

Ruostumattomasta teräksestä valmistettujen puurakenteiden liitosten suunnittelu

Yleiset ohjeet ja palomitoitus

Ari Kevarinmäki, Tuuli Oksanen & Rainer Yli-Koski
VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

ISBN 951-38-6590-8 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)
ISSN 1459-7683 (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, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax + 358 20 722 4374

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Betonimiehenkuja 3, PL 18011, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 7006

VTT Bygg och transport, Betongblandargränden 3, PB 18011, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 7006

VTT Building and Transport, Betonimiehenkuja 3, P.O.Box 18011, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7006

Tekijä(t) Kevarinmäki, Ari, Oksanen, Tuuli & Yli-Koski, Rainer		
Nimeke Ruostumattomasta teräksestä valmistettujen puurakenteiden liitosten suunnittelu Yleiset ohjeet ja palomitoitus		
Tiivistelmä Ruostumattoman teräksen käyttöön kantavissa rakenteissa ja niiden liitoksissa päädytään yleensä, kun materiaalilta vaaditaan hyvää korroosion- tai palonkestävyyttä. Ruostumattomasta teräksestä voidaan valmistaa kaikkia puurakenteissa käytettäviä liitosten teräsoasia, kuten liitoslevyjä, palkkikenkiä, vetotankoja, tappivaarvoja, nauvoja, ruuveja ja pultteja. Tämä tutkimus osoittaa, että austeniittisia ruostumatonta terästä voidaan käyttää puurakenteiden liitoksissa, joilta vaaditaan palonkestävyyttä. Puurakenteiden liitosten palonkestävyyden paraneminen voidaan saavuttaa hyödyntämällä ruostumattomien teräslaatuja hyviä lujuus- ja jäykkyysominaisuuksia korkeissa lämpötiloissa. Palotilanteen suunnittelussa on huomioitava lujuuden ja kimmokertoimen alenemisen lisäksi myös mahdollinen liitoksen toimintatavan muuttuminen sekä puun hiiltymisestä aiheutuva väljyys liitoksessa. Teräslevyllisissä liima- ja kertopuurakenteiden monileikkisissä tappivaarnaliitoksissa liittimien päät voidaan jättää suojaamattomiksi palonkestävyysluokassa R60, kun tappivaarnat valmistetaan ruostumattomasta teräksestä. Kun tappivaarvojen päiden puutulppaus jätetään pois, liittimet ovat nähtävillä. Säästöjä saavutetaan sekä työkuukustannuksissa että puun materiaalimenekeissä. Puun hiiltymisen rst-levyn alla ja jopa suljetun rst-holkin sisällä on lähes yhtä nopeaa kuin suojaamattoman puupinnan hiiltymisen. Puun hiiltymisen liitoslevyn alla vaikuttaa oleellisesti leikkauskuormitetun liittimen kapasiteettiin. Suojaamattomilla ulkopuolisilla rst-levyllisillä liitoksilla ei päästä tämän vuoksi R30-luokkaa parempaan palonkestävyyteen. Tämä suunnitteluohje on tarkoitettu käytettäväksi Eurocode-järjestelmän mukaisen kantavien puurakenteiden suunnittelun yhteydessä.		
Avainsanat construction timber, timber structures, connections, fasteners, stainless steels, fire resistance, corrosion, mortice bolt joints, strutted constructions, muff joints		
Toimintayksikkö VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Betonimiehenkuja 3, PL 1801, 02044 VTT		
ISBN 951-38-6590-8 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Projektinumero R3SU00026
Julkaisu-aika Lokakuu 2005	Kieli suomi, engl. tiiv.	Sivu-ja 51 s. + liitt. 12 s.
Projektin nimi Ruostumattomalla teräksellä palonkestäviä puurakenteiden liitoksia	Toimeksiantaja(t) Tekes, VTT, Outokumpu Stainless Oy, Wood Focus Oy, Anstar Oy, MiTek Finland Oy, Late-Rakenteet Oy, Stalatube Oy	
Avainnimeke ja ISSN VTT Working Papers 1459-7683 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Julkaisija VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374

Published by



Series title, number and
report code of publication

VTT Working Papers 38
VTT-WORK-38

Author(s) Kevarinmäki, Ari, Oksanen, Tuuli & Yli-Koski, Rainer		
Title Design of timber connections with stainless steel Common rules and structural fire design		
Abstract <p>Stainless steel is usually used in load-bearing structures and their connections, when high corrosion and fire resistance properties are required. All steel parts used in the connections of timber structures may be produced from stainless steel, such as connection plates, beam hangers, tension rods, dowels, nails, screws and bolts. The present study shows that austenitic stainless steel may be used in connections of timber structures with fire resistance requirements. The higher fire resistance of timber connections may be achieved by using stainless steel, which has good strength and stiffness properties at high temperatures. Both the reduction of strength and stiffness of the structural materials, and the changes in the behaviour of the connections, e.g. the loosening of the connection due to charring of wood, have to be taken into account in fire design.</p> <p>In dowelled multiple shear plane connections of glue laminated timber and laminated veneer lumber, where steel plates are used, the dowel ends may be left unprotected at fire resistance class R60, when the dowels are produced using stainless steel. When the dowel ends are unprotected, these may be seen and checked during quality controls. Savings are produced both in labour costs and wood material costs.</p> <p>The charring of wood under a stainless steel plate and even inside a closed stainless tube happens almost as quickly as for directly fire exposed wood. The charring of wood under a connection plate has a significant effect on the shear capacity of the joint. For this reason, it is practically impossible to reach a higher fire resistance class than R30 when using unprotected external stainless steel plate connections.</p> <p>This design guide is meant to be used in compliance with the Eurocode design procedures for load bearing timber structures.</p>		
Keywords construction timber, timber structures, connections, fasteners, stainless steels, fire resistance, corrosion, mortice bolt joints, strutted constructions, muff joints		
Activity unit VTT Building and Transport, P.O.Box 1801, 02044 VTT, Finland		
ISBN 951-38-6590-8 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Project number R3SU00026
Date October 2005	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 51 p. + app. 12 p.
Name of project Ruostumattomalla teräksellä palonkestäviä puurakenteiden liitoksia	Commissioned by Tekes, VTT, Outokumpu Stainless Oy, Wood Focus Oy, Anstar Oy, MiTek Finland Oy, Late-Rakenteet Oy, Stalatube Oy	
Series title and ISSN VTT Working Papers 1459-7683 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)	Publisher VTT Information Service P.O. Box 2000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4404 Fax +358 20 722 4374	

Alkusanat

Tämä julkaisu liittyy tutkimukseen *Ruostumattomalla teräksellä palonkestäviä puurakenteiden liitoksia*, joka alkoi vuoden 2003 alussa ja päättyi elokuussa 2005. Tutkimus suoritettiin VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikassa.

Tutkimusta rahoittivat Tekesin ja VTT:n lisäksi seuraavat yritykset: Outokumpu Stainless Oyj, Wood Focus Oy, Anstar Oy, MiTek Finland Oy, Late Rakenteet Oy, Stalatable Oy.

Tutkimuksen johtoryhmään ovat julkaisuhetkellä kuuluneet Raimo Viherma, pj. (Outokumpu Stainless Oy), Jouni Hakkarainen (Finforest Oy), Tomi Koskenniemi (Versowood Oy), Pekka Nurro (Wood Focus Oy), Kari Viljakainen (Anstar Oy), Ilmari Absetz (TKK), Pekka Kanerva (TKK), Reijo Talja (MiTek Finland Oy), Veijo Lehtonen (Late-Rakenteet Oy) ja Matti Kokkala (VTT). Olli-Pekka Nordlund ja Tom Warras toimivat Tekesin valvojina. Tutkimuksen vastuullisena johtajana oli tutkimuspäällikkö Laura Apilo ja projektipäällikkönä toimi erikoistutkija Ari Kevarinmäki.

Kirjoittajien lisäksi projektiin osallistuivat VTT:ltä ruostumattomien terästen ominaisuuksien ja rakenteelliseen käytön asiantuntijoina erikoistutkijat Tiina Ala-Outinen ja Asko Talja.

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

Espoo, syyskuu 2005

Tekijät

Sisällysluettelo

Alkusanat.....	5
Symboliluettelo.....	7
1. Johdanto	9
2. Materiaalin valinta	11
2.1 Ruostumattomat teräkset	11
2.2 Mekaaniset ominaisuudet	13
2.3 Korroosionkestävyys	16
2.4 Termiset ja mekaaniset ominaisuudet korkeissa lämpötiloissa	20
3. Mitoitus normaalilämpötilassa.....	24
3.1 Puikkoliitokset.....	24
3.2 Muotolevykiinnikkeet	25
3.3 Teräslevylliset tappivaarnaliitokset.....	26
3.4 Holkkiliitokset	28
3.4.1 Suoraruuvaus.....	29
3.4.2 Vinoruuvaus	30
3.5 Liimatut rst-harjatankoliitokset	32
3.5.1 Pituussuunnassa kuormitetut tangot.....	34
3.5.2 Vinotankoliitokset.....	35
4. Palotekninen mitoitus.....	37
4.1 Yleistä.....	37
4.2 Suojaamattomat rst-levylliset liitokset	38
4.3 Holkkiliitokset	42
4.4 Tappivaarnaliitokset	43
4.5 Liimatankoliitokset.....	46
Lähdeluettelo	48

Liitteet

Liite A: Rst-naulauslevylliitoksen mitoitus esimerkki – suojaamaton R30-liitos

Symboliluettelo

D	läpimitta
E	kuormitus, kuorma, kapasiteetti vinotankoliitoksissa
F	kapasiteetti
L	pituus
M	momentti
N	kuormitus, kapasiteetti vinotankoliitoksissa
R	kapasiteetti
S	sisäinen voima, sauva
V	leikkausvoima
a	etäisyys
b	leveys
d	halkaisija, sivumitta tai paksuus
f	lujuus
k	kerroin, tekijä (alaindeksillä)
l	pituus/tartuntapituus
n	liittimien lukumäärä
s	ruuvin kierreosan pituus kärjenpuoleisessa puussa
t	paksuus
α	kulma
β	hiiltymisnopeus
γ	osavarmuuskerroin, kulma
ρ	tiheys
σ	jännitys

Alaindeksit:

M	materiaaliominaisuus
R	kapasiteetti
0,2	0,2 %:n pysyvää venymää vastaava myötöarvo
a	liimasauma
ax	liittimen ulosveto, aksiaalinen...
b	liitin tai teräksen reunapuristus
c	puristus
char	hiili, hiiltyminen
d	suunnittelu- tai mitoitusarvo
ef	tehollinen
fi	palotilanne
flux	lämmönjohtuminen
k	ominais...
mod	muunnettu
min	minimi
n	teoreettinen tai lukumäärä
nim	nimellis...
proof	kestävyys
s	teräs tai ruuvien kierreosan sisämitta
t	veto
u	murtorajatila, -lujuus
y	myötö

1. Johdanto

Tämä suunnitteluohje perustuu ruostumattomasta teräksestä valmistettujen puurakenteiden liitosten tutkimustuloksiin, joista on raportoitu lähteissä Yli-Koski ja Kevarinmäki (2005), *Ruostumattomien terästen mitoitusperusteet puurakenteiden liitoksissa*, ja Oksanen, Kevarinmäki, Yli-Koski ja Kaitila (2005), *Ruostumattomasta teräksestä valmistettujen puurakenteiden liitosten palonkestävyys*. Muiden lähteiden osalta tekstissä on esitetty viittaukset käytettyihin lähteisiin.

Tämä suunnitteluohje on tarkoitettu käytettäväksi Eurocode-järjestelmän mukaisen kantavien puurakenteiden suunnittelun yhteydessä. Lähtökohtana ovat Eurocode 5 EN 1995:2004 -standardin osat 1-1 ja 1-2 ja ruostumattoman teräksen osalta Eurocode 3 EN 1993 -standardin asiaa koskevat osat. Ruostumattomasta teräksestä valmistettujen liitosten mitoituksessa viitataan Euro Inoxin käsikirjassa julkaistuihin Eurocode 3:a soveltaviin suunnitteluohjeisiin (Euro Inox & VTT 2002).

Tutkimukset osoittavat, että austeniittisiä ruostumattomia teräksiä voidaan käyttää puurakenteiden liitoksissa sekä normaalilämpötilassa että palonkestävissä rakenteissa kunkin liitoksen vaatimusten mukaan. Merkittävä puurakenteiden liitosten palonkestävyyden parantaminen voidaan saavuttaa hyödyntämällä ruostumattomien teräslaatuja hyviä lujuuden ja jäykkyyden palonkestävyyssominaisuuksia. Liitosten suunnittelussa tulee huomioida lujuuden ja kimmokertoimen alenemisen lisäksi myös mahdollinen liitoksen toimintatavan muuttuminen palotilanteessa sekä puun hiiltymisestä aiheutuva väljyys liitoksessa.

Ruostumattomien terästen käyttö liitoksissa on suositeltavaa myös silloin, kun rakenteen käyttöolosuhteet muodostavat korroosioriskin. Korroosioriskiä lisääviä tekijöitä ovat muun muassa käyttöympäristön kosteus ja sieltä vapautuvat aineet sekä puun kylästysaineet.

Hiiliteräksestä valmistetuilla suojaamattomilla puurakenteiden liitoksilla palonkesto-aika on normaalisti enintään 15 min. Kun vastaavat liitokset valmistetaan ruostumattomasta teräksestä, saavutetaan kattorakenteiden tapauksessa yleensä 30 min palonkestävyys ilman normaalilämpötilan ylimitoitusta edellyttäen, että liittimien reunaetäisyydet ja liittimien tunkeumasyydyt puussa ovat riittävän suuria.

Ruostumattomasta teräksestä valmistetuissa liitoksissa mitoittavaksi tekijäksi tulee yleensä puun hiiltyminen. Ulkopuolinen rst-levy ei toimi liitosalueen palosuojauksena. Puun hiiltyminen rst-levyn alla ja jopa suljetun rst-holkin sisällä on lähes yhtä nopeaa kuin suojaamattoman puupinnan hiiltyminen. Puun hiiltyminen liitoslevyn alla vaikuttaa oleellisesti leikkauskuormitetun liittimen kapasiteettiin. Suojaamattomilla ulkopuolisilla rst-levyllisillä liitoksilla ei päästä tämän vuoksi R30-luokkaa parempaan palonkestävyyteen.

Teräslevyllisissä liima- ja kertopuun monileikkeisissä tappivaarnaliitoksissa liittimien päät voidaan jättää suojaamattomiksi palonkestävyysluokassa R60, kun tappivaarnat valmistetaan ruostumattomasta teräksestä. Kun tappivaarnojen päiden puutulppaus jätetään pois, liittimet ovat nähtävillä ja laadunvarmistus helpottuu. Säästöjä saavutetaan sekä työkustannuksissa että puun materiaalimenekeissä. Vetosauvoissa sauvadimensio määräytyy yleensä liitosten lohkeamismurtomitoituksella, jossa voidaan hyödyntää ainoastaan tappivaarnan pituutta vastaavaa puun paksuutta.

Normaalilämpötilassa mitoitettut rst-tappivaarnaliitokset täyttävät tietyin edellytyksin palonkestävyysluokan R60 vaatimukset, kun liitoksen palotilanteen kuormitus on enintään 40 % normaalilämpötilan mitoituskapasiteetista. Optimaalisin suojaamattoman R60-tappivaarnaliitoksen liitoslevyjen teräslaatu on hehkutettu EN 1.4318, jonka hinta ei ole juuri tavallista peruslaatua EN 1.4301 korkeampi mutta jolla on huomattavasti parempi lujuus sekä normaalilämpötilassa että palotilanteessa.

2. Materiaalin valinta

Ruostumattoman teräksen käyttöön kantavissa rakenteissa ja niiden liitoksissa päädytään yleensä, kun materiaalista vaaditaan hyvää korroosion- tai palonkestävyyttä. Ruostumattoman teräslaadun valinnassa säilyvyyden, käyttöolosuhteiden ja palonkestävyysominaisuuksien lisäksi otetaan huomioon myös materiaalin mekaaniset ominaisuudet, hitsattavuus ja työstettävyys sekä teräslaadun saatavuus ja tarvittaessa pinnan laatu. Ruostumattoman teräksen valintaa sekä niiden hitsattavuus- ja työstettävyysominaisuuksia, pinnan laatuluokkia ja saatavuuskysymyksiä on käsitelty mm. lähteissä Euro Inox & VTT (2002) ja Yli-Koski & Kevarinmäki (2005).

Puurakenteiden liitoksissa suositeltavia ruostumattomia teräslaatuja esitetään kunkin liitostyyppin yhteydessä luvuissa 3 ja 4. Kohdissa 2.1–2.4 esitettyjen yleisten perusteiden pohjalta voidaan esittää lähtökohdaksi seuraavia laatuja: EN 1.4301 – halvin peruslaatu ja hyvä saatavuus, 1.4318 – edullinen ja korkea 0,2-raja, 1.4401/1.4432 – saatavuus ja parempi korroosion ja lämmönkestävyys kuin 1.4301:llä sekä 1.4541/1.4571 – parhaat palo-ominaisuudet. Laadun EN 1.4318 saatavuuden parantuessa lähitulevaisuudessa sen käyttö on edullista korkean myötölujuuden ansiosta. Lisäaineistettujen laatuja EN 1.44xx ja 1.45xx hintavaihtelut voivat olla suuret seoslisäaineiden maailmanmarkkinatilanteen mukaan. Jotkin käyttöolosuhteet (esim. uimahallit) voivat olla sellaisia, että joudutaan käyttämään runsaasti seostettuja laatuja.

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 pinta on yhteydessä ilmaan tai muuhun hapettavaan ympäristöön. Koska tämä kerros passivoi teräksen – eli korroosio 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, mikrorakenne muuttuu austeniittis-ferriittiseksi, ja edelleen lisäämällä nikkeliä muodostuu austeniittinen rakenne.

Martensiittinen mikrorakenne syntyy teräksessä austeniittista leikkautumalla, jolloin rakenteeseen jää sisäisiä jännityksiä, mistä johtuu rakenteen lujuus ja hauraus (Kyröläinen & Lukkari 2002).

Austeniittisten ruostumattomien terästen kromiseostuksesta johtuvaan hyvään korroosiokestävyyteen yhdistyvät hyvät mekaaniset ominaisuudet (hyvä muovattavuus ja sitkeys), hyvä hitsattavuus ja ulkonäkö. Terästen perustyyppi on 18/8 – kromi-nikkeli-teräs, esim. X5CrNi18-10 (EN 1.4301, AISI 304). Tätä tyyppiä kutsutaan yleisesti ”perusrasteriksi” tai ruostumattomaksi teräkseksi. Molybdeenillä, 2–6 %, voidaan parantaa korroosiokestävyyttä, esimerkiksi X5CrNiMo17-12-2 (EN 1.4401, AISI 316), jota sanotaan myös haponkestäväksi teräkseksi. Taulukossa 2.1 on esitetty eri laatujen kemiallisia koostumuksia.

Titaania tai niobia lisätään kiderakenteen stabiloimiseksi ja korroosiokestävyyden parantamiseksi hitsien lämpövaikutusalueella. Stabiloidut laadut säilyttävät paremmin lujuusominaisuudet tulipalotilanteessa kuin vakiolaadut (Ala-Outinen 1996) (kuva 2.2).

Austeniittiset ruostumattomat teräkset kestävät korroosiota parhaiten liuotushehkutettuna. Korkeamman lujuuden saavuttamiseksi niitä voidaan kylmänä rullamuovata, taivuttaa tai särmätä, mikä voi tehdä ne hiukan magneettisiksi.

Taulukko 2.1. EN 10088-2:n mukaisten terästen kemiallinen koostumus (Yli-Koski & Kevarinmäki 2005).

	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 ¹⁾
	1.4571	0,08	16,5–18,5	10,5–13,5	2,0–2,5	Ti: 5xC–0,7 ¹⁾
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

¹⁾ 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

Kuten levytuotteilla, niin myös liittimillä on yleisesti käytössä jaottelu ruostumattomiin ja haponkestäviin laatuihin. Standardi ISO 3506 käsittelee austeniittisten, A, martensiittisten, C, ja ferriittisten, F, kiinnittimien kemiallisen koostumuksen (Taulukko 2.2) ja mekaaniset ominaisuudet (Taulukko 2.5). Lisäksi standardissa on maininta austeniittisferriittisestä FA-teräksestä. 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. teräslatu 1.4541) ja A5 (1.4571) ovat stabiloituja laatuja, ja ne vastaavat korroosiokestävyydeltään vähähiilisiä ($C \leq 0,03$ %) A2 ja A4 -luokkaversioita, jotka merkitään ”L”-kirjaimella, esimerkiksi A4L. Martensiittinen laatu jaetaan C1-, C3- ja C4-lajeihin. Ferriittinen ruostumaton teräs merkitään tunnuk-sella F1. Lujuusluokka (ks. kohta 2.2) ilmoitetaan numeroilla teräslajin jälkeen. Mutterit esitetään standardissa ISO 3506-2:1997 ja itseporautuvat ruuvit ISO 3506-4:2003:ssa.

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

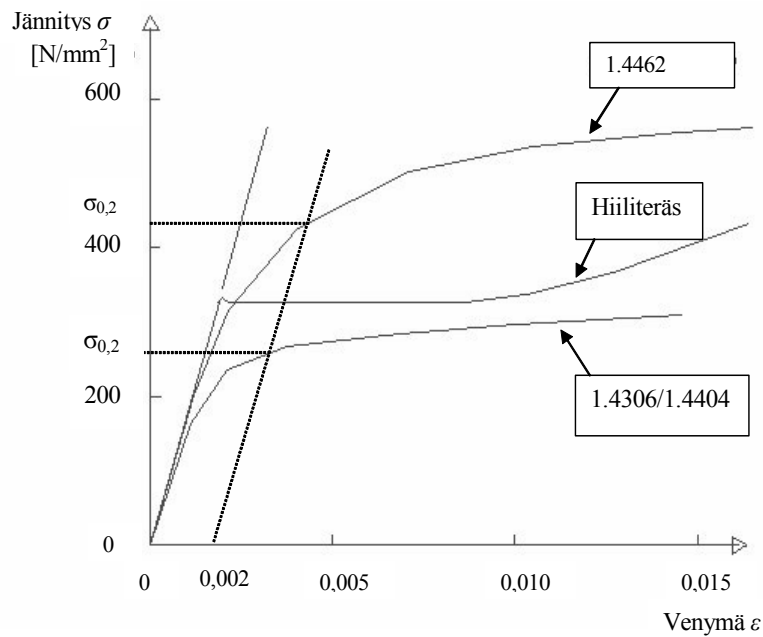
Teräslaji	Kemiallinen koostumus (paino-%), maksimiarvoja ellei toisin mainita									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Muut
A2	0,1	1	2	0,050	0,03	15–20	a)	8–19	4	
A3	0,08	1	2	0,045	0,03	17–19	a)	9–12	1	Joko $Ti \geq 5xC-0,8$ tai $Nb/Ta \geq 10xC-1$
A4	0,08	1	2	0,045	0,03	16–18,5	2–3	10–15	1	
A5	0,08	1	2	0,045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

Huom. ISO 3506-4:n 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.

2.2 Mekaaniset ominaisuudet

Ruostumattoman teräksen jännitys-venymäkäyttäytyminen eroaa hiiliteräksen vastavasta. Hiiliteräs käyttäytyy tyypillisesti lineaarisesti myötörajaan asti, kun taas ruostumattoman teräksen jännitys-venymäkäyttäytyminen on epälinearisempi ilman selvää myötörajaa (kuva 2.1). Ruostumattomille teräksille myötörajaksi määritetään yleensä pysyvää 0,2 %:n venymää vastaava jännityksen arvo.



Kuva 2.1. Jännitys-venymäkäyrä (ESDEP 18).

Muokkauslujittumisella tarkoitetaan plastisen muodonmuutoksen aikaansaamaa rakenteen lujittumista, jota austeniittisilla teräksillä voimistaa työstökarkeneminen. Työstökarkenemisessä osa austeniittisestä mikrorakenteesta muuttuu martensiittiseksi. Kylmämuovausprosessi vaikuttaa huomattavasti varsinkin austeniittisten ja duplex-terästen lujuusominaisuuksiin. Tyypillisesti 15 %:n kylmämuovaus kaksinkertaistaa 0,2-rajan. Austeniittisten terästen sitkeys säilyy hyvänä. Muovauksen jälkeinen lämpökäsittely pienentää kohonnutta lujuutta.

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

Aine	Kylmämuovattu lujuuteen	0,2-raja f_{yc} [N/mm ²]	Vetomurto-lujuus f_{uc} [N/mm ²]
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 2.4. Ruostumattomien teräksen mekaanisia ominaisuuksia (EN 10088-2).

	Teräslaji	Tuotemuoto ⁽¹⁾	Suurin ainepaksuus (mm)	0,2- rajan minimiarvo ⁽²⁾ (N/mm ²)	Vetomurtolujuus (N/mm ²)	Mittapituutta vastaava murtovenymä (%) ⁽³⁾
Austeniittiset kromi-nikkeli perusteräokset	1.4301	C	6	230	540 – 750	45 ⁽³⁾
		H	12	210	520 – 720	45 ⁽³⁾
		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 teräokset	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 teräokset	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-teräokset	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) Venytyskoikaistuille materiaaleille minimiarvo on 5 % pienempi

Rakenteiden mitoituksen perustana lujuuksien ominaisarvoina käytetään EN 10088-2:n mukaisia 0,2-rajaa (f_y) ja vetomurtolujuuden (f_u) mukaisia minimiarvoja. Tehtaan takaamia sertifioituja 0,2-rajaa arvoja voidaan myös käyttää. Tämä ilmenee tehtaan aines-todistuksessa. Suositellaan, että vetolujuuden ominaisarvoina käytetään EN 10088-2:n mukaista minimiarvoa (Euro Inox & VTT 2002). Rakentamisessa käytettäville austeniittisille ja duplex-teräksille voidaan kimmokertoimeksi valita 200 000 N/mm². Taulukoissa 2.3 ja 2.4 on esitetty joidenkin terästen ominaisuuksia EN 10088:n mukaan.

Liittimet

Ruostumattomille nauloille ja ruuveille voidaan käyttää taulukossa 2.5 esitettyjä ISO 3506:n mukaisia lujuusluokkia käyttäjän ja valmistajan sopimuksen mukaan. Nauloja ja puuhun porautuvia ruuveja on yleensä saatavilla vain luokissa A2 ja A4. Nauloille ja ruuveille ilmoitetaan yleensä vain raaka-aineen vetomurtolujuus. prEN 14592:2002:n mukaan austeniittisiä teräksiä voidaan käyttää nauloissa, kun raaka-aineen vetomurtolujuus on vähintään 600 N/mm².

Pulttien ja muttereiden osalta ISO 3506-1 määrittelee yksikäsitteisesti lujuusluokat ja niiden lujuusarvot (Taulukko 2.5). Pulteissa ilmoitetaan lujuusluokka luvulla siten, että luku $\times 10$ ilmaisee vetomurtolujuuden, esimerkiksi $80 \times 10 = 800 \text{ N/mm}^2$. Liittimien veto- ja leikkauskestävyyksien laskennassa käytetään vetomurtolujuuden minimiarvoja.

Taulukko 2.5. Austeniittisten ja austeniittis-ferritiittisten liittimien mekaaniset ominaisuudet (ISO 3506-1:1997).

Teräslaji ¹⁾	Lujuusluokka ²⁾	Läpimitta	Ruuvit	
			0,2-raja f_{yb} (N/mm ²)	vetolujuus f_{ub} (N/mm ²)
	ISO 3506			
A1, A2, A3,	50	≤ M39	210	500
A4 ja A5	70 ²⁾	≤ M20	450	700
sekä FA	80 ²⁾	≤ M20	600	800

Huomaa: Lujuudet ovat vaadittuja minimiarvoja.

¹⁾ Voidaan käyttää myös muita EN 10088-3:n mukaisia teräslajeja.

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

2.3 Korroosionkestävyys

Eurocode 5:n (EN 1995-1-1:2004) mukaan käyttöluokassa 3 puurakenteiden liitoksissa käytettävien teräslevyjen 3 mm:n paksuuteen saakka, naulalevyjen sekä hakasten tulee olla ruostumattomasta teräksestä valmistettuja. Lisäksi mainitaan, että paksua sinkitystä tai ruostumatonta terästä pitäisi käyttää myös erityisesti korroosiolle alttiissa olosuhteissa olevien puurakenteiden teräsosissa. Todettakoon, että Eurocode 5:n suunnitteluohjeet eivät koske puurakenteita, jotka kuuluvat prEN 335-1:2004 -standardiluonnoksen mukaisiin käyttöluokkaa 3 ankarampiin puun vaurioitumisluokkiin 4 ja 5. Näitä ovat esimerkiksi maakosketuksissa olevat puurakenteet tai vesikosketuksissa olevat laiturit.

Metallipinnan ei tarvitse olla silminnähdessä märkä, jotta korroosiota tapahtuisi. Riittää, kun ympäristön suhteellinen kosteus ylittää 85–90 %:n arvon. Puun kosteuspitoisuuden kasvu nopeuttaa metallisten liittimien korroosioprosessia ja lisää puusta haihtuvien aineiden määrää. Suurissa kosteuspitoisuuksissa tapahtuva sienten kasvu puussa voi edelleen lisätä korroosioriskiä. Korroosiotuotteet saattavat myös edesauttaa puun vaurioitumista ja kiihdyttää sienten kasvua (Kubler 1992).

Paitsi kosteudesta ja metallin laadusta, syöpymisnopeus ja syöpyminen riippuvat myös ilman kaasupitoisuuksista, puutuotteen PH:sta, puusta haihtuvista hapoista ja formaldehydistä sekä puunsuoja-aineiden sisältämistä suoloista. Teräksille korroosiota aiheuttavat mm. karjasuojissa ja lietesäiliöissä esiintyvät ammoniakki (NH₃) ja sen yhdisteet ja

rikkivety (H_2S). Kosteissa olosuhteissa ammoniakki ja rikkivety voivat kiihdyttää paljaan teräksen syöpymisnopeuden moninkertaiseksi. Myös sinkin korroosio nopeutuu aggressiivisissa olosuhteissa. Austeniittiset ruostumattomat teräslaadut, kuten EN 1.4301 (AISI 304) ja EN 1.4401 (AISI 316), kestävät hyvin kosteita olosuhteita, ammoniakkia ja rikkivetyä. Joidenkin happamien puulajien, kuten koivun, yhteydessä perusteräslaadusta (esim. EN 1.4301) valmistetuissa liittimissä voi kosteissa olosuhteissa esiintyä korroosiota.

Puunsuoja-aineiden, kuten suolapitoisten kyllästysaineiden ja palosuoja-aineiden, vaikutuksesta puussa olevien metalliliittimien korroosioriski kasvaa kosteissa olosuhteissa (Suomi-Lindberg ym. 1999). CCA- ja ACA-kyllästeiden vaikutuksesta sinkittyjen liittimien korroosio kasvaa kosteissa olosuhteissa pitkäaikaisessa käytössä liian suureksi (Barker 1992). Boorisuoloja sisältävät suoja-aineet ovat korroosion kannalta vähemmän aggressiivisia (Suomi-Lindberg ym. 1999). Liitinvalmistajan teettämässä tutkimuksissa on myös uusien kyllästysaineiden todettu lisäävän korroosioriskiä (Simpson Strong-Tie 2003). Ruostumattomien terästen peruslaatuja AISI 304 ja AISI 316 on todettu kestävän erittäin hyvin vesiliukoisia suolakyllästeitä ja puusta haihtuvia aineita vastaan.

Metallisten liitoslevyjen tai sauvojen kiinnityksissä tulisi käyttää samaa metallilaatua olevia liittimiä. Eri metallilaatujen kontaktista johtuva galvaaninen korroosio voi kosteissa olosuhteissa kiihdyttää merkittävästi epäjalomman materiaalin korroosiota. Kosteissa olosuhteissa ruostumattomien liittimien yhteydessä myös muut liitososat tulisi siis valmistaa ruostumattomasta teräksestä.

Ulkoilmarakenteet

Pysyviksi tarkoitetuissa EN 335 -standardin mukaisissa käyttöluokan 4 tai 5 puurakenteiden liitoksissa tulisi käyttää ruostumattomasta teräksestä valmistettuja liittimiä ja liitososia. Maahan tai makeaan veteen kosketuksissa olevissa käyttöluokan 4 rakenteissa riittää tavallisesti peruslaatu EN 1.4301. Suolaiseen veteen kosketuksissa olevissa käyttöluokan 5 rakenteissa tulee käyttää Itämeren olosuhteissa vähintään EN 1.4401 -terästä ja suolaisemmissa merivesissä vielä enemmän kromia ja molybdeeniä sisältäviä laatuja.

Taulukossa 2.6 on esitetty ohje sopivien ruostumattomien teräslaatuja valintaan eri ilmasto-olosuhteissa. Se perustuu ruostumattomien teräslevykoekappaleiden pitkäaikaiseen altistukseen erilaisissa olosuhteissa (Architects' Guide... 1997). Yleensä ulko-olosuhteissa voidaan käyttää terästä EN 1.4301, jossa ei ole molybdeeniä. Rannikkoalueiden merisumulle alttiit rakenteet ovat erityisessä korroosiovaarassa ilman kloridi-ionien korkean pitoisuuden vuoksi. Katetut ulko-olosuhteet esimerkiksi teiden ja katujen läheisyydessä voivat olla myös klorideille alttiina (NiDi 2001). Austeniittinen ruostumaton teräslaatu EN 1.4401 (ns. haponkestävä teräs) soveltuu hyvin tyypillisiin rannikkoalueiden tai raskaan teollisuuden rasittamiin ilmasto-olosuhteisiin.

Taulukko 2.6. Suositeltavat teräslajit eri ilmasto-olosuhteissa (prEN 1993-1-4:2004).

Teräslaji EN 10088	Ympäristön tyyppi ja korroosiluokka											
	Maaseutuilmasto			Kaupunki-ilmasto			Teollisuusilmasto			Meri-ilmasto		
	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H
1.4301 1.4311 1.4541 1.4318	✓	✓	✓	✓	✓	(✓)	(✓)	(✓)	x	✓	(✓)	x
1.4401 1.4404 1.4406 1.4571	0	0	0	0	✓	✓	✓	✓	(✓)	✓	✓	(✓)
1.4439 1.4462 1.4529 1.4539	0	0	0	0	0	0	0	0	✓	0	0	✓
Korroosio-olosuhteet: 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.												
Avainsanat: 0 Mahdollisesti ylimitoitettu 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).												

Uimahalliolosuhteet

Uimahalleissa käytetään klooripohjaisia desinfiointiaineita. Näiden aineiden reagoidessa 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 ruostumattomia teräslautuja 1.4301, 1.4401 tai 1.4432 niiden jännityskorroosiovaaran vuoksi (SFS-ENV 1993-1-4:1999, NiDi 1995), mikäli säännöllinen puhdistus ei ole mahdollista. Sopivia materiaaleja ovat prEN 1993-1-4:2004:n mukaan 1.4529, 1.4547, 1.4539 ja 1.4565, kun kloridipitoisuus vedessä on 250 mg/l tai alle. Suuremmilla pitoisuuksilla soveltuvat edellä mainituista muut paitsi 1.4539. Duplex-teräksillä (1.4462)

pistekorrosiomahdollisuus voi rajoittaa 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 höyrynsuluissa on usein puutteita. Huono tuuletus saa aikaan kondensoitumista, homekasvua ja sinkittyjen teräsosien valkaisuusta (Kurkela ym. 2003).

Kotieläinrakennuksissa esiintyvät ammoniakkipitoisuudet ovat suurimpia lattianrajassa, mikä aiheuttaa voimakasta korroosiorasitusta kalusteille. Ammoniakkikaasujen vaikutusta sinkittyjen naulalevyjen tai muiden kantavien rakenteiden teräsosien ajalliseen kestävyys on vaikea arvioida (Kivinen 2003). Ristikoida, joissa on käytetty sinkittyjä naulalevyjä, ei tule käyttää olosuhteissa, joissa esiintyy ammoniakkihöyryjä, kuten lietesäiliön katot.

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.

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 esiintyy joissakin kotieläinrakennuksissa ja rehuvarastoissa.

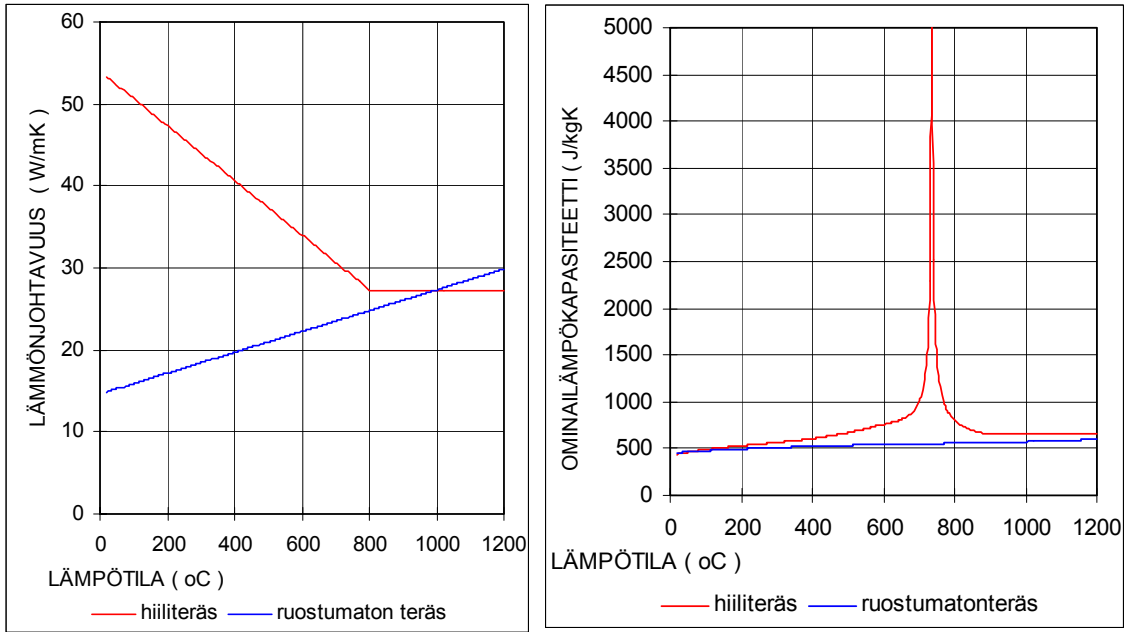
Katetun lietesäiliön olosuhteet vastaavat Eurocode 5:n käyttöluokkaa 3, jossa puun kosteuspitoisuus on suurimman osan vuotta yli 20 % (Kortesmaa & Kevarinmäki 2005). Taulukossa 2.7 on esitetty lietesäiliön kattorakenteissa käytettävien liittimien ja teräsosien korroosiosuojaussuosituksia. Vaikka lietesäiliö olisi tehokkaasti tuuletettu, paksuillakaan teräsosien sinkityksillä ei yleensä päästä yli 25 vuoden käyttöikäen korkeiden ammoniakkipitoisuuksien vuoksi. VTT Working Papers 21 -julkaisussa on esitetty lietesäiliön kattorakenteiden käyttöikämitoitusmenetelmä painekyllästämättömille puuosille ja sinkityille teräsosille (Kortesmaa ym. 2005).

Taulukko 2.7. Lietesäiliön kattojen puurakenteissa käytettävien liittimien ja metallisten liitoslevyjen tai sauvojen suositeltavia korroosiosuojauksia. Virtsasäiliön kattorakenteiden liittimiin ja metalliosiin suositellaan vähintään peruslaadun EN 1.4301 ruostumatonta terästä (Kortesmaa & Kevarinmäki 2005).

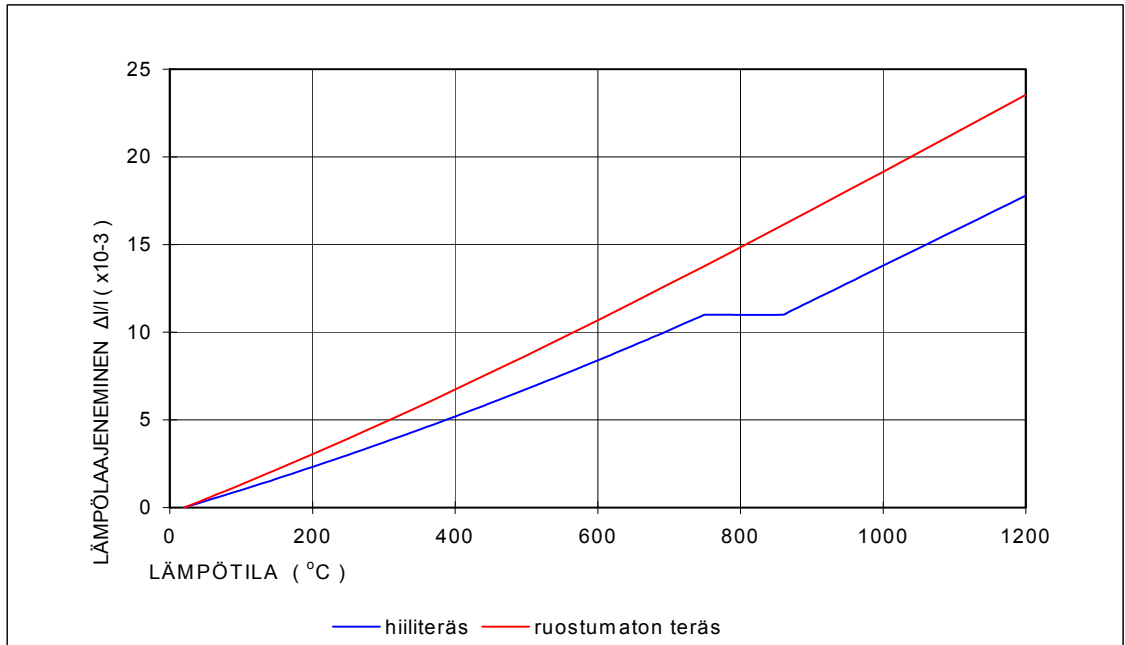
Metalliosa tai liitin	Painekyllästetty puutavara	Hyvä tuuletus räystäiltä ja päädyistä	Tehokas tuuletus, maastoluokka I tai II
Liitoslevyt tai sauvat ja niiden liittimet	rust: EN 1.4301 (AISI 304) EN 1.4401 (AISI 316)	kuumasinkitty Z450 + käyttöikämitoitus	kuumasinkitty Z350 + käyttöikämitoitus
Naulat, ruuvit, pultit ja tappivaarnat puupuuliitoksissa	ruostumaton teräs: EN 1.4301 (AISI 304) EN 1.4401 (AISI 316)	sähkösinkitys Fe/Zn 40c tai kuumasinkitty Z450 + käyttöikämitoitus	sähkösinkitys Fe/Zn 25c tai kuumasinkitty Z350 + käyttöikämitoitus
Naula- ja naulauslevyt sekä vanteet 3 mm paksuuteen saakka	ruostumaton teräs: EN 1.4301 (AISI 304) EN 1.4401 (AISI 316)	ruostumaton teräs: EN 1.4301 (AISI 304) EN 1.4401 (AISI 316)	ruostumaton teräs: EN 1.4301 (AISI 304) EN 1.4401 (AISI 316)

2.4 Termiset ja mekaaniset ominaisuudet korkeissa lämpötiloissa

Austeniittisten ja austeniittis-ferriittisten terästen (seuraavassa ruostumattomat teräkset) lämmönjohtavuus on pienempi ja lämpölaajeneminen suurempi kuin ferriittisillä ja martensiittisillä teräksillä. Kuvassa 2.2 on vertailtu ruostumattoman ja hiiliteräksen lämmönjohtavuutta ja ominaislämpökapasiteettiä korkeissa lämpötiloissa EN 1993-1-2:2003:n mukaan ja kuvassa 2.3 vastaavasti lämpölaajenemista. Hiiliteräksen lämmönjohtavuus (52 W/mK) on huomattavasti korkeampi normaalilämpötilassa kuin ruostumattoman teräksen (15 W/mK), mutta ero pienenee korkeammissa lämpötiloissa, ja 1 000 °C:ssa lämmönjohtavuudet ovat yhtä suuret. Hiiliteräksen ja ruostumattoman teräksen ominaislämpökapasiteetit ovat samaa suuruusluokkaa sekä normaalilämpötiloissa että korkeissa lämpötiloissa, mutta noin 750 °C:ssa hiiliteräksen ominaislämpökapasiteetti nousee hetkellisesti noin kymmenkertaiseksi. Lisäksi taulukossa 2.8 esitetään joidenkin hehkutettujen ruostumattomien terästen fysikaalisia ominaisuuksia standardin EN 10088-1 mukaan.



Kuva 2.2. Terästen lämmönjohtavuus ja ominaislämpökapasiteetti lämpötilan funktiona.

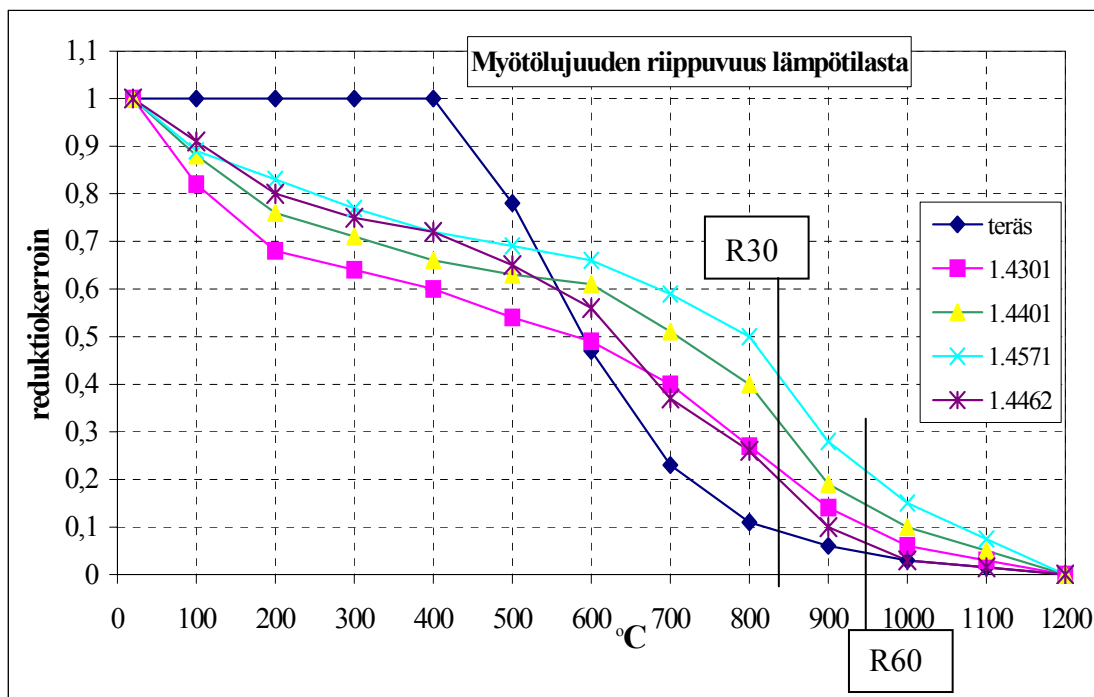


Kuva 2.3. Terästen lämpölaajeneminen lämpötilan funktiona.

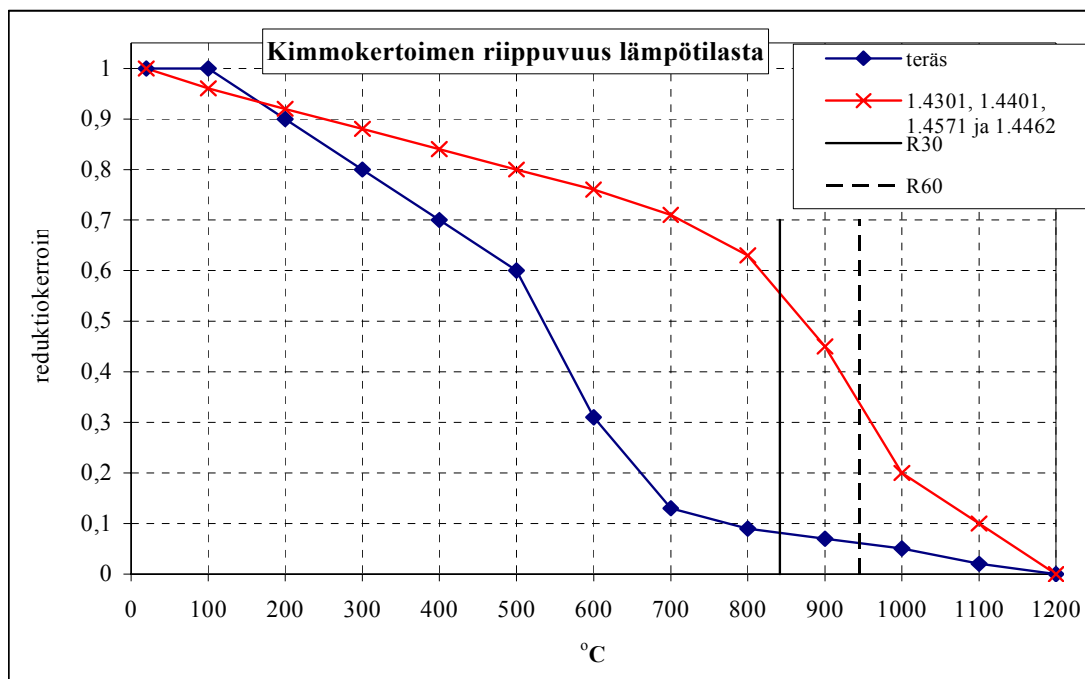
Taulukko 2.8. Fysikaalisia ominaisuuksia (EN 10088-1).

Teräksen merkintä EN 10088-1:n mukaan		Tiheys kg/m ³	Lämpölaajenemiskerroin (x 10 ⁻⁶ /K)		Lämmön- johtavuus W/m °C
Nimi	Numero		20 °C–200 °C	20 °C–400 °C	
X2CrNi18-7	1.4318	7,9	16,5	17,5	15
X2CrNi18-9	1.4307		16,5	18	
X5CrNi18-10	1.4301		16,5	17,5	
X6CrNiTi18-10	1.4541		16,5	17,5	
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	8,0	16,5	17,5	15
X5CrNiMo17-12-2	1.4401		16,5	17,5	
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571		17,5	18,5	
X2CrNiMo17-12-3	1.4432		16,5	17,5	
X3CrNiMo17-13-3	1.4436		16,5	17,5	
X2CrNiMoN17-13-5	1.4439		16,5	17,5	
X1NiCrMoCuN25-20-7	1.4529	8,1	16,1	16,9	12
X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	7,8	13,5	14,0	15

Austeniittiset ja duplex-teräkset säilyttävät yleensä lujuutensa korkeissa lämpötiloissa (yli 550 °C) ja jäykkyytensä kaikissa lämpötiloissa hiiliteräksiä paremmin (kuvat 2.4 ja 2.5) (Euro Inox & VTT 2002). Ruostumattomien terästen korkeiden lämpötilojen jännitys-venymäsuhteen ja muiden ominaisuuksien tiedot saadaan EN 10088:sta tai valmistajalta. Pitkäaikainen käyttö korkeissa lämpötiloissa tulee selvittää tapauskohtaisesti.



Kuva 2.4. Myötölujuuden riippuvuus lämpötilasta. R30 = kaasun lämpötila 30 min jälkeen sekä R60 = kaasun lämpötila 60 min jälkeen. Arvot lähteistä: Euro Inox & VTT (2002), teräs EN 1993-1-2:2003.



Kuva 2.5. Kimmokertoimen riippuvuus lämpötilasta. R30 = kaasun lämpötila 30 min jälkeen sekä R60 = kaasun lämpötila 60 min jälkeen. Arvot lähteistä: Euro Inox & VTT (2002), teräs EN 1993-1-2:2003.

3. Mitoitus normaalilämpötilassa

3.1 Puikkoliitokset

Ruostumattomasta teräksestä valmistetut puikkoliitokset voidaan mitoittaa Eurocode 5:n mukaan. Puikkoliittimien myötömomenttien laskennassa Eurocode 5:n (EN 1995-1-1:2004) kaavoissa käytetään ruostumattomasta teräksestä valmistetun liittimen vetomurtolujuuden minimiarvoa $f_{u,k}$.

Kun liitin halutaan hyödyntää tehokkaasti, myötömomentti kannattaa määrittää standardien EN 409 ja EN 14358 mukaan valmistajakohtaisesti kullekin liittintyypille sen eri halkaisijamitoille ja materiaalivaihtoehdoilla. Näin mitoituksessa päästään hyödyntämään ruostumattomille liittimille tyypillistä muokkauslujittumista. Valmistuksessa tapahtuva muokkauslujittuminen riippuu valmistusmenetelmästä ja liittimen profiloinnista. Nauloilla myötömomentti määritetään niin suurella taivutuskulmalla, että tällöin voi tapahtua myös kuormituksesta johtuvaa materiaalin lujittumista.

Profiloitujen naulojen myötömomentit määritetään aina testaamalla. VTT:n lausunnon nro RTE2560/04 mukaisille Gunnebon ruostumattomille ankkurinauloille testaamalla määritetty myötömomentti on $M_{y,k} = 9\,520$ Nmm, kun $d = 4$ mm, ja $M_{y,k} = 30\,850$ Nmm, kun $d = 6$ mm.

Ruostumattomasta teräksestä valmistetuille liittimille voidaan käyttää samoja ulosvetolujuuden arvoja kuin vastaaville hiiliteräsliittimille. Ellei profiloitulle naulalle ole ilmoitettu testattua ulosvetolujuusparametrin arvoa, naulan ulosvetolujuus lasketaan Eurocode 5:ssä sille nauloille esitetyllä kaavalla (8.25). Kartiomaisesti kampaprofiloitujen vasaroitavien ankkurinaulojen ulosvetolujuusparametri voidaan kuitenkin laskea kaavalla (Ehlbeck & Siebert 1988)

$$f_{ax,k} = 36 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2, \quad (3.1)$$

jossa ρ_k on puun tiheyden ominaisarvo RH 65 %:n kosteudessa.

Puun syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa aksiaalisesti kuormitetun ruuviliitoksen ominaiskapasiteetti lasketaan kaavalla

$$F_{ax,Rk} = n_{ef} \left(\frac{8d}{l_{ef}} \right)^{0,2} f_{ax,k} d l_{ef}, \quad (3.2)$$

jossa tehollisesti toimivien ruuvien lukumäärä $n_{ef} = n^{0,9}$ ja ruuvin tehollinen tartuntapiius l_{ef} on ruuvin kärkipuolen tunkeumapiius puussa vähennettynä ruuvin kierreosan

ulkohalkaisijalla d . Ruuvien tartuntalujuusparametri $f_{ax,k}$ määritetään testaamalla EN 1382:n ja EN 14358:n mukaan tai laskemalla kaavalla

$$f_{ax,k} = 0,037\rho_k. \quad (3.3)$$

Kosteissa käyttöluokan 3 tai muissa korroosiolle alttiissa olosuhteissa (ks. kohta 2.3) tulee ruostumattomasta teräksestä valmistettuihin liittimiin kosketuksissa olevat metalliset liitososat valmistaa galvaanisen korroosiovaaran vuoksi ruostumattomasta teräslaadusta. Ruostumattomasta teräksestä valmistettuja liitososia käytetään myös liitoksen paremman palonkestävyyden vuoksi.

Rst-liitososien mitoituksessa noudatetaan Eurocode 3:n ohjeita, jotka on esitetty ruostumattomille teräksille sovellettuna Euro Inoxin käsikirjassa ”Ruostumattomien terästen käyttö kantavissa rakenteissa” (2002). Liitteessä A esitetystä naulauslevyliitoksen mitoitusmerkissä on esitetty ruostumattomasta teräksestä valmistetun liitoslevyn mitoitukset: liitintäisyydet, levyn reunapuristuskestävyys, vetokestävyys brutto- ja nettopoikkileikkauksessa, levyn palamurtumiskestävyys sekä liittimen kannan lävistyskestävyys.

3.2 Muotolevykiinnikkeet

Muotolevykiinnikkeillä tarkoitetaan teräslevystä muotoiltuja kiinnikkeitä, joihin on meistetty liittimiä varten reiät. Näitä kiinnikkeitä ovat esim. muotoon taivutetut kulma-kiinnikkeet, palkki- ja pilarikengät sekä suorat naulauslevyt. Teräslevyn paksuus on tyypillisesti 1,5–3 mm. Liittiminä käytetään ankkurinauloja tai -ruuveja ja joissakin tapauksissa myös pultteja. Kaikkia muotolevykiinniketyyppejä voidaan valmistaa ruostumattomasta teräksestä, yleensä kyseeseen tulevat laadut 1.4301 (AISI 304) tai 1.4401 (AISI 316).

Muotolevykiinnikkeiden mitoituksessa noudatetaan Eurocode 3:n ohjeita. Varastotuotantomallit on yleensä mitoitettu niin, että itse muotolevykiinnikkeen kapasiteetti ei tule kriittiseksi tekijäksi, kun kiinnikettä käytetään puuosien välisenä liitoselimenä.

Muotolevykiinnikkeiden yhteydessä käytetään ruostumattomasta teräksestä valmistettuja nauloja tai ruuveja. Liittimien mitoituksessa noudatetaan Eurocode 5:n ohjeita (ks. kohta 3.1 ja liite A). Eurocode 5:n paksun teräslevyn liitoskapasiteetin laskentakaavoja (EN 1995-1-1: kaavat 8.10a–c) voidaan käyttää kartiokantaisten ankkurinaulojen ja -ruuvien yhteydessä myös ohuen teräslevyn tapauksessa, kun liittimen kanta pureutuu tiiviisti kiinnikkeen reikään ja liitoslevyn paksuus on vähintään puolet liittimen varren paksuudesta.

3.3 Teräslevylliset tappivaarnaliitokset

Teräslevylliset palonkestävät liima- ja kertopuurakenteiden tappivaarnaliitokset valmistetaan sijoittamalla teräslevyt puun sisään. Liimapuulla ja kerrannaisliimatulla kertopuulla teräslevyt sijoitetaan puuhun sahattuun 1–2 mm teräslevyn paksuutta leveämpään uraan. Kertopuun yhteydessä käytetään yleensä liimatuilla listoilla reunoiltaan yhdistettyjä erillislamelleista koottuja poikkileikkauksia, joissa liitosten teräslevyt sijoitetaan listojen väliin jäävään tilaan.

Käyttämällä ruostumattomasta teräksestä valmistettuja tappivaarnoja voidaan monileikkeisillä liitoksilla tappivaarnojen päät jättää suojaamattomiksi R60-paloluokan liitoksissa ilman normaalilämpötilan ylimitoitusta, kun liitoksen muotoilussa ja tappivaarnojen sijoittelussa noudatetaan kohdassa 4.4 esitettyjä ohjeita. Eurocode 5:ssä esitettyjen ohjeiden mukaan tämä on mahdollista seostamattomasta teräksestä valmistettujen tappivaarnojen yhteydessä ainoastaan palonkestävyysluokassa R30.

Käyttöluokan 1 ja 2 rst-tappivaarnaliitoksissa liitoslevyinä voidaan käyttää rst-levyjen asemasta myös seostamattomasta teräksestä valmistettuja teräslevyjä. Paloluokan R60 yhteydessä seostamattomasta teräksestä valmistetut teräslevyt joudutaan kuitenkin ylimitoittamaan normaalilämpötilassa siten, että teräslevyn kapasiteetin käyttöaste liitossaumassa on normaalilämpötilamitoituksessa enintään 50 %.

Muutoin sekä rst- ja hiiliteräslevyt mitoitetaan Eurocode 3:n mukaan. Puuosien väliin sijoitettujen teräslevyjen reunapuristuslujuuden laskentakaavassa käytettävä lujuuden korotuskerroin rajoitetaan kuitenkin arvoon 1,5, jolloin levyn reunapuristuskestävyys tarkistetaan kaavalla

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 f_{u,k} d t}{\gamma_{Mb}}, \quad (3.4)$$

missä $f_{u,k}$ on teräslevyn vetolujuuden minimiarvo, t on teräslevyn paksuus, d on tappivaarnan halkaisija ja osavarmuusluku $\gamma_{Mb} = 1,25$.

Rst-levyllisten tappivaarnaliitosten normaalilämpötilan mitoituksessa taloudellisin ratkaisu saavutetaan yleensä käyttämällä kylmämuovauksella lujitettua ruostumattoman teräksen peruslaatua, esim. EN 1.4301 C700. Kylmämuovatulla teräksellä lujuuden pieneneminen on kuitenkin nopeampaa korkeissa lämpötiloissa, jolloin palotilanne tulee helpommin R60-luokan liitoksissa teräslevyjen mitoitavaksi tekijäksi. Paloluokan R60 monileikkeisiin tappivaarnaliitoksiin suositellaan Outokumpu Oyj:n valmistamaa hehkutettua teräslaatua EN 1.4318, jonka 0,2-raja on 330 N/mm^2 ja vetomurtolujuus $f_{u,k} = 650 \text{ N/mm}^2$. Sen tyyppilliset valmistuspaksuudet ovat 5, 6 ja 8 mm. Tukkuliikkeet

eivät kuitenkaan yleensä pidä tätä laatua varastotuotteena, joten saatavuustilanne on tarkistettava aina jo suunnitteluvaiheessa.

Rst-tappivaarnaliitosten normaalilämpötilamitoituksessa noudatetaan Eurocode 5:n ohjeita. Myötömomentin laskennassa käytetään tappivaarnan valmistuksessa käytetyn rst-tangon vetomurtolujuuden miniarvoa. Mikäli mahdollista, mitoituksessa kannattaa hyödyntää ko. tankoerän valmistajan takaamaa vetolujuutta. Teräslevyyn tehtyjen reikien ollessa väljät voidaan vähentää puun kuivumiskutistumisesta tai palotilanteessa teräslevyn lämpölaajenemisesta aiheutuvaa liitosalueen halkeilua.

Vuonna 2004 hyväksytyssä EN 1995-1-1 -standardissa esitetty peräkkäisten liittimien lukumäärästä johtuva liitokapasiteetin reduktiokerroin on merkittävän konservatiivinen hoikkien tappivaarnojen yhteydessä. Eurocode 5:n esistandardiin perustuvaa suunnitteluohjetta RIL 205-2003 kannattaa käyttää liimapuun tappivaarnaliitoksien mitoituksessa niin kauan kuin se on voimassa, koska se johtaa huomattavasti edullisempaan liitosmitoitukseen. Tällöin on kuitenkin myös kuormitukset laskettava Eurocode 1 -esistandardin mukaan (RIL 201-1999).

Kerto-S-LVL:n tappivaarnaliitoksien EN 1995-1-1:2004 -standardin mukaisessa mitoituksessa voidaan käyttää Eurocode 5:ssä annettua kaavaa edullisempaa liitinten lukumäärästä johtuvaa kapasiteetin redusointia edellyttäen, että liitinten päätyetäisyydet $a_{3,t}$ ja puun syysuunnassa peräkkäisten liitinten välinen etäisyys a_1 ovat Eurocode 5:n vähimmäisvaatimuksia suurempia. Tämä VTT:n lausunnossa nro RTE1707/04 annettu Kerto-S-LVL-puikkoliitosten EN 1995-1-1:2004 -standardin mukainen suunnitteluohje perustuu useiden satojen Kerto-S-LVL-liitosten EN 383 ja EN 26891 -standardien mukaiseen testaukseen ja koetulosten EN 14358 -standardin mukaiseen analysointiin.

Kun teräslevyllisessä Kerto-S:n tappivaarnaliitoksessa peräkkäisten liitinten välinen etäisyys on

$$a_1 \geq (4 + 3|\cos \alpha|)d \quad (3.5)$$

ja vedetyissä liitoksissa päätyetäisyys on

$$a_{3,t} \geq \max \begin{cases} 7d \\ 105 \text{ mm} \end{cases} \quad (3.6)$$

ja kun muutoin liitoksen muotoilussa ja mitoituksessa noudatetaan Eurocode 5:n ohjeita, voidaan EN 1995-1-1:2004:n kaava 8.34 korvata lausekkeella

$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,9} \sqrt[4]{\frac{a_1 \cdot t}{50 \cdot d^2}} \end{array} \right. , \quad (3.7)$$

missä d on tappivaarnan halkaisija

n on peräkkäisten liittimien lukumäärä puun syiden suuntaisessa rivissä

$$t = \begin{cases} t_1 & \text{kaksileikkeiset liittokset} \\ \min(2t_1, t_2) & \text{monileikkeiset liittokset} \end{cases} \quad (3.8)$$

t_1 on tappivaarnan tehollinen pituus ulkoreunan Kerto-S-lamellissa

t_2 on liittoksen sisäpuulamellin paksuus.

3.4 Holkkiliitokset

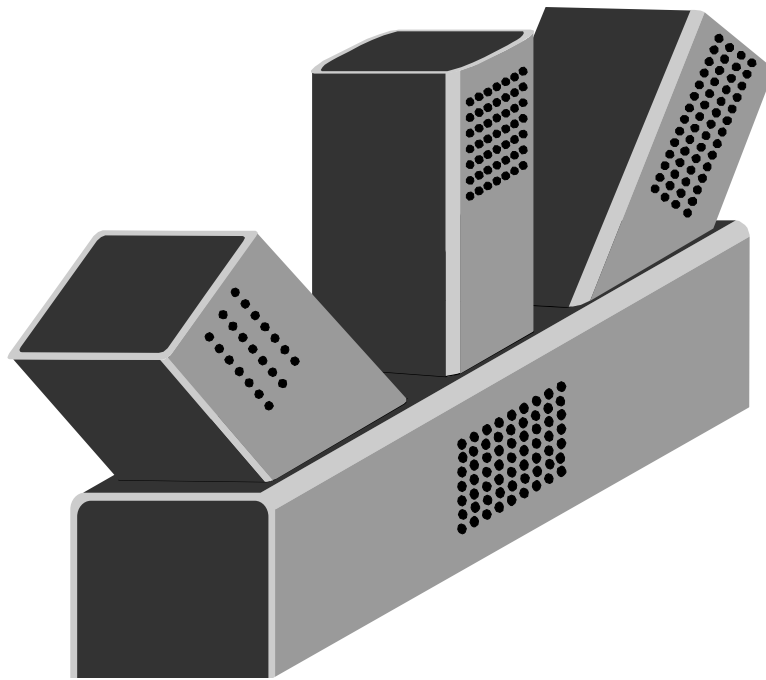
Holkkiliitos muodostuu ruostumattomasta teräksestä valmistetusta putkipalkista valmistetusta holkista, jonka sisään työnnetty puusauva kiinnitetään holkkiin porattujen reikien läpi ruostumattomilla nauloilla tai ruuveilla. Liittimiä voidaan sijoittaa kaikille holkin sivuille, yleensä kuitenkin vain vastakkaisille pinnoille. Holkkiliitosta voidaan käyttää esimerkiksi momenttijäykän pilarin kantaliitoksena, vetosauvan jatkoksena tai puuristikon liitososana. Kuvassa 3.1 on esitetty esimerkki ristikon liitososasta, joka on hitsattu holkeista siten, että jatkuvalla paarteelle tulee putkipalkista halkaistu U-osa. Holkkiliitosristikko voidaan toteuttaa myös sekaristikkona, jossa sisäsauvat tai osa niistä tehdään kokonaan rst-putkipalkeista.

Leikkausliittiminä voidaan käyttää ankkurinauloja tai -ruuveja tai laippakantaisia itsepo-rautuvia puuruuveja. Liitos voidaan toteuttaa myös kohdassa 3.4.2 esiteltyllä vinoruuvaustekniikalla. Yleensä kannattaa käyttää kartiokantaisia ankkurinauloja tai -ruuveja, jotka mitoitetaan kohdassa 3.2 esitettyjen ohjeiden mukaan.

Puusauvan ja holkin sisäpinnan väliin saa asennettaessa jäädä liitinsivuilla enintään 2 mm leveä rako. Puun kosteus asennushetkellä saa olla keskimäärin enintään 3 prosenttiyksikköä suurempi kuin rakenteen alin suunniteltu kosteuspitoisuus.

Holkin ja sen hitsiliitoksen mitoituksessa noudatetaan Eurocode 3:n suunnitteluohjeita esim. Euro Inoxin käsikirjassa esitettyjen suositusten mukaan (EuroInox & VTT 2002). Kun holkin seinämän paksuus on vähintään puolet liittimen paksuudesta, liittimestä holkkiin aiheutuva reunapuristusmurto tai holkin palamurtuminen liitinalueella eivät tule yleensä kyseeseen.

Ruuveilla kiinnitettävien holkkiliitosten ruuvauksessa käytetään säädettävällä momentti-rajoittimella varustettua ruuvinväännintä. Ruuvien kiristysmomentti saa olla enintään 80 % ruuvimateriaalin murtumisesta tai tartunnan pettämisestä johtuvasta vääntökapasiteetista. Vääntökapasiteetti testataan koeliitosten ruuvauksilla kullekin puumateriaalin, ruuvierän ja ruuvinvääntimen yhdistelmälle.



Kuva 3.1. Esimerkki holkkiliitostekniikalla toteutettavan ristikon liitososasta.

3.4.1 Suoraruuvaus

Suoraruuvaustekniikalla toteutettavissa holkkiliitoksissa käytetään laippakantaisia itseporautuvia rst-ruuveja, esimerkiksi osakierteisiä SFS-TDA-S-6,5x127-ruuveja ($f_{u,k} = 700 \text{ N/mm}^2$). Holkin reiät porataan hieman ruuvin kierreosan ulkoläpimittaa pienemmiksi esimerkiksi, 6,0–6,3 mm:n reikä 6,5 mm:n ruuville. Tällöin ruuvi pureutuu automaattisesti kohtisuorasti pintaa vastaan, eikä osakierteisen ruuvin ohuemman varsisosan ja reiän väliin jää tarpeettomasti liitoskapasiteettia ja -jäykkyyttä alentavaa väljyyttä.

Osakierteisen ruuviliitoksen kapasiteetti voidaan laskea Eurocode 5:n (EN 1995-1-1:2004) yksileikkeisen paksun teräslevyliitoksen kaavalla, jos holkin seinämän paksuus on suurempi kuin ruuvin sileän varren paksuus ja ruuville porattu reikä on teräksessä

korkeintaan 1 mm ruuvin sileän varren paksuutta suurempi. Myötömomentin, reunapuristuslujuuden ja liitoskapasiteetin laskennassa ruuvin paksuutena d_{ef} käytetään sileän varren paksuutta, jos sileän varren tunkeuma puussa on vähintään $4d$. Muussa tapauksessa paksuutena käytetään mitta $d_{ef} = 1,1d_s$, jossa d_s on ruuvin kierteisen osan sisähalkaisija. Myötömomenttina voidaan käyttää myös ko. ruuville EN409:n ja EN 14358:n mukaan testaamalla määritettyä ominaisarvoa. Itseporautuvan puuruuvin reunapuristuslujuus lasketaan Eurocode 5:n esiporaamattoman naulaliitoksen kaavalla. Köysivoimaefektin määrittämisessä tarvittavan ruuvin tartuntakapasiteetin laskennassa noudatetaan kohdassa 3.1 esitettyjä ohjeita.

Kaikkien ruuvien voidaan olettaa toimivan samanaikaisesti täydellä teholla $n = n_{ef}$, kun puun syiden suunnassa peräkkäisten ruuvien välinen etäisyys $a_1 \geq 12d_{ef}$ ja syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa $a_2 \geq 6d_{ef}$. Mikäli vastakkaisilta puolilta ruuvatut ruuvit ulottuvat toisiinsa saakka, on ruuvit sijoitettava portaittaiseen liitinkaavioon siten, että eri puolilta ruuvattujen ruuvien välinen etäisyys a_1 on vähintään $6d_{ef}$. Siinä tapauksessa, että ruuvin tunkeuma puussa on suurempi kuin $t-4d_{ef}$ (t on puun paksuus), eri puolilta ruuvattavien ruuvien välisen etäisyyden puun syiden suunnassa täytyy olla vähintään $12d_{ef}$.

Vedettyjen holkkiliitosten puun lohkeamismurtokapasiteetti tarkistetaan Eurocode 5:n liitteen A ja sen soveltamiseksi kansallisessa liitteessä annettujen ohjeiden mukaan. Mikäli vastakkaisilta puolilta ruuvatut ruuvit menevät limittäin (tunkeuma puussa $> 0,5t$), lohkeamismurtokapasiteetin laskentakaavoissa käytettävälle puun paksuudelle t_1 käytetään arvoa $t_1 = 0,5t$, kun t on puun paksuus.

3.4.2 Vinoruuvaus

Vinoruuvaustekniikalla toteutettavissa holkkiliitoksissa käytetään pitkiä uppokantaisia itseporatuvia rst-ruuveja, esimerkiksi osakierteisiä A2-luokan yleisruuveja 6x140 (yleensä $f_{u,k} = 500 \text{ N/mm}^2$). Ruuvin varren ja kannan kartion välisen kulman tulee olla 40–50°. Holkin seinämäpaksuuden tulee olla suurempi tai yhtä suuri kuin ruuvin nimellishalkaisijan.

Ruuvit asennetaan 45° kulmaan siten, että liitoksen kuormitus aiheuttaa ruuveihin vetoa (ks. kuva 3.2). Holkkiin työstetään ruuvin nimellishalkaisijan (= ruuvin kierreosan ulkohalkaisija) kokoiset reiät 45° kulmassa pintaan nähden. Ruuvin kannalle ei tehdä senkkausta. Eri sivuilta ruuvatut vinoruuvit eivät saa mennä limittäin, ts. vinoruuvin kärki saa ulottua korkeintaan poikkileikkauksen puoliväliin saakka.

Vinoruuviliitosten mitoittamiseen sovelletaan CIB-W18/35-7-4:ssä puuosien välisille vinoruuviliitoksille esitettyä mitoitusmenetelmää (Kevarinmäki 2002). Mitoituksessa

tarkastellaan vedetyn vinoruuvin kapasiteettia kärjen puoleisessa puuosassa olettaen että kannan lävistyskapasiteetti teräsosassa on riittävä. Tällöin vedetyn vinoruuviiliitoksen leikkausvoimakapasiteetin ominaisarvo on

$$R_k = R_{T,k} (\cos \alpha + \mu \sin \alpha), \quad (3.9)$$

missä
$$R_{T,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{a,2,k} \pi d (s_2 - d) \\ F_{u,k} \end{array} \right. \quad (3.10)$$

$$f_{a,2,k} = f_{ax,\alpha,k} \left(\frac{8d}{s_2} \right)^{0,2} \quad (3.11)$$

α on voiman ja ruuvin akselin välinen kulma (= 45°)

μ rst-teräksen ja puun välisen liikekitkakertoimen mitoitusarvo

s_2 on ruuvin kierreosan pituus kärjen puoleisessa puussa

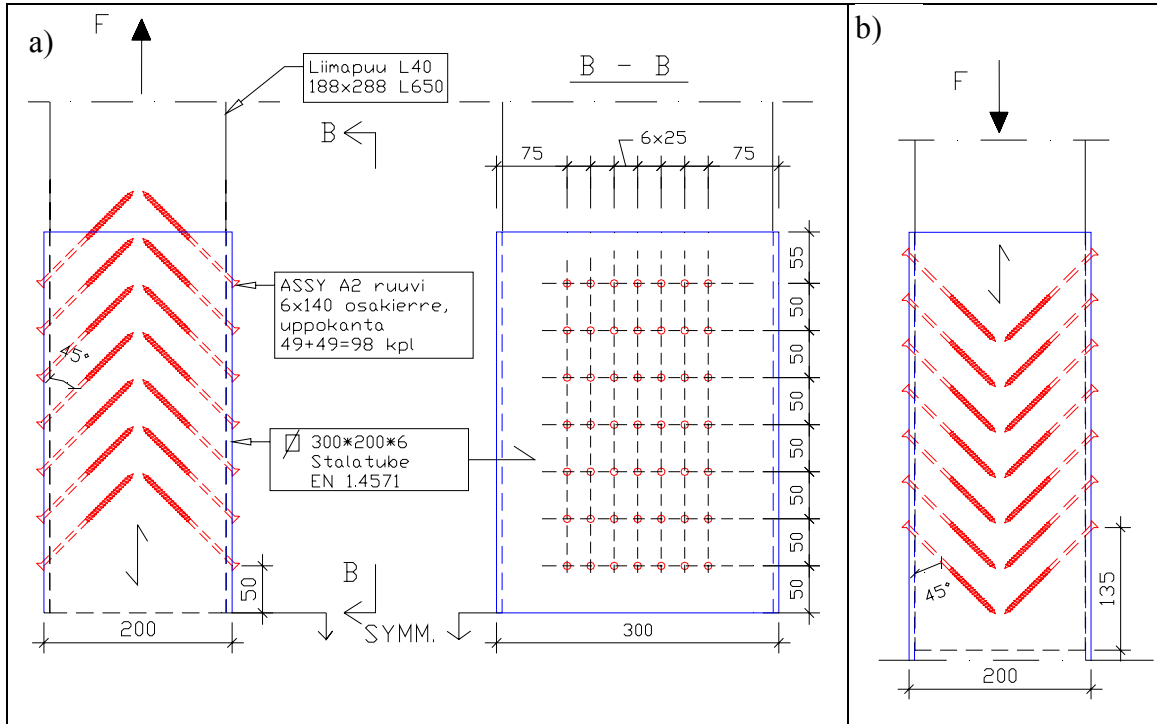
d on ruuvin kierreosan ulkoläpimitta

$f_{ax,\alpha,k}$ on ruuvin tartuntalujuus suuntakulmassa α puun syihin nähden

$F_{u,k}$ on ruuvin vetomurtokapasiteetin ominaisarvo.

Ellei ruuville ole ilmoitettu testattua vetomurtokapasiteetin ominaisarvoa $F_{u,k}$, se laskeaan ruuvin kierteisen osan sisähalkaisijan ja ruuvimateriaalin vetolujuuden mukaan. Rst-holkin ja höylätyn pinnoittamattoman havupuutavaran liikekitkakertoimelle voidaan käyttää mitoitusarvoa $\mu = 0,3$, kun liike on puun syiden suuntaista.

Ruuvin tartuntalujuudelle käytetään ko. ruuville ja puumateriaalille EN 1383:n ja EN 14358:n mukaan testaamalla 45° kulmassa puun syihin nähden ja tartuntapituudella $8d$ määritettyä ominaisarvoa. Yleisruuvityyppisille rst-ruuveille, joiden nimellishalkaisija $d = 5,0-7,0$ mm, voidaan tartuntalujuudelle käyttää GL32c-liimapuun yhteydessä ominaisarvoa $f_{ax,45^\circ,k} = 5,1$ N/mm², Kerto-S-LVL:n lapepinnoilla $f_{ax,45^\circ,k} = 5,8$ N/mm² ja Kerto-S:n syrjäpinnoilla $f_{ax,45^\circ,k} = 5,2$ N/mm².



Kuva 3.2. Vinoruuvaustekniikalla toteutettu vinoruuviliitoksia: a) vedetty ja b) puristettu liitos. Ruuvit sijoitetaan aina siihen suuntaan, että ne ottavat vetoa.

Vinoruuviliitoksen kaikkien ruuvien voidaan olettaa toimivan samanaikaisesti täydellä teholla $n = n_{ef}$, kun puun syiden suunnassa peräkkäisten ruuvien välinen etäisyys $a_1 \geq 8d$ ja syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa $a_2 \geq 4d$. Vedetyssä liitoksessa ruuvin kannan ja puun pään välinen etäisyys on $a_{3,t} > 8d$, ja puristusliitoksessa ruuvin kärjen ja puun pään välinen etäisyyden $a_{3,c}$ tulee olla vähintään $6d$.

Vedetyn vinoruuviliitoksen puun lohkeamismurtokapasiteetti lasketaan soveltaen Eurocode 5:n liitettä A ja sitä koskevaa kansallista liitettä siten, että palamurrossa lohkeavan vyöhykkeen korkeus vastaa ruuvien kärjen etäisyyttä puun pinnasta $t_{ef} = t_1$. Lisäksi lohkeamismurtokapasiteetti rajoitetaan enintään arvoon, joka vastaa koko poikkileikkauksen läpilohkeamista.

3.5 Liimatut rst-harjatankoliitokset

Eurocode 5 (EN 1995:2004) ei sisällä liimattujen terästankoliitosten suunnitteluohjeita. Seuraavassa esitetyt liimattujen rst-harjatankoliitosten suunnitteluohjeet perustuvat kansallisissa puunormissa RIL 120-2004 ja VTT Publications 196 -julkaisussa (Kangas 1994) esitettyihin liimattujen terästankojen suunnitteluohjeisiin, jotka on muokattu rst-tankojen EN 1995:n mukaiseen mitoitukseen soveltuviksi (Kevarinmäki 2004, Yli-Koski & Kevarinmäki 2005).

Liimattuja rst-harjaterästankoliitoksia saa käyttää käyttöluokissa 1 ja 2. Liitoksessa käytetään valmistajakohtaisesti hyväksytyjä epoksiliimoja. Liitosten valmistuksen tulee tapahtua ulkoisen laadunvalvonnan alaisena tehdasmaisissa olosuhteissa.

Vedettyjen rst-harjaterästankojen mitoituksessa voidaan käyttää materiaalin vetomurtolujuutta. Suurempaa arvoa kuin $f_{u,k} = 800 \text{ N/mm}^2$ ei pidä kuitenkaan hyödyntää. Puristettujen tankojen mitoituksessa käytetään materiaalin 0,2-rajan minimiarvoa f_y .

Tangon tartuntakapasiteettia määritettäessä voidaan tartuntapinta laskea poratun reiän halkaisijan mukaan edellyttäen, että se on enintään 1,25 kertaa tangon paksuus. Kun suuntakulma $\alpha \geq 15^\circ$ puun syysuuntaan nähden, liimasauman tartuntalujuus lasketaan kaavasta

$$f_{a,k} = 6,5 \cdot \left(1 - \frac{l_a}{100d}\right) \quad (\text{N/mm}^2), \quad (3.12)$$

jossa d on tangon paksuus ja l_a on tartuntapituus puussa. Syysuuntaan liimatuilla vedetyillä tangoilla kaavan (3.12) tartuntalujuus kerrotaan luvulla 0,75. Käyttöluokassa 2 pienennetään syysuuntaista tartuntalujuutta vielä 20 %. Väliarvot interpoloidaan suoraviivaisesti. Tartuntalujuuden mitoitusarvon laskennassa käytetään puuosan k_{mod} -kerrointa ja osavarmuuslukua γ_M .

Vedettyjen tankojen tartuntapituuksien tulee olla niin pitkiä, että mitoittavan aikaluokan tartuntakapasiteettia $R_{a,d}$ vastaava rst-tangon jännitys $\sigma_{s,t,d}$ täyttää ehdon

$$\sigma_{s,t,d} = \frac{R_{a,d}}{\frac{1}{4}\pi d^2} \geq f_y, \quad (3.13)$$

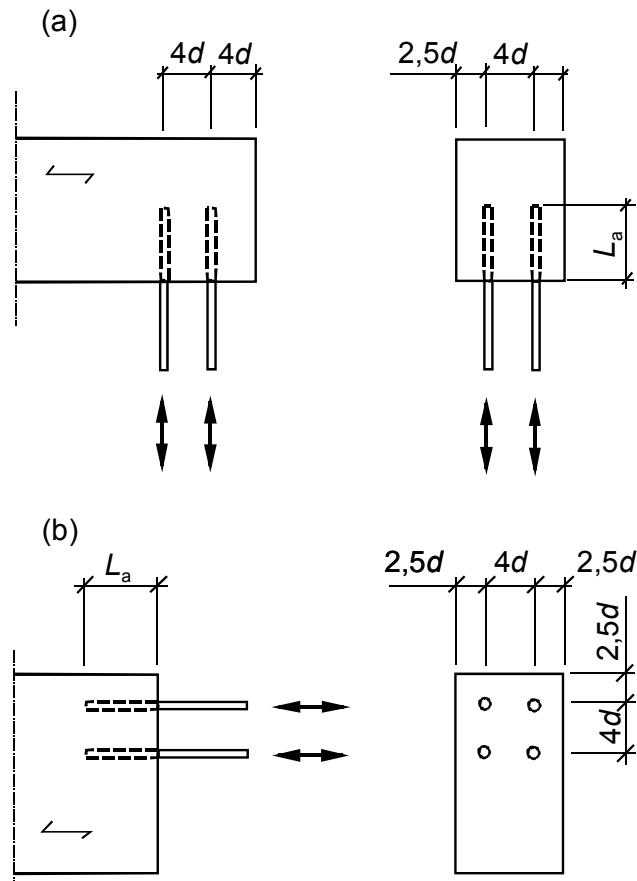
missä f_y on rst-tangon 0,2-rajan minimiarvo.

Leikkausrasitetut liitokset suunnitellaan leikkausrasitetuille pulttiliitoksille annettujen ohjeiden mukaisesti.

Puun kosteus liimaushetkellä saa olla keskimäärin enintään 3 prosenttiyksikköä suurempi kuin rakenteen alin suunniteltu kosteuspitoisuus. Päätypinnat tulee pinnoittaa kosteuden siirtymisen estämiseksi esimerkiksi epoksimaalilla.

3.5.1 Pituussuunnassa kuormitetut tangot

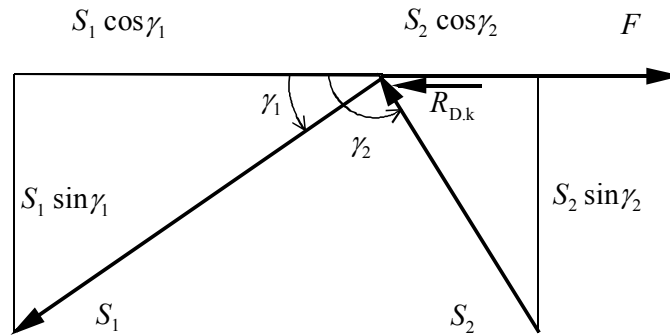
Rst-harjatankojen pienimmät sallittavat etäisyydet on annettu kuvassa 3.3. Pilareissa voidaan käyttää pienempiä etäisyyksiä VTT:n antaman valmistajakohtaisen erityisselvityksen mukaisesti.



Kuva 3.3. Pienimmät sallittavat etäisyydet ja välimatkat kohtisuoraan, (a), ja syysuuntaan, (b), liimatuilla yksittäisillä rst-harjatangoilla.

3.5.2 Vinotankoliitokset

Vinotankoliitos eli V-liitos muodostuu kahdesta vinosti toisiinsa nähden liimatusta, harjaterästangosta, (S_1 ja S_2), jotka on kiinnitetty toisiinsa yhtenäiseksi kokonaisuudeksi (ks. kuva 3.4).



Kuva 3.4. V-liitoksen toiminta.

V-liitoksen kapasiteetti lasketaan kaavasta

$$F_k = S_1 \frac{\sin(\gamma_1 - \gamma_2)}{\sin \gamma_2} + R_{D,k}, \quad (3.14)$$

jossa $R_{D,k}$ on puristettujen tankojen vaarnavaikutus, joka voidaan leikkausliitoksissa laskea Eurocode 5:n (EN 1995-1-1:2004) mukaan poikkoliitoksen kaavalla (8.9) tai (8.10) edellyttäen, että kulma $\gamma_2 = 90^\circ \dots 130^\circ$.

Puun kapasiteetti $N_{t,k}$ syysuuntaan vedetyssä V-liitoksessa (ks. kuva 3.5) määritetään liitososan puun teholliselle poikkileikkaukselle kaavasta

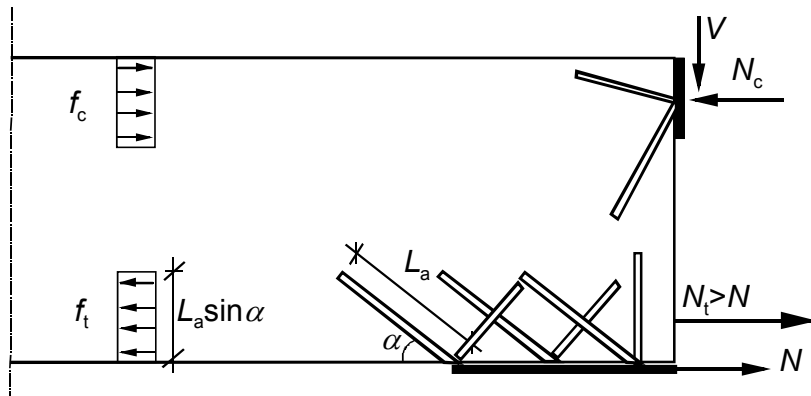
$$N_{t,k} = b_{ef} L \sin \alpha f_{t,k} \quad (3.15)$$

jossa L on terästangon pituus
 α terästangon ja puun syysuunnan välinen kulma
 $f_{t,k}$ on puun ominaisvetolujuus.

Tehollinen leveys b_{ef} saadaan kaavasta

$$b_{ef} = b - nD, \quad (3.16)$$

jossa n on kauimpana liitossaumasta olevien vierekkäisten porausten D lukumäärä
 D on porauksen läpimitta.



Kuva 3.5. Kaaviopiirros puun vetokapasiteetin määrittämisestä V-liitoksessa.

Vetokomponentti kohtisuorasti syysuuntaa vastaan siirretään erillisillä tangoilla. Tankoihin liittyvät teräsosat mitoitetaan teräsrakenteiden suunnitteluohjeiden EN 1993 mukaan.

Tankojen pienimmät sallittavat etäisyydet V-liitoksissa ovat seuraavat:

- syysuunnassa: $a_1 = 10d$
- kohtisuorasti syysuuntaa vastaan: $a_2 = 3,0d$
- päätyetäisyys syysuunnassa: $a_3 = 10d$ ($7d$, kun $\gamma_2 = 90^\circ$)
- reunaetäisyys: $a_4 = 1,5d$.

4. Palotekninen mitoitus

4.1 Yleistä

Puurakenteiden liitosten palonkestävyyttä voidaan parantaa käyttämällä austeniittisesta ruostumattomasta teräksestä valmistettuja liittimiä ja liitososia. Pienemmän lämmönjohdavuuden vuoksi puun hiiltyminen rst-liittimen ympärillä on tavallista hiiliteräsliitintä vähäisempää. Merkittävä puurakenteiden liitosten palonkestävyyden paraneminen voidaan saavuttaa hyödyntämällä ruostumattomien teräslaatuojen hyviä lujuus- ja jäykkyysominaisuuksia korkeissa lämpötiloissa. Näitä ominaisuuksia voidaan hyödyntää esimerkiksi jättämällä R60-paloluokan tappivaarnaliitoksessa liittimen päät näkyviin (ks. kohta 4.4). Ruostumattomasta teräksestä valmistettuja liitososia voidaan käyttää suojaamattomina myös palonkestävyydsuokassa R30 tietyin edellytyksin (ks. kohta 4.2). Ruostumattomasta teräksestä tehdyille rakenteille asetettavat palotekniset toimivuusvaatimukset ovat samat kuin hiiliteräkselle asetetut vaatimukset:

- Kun rakenteelta vaaditaan mekaanista kestävyyttä palotilanteessa, rakenne suunnitellaan ja rakennetaan siten, että se säilyttää kuormankantokykynsä vähintään kyseisen palonkestoluokan vaatiman ajan.
- Jos palotilanteessa rakenteen muodonmuutoksista on haittaa sen toiminnalle tai muille rakenneosille, esim. palosuojauksen kiinnipysyvyydelle tai osastoivien rakenteiden toiminnalle, muodonmuutokset on otettava huomioon.

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 mitoitus perustuu vastaaviin laskentayhtälöihin kuin normaalilämpötilamitoitus, mutta materiaalin mekaanisia ominaisuuksia redusoidaan kohonneissa lämpötiloissa esimerkiksi kuvien 2.4 ja 2.5 mukaan (Euro Inox & VTT 2002). Lisäksi on huomioitava mahdolliset rakenteen toimintatavassa tapahtuvat muutokset sekä lämpölaajeneminen ja puupoikkileikkauksen hiiltyminen. Palon lämpötila-aikariippuvuus määritetään ns. standardipalokäyrän mukaan (EN 1991-1-2:2003). Tämän perusteella voidaan laskea teräksen lämpötila.

Suojaamattomat ruostumattomat liitososat mitoitetaan Eurocode 3:n mukaan olettaen puuta vasten kontaktissa olevat pinnat palolta suojatuiksi. Ruostumattomasta teräksestä valmistetuissa liitoksissa mitoittavaksi tekijäksi tulee yleensä puun hiiltyminen. Ulkopuolinen rst-levy ei toimi liitosalueen palosuojauksena. Puun hiiltyminen rst-levyn alla on yhtä nopeaa kuin suojaamattoman puupinnan hiiltyminen. Rst-liitosten yhteydessä tulee noudattaa Eurocode 5:n palo-osassa (EN 1995-1-2:2004) annettuja ohjeita suojaamattomien liitinten reuna- ja päätyetäisyyksien sekä puuosien vähimmäispaksuuksien korottamisesta.

Puun hiiltyminen liitoslevyn alla vaikuttaa oleellisesti leikkauskuormitetun liittimen kapasiteettiin (ks. kohta 4.2). Ulkopuolisilla rst-levyllisillä liitoksilla ei päästä tämän vuoksi R30-luokkaa parempaan palonkestävyyteen.

Suojaamattomat puuosien väliset liitokset voidaan mitoittaa EN 1995-1-2:2004 -standardin kohdassa 6.2.2.1 esitetyllä pienennetyn kuorman menetelmällä käyttäen austeniittisesta ruostumattomasta teräksestä valmistettujen liittimien yhteydessä seuraavia k -kertoimen arvoja (vrt. EN 1995-1-2:2004:n taulukko 6.3):

– naulat ja ruuvit:	$k = 0,07$	$t_{fi,req} \leq 30$ min
– pultit:	$k = 0,05$	$t_{fi,req} \leq 40$ min
– tappivaarnat:	$k = 0,03$	$t_{fi,req} \leq 60$ min.

Edellä esitettyjä k -kertoimia käytettäessä on pultti- ja tappivaarnaliitosten ulkopuun paksuuden t_1 oltava vähintään

$$t_1 = 35 + 1,25d + \beta_n (t_{fi,req} - 30) \geq 50 \text{ mm} \quad (4.1)$$

ja puun reuna- ja päätyetäisyyden vähimmäismittoja a_4 ja a_3 on kasvatettava mitalla

$$a_{fi} = \beta_n (t_{fi,req} - 30) \quad [\text{mm}], \quad (4.2)$$

kun $t_{fi,req} > 30$ min. Naula- ja ruuviliitosten vähimmäispaksuuksia sekä reuna- ja päätyetäisyyksiä kasvatetaan EN 1995-1-2:2004:n kohdan 6.2.2.1(6) mukaan.

Kaavoissa (4.1) ja (4.2)

d on liittimen halkaisija, mm

β_n on puun hiilytymisnopeus (ks. EN 1995-1-2:2004, taulukko 3.1), mm/min

$t_{fi,req}$ on vaadittu palonkesto aika, min.

4.2 Suojaamattomat rst-levylliset liitokset

Palosuojaamattomat liitokset, joiden ulko-osat ovat ruostumatonta terästä ja liittimet ruostumattomasta teräksestä valmistettuja nauloja, ruuveja tai pultteja, voidaan mitoittaa palonkestävyysluokassa R30 noudattaen seuraavassa esitettyjä ohjeita. Nämä ohjeet on tarkoitettu käytettäväksi EN 1995:2004 -standardin mukaisen puurakenteiden suunnittelun yhteydessä.

Tyypillisiä ulko-osiltaan metallisia puikkoliitoksia ovat naulauslevyliitokset, palkki- ja pilarikengät, kulmakiinnikkeet ja teräslevylliset kansiruuvi- ja pulttiliitokset. Liitteessä

A on esitetty ruostumattomasta teräksestä valmistetun naulauslevyliitoksen mitoitusesimerkki palonkestävyysluokassa R30. Paloteknisessä mitoituksessa puikkoliitoksen kapasiteetti tarkistetaan tilanteessa, jossa puu on hiiltynyt rst-levyn alta kuten palosuojaamattomassa liitoksessa. Rst-osan palonkestävyys tarkistetaan erikseen Eurocode 3:n mukaan. Palotilanteessa myötävien liittimien yhteydessä tarkistetaan myös liittimen palotilanteen vetomurtokapasiteetti ja kannan lävistyskapasiteetti rst-levyssä.

Teräslevyllisen puikkoliitoksen palomitoitus

Liittimien reuna- ja päätyetäisyyksiä a_4 ja a_3 kasvatetaan palolle alttiilla reunoilla mitalla

$$a_{fi} = \beta_n k_{flux} (t_{fi,req} - 15 \text{ min}) \quad [\text{mm}], \quad (4.3)$$

missä β_n on puun hiiltymisnopeus (EN 1995-1-2:2004, taulukko 3.1)
 $t_{fi,req}$ on vaadittu palonkesto-aika (15...30 min)
 $k_{flux} = 1,5$ huomioi liittimen lämmönjohtavuuden lisääntymisen.

Rst-levyn alla puun teholliseksi hiiltymissyvyydeksi oletetaan

$$d_{ef} = t_{fi,req} \beta_n + k_0 d_0, \quad (4.4)$$

missä β_n on puun hiiltymisnopeus (EN 1995-1-2:2004, taulukko 3.1) mm/min
 $t_{fi,req}$ on vaadittu palonkesto-aika,
 $d_0 = 7 \text{ mm}$

$$k_0 = \begin{cases} \frac{t_{fi,req}}{20} & \text{kun } t_{fi,req} < 20 \text{ min} \\ 1 & \text{kun } t_{fi,req} \geq 20 \text{ min} \end{cases}$$

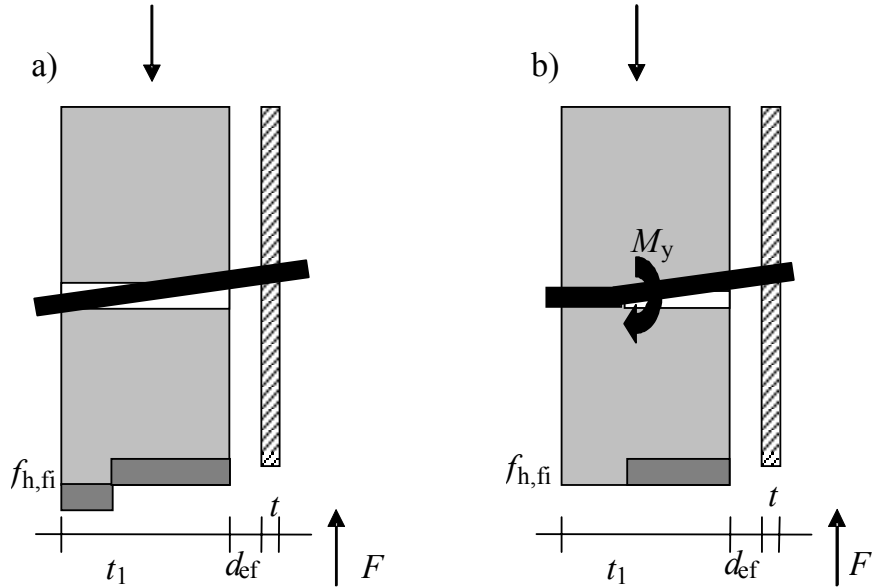
Kaavassa (4.4) voidaan käyttää puun hiiltymänopeutena β_0 (EN 1995-1-2:2004, taulukko 3.1) mikäli poikkileikkauksen leveys täyttää EN 1995-1-2:n luvun 3.4.2 kohdan (3) minimileveysehdon:

$$b_{min} = \begin{cases} 2 \cdot \beta_0 t_{fi,req} + 80 & \text{kun } \beta_0 t_{fi,req} \geq 13 \text{ mm} \\ 8,15 \cdot \beta_0 t_{fi,req} & \text{kun } \beta_0 t_{fi,req} < 13 \text{ mm} \end{cases} \quad (4.5)$$

Liitoksen palomitoituksessa oletetaan, että teräslevyn alla hiiltyneellä puulla (d_{ef}) ei ole reunapuristuslujuutta eikä tartuntakapasiteettia liittimeen. Edelleen oletetaan, että liittimen kiinnitys rst-levyyn on tiukan reiän ja paksun teräslevyn yhteydessäkin palotilanteessa täysin nivelellinen.

Yksileikkeisellä liitoksella tarkastellaan kuvassa 4.1 esitettyjä murtotapoja, jotka perustuvat puikkoliitosten myötäteoriaan ns. ohuen teräslevyn yhteydessä. Kuvan tapaukses-

sa a) puun reunapuristuslujuus on mitoitettava ja tapauksessa b) liittimeen muodostuu puun sisässä myötönivel ja puun reunapuristuslujuus saavutetaan myötönivelen ja hiil-
tymispinnan välisellä vyöhykkeellä.



Kuva 4.1. Yksileikkeisen rst-levyllisen liitoksen murtumistavat, kun puu on hiiltynyt rst-
levyn alta paksuudelta d_{ef} . Hiiltymättömän puun paksuus = t_1 , teräslevyn paksuus = t ja
 $f_{h,fi}$ on puun reunapuristuslujuus.

Raollisen liitoksen leikkauskestävyydelle voidaan johtaa puikkoliitosteorialla seuraava
EN 1995-1-1 -standardia (Eurocode 5) vastaava yksileikkeisen liitoksen leikkauskestä-
vyyden mitoitusyhtälö:

$$F_{v,fi,Rk} = \min \begin{cases} 2f_{h,fi} d \left(\sqrt{d_{ef}^2 + t_1 d_{ef} + \frac{t_1^2}{2}} - d_{ef} \right) - f_{h,fi} t_1 d & (a) \\ f_{h,fi} d \left(\sqrt{d_{ef}^2 + \frac{2M_{y,Rk}}{f_{h,fi} d}} - d_{ef} \right) + \frac{F_{ax,fi,Rk}}{4} & (b) \end{cases} \quad (4.6)$$

Kaksileikkeisen rst-levyllisen liitoksen liitinkapasiteetti leikettä kohden saadaan vastaa-
vasti yhtälöstä

$$F_{v,fi,Rk} = \min \begin{cases} 0,5f_{h,fi} t_2 d & (j) \\ f_{h,fi} d \left(\sqrt{d_{ef}^2 + \frac{2M_{y,Rk}}{f_{h,fi} d}} - d_{ef} \right) + \frac{F_{ax,fi,Rk}}{4} & (k) \end{cases} \quad (4.7)$$

Kaavoissa (4.6) ja (4.7) käytetään seuraavia merkintöjä:

- $f_{h,fi}$ on puun reunapuristuslujuus palotilanteessa.
 d on liittimen halkaisija.
 t_1 on liittimen pituus hiiltymättömässä puussa yksileikkeisessä liitoksessa.
 t_2 on kaksileikkeisen liitoksen hiiltymättömän puuosan paksuus.
 $M_{y,Rk}$ on liittimen myötömomentin ominaisarvo.
 d_{ef} on tehollinen hiiltymäsyvyys rst-levyn alla.
 $F_{ax,fi,Rk}$ on liittimen aksiaalinen kapasiteetti palotilanteessa.

Köysivaikutuksen $F_{ax,fi,Rk}$ rajoittamiseksi noudatetaan EN 1995-1-1:2004 -standardin kohta 8.2.2(2).

Puun reunapuristuslujuutena $f_{h,fi}$ käytetään 20 %:n fraktiilia vastaavaa arvoa, joka saadaan kertomalla reunapuristuslujuuden ominaisarvo $f_{h,k}$ EN 1995-1-2:2004:n taulukossa 2.1 esitetyllä puumateriaalin kertoimella k_{fi} (esim. liimapuulla $k_{fi} = 1,15$). Liittimen tartuntalujuuden palotilanteen mitoitusarvona käytetään ominaislujuutta. Tartuntalujuutta ei koroteta k_{fi} -kertoimella, koska tartuntalujuus saattaa alentua puun sisässä liittimen lämpenemisen vuoksi. Palomitoituksessa kosteus- ja aikavaikutus kerroin $k_{mod} = 1$ ja materiaalien osavarmuuskertoimet $\gamma_{M,fi} = 1$.

Tehollisten liittimien lukumäärä lasketaan Eurocode 5:n mukaan (huom. kertopuun ja naulauslevyliitosten erillishojeet, ks. luku 3). Vedettyjen liitosten lohkeamismurtokapasiteetti ja puun syitä vastaan kohtisuoran kuormituksen aiheuttama halkeaminen tarkistetaan palotilanteen kuormituksille EN 1995-1-1:2004:n mukaisella mitoituksella hiiltymättömälle liitososalle korottaen laskennallisia ominaiskapasiteetteja puumateriaalin k_{fi} -kertoimella.

Rst-liitososien palomitoitus

Rst-liitososien palonkestävyys mitoitetaan Eurocode 3:n mukaan noudattaen ruostumatoman teräksen palomitoitukselle Euro Inoxin käsikirjassa (2002) esitettyjä sovellusohjeita. Teräsosan palomitoituksessa tulevat kyseeseen kestävyys brutto- ja nettopoikkileikkauksessa, palamurtumiskestävyys, reunapuristuskestävyys ja liittimen kannan läpimehön kestävyys. Liitteessä A on esitetty ruostumattomasta teräksestä valmistetun naulauslevyn mitoitus esimerkki palonkestävyysluokassa R30.

Erillistä rst-osien palomitoitusta ei tarvitse tehdä, jos käytetyn rst-laadun 840°:n lämpötilaa vastaava myötölujuuden $f_{0,2,proof,840^\circ}$ suhde 20°C:n mitoituslujuuteen f_y on suurempi

tai yhtä suuri kuin palotilanteen mitoituskuorman $E_{d,fi}$ suhde lyhytaikaiseen normaali-lämpötilan mitoituskuormaan E_d :

$$\frac{f_{0,2,proof,840^\circ}}{f_y} \geq \eta_{fi} = \frac{E_{d,fi}}{E_d} \quad (4.8)$$

Esimerkiksi jos palotilanteen kuorma on enintään 40 % normaalilämpötilan mitoituskuormasta, liitososan palomitoitusta ei tarvitse tehdä teräslaadulla EN 1.4571 palonkestävyysluokassa R30 (ks. kuva 2.2).

4.3 Holkkiliitokset

Palosuojaamattomat holkkiliitokset voidaan mitoittaa palonkestävyysluokassa R30, kun teräsosat ja liittimet ovat ruostumatonta terästä. Liitokset voidaan toteuttaa kohdassa 3.4 esitetyillä tavoilla. Paloteknisessä mitoituksessa puikkoliitoksen kapasiteetti tarkistetaan tilanteessa, jossa puu on hiiltynyt rst-levyn alta kuten palosuojaamattomassa liitoksessa. Tehollinen hiiltemissävyys lasketaan kaavalla (4.4). Liittimien reunaetäisyyksien vähimmäisarvoja kasvatetaan kaavan (4.3) mukaisella mitalla a_{fi} .

Leikkauskuormitetuilla liittimillä noudatetaan kohdan 4.2 ohjeita. Käytettäessä liittimelle testaamalla määritettyä myötömomentin ominaisarvoa päästään mitoituksessa edullisimpaan tulokseen. Ankkurinauloja käytettäessä niiden suositeltava minimipituus on 75 mm, jos liitoksella tavoitellaan 30 min palonkestävyyttä.

Vinoruuvaustekniikalla (ks. kuva 3.2) toteutetuissa liitoksissa holkin ja puun välistä kitkaa ei hyödynnetä palotilanteessa. Ruuvin tartuntakapasiteetti tarkistetaan hiiltemätömälle puulle kaavan (3.10) ylärivin mukaan. Liittimen tartuntalujuuden palotilanteen mitoitusarvona käytetään ominaislujuutta. Tartuntalujuutta ei koroteta EN 1995-1-2:2004:n mukaisella k_{fi} -kertoimella, koska tartuntalujuus saattaa alentua puun sisässä liittimen lämpenemisen vuoksi. Palomitoituksessa kosteus- ja aikavaikutus kerroin $k_{mod} = 1$ ja materiaalien osavarmuuskertoimet $\gamma_{M,fi} = 1$. Ruuvin vetomurtokapasiteetti on tarkistettava palotilanteen lämpötilan mukaan redusoidulla lujuudella. Ruuvin lämpötilan oletetaan olevan sama kuin holkillä.

Rst-holkkien palokestävyys tarkistetaan erikseen Eurocode 3:n mukaan noudattaen ruostumattoman teräksen palomitoitukselle Euro Inoxin käsikirjassa (2002) esitetyjä sovellusohjeita.

4.4 Tappivaarnaliitokset

Palonkestävyysluokan R60 teräslevyllisissä liima- ja kertopuun tappivaarnaliitoksissa voidaan tappivaarnojen päät jättää suojaamattomiksi, kun liitoksen muotoilussa ja mitoituksessa noudatetaan kohdassa 3.3 esitettyjen normaalilämpötilan suunnitteluohjeiden lisäksi seuraavassa esitettyjä lisäohjeita. Tällöin tappivaarnaliitokset täyttävät palonkestävyysluokan R60 vaatimukset, kun liitoksen palotilanteen kuormitus on enintään 40 % jommastakummasta seuraavasta:

- EN 1995-1-1:2004:n mukaisesta tappivaarnaliitoksen normaalilämpötilan murtorajatilanteen mitoituskapasiteetista keskipitkässä aikaluokassa ja käyttöluokassa 2
- RIL 205-2003 (Eurocode 5 esistandardi) mukaan lasketusta tappivaarnaliitoksen normaalilämpötilanteen murtorajatilanteen lyhytaikaisen aikaluokan ja käyttöluokan 2 mitoituskapasiteetista.

Liittiminä käytetään haponkestävän teräslaadun EN 1.4401 (AISI 316) tai 1.4404 (AISI 316L) tai lujuuden palonkestävyysominaisuudeltaan niitä paremman austeniittisen laadun, esim. 1.4541 tai 1.4571, rst-tangosta valmistettuja tappivaarnoja ja sidepultteja. Tappivaarnojen nimellishalkaisija d saa olla enintään 12 mm ja nimellispituus saa vastata korkeintaan liitettävän sauvan paksuutta. Halkaisijaltaan 10–12 mm sidepulttien päissä käytetään M10-kierrettä. Ohuempien sidepulttien yhteydessä käytetään nimellismitaltaan tangon paksuutta vastaavia muttereita. Sidepulteissa käytetään teräslaadun A4, A4L tai A5 muttereita. Sidepulttien yhteydessä käytetään ruostumattomasta teräksestä valmistettuja DIN 9021:n mukaisia sidepultin kierrekokoa vastaavia aluslaattoja (ns. korialuslevyt).

Tappivaarnaliitokset ovat vähintään 4-leikkeisiä siten, että teräslevyt on sijoitettu puun sisään enintään 2 mm levyn paksuutta leveämpiin hahloihin. Teräslevyjen reunojen tulee olla suojattu vähintään $d_g = 42$ mm paksulla puulla, joka toteutetaan liimatulla havupuulistalla tai reunalta kiinni jäävällä osittaisella urasahauksella. Sauvapoikkileikkauksen minimikoko on pääsääntöisesti vähintään $B \times H = 215 \times 225$ mm², jossa B on sauvan leveys tappivaarnojen suuntaisesti. Ulommaista teräslevyä suojaavan liitospuuosan paksuus t_1 on yleensä vähintään 60 mm ja keskimmäisten liitospuuosien paksuuksien summa on vähintään $\Sigma t_2 = 75$ mm. Ruostumattomasta teräksestä valmistettujen liitoslevyjen ja enintään $d = 10$ mm paksujen tappivaarnojen yhteydessä voidaan käyttää ohuempia puupaksuuksia taulukossa 4.1 esitetyn mukaisesti.

Tappivaarnat asetetaan portaittaiseen liitinkaavioon siten, että lähinnä puun päätyä olevaan liitinriviin tulee vähintään yksi liitin vähemmän kuin seuraavaan riviin (ks. kuvat 4.1 ja 4.2). Rinnakkaisten liitinrivien välisen etäisyyden tulee olla puun syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa vähintään $a_{2,\min} = 3,6d$. Päätyetäisyyden tulee olla vähintään

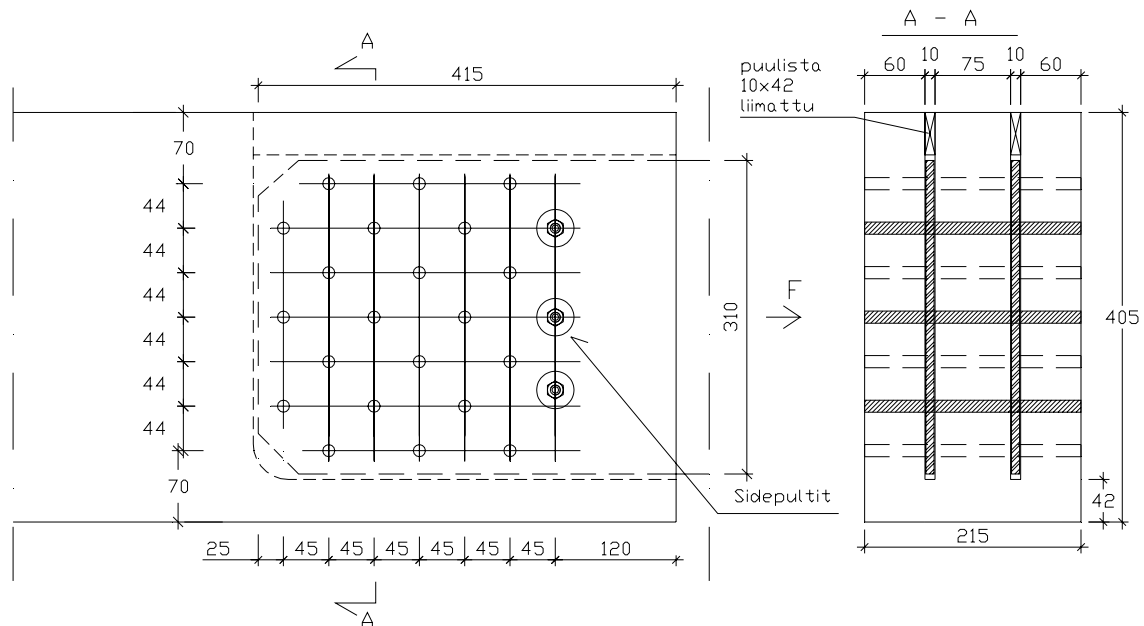
$a_{3,\min} = a_3 + 35 \text{ mm}$, missä a_3 on EN 1995-1-1:2004:n taulukossa 8.5 esitetty tappivaarnaliitoksen päätyetäisyyden miniarvo, kuormitus suunnan mukaan joko $a_{3,t}$ tai $a_{3,c}$. Liittinvälin $a_{1,\min}$ ja reunaetäisyyden $a_{4,\min}$ vähimmäisarvot on esitetty taulukossa 4.1.

Sidepulttien lukumäärän tulee olla vähintään 1/10 tappivaarnojen lukumäärästä. Liitosmitoituksessa sidepulttien yhteenlaskettu kapasiteetti rajoitetaan enintään kahdeksasosaan koko liitoksen kapasiteetista. Sidepultit sijoitetaan lähinnä puun päätä sijaitsevaan liittinriviin (ks. kuvat 4.1 ja 4.2). Mikäli ensimmäiseen riviin sijoitettavien liittimien lukumäärä on pienempi kuin 10 % koko liitoksen tappivaarnojen lukumäärästä, loput sidepultit sijoitetaan tasaisesti tappivaarna-alueelle.

Taulukko 4.1. Palonkestävyyssuokan R60 tappivaarnaliitoksen vähimmäismittoja. a_1 ja a_4 ovat EN 1995-1-1:2004 -standardin taulukossa 8.5 annettuja minimietäisyyksiä.

teräslevy	d (mm)	B_{\min} (mm)	$d_{g,\min}$	$t_{1,\min}$	$\Sigma t_{2,\min}$	$a_{1,\min}$	$a_{4,\min}$
seostamaton *)	≤ 12	215	42 mm	60 mm	75 mm	$a_1 + 2,5d$	$a_4 + 34 \text{ mm}$
ruostumaton	≤ 10	195	50 mm	55 mm	72 mm	$a_1 + 2d$	$a_4 + 42 \text{ mm}$

*) Koskee myös ruostumattomien teräslevyjen liitosta, jos $d > 10 \text{ mm}$.



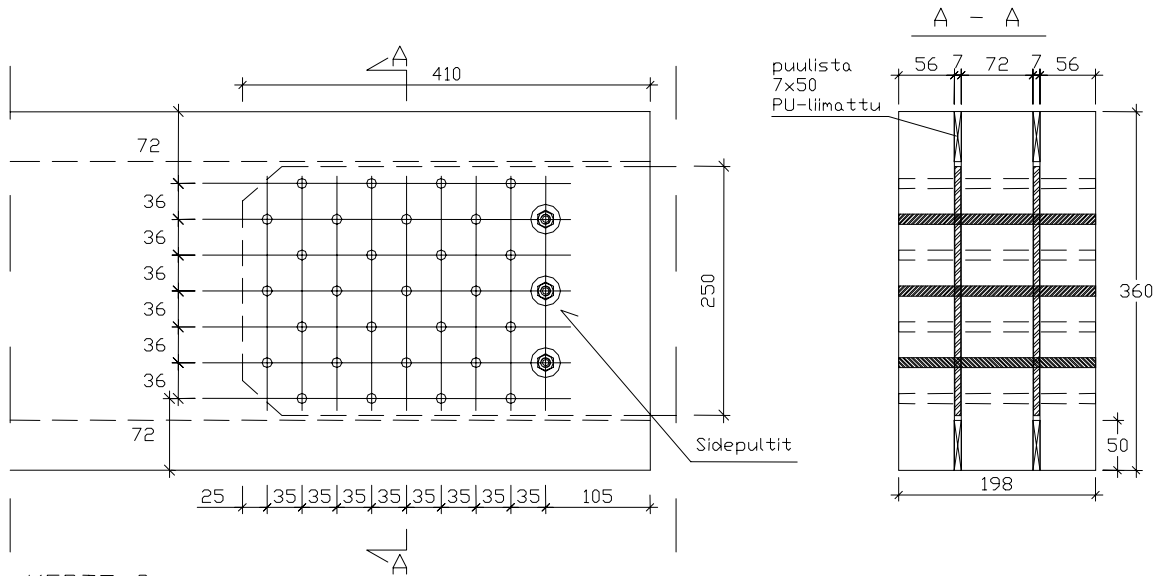
Liimapuu: L40 homogeeninen 215x405

Teräslevyt: 2x 8x310 S355. Levyille sahataan 10 mm urat.

Tappivaarnat: 21x $\varnothing 12$ L215, EN 1.4404 (AISI 316L), $f_{u,k} = 664 \text{ N/mm}^2$

Sidepultit: 3x $\varnothing 12 + M10$ L265 täsmäpultit, EN 1.4404 (AISI 316L), $f_{u,k} = 664 \text{ N/mm}^2$

Kuva 4.1. Esimerkki hiiliteräslevyillä toteutettavasta vedetystä tappivaarnaliitoksesta.



KERTO-S

Teräslevyt: 2x 6x250 EN 1.4318, $f_{0,2} = 330 \text{ N/mm}^2$, $f_{u,k} = 650 \text{ N/mm}^2$
 Tappivaarnat: 28x $\emptyset 10$ L198, EN 1.4404 (AISI 316L), $f_{u,k} = 664 \text{ N/mm}^2$
 Sidepultit: 3x $\emptyset 10$ +M10 L240, EN 1.4404 (AISI 316L), $f_{u,k} = 664 \text{ N/mm}^2$
 Teräslevyissä esiporatut $\emptyset 10,5$ mm reiät. Puussa $\emptyset 10$ reiät.

Kuva 4.2. Esimerkki ruostumattomilla teräslevyillä toteutettavasta vedetyistä tappivaarnaliitoksesta.

Seostamattomasta teräksestä valmistettujen levyjen liitossaumamitoituksessa tarkistetaan, että levykapasiteetin käyttöaste on normaalilämpötilan murtorajatilassa enintään 50 % (ks. kohta 3.3). Ruostumattomasta teräksestä valmistetuille liitoslevyille tehdään erillinen liitossauman palotilanteen mitoitus. Palomitoituksessa tarkistetaan, että 2 %:n venymää vastaavaa lujuutta ei ylitetä liitossauman kohdalla palotilanteen kuormituksilla, kun teräslevyn lämpötilaksi oletetaan 800 °C. Liitossauman palomitoituksessa tarkistetaan, että seuraava ehto toteutuu:

$$N_{fi,d} \leq k_{2,800} R_d \frac{\gamma_M}{\gamma_{M,fi}}, \quad (4.9)$$

- missä
- $N_{fi,d}$ on liitossauman mitoituSKUORMITUS palotilanteessa
 - $k_{2,800}$ on 2 %:n venymää vastaava lujuus lämpötilassa 800 °C suhteessa 20 °C:n lämpötilaa vastaavaan arvoon, ts. $f_{2,800}/f_2$, (ks. taulukko 4.2)
 - R_d on Eurocode 3:n mukaan laskettu liitossauman laskentakapasiteetti normaalilämpötilassa
 - γ_M on R_d :n laskennassa käytetty materiaalin osavarmuuskerroin
 - $\gamma_{M,fi}$ on palomitoituksessa käytettävä teräsmateriaalin osavarmuuskerroin, yleensä $\gamma_{M,fi} = 1,0$.

Taulukko 4.2. Eräiden teräslaatujen ja niiden lujuusluokkien $k_{2,800}$ kertoimet 800 °C lämpötilassa (EuroInox 1999, Ala-Outinen ym. 2003).

Teräslaji	Huom.	$f_{0,2}$ (N/mm ²)	$f_{u,k}$ (N/mm ²)	$k_{2,800}$
1.4301	hehkutettu	210	520	0,296
1.4318	hehkutettu	330	650	0,271
1.4318 C850	kylmämuokattu	530	850	0,253
1.4401/1.4404/1.4432	hehkutettu	220	530	0,409
1.4541	hehkutettu	220	520	0,483
1.4541 C700	kylmämuokattu	350	700	0,304
1.4571	hehkutettu	220	540	0,434
1.4571 C850	kylmämuokattu	530	850	0,303
1.4462	duplex-teräs	400	600	0,282

4.5 Liimatankoliitokset

Liimatankoliitoksissa käytettävien liimojen pehmeneminen alkaa tyypillisesti jo 100 °C lämpötilassa. Tämän vuoksi myös ruostumattomasta teräksestä valmistetut liimatankoliitokset tulee palosuojaista, jos vedetyltä liitoksesta edellytetään yli 15 min palonkestävyyttä. Palosuojaus toteutetaan käyttämällä riittävän suuria reunaetäisyyksiä (a_4) tai suojaamalla puun pinta erillisellä palosuojauksella liimatankojen kohdalta. Erityisesti on kiinnitettävä huomioita myös siihen, että liimasauma ei pääse lämpenemään tangon kautta johtumalla tapahtuvan lämmönsiirtymisen vuoksi. Tangon päät puun pinnassa ja mahdolliset tankoon liittyvät liitoslevyt on palosuojattava. Esimerkkejä liimatankoliitosten palosuojauksesta on esitetty lähteessä Oksanen & Kangas (1999).

Liimatankojen kohdalle ei tarvita erillistä palosuojausta, jos liima- ja kertopuun liitoksissa liimatangon reunaetäisyys on

$$a_4 \geq a_{4,\min} + \beta_n (t_{fi,req} - 15), \quad (4.10)$$

missä $a_{4,\min}$ on normaalilämpötilamitoituksessa hyväksyttävä reunaetäisyyden vähimmäisarvo ≥ 30 mm

β_n on puun hiiltymisnopeus (ks. EN 1995-1-2:2004, taul. 3.1) mm/min

$t_{fi,req}$ on vaadittu palonkesto > 15 min.

Vinotankoliitokset (ks. kuvat 3.4 ja 3.5) voidaan suunnitella niin, että tankojen liimausta ei hyödynnetä palotilanteessa. Tällöin kaikki palotilanteen kuormat otetaan puristustankojen vaarnavaikutuksella $R_{D,fi,k}$ (ks. kaava 3.14). Tällöin on kiinnitettävä erityistä huomiota puristustangon pään kiinnityksen suunnitteluun puun pinnassa siten, että kiinnitys pystyy välittämään leikkausvoiman sen jälkeen, kun vetotankojen tartunta pettää. Austeniitisesta ruostumattomasta teräksestä valmistettujen tankojen ja liitososien yhteydessä vinotankoliitoksen liitososat ja tankojen päät voidaan jättää puun pinnassa suojaamattomiksi R30-palonkestävyysluokan liitoksissa, kun liitososien ja puristustankojen vaarnavaikutuksen palomitoituksessa noudatetaan kohdissa 4.1 ja 4.2 esitettyjä ohjeita.

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: VTT. 34 s. + liitt. 30 s.

Ala-Outinen, T., Viherma, R. & Niilimaa, H. 2003. Isothermal Material Tests. VTT:n sisäinen raportti RTE-IR-8/2003. Espoo. 21 s. + liitt. 33 s.

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. & 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 383. 2003. Timber structures – Test methods – Determination of embedment strength and foundation values for dowel type fasteners. Brussels: CEN. 11 s.

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

EN 1382. 1999. Timber structures – Test methods – Withdrawal capacity of timber fasteners. Brussels: CEN. 10 s.

EN 1993-1-1. 2003. Design of steel structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings. Brussels: CEN.

EN 1993-1-2. 2003. Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1.2: Structural fire design. Brussels: CEN. 64 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 1995-1-2. 2004. Eurocode 5 – Design of timber structures, Part 1-2: General – Structural fire design. Brussels: CEN. 69 s.

EN 10088-1: Stainless steels. Part 1: List of stainless steels (SFS-EN 10088-1: Ruostumattomat teräkset. Osa 1: Ruostumattomien terästen luettelo). Brussels: CEN.

EN 10088-2. 1995. Stainless steels. Part 2: Technical delivery conditions for sheet/plate and strip for general purposes. Brussels: CEN. 41 s.

EN 14358. 2005. Timber structures – Fasteners and wood-based products – Calculation of characteristic 5-percentile value and acceptance criteria for a sample. Brussels: CEN.

EN 26891. 1991. (ISO 6891:1983.) Timber structures. Joints made with mechanical fasteners. General principles for the determination of strength and deformation characteristics.

Euro Inox & VTT. 2002. Käsikirja – Ruostumattomien terästen käyttö kantavissa rakenteissa. 2. painos Euro Inoxin käsikirjasta ”Design Manual for Structural Stainless Steel”. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. VTT:n Rakennussarja, julkaisu 3. 164 s. <http://www.euro-inox.org>

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

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. 13 s. Geneve: ISO.

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

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

Kangas, J. 1994. Joints of glulam structures based on glued-in ribbed steel rods. VTT Publications 196. Espoo: VTT. 61 s. + liitt. 20 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/symposiums/1999/S196.pdf>

Kevarinmäki, A. 2002. Joints with Inclined Screws. CIB-W18/35-7-4. Proceedings of CIB-W18 Kyoto, Japan.

Kevarinmäki, A. 2004. Behaviour of Fasteners and Glued-in Rods Produced from Stainless Steel. CIB-W18/37-7-14. Proceedings of CIB-W18 Edinburgh, Scotland, UK.

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>

- Kortesmaa, M. & Kevarinmäki, A. 2005. Massiivipuu maatilarakentamisessa – Suunniteluohje. VTT Working Papers 21. Espoo: VTT. 76 s. + liitt. 6.
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2005/W21.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. MET-julkaisuja nro 14/2002. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy. 526 s.
- NiDi (Nickel Development Institute). 1995. Stainless Steels in Swimming Pool Buildings. 16 s.
- NiDi (Nickel Development Institute). 2001. Stainless Steels in Architecture, Building and Construction – Guidelines for Corrosion Prevention. Reference Book Series No. 11 024. 44 s.
- Oksanen, T. & Kangas, J. 1999. Strength and Fire resistance of connections based on glued-in rods. VTT Tiedotteita 1970. Espoo: VTT. 28 s. + liitt. 31 s.
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T1970.pdf>
- Oksanen, T., Kevarinmäki, A., Yli-Koski, R. & Kaitila, O. 2005. Ruostumattomasta teräksestä valmistettujen puurakenteiden liitosten palonkestävyys. VTT Working Papers 29. Espoo: VTT. 104 s. + liitt. 108 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2005/W29.pdf>
- 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 335-1. 2004. Durability of wood and wood-based products – definition of hazard classes of biological attack. Part 1: General. Brussels: CEN.
- prEN 1993-1-2. 2001. Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1.2: General rules structural fire design. Brussels: CEN. 74 s.
- 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 14592:2002-11. 2002. Timber structures – Fasteners-Requirements. Brussels: CEN. 29 s.

RIL 120. 2004. Puurakenteiden suunnitteluohjeet. Helsinki: RIL r.y. 157 s.

RIL 201. 1999. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat – Euronormi, osat 1, 2-1, 2-3 ja 2-4. Helsinki: RIL r.y. 101 s.

RIL 205. 2003. Puurakenteiden suunnittelu – Euronormi. Helsinki: RIL r.y. 167 s.

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.

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>

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.+ liitt. 9 s.

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

VTT RTE1707/04. 2004. Design of laterally loaded dowel-type Kerto-LVL connections with prEN 1995-1-1. Espoo: VTT. 5 s. + liitt. 14 s.

VTT RTE2560/04. 2004. Lausunto Gunnebon ankkurinaulojen myötömomenteista ja ulosvetoparametreista. Espoo: VTT. 2 s.

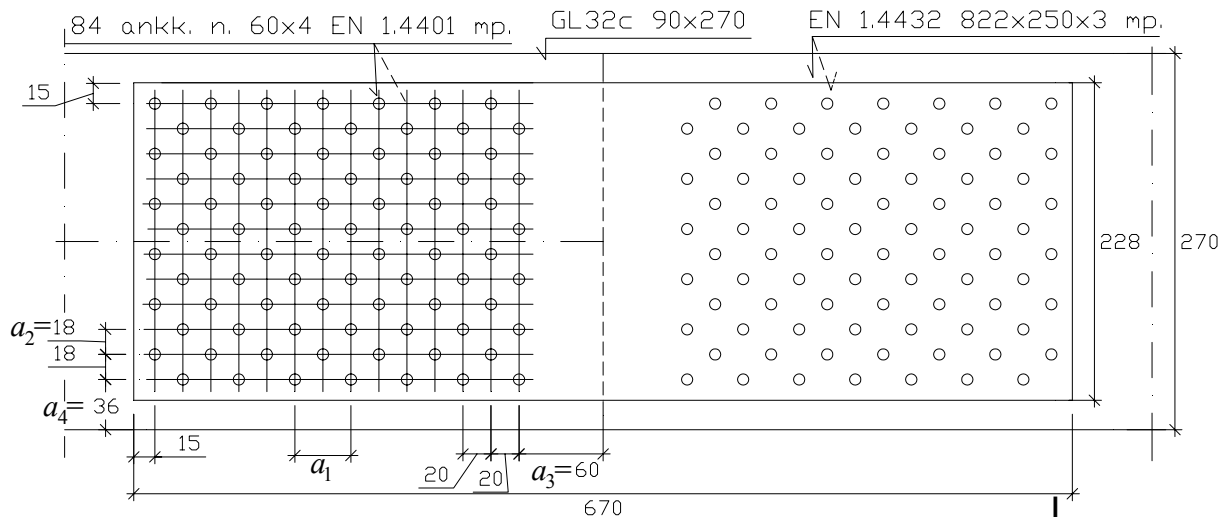
Yli-Koski, R. & Kevarinmäki, A. 2005. Ruostumattomien terästen mitoitusperusteet puurakenteiden liitokissa. VTT Tiedotteita 2279. Espoo: VTT. 102 s. + liitt. 26 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2005/T2279.pdf>

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: Rst-naulauslevyliitoksen mitoitusesimerkki – suojaamaton R30-liitos

Vedetty teräs-puu-teräs naulaliitos R30 palossa

Esimerkkilaskelma



Kuomien aikaluokka: keskipitkä

Käyttö- ja aikaluokkakerroin $k_{mod} = 0.8$ Käyttöluokissa 1 ja 2

Kuormitus: $S_d = 210 \cdot \text{kN}$ Kuormitus / levy: $S_{d,levy} = \frac{S_d}{2}$ $S_{d,levy} = 105 \text{ kN}$

puu GL32c paksuus $t_2 = 90 \cdot \text{mm}$ korkeus $h_2 = 270 \cdot \text{mm}$

tiheys: $\rho_k = 410$ (kg/m³) $A = t_2 \cdot h_2$ $A = 24300 \text{ mm}^2$

vetolujuus: $f_{t,g,k} = 19.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

leikkauslujuus: $f_{v,k} = 2.7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Materiaaliosavarmuus liitoksille Liimapuu $\gamma_M = 1.2$

Vetokestävyys: $F_{t,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot f_{t,g,k}}{\gamma_M} \cdot A$ $F_{t,Rd} = 316 \text{ kN}$

naula: Materiaali: RST EN 1.4401
Naulan raaka-aineen vetomurtolujuus $f_{u,k} = 750$ $\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

naulatyyppi: *naula* = "kampanaulla" 60x4,0

halkaisija $d = 4.0 \cdot \text{mm}$ pituus $l = 60$ mm

kampaosan pituus $l_g = 50$ mm

NA-ehdotus
13.4.2005
Taulukko 2.3

naulojen määrä /liitos/puoli $n_n = 84$

Naulan välit ja reunaetäisyydet:

$$a_1 = 40 \cdot \text{mm} = 10d \quad a_2 = 18 \cdot \text{mm} > 0.7 \cdot 5d$$

$$a_3 = 15d \quad a_4 = 5d + a_{fi} \quad a_{fi} = 16 \cdot \text{mm} \text{ on palotilanteen mukainen reunaetäisyyden lisäys (ks. 3. kestävyys palotilanteessa)}$$
$$a_3 = 60 \text{ mm} \quad a_4 = 36 \text{ mm}$$

Teräslevy:

Materiaali: RST EN 1.4401

$$f_y = 240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_u = 530 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$E = 200000 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\rho_a = 8000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Teräksen paksuus $t = 3 \text{ mm}$ Pituus $L = 670 \text{ mm}$ Korkeus $h = 228 \text{ mm}$

liitin lkm teräspoikkileikkauksessa $n_i = 6$

reiän halkaisija $d_o = 5 \text{ mm}$

Osavarmuuskertoimet: $\gamma_{Mb} = 1.25$ $\gamma_{M0} = 1.10$ $\gamma_{M2} = 1.25$ $\gamma_{M,fi} = 1.0$

ENV1993-1-1 +
NAD

1. Naulaliitoksen mitoitus normaalilämpötilassa

EN1995-1-1+
NA-ehdotus
13.4.2005

Tarvittavia alkuarvoja:

$$\text{Liittimen tunkeuma puussa} \quad t_1 = \min[(l-t), t_2] \quad l = 60 \text{ mm} \quad t = 3 \text{ mm} \quad t_2 = 90 \text{ mm}$$

$$t_1 = 57 \text{ mm}$$

Puun reunapuristuslujuus:

$$f_{h,k} = 0.082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0.3} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{h,k} = 22.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

EN1995-1-1
kaava (8.15)

Liittimen myötömomenti

Käytetään VTT:n lausunnon RTE 2560/04 mukaista arvoa. $M_{y,Rk} = 9520 \text{ Nmm}$

Ulosvetolujuus:

Käytetään VTT:n lausunnon RTE 2560/04 mukaista arvoa $f_{ax,k} = 6.7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

ulosvetokapasiteetti:

$$F_{ax,k} = f_{ax,k} \cdot d \cdot l_g \quad F_{ax,k} = 1340 \text{ N}$$

EN1995-1-1
kaava (8.23(a))

$$F_{ax,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{ax,k}}{\gamma_M} \quad F_{ax,Rd} = 893 \text{ N}$$

Naulaliitoksen naulaan muodostuva aksiaalinen voima. $\frac{F_{ax,k}}{4} = 335 \text{ N}$

EN1995-1-1
8.2.2(2)

1.1. Yhden leikkeen kapasiteetti

Koetulosten ja kirjallisuuden pohjalta voidaan käyttää paksun levyn kaavoja (8.10) ($t \geq d$), kun naulankanta on kartio ja $d = 4$ mm sekä $t \geq 2$ mm. Merkinnät (c) - (e) viittaavat EN 1995-1-1:2004:n murtotavan mukaisiin yhtälöihin (8.10).

Ankkurinauloille aksiaalinen kapasiteetti rajoitetaan 50 %:iin myötöteorian mukaisen yhtälön arvosta.

EN1995-1-1
8.2.2(2)

$$J_{(c)} = f_{h,k} \cdot t_I \cdot d \cdot \left(\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d \cdot t_I^2}} - 1 \right) \cdot 50\% \quad J_{(c)} = 1164 \text{ N}$$

$$J_{(d)} = 2.3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} \cdot 50\% \quad J_{(d)} = 1057 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rk(c)} = \min\left(\frac{F_{ax,k}}{4}, J_{(c)}\right) \quad F_{ax,Rk(c)} = 335 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rk(d)} = \min\left(\frac{F_{ax,k}}{4}, J_{(d)}\right) \quad F_{ax,Rk(d)} = 335 \text{ N}$$

Leikkauskapasiteetti:

$$F_{v,Rk(c)} = f_{h,k} \cdot t_I \cdot d \cdot \left(\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d \cdot t_I^2}} - 1 \right) + F_{ax,Rk(c)} \quad F_{v,Rk(c)} = 2662 \text{ N}$$

EN1995-1-1
kaava (8.10(c))

$$F_{v,Rk(d)} = 2.3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} + F_{ax,Rk(d)} \quad F_{v,Rk(d)} = 2449$$

EN1995-1-1
kaava (8.10(d))

$$F_{v,Rk(e)} = f_{h,k} \cdot t_I \cdot d \quad F_{v,Rk(e)} = 5057$$

EN1995-1-1
kaava (8.10(e))

$$F_{v,Rk} = \min(F_{v,Rk(c)}, F_{v,Rk(d)}, F_{v,Rk(e)}) \cdot \text{N}$$

$$F_{v,Rk} = 2449 \text{ N}$$

EN1995-1-1
kaava (8.10)

Murtotapa = "(d)" on mitoittava

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M}$$

$$F_{v,Rd} = 1633 \text{ N}$$

1.2. Lohkeamiskapasiteetin tarkistus

$$L_{net,v} = (7 \cdot a_1 - 7 \cdot d + a_3) \cdot 2$$

$$L_{net,v} = 624 \text{ mm}$$

EN1995-1-1
liite A

(A.4)

$$L_{net,t} = 10 \cdot a_2 - 5 \cdot d$$

$$L_{net,t} = 160 \text{ mm}$$

(A.5)

$$t_{ef} = 2 \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d}} \cdot \text{mm}$$

$$t_{ef} = 20.7 \text{ mm} < t_2 - t_1 = 33 \text{ mm}$$

(A.7)

$$A_{net,v} = \frac{L_{net,v}}{2} \cdot (L_{net,t} + 2 \cdot t_{ef})$$

$$A_{net,v} = 62847 \text{ mm}^2$$

(A.3)

Koska naulat lyödään molemmilta puolin, käytetään paksuutena $t_1 = 45 \text{ mm}$ t_1 puolta puun paksuudesta.

$$A_{net,t} = L_{net,t} \cdot t_1$$

$$A_{net,t} = 7200 \text{ mm}^2$$

(A.2)

Lohkeamiskapasiteetti:

$$F_{bk,Rk} = \max(1.5 A_{net,t} \cdot f_{t,g,k}, 0.7 \cdot A_{net,v} \cdot f_{v,k})$$

$$F_{bk,Rk} = 210.6 \text{ kN}$$

(A.1)

$$1.5 A_{net,t} \cdot f_{t,g,k} = 210.6 \text{ kN} \quad 0.7 \cdot A_{net,v} \cdot f_{v,k} = 118.8 \text{ kN}$$

$$F_{bk,Rd} = \frac{F_{bk,Rk}}{\gamma_M}$$

$$F_{bk,Rd} = 175.5 \text{ kN}$$

$$> S_{d,levy} = 105 \text{ kN}$$

Liitoksen kapasiteetti

$$n_n = 84$$

$$F_{v,Rd} = \min(n_n \cdot F_{v,Rd}, F_{bk,Rd})$$

$$F_{v,Rd} = 137.1 \text{ kN}$$

$$> S_{d,levy} = 105 \text{ kN}$$

OK!

2. Teräslevyn mitoitus normaalilämpötilassa

EuroInox&VTT:2002, Käsikirja - Ruostumattomien terästen käyttö kantavissa rakenteissa mukaan.

Osavarmuuskertoimet: $\gamma_{Mb} = 1.25$

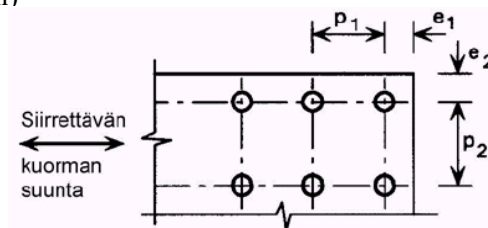
$\gamma_{M0} = 1.10$

$\gamma_{M2} = 1.25$

$\gamma_{M,fi} = 1.0$

ENV1993-1-1
+NAD

Reunaetäisyydet (minimi)



Käsikirja
Kohta 6.2.3

$$e_1 = 1.4 \cdot d_o \quad e_2 = 1.4 \cdot d_o \quad p_1 = 2.3 \cdot d_o \quad p_2 = 2.7 \cdot d_o$$

$$e_1 = 7 \text{ mm} \quad e_2 = 7 \text{ mm} \quad p_1 = 11.5 \text{ mm} \quad p_2 = 13.5 \text{ mm}$$

Valitaan teräslevyn reikien etäisyyksiksi seuraavat arvot:

$$e_1 = \max(15 \text{ mm}, e_1) \quad e_2 = \max(15 \text{ mm}, e_2) \quad p_1 = \max(p_1, a_1) \quad p_2 = \max(p_2, a_2)$$

$$e_1 = 15 \text{ mm} \quad e_2 = 15 \text{ mm} \quad p_1 = 40 \text{ mm} \quad p_2 = 18 \text{ mm}$$

2.1. Teräksen reunapuristuskestävyys

$$f_{ur} = 0.5 \cdot f_y + 0.6 \cdot f_u \quad f_{ur} = 438 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{pienennetty vetomurtolujuuden arvo}$$

Kohta 6.2.3

$$\alpha = \min\left(1, \frac{e_1}{3d}, \frac{p_1}{3d} - \frac{1}{4}\right) \quad \alpha = 1 \quad (6.3)$$

yksittäisen liittimen kestävyys

$$F_{b,Rd} = \frac{1.5 \cdot \alpha \cdot f_{ur} \cdot d \cdot t}{\gamma_{Mb}} \quad \boxed{F_{b,Rd} = 6307 \text{ N}} \quad (6.1)$$

$$\text{liitinryhmän kestävyys} \quad \boxed{n_n \cdot F_{b,Rd} = 530 \text{ kN}} > S_{d,levy} = 105 \text{ kN} \quad \text{OK!}$$

2.2. Vetokestävyys

Liitettävän osan vetokestävyys on pienempi arvoista:

a) Poikkileikkauksen bruttopoikkileikkauksen:

$$A_g = t \cdot h \quad A_g = 684 \text{ mm}^2 \quad = \text{bruttopoikkileikkausala}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A_g \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \boxed{N_{pl,Rd} = 149 \text{ kN}} > S_{d,levy} = 105 \text{ kN} \quad (6.4)$$

b) Nettopoikkileikkauksen kestävyys liittimen reikien kohdalla:

$$N_{u,Rd} = \frac{k_r \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \quad (6.5)$$

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

Kohta 4.6.4

$$u = \min(2e_2, p_2) \quad u = 18 \text{ mm}$$

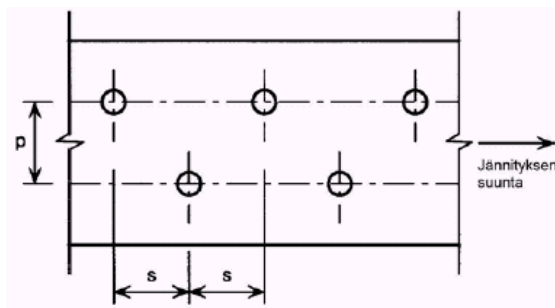
$$r = \text{liittimien lkm leikkauksessa} / \text{kokonaismäärä} \quad r = \frac{n_i}{n_n} \quad r = 0.071$$

$$k_r = \min \left[1 + 3r \cdot \left(\frac{d_o}{u} - 0.3 \right), 1 \right] \quad k_r = 0.995 \quad k_r \leq 1 \quad (4.29)$$

Kun käytetään siirrettyjä reikiä, ks. kuva alla, teholliseksi nettopinta-alaksi valitaan 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 $\frac{s^2 t}{4p}$ jokaista sarjassa olevaa reikien mittaväliä kohti. s ja p esitetään kuvassa 2.



$$a_2 = 18 \text{ mm} \quad a_1 = 40 \text{ mm}$$

$$p = a_2 \quad s = \frac{a_1}{2} \quad s = 20 \text{ mm}$$

$$\frac{s^2 t}{4p} = 16.667 \text{ mm}^2$$

Reikiä ei ole siirretty

$$A_{net,eff.1} = A_g - n_i \cdot d_o \cdot t \quad A_{net,eff.1} = 594 \text{ mm}^2$$

Reiät siirretty

$$A_{net,eff.2} = A_g - n_i \cdot d_o \cdot t + (n_i - 1) \cdot \frac{s^2 t}{4p}$$

$$A_{net,eff.2} = 677 \text{ mm}^2$$

$$A_{net,eff} = \min(A_{net,eff.1}, A_{net,eff.2}) \quad A_{net,eff} = 594 \text{ mm}^2$$

Vetokestävyuden mitoitusarvo nettopoikkileikkauksessa

$$N_{u,Rd} = \frac{k_r \cdot A_{net,eff} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \quad \boxed{N_{u,Rd} = 251 \text{ kN}} > S_{d,levy} = 105 \text{ kN} \quad (6.5)$$

2.3. Palamurtumiskestävyys

$$A_{nt} = [h - 2 \cdot e_1 - (n_i - 1) \cdot d_o] \cdot t \quad A_{nt} = 519 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = \left(5 \cdot a_1 + \frac{a_1}{2} - 6 \cdot d_o \right) \cdot t \quad A_{nv} = 570 \text{ mm}^2$$

$$V_{eff,Rd} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \quad \boxed{V_{eff,Rd} = 292 \text{ kN}} > S_{d,levy} = 105 \text{ kN}$$

PrEN 1993-1-8
kohta 3.10.2(1)

2.4. Kannan läpimenon kestävyys

Kannan halkaisija $d_w = 8\text{ mm}$ $t = 3\text{ mm}$ $f_u = 530 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ $\gamma_{M2} = 1.25$

$$F_{p,Rd} = \frac{d_w \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \quad \boxed{F_{p,Rd} = 10.2\text{ kN}} > \frac{F_{ax,Rd}}{4} = 223\text{ N}$$

ENV 1993-1-3
taulukko 8.2

$\frac{F_{ax,Rd}}{4}$ on naulaliitoksen naulaan muodostuva aksiaalinen voima.

EN1995-1-1
8.2.2(2)

3. Kestävyys palotilanteessa

Kuormana 38% normaalilämpötilan mitoituskuormasta

EN 1995-1-2
kohta 2.4.2

vaadittu palonkesto aika $t_{fi,req} = 30\text{ min}$

Liitoksen puolikkaan palonaikainen kuorma: $S_{d,fi} = 38\% \cdot S_{d,levy}$ $S_{d,fi} = 40\text{ kN}$

Liimapuun palonaikainen kuorma: $S_{d,fi,g} = 38\% \cdot S_d$ $S_{d,fi,g} = 80\text{ kN}$

Puu

Kosteus- ja aikaluokkakerroin $k_{mod,fi} = 1.0$

EN 1995-1-2
kohta 4.2.2(5)

varmuuskertoimen palotilanteessa: $\gamma_{M,fi} = 1.0$

kerroin jolla ominaisarvo keskiarvoksi $k_{fi,gl} = 1.15$ liimapuulle

EN 1995-1-2
kohta 2.3(3)

hiiltymisnopeus $\beta_n = 0.7 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$

EN 1995-1-2
kohta 3.4.2(5)

Lämmönjohtavuuden lisääntymisen huomioiva kerroin $k_{flux} = 1.5$

Reunaetäisyyden lisä $a_{fi} = \beta_n \cdot k_{flux} \cdot (t_{fi,req} - 15) \cdot \text{mm}$ $\boxed{a_{fi} = 16\text{ mm}}$

EN 1995-1-2
(6.1)

puun hiiltyminen $d_{char,n} = \beta_n \cdot t_{fi,req} \cdot \text{mm}$ $d_{char,n} = 21\text{ mm}$

EN 1995-1-2
(3.2)

$$k_0 = \begin{cases} \frac{t_{fi,req}}{20} & \text{if } t_{fi,req} < 20 \\ 1 & \text{if } t_{fi,req} \geq 20 \end{cases} \quad k_0 = 1$$

EN 1995-1-2
taulukko 4.1

$$d_0 = 7 \cdot \text{mm}$$

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0$$

$$d_{ef} = 28\text{ mm}$$

EN 1995-1-2
(4.1)

Puun vetokestävyys:

$$A_{fi} = (t_2 - 2d_{ef}) \cdot (h_2 - 2d_{ef}) \quad A_{fi} = 7276\text{ mm}^2 \quad t_2 = 90\text{ mm}$$

vetolujuus $f_{t,g,k} = 19.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

$$F_{t,Rd,fi} = \frac{k_{mod,fi} \cdot k_{fi,gl} \cdot f_{t,g,k}}{\gamma_{M,fi}} \cdot A_{fi} \quad \boxed{F_{t,Rd,fi} = 163 \text{ kN}} > S_{d,fi,g} = 79.8 \text{ kN}$$

3.1. Naulaliitos palossa

puun hiiltymisen naulaliitoksen alla, kun reunaetäisyydet ovat riittävät.

$$d_{ef} = \beta_n \cdot t_{fi,req} + k_0 \cdot d_0 \quad d_{ef} = 28 \text{ mm}$$

EN 1995-1-2
(4.1)

Puun reunapuristuslujuus $f_{h,fi} = k_{fi,gl} \cdot 0.082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0.3} \quad f_{h,fi} = 25.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

EN 1995-1-1
(8.15)

Puun hiiltyneellä osalla ei oleteta olevan reunapuristuslujuutta

naulanpituus ehjässä puussa $t_1 = \min[(l - t - d_{ef}), (t_2 - 2d_{ef})] \quad t_1 = 29 \text{ mm}$

kampaosan pituus puussa $t_{pen} = \min(l_g, t_1) \quad t_{pen} = 29 \text{ mm}$

Ankkurinaulan myötömomentti

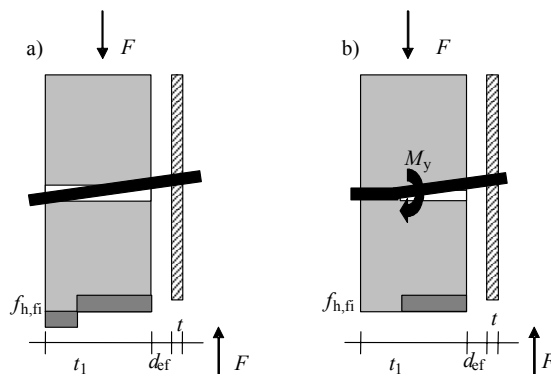
Käytetään VTT:n lausunnon RTE 2560/04 mukaista arvoa. $M_{y,Rk} = 9520 \text{ Nmm}$

Ankkurinaulan tartuntalujuus $f_{ax,k} = 6.7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ (VTT LAUSUNTO NO RTE2560/04)

$$F_{ax,fi,k} = f_{ax,k} \cdot d \cdot t_{pen} \quad F_{ax,fi,k} = 777 \text{ N}$$

EN 1995-1-1
(8.23)

3.1.1. Yhden leikkeen kapasiteetti



Kuva 2. Murtotavat

tapaus (a)

$$F_{v,fi,Rk(a)} = 2 \cdot f_{h,fi} \cdot d \cdot \left(\sqrt{d_{ef}^2 + t_1 \cdot d_{ef} + \frac{t_1^2}{2}} - d_{ef} \right) - f_{h,fi} \cdot t_1 \cdot d \quad F_{v,fi,Rk(a)} = 491 \text{ N}$$

tapaus (b)

Naulan aksiaalinen kapasiteetti

$$J_{(b)} = f_{h,fi} \cdot d \cdot \left(\sqrt{d_{ef}^2 + \frac{2 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,fi} \cdot d}} - d_{ef} \right) \cdot 50\% \quad J_{(b)} = 161 \quad \text{Ankkurinauloille max, 50\%} \quad \text{EN1995-1-1 8.2.2(2)}$$

$$F_{ax,fi,Rk(b)} = \min \left(\frac{F_{ax,fi,k}}{4}, J_{(b)} \right) \quad F_{ax,fi,Rk(b)} = 161 \text{ N} \quad \text{EN1995-1-1 8.2.2(2)}$$

Leikkeen kapasiteetti

$$F_{v,fi,Rk(b)} = f_{h,fi} \cdot d \cdot \left(\sqrt{d_{ef}^2 + \frac{2 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,fi} \cdot d}} - d_{ef} \right) + F_{ax,fi,Rk(b)} \quad F_{v,fi,Rk(b)} = 483 \text{ N}$$

Naulaliitoksen kapasiteetti

$$F_{v,fi,Rk} = \min(F_{v,fi,Rk(a)}, F_{v,fi,Rk(b)}) \cdot N \quad \boxed{F_{v,fi,Rk} = 483 \text{ N}}$$

$$F_{v,Rd,fi} = \frac{k_{mod,fi} \cdot F_{v,fi,Rk}}{\gamma_{M,fi}} \quad \boxed{F_{v,Rd,fi} = 483 \text{ N}}$$

naulaa/ levy/ puoli $n_n = 84$

$$F_{v,Rd,fi} = F_{v,Rd,fi} \cdot n_n \quad \boxed{F_{v,Rd,fi} = 40.6 \text{ kN}} > S_{d,fi} = 39.9 \text{ kN}$$

3.1.2. Lohkeamiskapasiteetin tarkistus

$$d_{ef} = 28 \text{ mm}$$

$$L_{net,v} = (7 \cdot a_1 - 7 \cdot d + a_3 - d_{ef}) \cdot 2 \quad L_{net,v} = 568 \text{ mm} \quad \text{(A.4)} \quad \text{EN1995-1-1 liite A}$$

$$L_{net,t} = 10 \cdot a_2 - 5 \cdot d \quad L_{net,t} = 160 \text{ mm} \quad \text{(A.5)}$$

$$t_{ef} = \sqrt{d_{ef}^2 + \frac{2 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,fi} \cdot d}} - d_{ef} \quad t_{ef} = 3.2 \text{ mm} \quad \text{(A.6)}$$

$$A_{net,v} = \frac{L_{net,v}}{2} \cdot (L_{net,t} + 2 \cdot t_{ef}) \quad A_{net,v} = 47232 \text{ mm}^2 \quad \text{(A.3)}$$

Koska naulat lyödään molemmilta puolin, käytetään paksuutena t_1 puolta puun hiiltymättömästä paksuudesta. $t_1 = 17 \text{ mm}$ $t_1 = \frac{t_2}{2} - d_{ef}$

$$A_{net,t} = L_{net,t} \cdot t_1 \quad A_{net,t} = 2720 \text{ mm}^2 \quad \text{(A.2)}$$

Lohkeamiskapasiteetti:

$$F_{bk,Rk,fi} = \max(1.5A_{net,t} \cdot k_{fi,gl} \cdot f_{t,g,k}, 0.7 \cdot A_{net,v} \cdot k_{fi,gl} \cdot f_{v,k}) \quad F_{bk,Rk,fi} = 102.7 \text{ kN}$$

$$1.5A_{net,t} \cdot k_{fi,gl} \cdot f_{t,g,k} = 91.5 \text{ kN}$$

$$0.7 \cdot A_{net,v} \cdot k_{fi,gl} \cdot f_{v,k} = 102.7 \text{ kN}$$

$$F_{bk,Rd,fi} = \frac{F_{bk,Rk,fi}}{\gamma_{M,fi}} \quad \boxed{F_{bk,Rd,fi} = 102.7 \text{ kN}} > S_{d,fi} = 39.9 \text{ kN}$$

EN1995-1-1
liite A
(A.1)

3.2. Teräksen palomitoitus

EuroInox&VTT:2002 Käsikirja - Ruostumattomien terästen käyttö kantavissa rakenteissa mukaan.

Lämpötilan nousun laskeminen

kohta 7.4.7

Poikkileikkaustekijä $\frac{A_m}{V}$ $h = 228 \text{ mm}$ $t = 3 \text{ mm}$ $L = 670 \text{ mm}$

missä A_m on palolle altis pinta-ala $A_m = \frac{(h + 2 \cdot t) \cdot L + 2 \cdot h \cdot t}{\text{m}}$ $A_m = 0.158 \text{ m}$

ja V on tilavuus

$$V = \frac{t \cdot h \cdot L}{\text{m}^3} \quad V = 0.00046 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow Am/V = \frac{A_m}{V} \quad Am/V = 345.1 \frac{\text{m}}{\text{m}^3}$$

Näkyvyyskerroin $\phi = 1$

Resultoiva emissiviteetti $\epsilon_{res} = 0.4$

Voidaan käyttää kun levyn toinen puoli palolle altis.

Konvektion lämmönsiirtokerroin $\alpha_c = 25 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$

Lämpötilan kehitys: t [min], Δt [s], θ_a [°C]

$$\theta_a(t, \Delta t, \theta_a) = \left\{ \begin{array}{l} \text{for } j \in 0, \Delta t .. 60t \\ c_a \leftarrow 450 + 0.28 \cdot \theta_a - 2.91 \cdot 10^{-4} \cdot \theta_a^2 + 1.34 \cdot 10^{-7} \cdot \theta_a^3 \\ \theta_g \leftarrow 20 + 345 \cdot \log\left(8 \cdot \frac{j}{60} + 1\right) \\ h_{net,r} \leftarrow \phi \cdot \epsilon_{res} \cdot 5.67 \cdot 10^{-8} \left[(\theta_g + 273)^4 - (\theta_a + 273)^4 \right] \\ h_{net,c} \leftarrow \alpha_c \cdot (\theta_g - \theta_a) \\ h_{net,d} \leftarrow h_{net,c} + h_{net,r} \\ \Delta \theta_a \leftarrow \frac{Am/V}{c_a \cdot \rho_a} \cdot h_{net,d} \cdot \Delta t \\ \theta_a \leftarrow \theta_a + \Delta \theta_a \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{Yht. (7.4)} \\ \text{Yht. (7.40)} \\ \text{Yht. (7.39)} \\ \text{Yht. (7.38)} \\ \text{Yht. (7.37)} \\ \text{Yht. (7.36)} \end{array}$$

$$\theta_a(30, 1, 20) = 834.2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Lujuuden pienennyskertoimet saadussa lämpötilassa
(lineaarinen interpolointi 800 - 900C)

Kohta 7.2

$$k_{0,2proof,\theta} = 0.40 + (0.19 - 0.40) \cdot \frac{(\theta_a - 800)}{100}$$

$$k_{0,2proof,\theta} = 0.328$$

$$k_{u,\theta} = 0.34 + (0.18 - 0.34) \cdot \frac{(\theta_a - 800)}{100}$$

$$k_{u,\theta} = 0.285$$

$$g_{2,\theta} = 0.35 + (0.38 - 0.35) \cdot \frac{(\theta_a - 800)}{100}$$

$$g_{2,\theta} = 0.36$$

Palotilanteen lujuudet ja kestävyys:

$$f_{0,2proof,\theta} = k_{0,2proof,\theta} \times f_y$$

$$f_{0,2proof,\theta} = 78.8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{u,\theta} = k_{u,\theta} \times f_u$$

$$f_{u,\theta} = 151.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{2,0} = f_{0,2proof,\theta} + g_{2,\theta} \times (f_{u,\theta} - f_{0,2proof,\theta})$$

$$f_{2,0} = 104.9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$k_{2,\theta} = \frac{f_{2,0}}{f_y}$$

$$k_{2,\theta} = 0.437$$

$$N_{fi,pl,Rd} = k_{2,\theta} N_{pl,Rd} \cdot \frac{\gamma_{M0}}{\gamma_{M,fi}}$$

$$N_{fi,pl,Rd} = 72 \text{ kN}$$

$$N_{fi,u,Rd} = k_{u,\theta} N_{u,Rd} \cdot \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M,fi}}$$

$$N_{fi,u,Rd} = 89 \text{ kN}$$

$$F_{fi,b,Rd} = k_{2,\theta} F_{b,Rd} \cdot \frac{\gamma_{Mb}}{\gamma_{M,fi}}$$

$$n_n \cdot F_{fi,b,Rd} = 289 \text{ kN}$$

$$V_{fi,eff,Rd} = \frac{k_{u,\theta} f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M,fi}} + \frac{k_{0,2proof,\theta} f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M,fi}}$$

$$V_{fi,eff,Rd} = 104 \text{ kN}$$

Kannan läpimenon kestävyys:

$$F_{fi,p,Rd} = k_{u,\theta} F_{p,Rd} \cdot \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M,fi}}$$

$$F_{fi,p,Rd} = 3.6 \text{ kN}$$

$$> F_{ax,fi,Rd(b)} = 0.16 \text{ kN}$$

4. TULOKSET

Liitoksen vetovoima normaalilämpötilassa:

$$S_d = 210 \text{ kN}$$

Seuraavassa tulokset on esitetty liitospuolikkaalle, jolloin naulamäärä $n_n = 84$

	<u>Normaalilämpötila:</u>	<u>Palotilanne:</u>
Vetovoima	$S_{d,levy} = 105 \text{ kN}$	$S_{d,fi} = 40 \text{ kN}$
Puun vetokestävyys	$F_{t,Rd} = 316 \text{ kN}$	$F_{t,Rd,fi} = 163 \text{ kN}$
Naulaliitos	$F_{v,Rd} = 137 \text{ kN}$	$F_{v,Rd,fi} = 41 \text{ kN}$
<u>Teräslevy</u>		
Kestävyys bruttopoikkileikkauksessa.	$N_{pl,Rd} = 149 \text{ kN}$	$N_{fi,pl,Rd} = 72 \text{ kN}$
Kestävyys nettopoikkileikkauksessa.	$N_{u,Rd} = 251 \text{ kN}$	$N_{fi,u,Rd} = 89 \text{ kN}$
Reunapuristuskestävyys	$n_n \cdot F_{b,Rd} = 530 \text{ kN}$	$n_n \cdot F_{fi,b,Rd} = 289 \text{ kN}$
Palamurtumiskestävyys	$V_{eff,Rd} = 292 \text{ kN}$	$V_{fi,eff,Rd} = 104 \text{ kN}$
Kannan läpimenon kestävyys:		
Kuormitus	$\frac{F_{ax,Rd}}{4} = 223 \text{ N}$	$F_{ax,fi,Rd(b)} = 0.16 \text{ kN}$
Kestävyys	$F_{p,Rd} = 10.2 \text{ kN}$	$F_{fi,p,Rd} = 3.6 \text{ kN}$

VTT WORKING PAPERS

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

- 4 Hietaniemi, Jukka, Hostikka, Simo & Vaari, Jukka. FDS simulation of fire spread - comparison of model results with experimental data. 2004. 46 p. + app. 6 p.
- 6 Viitanen, Hannu. Betonin ja siihen liittyvien materiaalien homehtumisen kriittiset olosuhteet – betonin homeenkesto. 2004. 25 s.
- 7 Gerlander, Riitta & Koivu, Tapio. Asiantuntijapalvelu yritysten innovaatiojohtamisen kehittämiseksi Piilaakson osaamiseen tukeutuen. MIT SV –hankkeen loppuraportti. 2004. 25 s. + liitt. 11 s.
- 11 Lakka, Antti. Rakennustyömaan tuottavuus. 2004. 26 s. + liitt. 15 s.
- 14 Koivu, Tapio, Tukiainen, Sampo, Nummelin, Johanna, Atkin, Brian & Tainio, Risto. Institutional complexity affecting the outcomes of global projects. 2004. 59 p. + app. 2 p.
- 15 Rönty, Vesa, Keski-Rahkonen, Olavi & Hassinen, Jukka-Pekka. Reliability of sprinkler systems. Exploration and analysis of data from nuclear and non-nuclear installations. 2004. 89 p. + app. 9 p.
- 18 Nyysönen, Teemu, Rajakko, Jaana & Keski-Rahkonen, Olavi. On the reliability of fire detection and alarm systems. Exploration and analysis of data from nuclear and non-nuclear installations. 2005. 62 p. + app. 6 p.
- 19 Tillander, Kati, Korhonen, Timo & Keski-Rahkonen, Olavi. Pelastustoimen määräiset seurantamittarit. 2005. 123 s. + liitt. 5 s.
- 20 Simo Hostikka & Johan Mangs. MASIFIRE – Map Based Simulation of Fires in Forest-Urban Interface. Reference and user's guide for version 1.0. 2005. 52 p. + app. 2 p.
- 21 Korttesmaa, Markku & Kevarinmäki, Ari. Massiivipuu maalarakentamisessa. Suunnitteluohje. 2005. 76 s. + liitt. 6 s.
- 22 Ojanen, Tuomo & Ahonen, Jarkko. Moisture performance properties of exterior sheathing products made of spruce plywood or OSB. 2005. 52 p. + app. 12 p.
- 27 Kevarinmäki, Ari. Konenaulojen ulosvetolujuus. 2005. 24 s. + liitt. 12 s.
- 29 Oksanen, Tuuli, Kevarinmäki, Ari, Yli-Koski, Rainer & Kaitila, Olli. Ruostumattomasta teräksestä valmistettujen puurakenteiden liitosten palonkestävyys. 2005. 104 s. + liitt. 108 s.
- 31 Hietaniemi, Jukka. A Probabilistic Approach to Wood Charring Rate. 2005. 53 p.
- 32 Korhonen, Timo & Hietaniemi, Jukka. Fire Safety of Wooden Façades in Residential Suburb Multi-Storey Buildings. 2005. 66 p. + app. 40 p.
- 37 Hietaniemi, Jukka & Rinne, Tuomo. Tulipalojen yksittäispäästöt ilmaan: laskennallinen lähestymistapa. 2005. 78 s.
- 38 Kevarinmäki, Ari, Oksanen, Tuuli & Yli-Koski, Rainer. Ruostumattomasta teräksestä valmistettujen puurakenteiden liitosten suunnittelu. Yleiset ohjeet ja palomitoitus. 2005. 51 s. + liitt. 12 s.