Liitin	Kosteus-%	Tiheys $\rho_w$ kg/m <sup>3</sup>	Tiheys $\rho_o$ kg/m <sup>3</sup>	Tangentin suuntaan, T	Säteen suun- taan, R		
Saha							
KR1	12,96	431	381	6,47	6,54	tunkeuma $l_p$	
KR1	12,97	437	387	7,21	5,91	46	mm
KR1	12,98	452	400	6,70	5,29	halkaisija d	
KR1	12,85	443	393	6,47	4,78	9,69	mm
KR1	12,97	438	388	6,56	5,47		
	12,9	442	390	6,14		keskiarvo	kN
		7,8		0,75		hajonta	12,2 %
Kerto-S							
KR1	11,7	559	501	virheellinen koejärjestely		tunkeuma $l_p$	
KR1	11,6	555	498	5,40		40	mm
KR1	11,8	562	503	4,96		halkaisija d	
KR1	11,7	559	501	5,82		9,69	
KR1	11,6	557	499	6,06			
	11,7	558	500	5,56		keskiarvo	kN
		2,7		0,49		hajonta	8,7 %

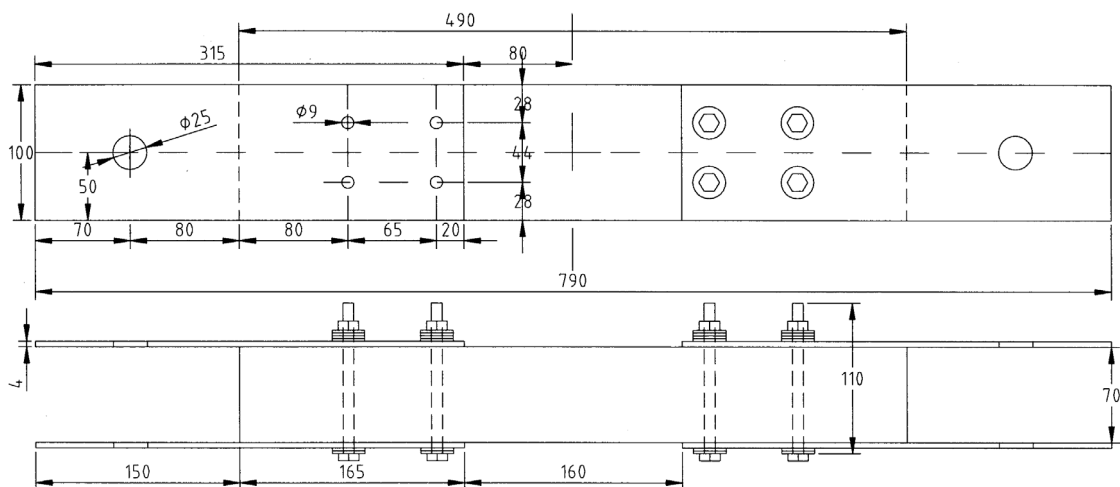
## Liite D: Vetoliitoskoe



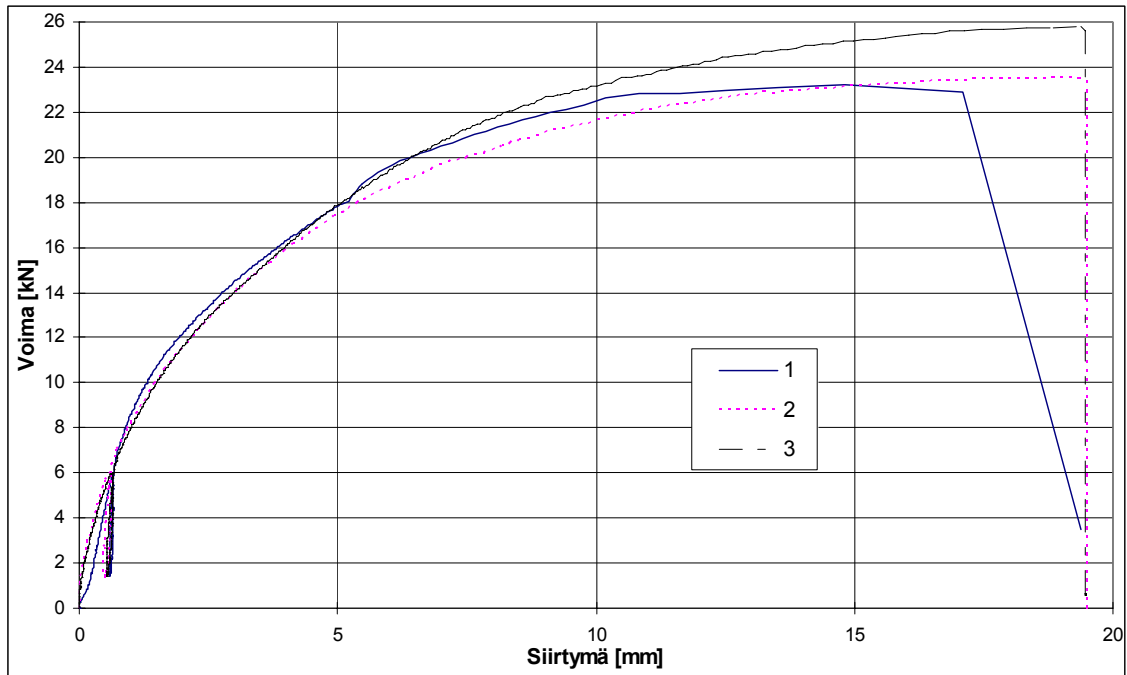
Kuva D.1. Koesarja VTS1-2-i (ankkurinaula 50x4,0) ja VTS3-2-i (ankkuriruuvi 5,0x40)



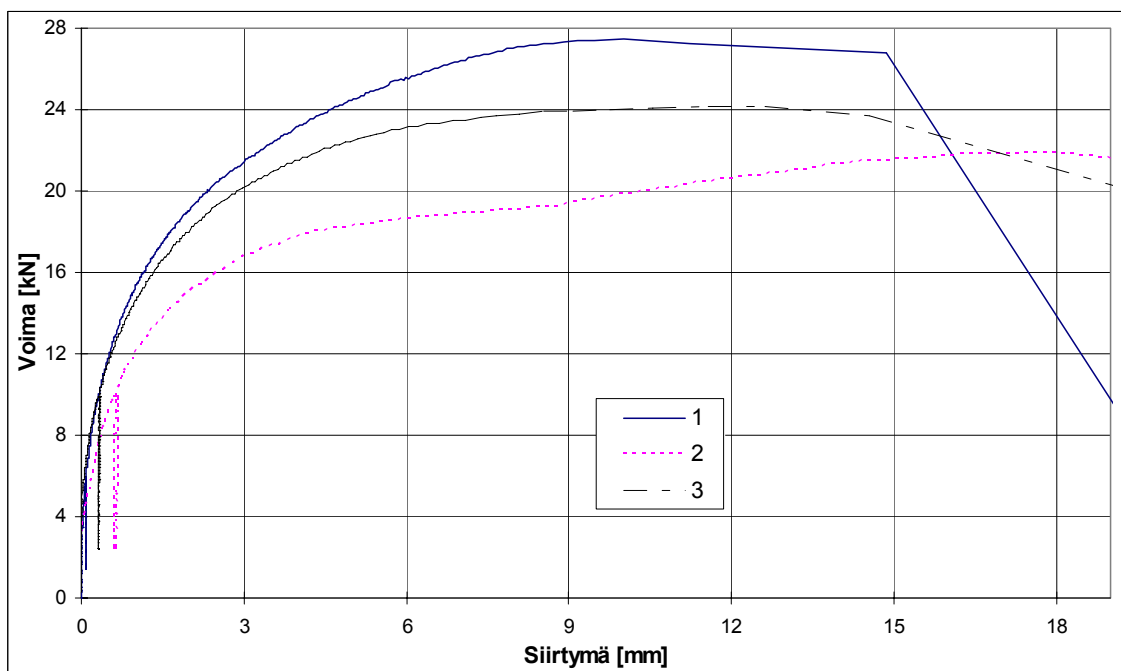
Kuva D.2. Koesarjat VTS2-4-i (ankkurinaula 60x4,0) ja KVT1-4-i (ankkurinaula 50x4,0), Kerto-S paksuus 51 mm.



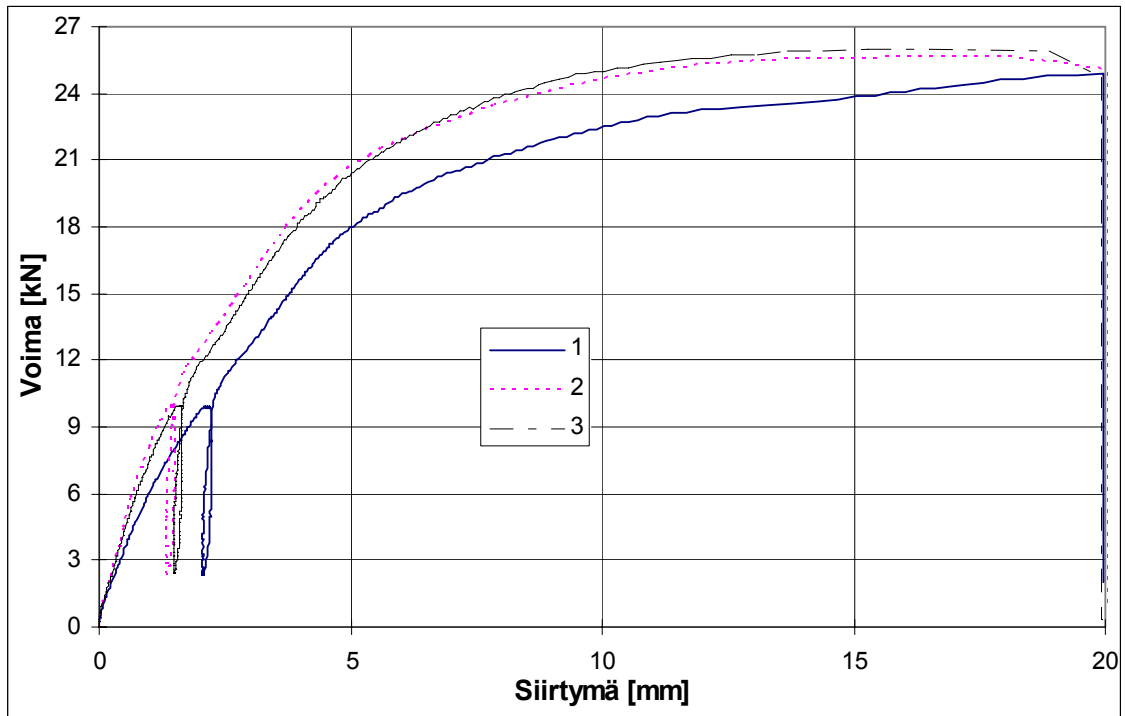
Kuva D.3. Koesarja VTS4-4-i.



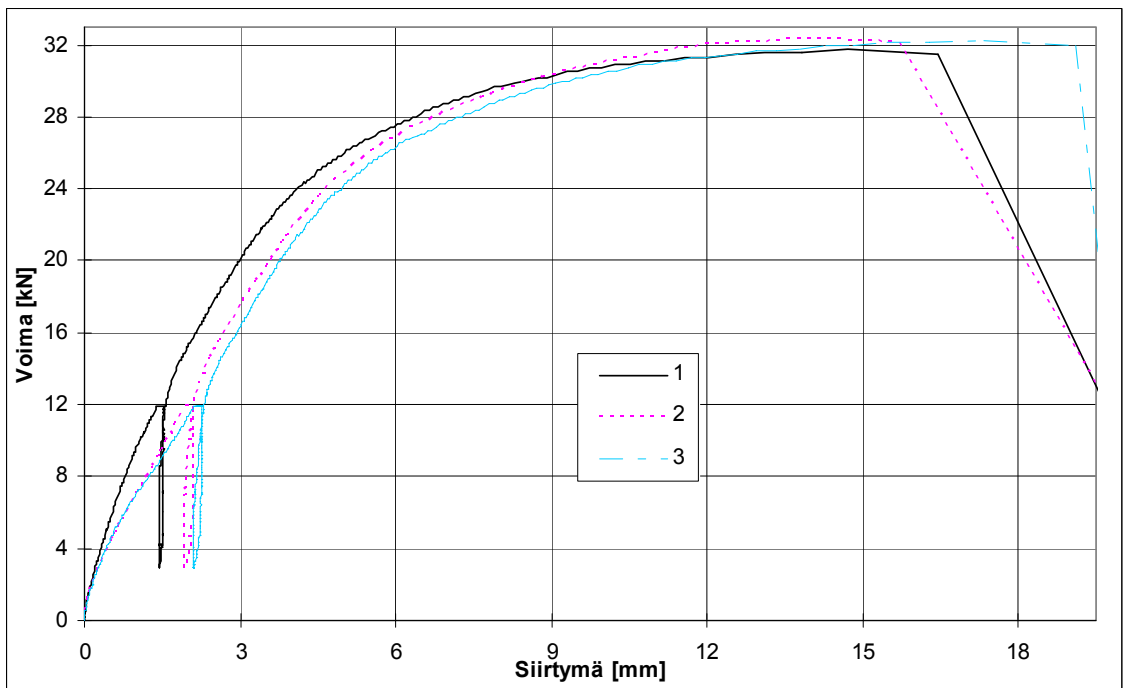
Kuva D.4. VTS1-2-i. Sahatava - rst-levy 2 mm, ankkurinaula 50x4,0. Siirtymä on keskiarvo, koekappaleen murtuneen päädyn rst-levyjen siirtymät suhteessa puuhun.



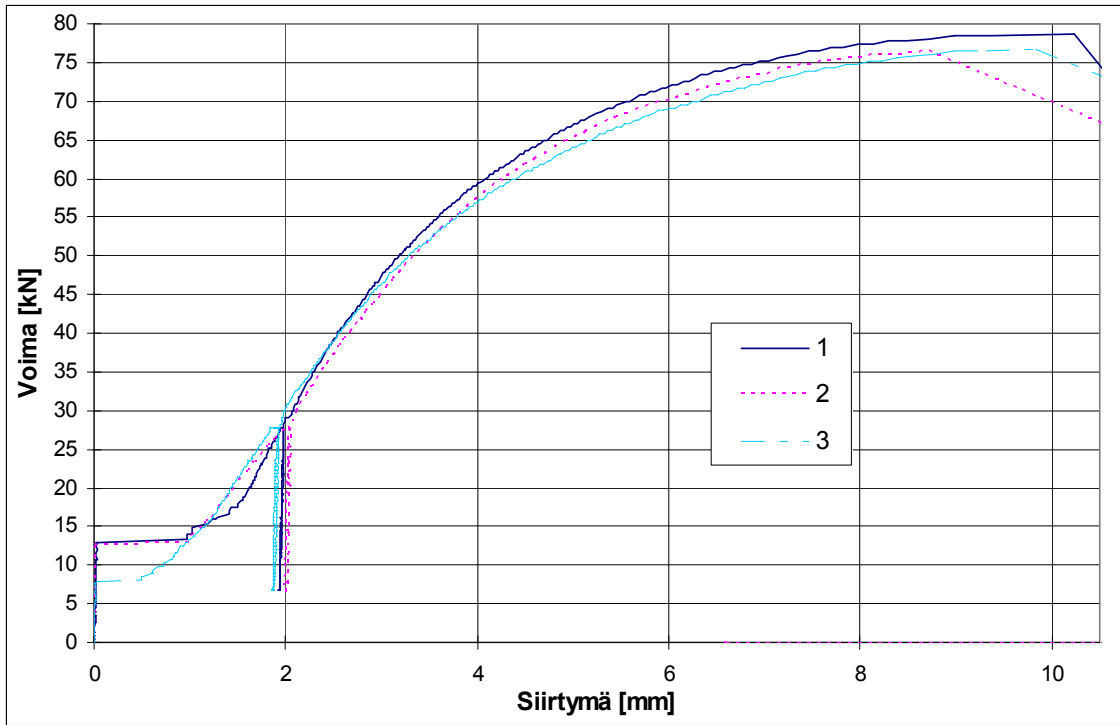
Kuva D.5. VTS3-2-i. Sahatava - rst-levy 2 mm, ankkuriruuvi 5,0x40.



Kuva D.6. VTS2-4-i. Sahatava - rst-levy 4 mm, ankkurinaula 60x4,0.



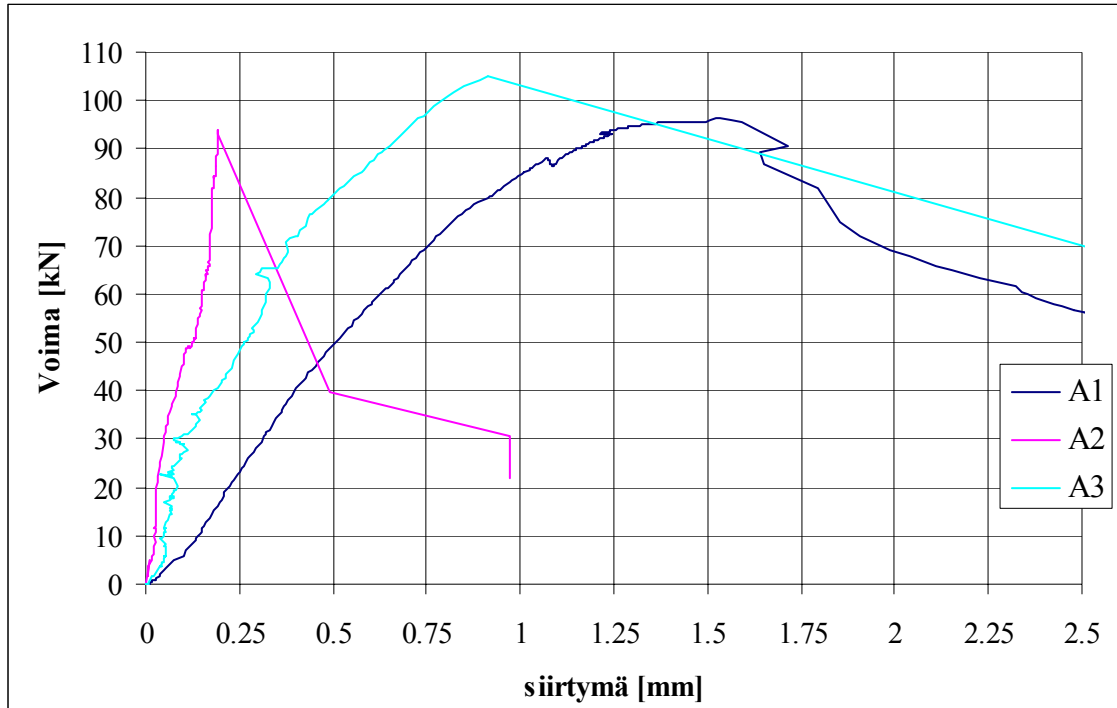
Kuva D.7. KVT1-4-i. Kerto-S - rst-levy 4 mm, ankkurinaula 50x4,0.



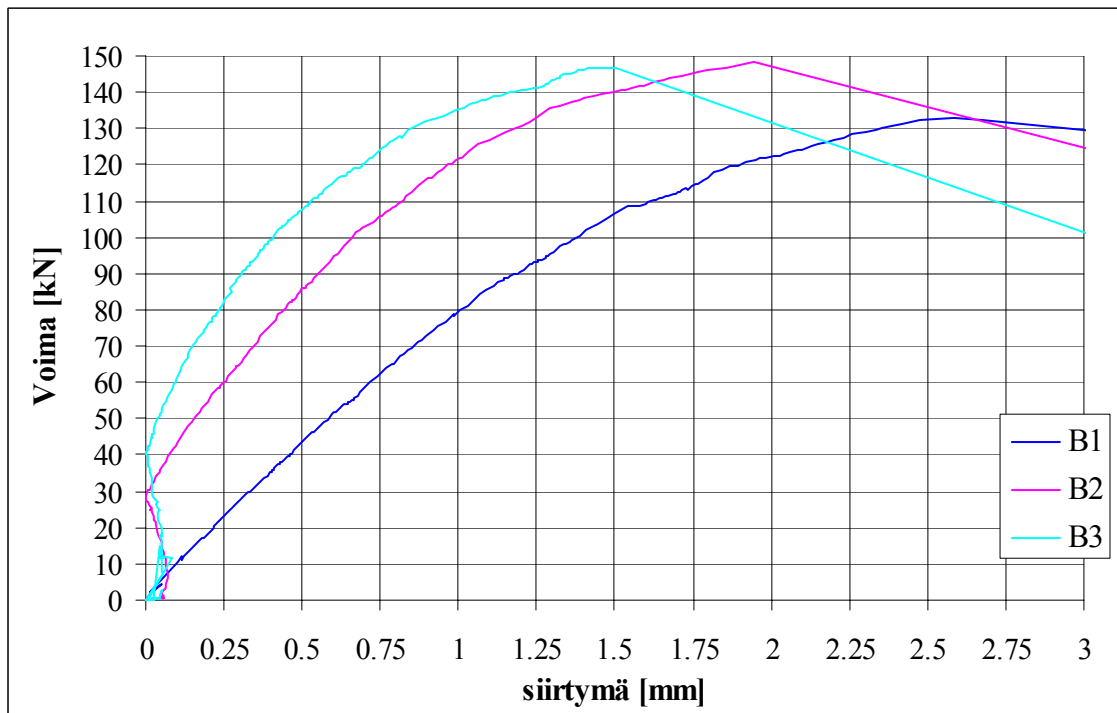
Kuva D.8. VTS4-4-i. Sahatavara - rst-levy 4 mm, pultti M8x110 A4-80.



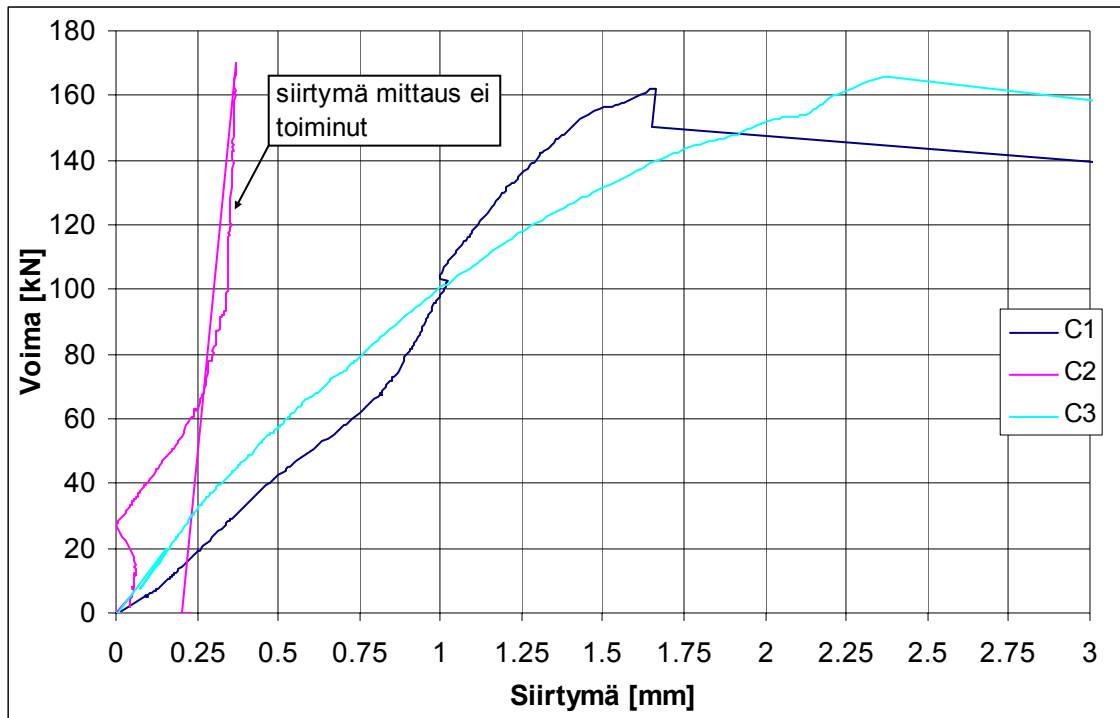
## Liite E: Liimattujen tankojen tartuntalujuus



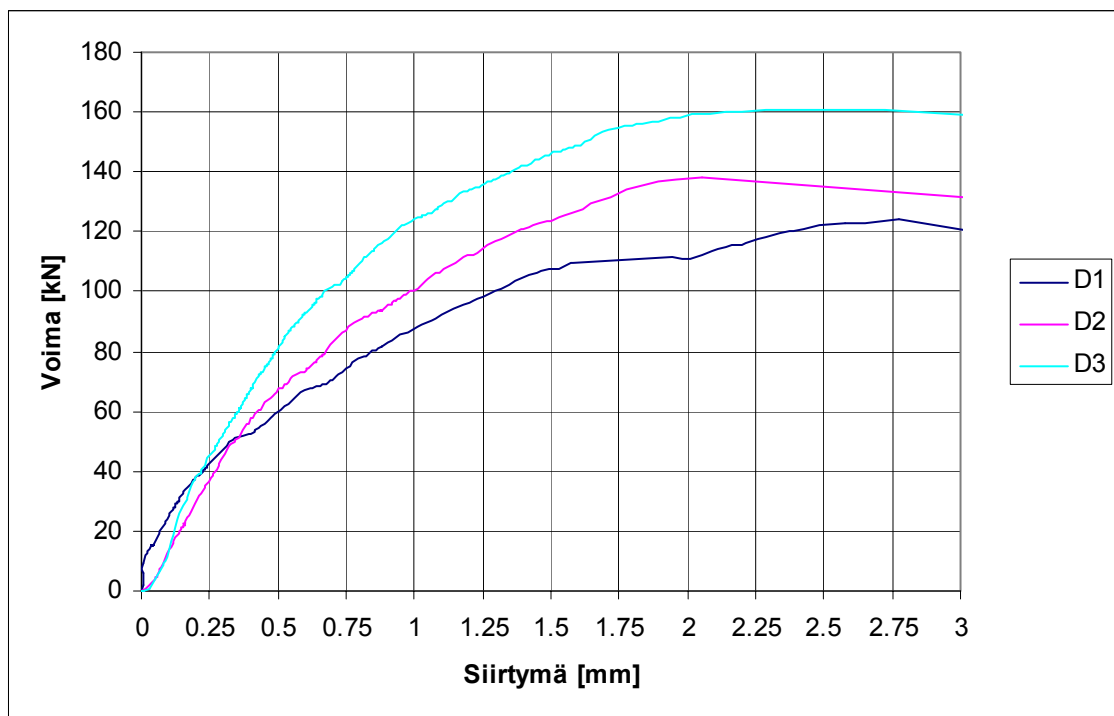
Kuva E.1. Sarja A. Liimatun terästangon tartuntakokeen voima-siirtymäkuvaaja.



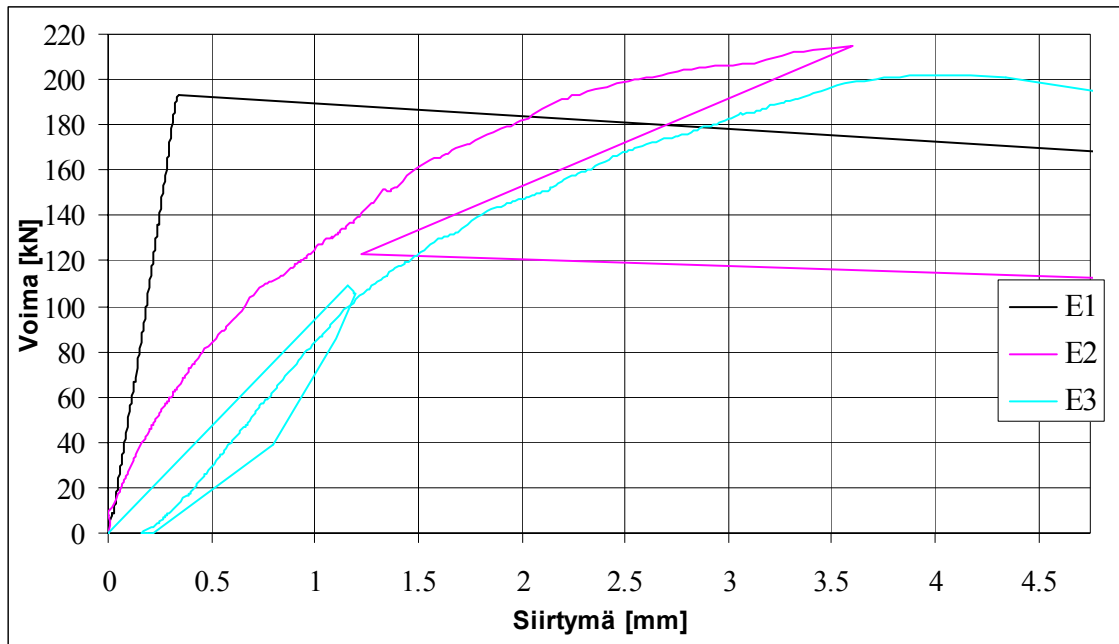
Kuva E.2. Sarja B. Liimatun terästangon tartuntakokeen voima-siirtymäkuvaaja.



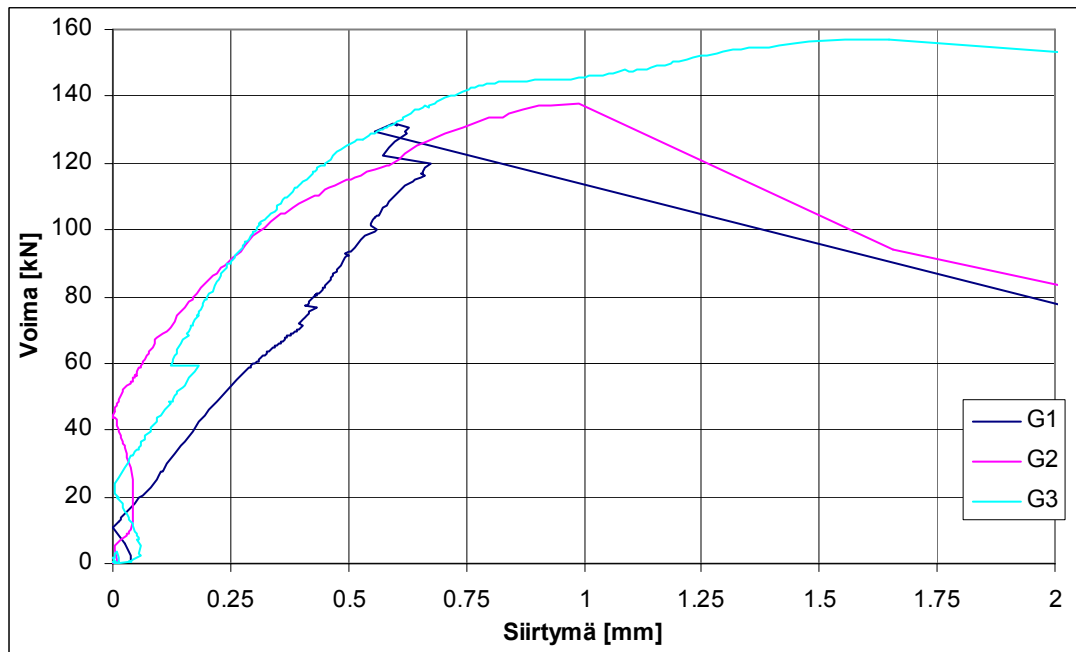
Kuva E.3. Sarja C. Liimatun terästangon tartuntakokeen voima-siirtymäkuvaaja.



Kuva E.4. Sarja D. Liimatun terästangon tartuntakokeen voima-siirtymäkuvaaja.



Kuva E.5. Sarja E. Liimatun terästangon tartuntakokeen voima-siirtymäkuvaaja.



Kuva E.6. Sarja G. Liimatun terästangon tartuntakokeen voima-siirtymäkuvaaja.



Tekijä(t) Yli-Koski, Rainer & Kevarinmäki, Ari			
Nimeke <b>Ruostumattomien terästen mitoitusperusteet puurakenteiden liitoksissa</b>			
Tiivistelmä <p>Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää ruostumattomien terästen mitoitusperusteita puurakenteiden liitoksissa ottaen huomioon rst-materiaalien hyvät lujuus- ja sitkeysominaisuudet. Tässä osatutkimuksessa rajoituttiin normaalilämpötilan mitoitukseen, ja testatut liitokset olivat teräs-puuliitoksia, joissa käytetään puikkoliittimiä. Lisäksi tehtiin puuhun liimattujen harjaterästankojen tartuntalujuuskokeita. Tutkimuksia ruostumattomien terästen käytöstä puurakenteissa löytyi vähän. Austeniittisia ruostumattomia teräksiä voidaan hitsata ja työstää hyvin. Materiaalin valinnassa tulee huomioida rakenteen käyttöolosuhteet, jotta saadaan kokonaisuuden kannalta taloudellinen ratkaisu. Yleisimmin on saatavilla teräslaaduista EN 1.4301 (A2) ja EN 1.4401 (A4) valmistettuja liittimiä ja -liitososia. Liittimen hinnoissa esiintyy suurta vaihtelua.</p> <p>Kokeellisessa osassa selvitettiin standardien mukaiset myötömomentin ja ulosvetolujuuden arvot erälle ruostumattomista teräksistä valmistetuille liittimille. Lisäksi vetoliitoskokeella varmistettiin laskennallisten leikkauskapasiteettien vastaavuudet koetulosten kanssa.</p> <p>Tulosten perusteella voidaan todeta, että austeniittisista ruostumattomista teräksistä valmistetuille liittimille voidaan käyttää Eurocode 5:ssä esitettyjä puurakenteiden liitosten leikkauskapasiteetin laskentakaavoja. Myötömomenttia määritettäessä tulisi käyttää liittimen todellisia vetolujuuden arvoja, jotta ruostumattomien terästen lujuusominaisuudet hyödynnettäisiin tehokkaasti. Kampanaulojen ja ruuvien valmistusprosessi lujittaa terästä ja näin ollen myötömomentin laskennallinen määrittäminen ilman kunkin liittintyyppin testausta on epämääräistä. Ulosvetokokeissa ei ruostumattomien ja vastaavien hiiliteräksisten kampanaulojen osalta ollut merkittäviä eroja. Ruuveilla ulosvetokoetulokset poikkesivat merkittävästi EN1995-1-1:2004 mukaan laske- tuista arvoista. Kirjallisuudesta löytyi koetulosten kanssa saman suuruusluokan ulosvetolujuuksien arvoja. Ulkopuolisten rst-puuliitosten vetoliitoskokeiden tulokset vastasivat hyvin laskennallisia tuloksia, kun las- kennassa oli huomioitu liittimien myötömomentti- ja ulosvetokokeiden tulokset. Ankkurinauloilla ja -ruuveilla koetulokset vastasivat paksun levyn kaavoilla laskettuja kapasiteetteja, vaikka levyn paksuuden ja liittimen halkaisijan suhde oli 0,5.</p> <p>Ruostumattomasta teräksestä valmistetuilla harjaterästangoilla saavutetaan samoja tartuntalujuuksia kuin vastaavalla seostamattomalla tangolla. Käytettäessä pidempiä tartuntapituuksia voidaan hyödyntää ruostu- mattomien tankojen korkea vetomurtolujuus.</p>			
Avainsanat timber structures, connections, stainless steels, fasteners, corrosion, glued-in rods, yield moment, with- drawal strength, anchorage strength, dimensioning			
Toimintayksikkö VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikka, Betonimiehenkuja 3, PL 1801, 02044 VTT			
ISBN 951-38-6528-2 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )			Projektinumero R3SU00026
Julkaisuaika Tammikuu 2005	Kieli suomi, engl. tiivistelmä.	Sivuja 102 s. + liitt. 29 s.	Hinta -
Projektin nimi Ruostumattomalla teräksellä palonkestäviä puurakentei- den liitoksia RST-PUU-PALO		Toimeksiantaja(t)	
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1455-0865 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		Julkaisija VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374	



Author(s) Yli-Koski, Rainer & Kevarinmäki, Ari			
Title <b>Design of stainless steel fasteners in timber structures</b>			
Abstract <p>The purpose of the study was to learn more about the use of stainless steels for connections in timber structures. The study was limited to normal temperature design. Experimental studies were done with steel-to-timber dowel-type connections. Literature study presents basic information about stainless steels and stainless steel fasteners. The weldability and fabrication of austenitic stainless steels is quite good. The types of corrosion that can affect stainless steel building components are most commonly: pitting corrosion, crevice corrosion, galvanic corrosion or stress corrosion cracking. The durability of stainless steels depends on the environment and steel grades. For the economically good result, environment of the structure has to be considered when making a choice between different stainless steel grades. In the literature few studies of the use of stainless steels in timber structures were found. In the market the most common grades in stainless steel fasteners are EN1.4301 (A2) and EN1.4401 (A4).</p> <p>Fasteners yield moment, withdrawal strength, lateral load carrying capacity of steel-to-timber tensile connections and anchorage strength of glued-in rods were determined in experimental part of this study. Test methods were according to each standard.</p> <p>Based on the test results of this study, the dowel-type fasteners, produced from austenitic stainless steel, can be designed by Eurocode 5. For nails and screws it is economical to use real tensile strength of fastener, when calculated yield moment. Manufacturing process of screws and threaded nails strengthens the steel of the fastener, so calculated yield moment value for each type of fastener is indeterminate, without testing each type of fastener. Withdrawal strength of annularly threaded nails, produced from stainless steel or non-alloy steel, was almost equivalent in value. Withdrawal strength for screws calculated by EN 1995-1-1:2004 was about double compared to test results. In the literature it was found value of a same order as in tests with non-alloy screws.</p> <p>The test results of steel to timber tensile joint of shank nails and screws corresponded to the equation value of thick steel plate in single shear, even when ratio of the steel plate thickness to the fastener was 0.5.</p> <p>The anchorage strength of glued-in rods made of stainless steel reinforcing bars is the same as with the non-alloy steel rods. The results of tensile tested connections corresponded well with the calculated values, when the tested values of yield moment and withdrawal strength were used.</p>			
Keywords timber structures, connections, stainless steels, fasteners, corrosion, glued-in rods, yield moment, withdrawal strength, anchorage strength, dimensioning			
Activity unit VTT Building and Transport, Betonimiehenkuja 3, P.O.Box 1801, FIN-02044 VTT, Finland			
ISBN 951-38-6528-2 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )			Project number R3SU00026
Date January 2005	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 102 p. + app. 26 p.	Price -
Name of project Ruostumattomalla teräksellä palonkestäviä puurakenteiden liitoksia RST-PUU-PALO		Commissioned by	
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1455-0865 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		Publisher VTT Information Service P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4404 Fax +358 20 722 4374	





## VTT TIEDOTTEITA – RESEARCH NOTES

### VTT RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIikka – VTT BYGG OCH TRANSPORT – VTT BUILDING AND TRANSPORT

- 2214 Ekholm, Virpi. Kerrostalon muuraus- ja rappaustyöt talvella. Toteutusedellytysten kehittäminen. 2003. 80 s. + liitt. 5 s.
- 2218 Ekholm, Virpi & Kauranen, Hannu. Aliurakoitsijakoulutus ja osaamisen siirto raken-nusyrytyksessä. 2003. 85 s.
- 2224 Turk, Goran & Ranta-Maunus, Alpo. Analysis of strength grading of sawn timber based on numerical simulation. 2003. 38 p. + app. 28 p.
- 2223 Kärnä, Tuomo, Kolari, Kari, Jochmann, Peter, Evers, Karl-Ulrich, Xiangjun, Bi, Määttänen, Mauri & Martonen, Petter. Ice action on compliant structures. Laboratory indentation tests. 2003. 43 p. + app. 79 p.
- 2226 Andelin, Mia. Home Service Concept – Technology, Logistics and Business Models. 2004. 76 p. + app. 5 p.
- 2227 Ala-Outinen, Tiina, Harmaajärvi, Irmeli, Kivikoski, Harri, Kouhia, Ilpo, Makkonen, Lasse, Saarelainen, Seppo, Tuhola, Markku & Törnqvist, Jouko. Ilmastonmuutoksen vaikutukset rakennettuun ympäristöön. Yhteenveto projektin tuloksista. 2004. 83 s. + liitt. 6 s.
- 2236 Koski, Hannu. Rakennushankkeen luovutusprosessin kehittäminen. 2004. 37 s. + liitt. 10 s.
- 2239 Kauranen, Hannu. Märkätilaproessin kehittäminen. Talonrakentamisen työmaaprosessin re-engineering. 2004. 34 s. + liitt. 4 s.
- 2242 Beilinson, Leif, Rathmayer, Rita & Wuolijoki, Arja. Kuljettajien käsitykset nopeusvalvonnan yleisyydes-tä ja puuttumiskynnyksistä. 2004. 35 s. + liitt. 9 s.
- 2245 Mroueh, Ulla-Maija, Vahanne, Pasi, Eskola, Paula, Pasanen, Antti, Wahlström, Margareta, Mäkelä, Esa & Laakosonen, Rainer. Pilaantuneiden maiden kunnostushankkeiden hallinta. 2004. 318 s. + liitt. 44 s.
- 2249 Hietaniemi, Jukka, Vaari, Jukka, Hakkarainen, Tuula, Huhta, Jaakko, Jumppanen, Ulla-Maija, Korho-nen, Timo, Kouhia, Ilpo, Siiskonen, Jaakko & Weckman, Henry. Ontelotilojen paloturvallisuus. Onte-lopalojen ominaispiirteet sekä palojen etenemisen rakenteellinen katkaiseminen ja sammuttaminen. 2004. 74 s. + liitt. 24 s.
- 2252 Nykänen, Esa, Sarvaranta, Leena & Nummelin, Johanna. Home Service Concept. From User Needs to Services. 2004. 31 p. + app. 1 p.
- 2253 Korhonen, Timo & Hietaniemi, Jukka. Puujulkisivujen paloturvallisuus lähiökerrostaloissa. 2004. 58 s. + liitt. 36 s.
- 2256 Heating and Cooling with Focus on Increased Energy Efficiency and Improved Comfort. Guidebook to IEA ECBCS Annex 37 Low Exergy Systems for Heating and Cooling of Buildings. Summary Report. Ala-Juusela, Mia (ed.). 2004. 44 p. + app. 6 p.
- 2261 Leviäkangas, Pekka, Alaruikka, Anna-Maija & Mononen, Petri. PRO TELIO –Oulun seudun liikenne-järjestelmä osana tietoyhteiskuntaa. Loppuraportti. 2004. 32 s. + liitt. 8 s. + CD-rom
- 2260 Koppinen, Tiina. & Lahdenperä, Pertti. Road sector experiences on project delivery methods. 2004. 216 p. + app. 32 p.
- 2266 Tillander, Kati, Mangs, Johan & Paloposki, Tuomas. Tulipalojen ympäristövaikutukset. 2004. 72 s. + liitt. 16 s.
- 2268 Kurki, Timo, Spoof, Harri, Malmivuo, Mikko, Petäjä, Sami & Leinonen, Jarkko. Kunnossapitourakoi-den toimivuusvaatimukset. 2004. 123 s. + liitt. 7 s.
- 2273 Pajari, Matti. Pure torsion tests on single hollow core slabs. 2004. 29 p. + app. 28 p.
- 2274 Pajari, Matti. Shear-torsion tests on 400 mm hollow core floor. 2004. 30 p. + app. 82 p.
- 2275 Pajari, Matti. Shear-torsion interaction tests on single hollow core slabs. 2004. 76 p. + app. 122 p.
- 2276 Pajari, Matti. Shear-torsion tests on 200 mm hollow core floor. 2004. 55 p. + app. 116 p.
- 2278 Talja, Ask. Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokituksesta. 2004. 50 s. + liitt. 15 s.
- 2279 Yli-Koski, Rainer & Kevarinmäki, Ari. Ruostumattomien terästen mitoitusperusteet puurakenteiden liitoksissa. 2005. 102 s. + liitt. 26 s.

Julkaisussa esitetään perustietoa ruostumattomista teräksistä ja niistä valmistettujen liittimien ja liitososien mitoitusperusteita puurakenteiden liitoksissa Eurocode 5:n pohjalta. Puuta käytetään entistä vaativammissa rakenteissa, mikä tuo mukanaan erilaisia liitosratkaisuja. Yleensä näissä on mukana metallisia liitososia, joiden täytyy toimia moitteettomasti erilaisissa olosuhteissa. Rakennetta ympäröivät olosuhteet voivat olla kosteita tai kemiallisten aineiden pitoisuudet ovat korkeita tai niiden yhteisvaikutus saattaa aiheuttaa korroosiorasituksia. Näihin olosuhteisiin ruostumattomilla teräksillä on hyviä ominaisuuksia, kuten hyvä korroosionkestävyys ja hyvät lujuus- ja sitkeysominaisuudet. Julkaisussa rajoitutaan normaali- lämpötilan mitoitukseen, ja testatut liitokset olivat teräs-puuliitoksia, joissa käytetään puikkoliittimiä. Lisäksi tehtiin puuhun liimattujen tankojen tartuntalujuuskokeita. Julkaisussa esitetään suositeltavat rst-liittimien ja liimatankoliitosten mitoitusohjeet.

---

VTT TIETOPALVELU  
PL 2000  
02044 VTT  
Puh. 020 722 4404  
Faksi 020 722 4374

VTT INFORMATIONSTJÄNST  
PB 2000  
02044 VTT  
Tel. 020 722 4404  
Fax 020 722 4374

VTT INFORMATION SERVICE  
P.O.Box 2000  
FIN-02044 VTT, Finland  
Phone internat. + 358 20 722 4404  
Fax + 358 20 722 4374

---