

Jani Harju

**Ristikkokannattajan suunnittelu ja valmistus Ruukin
konepajoilla**

Opinnäytetyö

Kevät 2011

Tekniikan yksikkö

Rakentamisen koulutusohjelma (ylempi AMK)

Talonrakennustekniikka, rakennesuunnittelu



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Rakentamisen koulutusohjelma (ylempi AMK)

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka, rakennesuunnittelu

Tekijä: Jani Harju

Työn nimi: Ristikkokannattajan suunnittelu ja valmistus Ruukin konepajoilla

Ohjaaja: Martti Perälä

Vuosi: 2011

Sivumäärä: 100

Liitteiden lukumäärä: 19

Kehittämistehtävän tarkoitus on tehostaa teräsristikoiden suunnittelua ja valmistusta Ruukki Constructionin tehtailla. Ristikot ovat tyypillisiä hallirakennusten kattokannattajia. Ristikot ovat nivelellisesti kiinnitettyjä 16 - 40 m pitkiä KT-ristikkoja. Suunnittelun lähtökohtana käytetään Eurokoodia kansallisine liitteineen. Ristikkojen paarteina vertaillaan putkipalkki-profiileja ja HEA- ja IPE-profiileja. Laskenta suoritetaan Suomen ja Puolan tyypillisillä pysyvän ja muuttuvan kuorman arvoilla. Laskennassa muuttujina käytetään jänneväliä, kehäväliä, kuorman arvoja ja ristikon korkeutta. Ristikon paarteen, diagonaalien ja vertikaalien väliset liitokset tarkastetaan Eurokoodin ja Rautaruukin Putkipalkkikäsikirjan ohjeiden mukaan. Jokaisesta ristikosta tarkistetaan kolme ensimmäistä solmupistettä.

Tulokset kootaan matriisimuotoon tehtyyn taulukkoon. Taulukkoon lisätään tieto ristikon valmistamiseen kuluva ajasta, keskimääräisestä materiaali- ja pintakäsittelykustannuksista. Taulukosta saadaan tieto eri tyyppisten ristikoiden kokonaiskustannuksista. Ristikoiden työajan ja pintakäsittelyn työmäärän laskentaa varten tehdään mallipiirustukset ristikoista.

Osana kehittämistehtävää on Puolan tehtaaseen suunniteltu ristikkojigi. Ristikkojigin tarkoituksena on tehostaa konepajan valmistusta. Jigin etuina perinteisiin valmistusmenetelmiin on nopea muunneltavuus ja tehokkuus. Jigin suunnittelun lähtökohtana on olemassa oleva konstruktio. Ristikkojigia varten laaditaan asennus, konepaja -ja osakuvat.

kustannukset
tehokkuus
suunnittelu

Salaisuus: Opinnäytetyö on salainen 5/2016 asti

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Master's Degree Programme in Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Authors: Jani Harju

Title of thesis: Truss design and manufacturing in Ruukki Construction works

Supervisors: Jouko Kansa, Martti Perälä

Year: 2011

Number of pages:100

Number of appendices:19

The purpose of this the study is to improve truss design and manufacturing in Ruukki Construction works. The trusses are typical warehouse roof supports. Truss lengths vary from 16 m to 40 m. The type of truss is KT. Trusses are supported at both ends by free joints. The design is made using Eurocodes with national applications. The main idea is to compare different chord profiles. The profiles under study are CFRHS, HEA, HEB and IPE. The calculations are made with Finnish and Polish typical permanent and variable snow loads. Other variables included in the calculations are length, height and spacing between trusses. The truss joints are checked according to Eurocodes and the Design Handbook for Rautaruukki structural hollow sections. Joint calculations in all trusses are made from the first three joints. Truss drawings are then made from each calculation series. Manufacturing and surface treatment costs are calculated from the assembly drawings. The result documents the combined truss expense.

A sub- case of this study is to design a truss jig for the Polish works. The idea behind the truss jig is to improve truss assembly at the factory. The original truss jig plans are from the existing structure. The plans will be modified and improved in cooperation with the manufacturing personnel in Poland.

Keywords:

design

truss

chord

Esipuhe

Haluan kiittää opinnäytetyöhön vaikuttaneita henkilöitä Ruukki Constructionilla. Ohjaaja Jouko Kansaa opastuksesta ja kannustuksesta, Ilkka Mäki-Mantilaa opastuksessa ristikkojigin suunnittelussa, Jan Jenséniä Excel laskentapohjasta, jota kehitin vastaamaan avoprofiilien liitoslaskentaa, Antti Mäntykoskea ristikoiden vaatiman valmistusajan laskennasta, Harri Rajamäkeä tiedoista pintakäsittelyajan laskemiseksi ja Marko Rajalaa materiaalihinnoista.

Työn luonteesta johtuen tulokset ovat kilpailuteknisistä syistä salaisia. Opinnäytetyön yleinen osa julkistetaan (kappaleet 1-2).

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract	3
Esipuhe.....	4
SISÄLTÖ.....	5
Käytetyt termit ja lyhenteet	6
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	8
1 LÄHTÖTILANNE JA TYÖN TAUSTA.....	13
1.1 Työn tilaaja, tavoitteet ja merkitys	13
1.2 Rajaukset	14
1.3 Työn teoreettinen tausta ja resurssit	15
2 MITOITUS	17
2.1 Käytetyt laskenta-arvot ja materiaalit	17
2.2 Sauvojen liitosmitoitus	20
3 TULOKSET	
3.1 Taulukoidut tulokset laskenta-ajosta	
3.2 Tulosten graafinen esitys	
3.3 Ristikkojigin suunnitelmat	
4 YHTEENVETO	
4.1 Johtopäätökset solmulaskennasta	
4.2 Johtopäätökset ristikkolaskennasta	
LÄHTEET.....	44
LIITTEET	45

Käytetyt termit ja lyhenteet

CFRHS	cold formed rectangular hollow section=putkipalkki
Diagonaali	ristikon vinossa kulmassa oleva välisauva
Eurokoodi	suunnitteluohje teräsrakenteiden mitoittamiseen
FEM	finite element method=elementtimenetelmä
HEA	hot rolled european wide flange beams
HEB	hot rolled european wide flange beams
IPE	european I beams
Solmu	Paarteen ja sauvan välinen liitos
Käyttörajatila, KRT	voimasuureiden, jännitysten tai taipuman laskenta ilman varmuuskertoimia
Murtorajatila, MRT	voimasuureiden ja jännitysten laskenta varmuuskertoimien kanssa
Paarre	ristikon ylä tai alapaarre, ristikon pääosa
Ristikkojigi	esikasausalusta, jossa ristikko kootaan ennen lopullista hitsausta
Vertikaali	ristikon sauva, joka on 90 asteen kulmassa paarteeseen

K-tyyppin ristikko	ristikko jossa diagonaali sauvat liittyvät paarteeseen alle 90° kulmassa
KT-tyyppin ristikko	ristikko, jossa alapaarteen solmuihin liittyy 2 diagonaalisauvaa ja 1 vertikaalisauva
g_G	pysyvien kuormien osavarmuusluku
g_{m0}	materiaali osavarmuusluku
g_Q	muuttuvien kuormien osavarmuusluku
g	liitossauvojen vapaa väli [mm]
g_a	liitossauvojen vapaa väli huomioiden hitsien kateetit [mm]
f_y	teräksen myötöraja [N/mm ²]
e	liitoksen epäkeskisyys [mm]
d	liitoksen epäkeskisyys pyöreillä sauvoilla [mm]
h₀	paarteen korkeus [mm]

(Eurokoodi EN1993-1-1: Eurocode 3 : Teräsrakenteiden suunnittelu.
Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt.)

Kuvio- ja taulukkoluetelo

KUVIO 1. Solmumitoitus S1, ristikko NE_H40H12K7,2.....	23
KUVIO 2. Solmumitoitus S2, ristikko NE_H40H12K7,2.....	24
KUVIO 3. Solmumitoitus S3, ristikko NE_H40H12K7,2.....	24
KUVIO 4. Solmumitoitus S1, ristikko NE_P40H12K7,2.....	33
KUVIO 5. Solmumitoitus S2, ristikko NE_P40H12K7,2.....	33
KUVIO 6. Solmumitoitus S3, ristikko NE_P40H12K7,2.....	34
KUVIO 7. 16 m:n ristikkosarja NE-alueen massavertailu	
KUVIO 8. 16 m:n ristikkosarja NE-alueen massojen suhde	
KUVIO 9. 16 m:n ristikkosarja NE-alueen paarteiden käyttöasteet	
KUVIO 10. 16 m:n ristikkosarja NE-alueen materiaalikustannus.....	
KUVIO 11. 16 m:n malliristikot NE-alueen ristikon valmistuskustannus	
KUVIO 12. 16 m:n malliristikot NE-alue, CFRHS-ristikon kustannusjakauma	
KUVIO 13. 16 m:n malliristikot NE-alue, HEA/IPE-ristikon kustannusjakauma	
KUVIO 14. 16 m:n ristikkosarja P-alueen massavertailu	
KUVIO 15. 16 m:n ristikkosarja P-alueen massojen suhde	

KUVIO 16. 16 m:n ristikkosarja P-alueen paarteiden käyttöasteet.....	
KUVIO 17. 16 m:n ristikkosarja P-alueen materiaalikustannus	KUVIO 18. 24 m:n ristikkosarja NE-alueen massavertailu
KUVIO 19. 24 m:n ristikkosarja NE-alueen massojen suhde	
KUVIO 20. 24 m:n ristikkosarja NE-alueen paarteiden käyttöasteet	
KUVIO 21. 24 m:n ristikkosarja NE-alueen materiaalikustannus.....	
KUVIO 22. 24 m:n ristikkosarja P-alueen massavertailu	
KUVIO 23. 24 m:n ristikkosarja P-alueen massojen suhde	
KUVIO 24. 24 m:n ristikkosarja P-alueen paarteiden käyttöasteet.....	
KUVIO 25. 24 m:n ristikkosarja P-alueen materiaalikustannus	KUVIO 26. 24 m:n malliristikot P-alueen ristikon valmistuskustannus
KUVIO 27. 24 m:n malliristikot P-alue, CFRHS-ristikon kustannusjakauma.....	
KUVIO 28. 24 m:n malliristikot P-alue, HEA/IPE ristikon kustannusjakauma	
KUVIO 29. 30 m:n ristikkosarja NE-alueen massavertailu	
KUVIO 30. 30 m:n ristikkosarja NE-alueen massojen suhde	
KUVIO 31. 30 m:n ristikkosarja NE-alueen paarteiden käyttöasteet	
KUVIO 32. 30 m:n ristikkosarja NE-alueen materiaalikustannus	KUVIO 33. 30 m:n malliristikot NE-alueen ristikon valmistuskustannus

KUVIO 34. 30 m:n malliristikot NE-alue, CFRHS-ristikon kustannusjakauma	KUVIO
35. 30 m:n malliristikot NE-alue, HEA/IPE-ristikon kustannusjakauma	KUVIO 36.
30 m:n ristikkosarja P-alueen massavertailu	
KUVIO 37. 30 m:n ristikkosarja P-alueen massojen suhde	KUVIO 38. 30 m:n
ristikkosarja P-alueen paarteiden käyttöaste	KUVIO 39. 30 m:n ristikkosarja P-
alueen materiaalikustannus.....	
KUVIO 40. 40 m:n ristikkosarja NE-alueen massavertailu	KUVIO 41. 40 m:n
ristikkosarja NE-alueen massojen suhde	
KUVIO 42. 40 m:n ristikkosarja NE-alueen paarteiden käyttöasteet	
KUVIO 43. 40 m:n ristikkosarja NE-alueen materiaalikustannus.....	
KUVIO 44. 40 m:n ristikkosarja P-alueen massavertailu	
KUVIO 45. 40 m:n ristikkosarja P-alueen massojen suhde	
KUVIO 46. 40 m:n ristikkosarja P-alueen paarteiden käyttöasteet.....	
KUVIO 47. 40 m:n ristikkosarja P-alueen materiaalikustannus	KUVIO 48. 40 m:n
malliristikot P-alueen ristikon valmistuskustannus.....	
KUVIO 49. 40 m:n malliristikot P-alue, CFRHS-ristikon kustannusjakauma..	KUVIO
50. 40 m:n malliristikot P-alue, HEA/IPE-ristikon kustannusjakauma.....	
TAULUKKO 1. Ristikkolaskentojen määrämatriisi	15
TAULUKKO 2. Käytetyt ominaiskuormien arvot ja murtorajatilän	
yhdistelykertoimet.	17
TAULUKKO 3. Käytetyt ristikkokorkeudet ja liitoskulmat.....	23

TAULUKKO 4. Excel-laskenta S1, ristikko NE_H40H12_K7,2.....	25
TAULUKKO 5. Excel-laskenta S2, ristikko NE_H40H12_K7,2.....	27
TAULUKKO 6. Excel-laskenta S3, ristikko NE_H40H12_K7,2.....	30
TAULUKKO 7. Excel-laskenta S1, ristikko NE_P40H12_K7,2.....	35
TAULUKKO 8. Excel-laskenta S2, ristikko NE_P40H12_K7,2.....	37
TAULUKKO 9. Excel-laskenta S3, ristikko NE_P40H12_K7,2.....	41
TAULUKKO 10. Ristikkolaskenta 16 m, NE (Suomi) sivu 1/2	
TAULUKKO 11. Ristikkolaskenta 16 m, NE (Suomi) sivu 2/2	
TAULUKKO 12. Ristikkolaskenta 16 m, P (Puola) sivu 1/2.....	
TAULUKKO 13. Ristikkolaskenta 16 m, P (Puola) sivu 2/2	
TAULUKKO 14. Ristikkolaskenta 24 m, NE (Suomi) sivu 1/2	
TAULUKKO 15. Ristikkolaskenta 24 m, NE (Suomi) sivu 2/2	
TAULUKKO 16. Ristikkolaskenta 24 m, P (Puola) sivu 1/2	
TAULUKKO 17. Ristikkolaskenta 24 m, P (Puola) sivu 2/2	
TAULUKKO 18. Ristikkolaskenta 30 m, NE (Suomi) sivu 1/2	
TAULUKKO 19. Ristikkolaskenta 30 m, NE (Suomi) sivu 2/2	
TAULUKKO 20. Ristikkolaskenta 30 m, P (Puola) sivu 1/2	
TAULUKKO 21. Ristikkolaskenta 30 m, P (Puola) sivu 2/2.....	

TAULUKKO 22. Ristikkolaskenta 40 m, NE (Suomi) sivu 1/2

TAULUKKO 23. Ristikkolaskenta 40 m, NE (Suomi) sivu 2/2

TAULUKKO 24. Ristikkolaskenta 40 m, P (Puola) sivu 1/2

TAULUKKO 25. Ristikkolaskenta 40 m, P (Puola) sivu 2/2

1 LÄHTÖTILANNE JA TYÖN TAUSTA

1.1 Työn tilaaja, tavoitteet ja merkitys

Rautaruukki toimittaa metalliin perustuvia komponentteja, järjestelmiä sekä kokonaistoimituksia rakentamiseen ja konepajateollisuudelle. Yhtiöllä on kolme liiketoiminta-aluetta: Ruukki Construction (metalliin pohjautuvat ratkaisut rakentamiseen), Ruukki Engineering (ratkaisut mm. nosto- ja kuljetusväline-, energia-, meri- sekä paperi- ja puunjalostusteollisuudelle) ja Ruukki Metals (terästuotteet ja niihin liittyvät esikäsittely-, logistiikka- ja varastointipalvelut, sekä vastaa yhtiön terästuotannosta ja teräspalvelukeskuksista). Yhtiöllä on toimintaa 27 maassa. Vuodesta 2004 yhtiö on käyttänyt markkinointinimeä Ruukki.

Teräsristikoiden valmistaminen on Ruukki Constructionin ydinosaa. Ristikoiden suunnittelua ja valmistusta kehitetään jatkuvasti kilpailukyvyn parantamiseksi.

Kehittämistehtävän tarkoitus on tehostaa ristikoiden suunnittelua ja valmistusta. Kehittämistehtävä jakaantuu kolmeen osioon, jotka ovat

1. Eri profiileilla suunniteltujen teräsristikoiden edullisuusvertailu konepajavalmistuksessa
2. Suunnittelun optimointi teräskilojen suhteen eri ristikkotyypeillä
3. Konepajavalmistukseen liittyvän ristikkojigin suunnittelu.

Ristikoiden valmistetaan suuria määriä. Konepajat pyrkivät mahdollisimman suuriin tuotantosarjoihin ja pieneen läpimenoaikaan, sekä tehokkaaseen materiaalin käyttöön. Ristikoiden valmistamiseen käytetyllä työmäärällä on suuri merkitys ristikoiden lopullisiin kustannuksiin. Ristikoiden vertailemalla pyritään lisäämään konepajojen tehokkuutta ja kilpailukykyä. Kustannusvertailun kautta tietämys ristikoiden valmistamiseen ja suunnitteluun kasvaa ja osaaminen yrityksessä paranee.

Ristikkojigin suunnittelulla pyritään tehostamaan ristikko tuotantoa. Ristikkojigi on tuotannon apuväline, jossa ristikko saa muotonsa. Jigiltä ristikko siirtyy eteenpäin lopulliseen hitsaukseen. Ristikkojigin suunnittelun kantavana ajatuksena ei ole tehdä kokonaan uutta innovaatiota. Uuden jigin suunnittelu pohjautuu olemassa olevaan konstruktion. Kriteereinä tulee olemaan käytännön toimivuus ja soveltuvuus tuotantoon. Jigin suunnittelussa toimitaan yhteistyössä tuotannon kanssa.

1.2 Rajaukset

Ristikkomitoitus tehdään neljällä eri pararetyypillä: CFRHS putkipalkki, HEA, HEB, ja IPE. IPE-profiilia käytetään laskennassa vain alapaarteina. Ristikoiden mitoitus suoritetaan Eurokoodeilla. Jokaisesta ristikosta tarkastetaan kolme ensimmäistä liitossolmua. Ristikkolaskentoja tehdään 208 kpl (taulukko1).

TAULUKKO 1. Ristikkolaskentojen määrämatriisi

Laskentojen määrä

Ristikko	Moduuliväli				n1	ristikkokorkeus				n2
	5m	6m	7,2m	8,4m		L/9	L/10	L/12	L/14	
R16	x	x	x	x	4	x	x	x	x	4
R24	x	x	x	x	4	x	x	x		3
R30	x	x	x	x	4	x	x	x		3
R40	x	x	x	x	4	x	x	x		3
			m							
Paarteet CFRHS/HEA/IPE			2							
Maa, Suomi/Puola			2							
Laskentojen määrä		208	kpl							

Ristikoiden tyyppi on pääsääntöisesti KT, mutta ristikkosarjassa R16 on laskettu myös muutamia K-typin ristikkoita.

1.3 Työn teoreettinen tausta ja resurssit

Teräsristikoiden suunnittelu ja mitoitus perustuu Eurokoodeihin. Ristikon valmistaminen toteutetaan EN- standardin mukaan (SFS-EN1090-2). Murtorajatilan kuormitusyhdistelyt ovat standardin SFS-EN1990 ja siihen liittyvään sovellusohjeeseen RIL201-1-2008 mukaisia. Ristikkomitoitus perustuu standardeihin EN1993-1-1 ja EN1993-1-8. Ristikkosauvojen liitokset ovat tarkistettu standardin EN1993-1-8 ja Rautaruukin Putkipalkkikäsikirjaan ohjeiden mukaan.

Laskentatyö tehdään tietokoneella käyttäen SCIA Engineer 2010 -ohjelmaa. Ohjelma hyödyntää FEM laskentaa voimasuureiden ratkaisemiseen. Ristikon solmuvoimien laskemisessa käytetään Excel-pohjaista taulukkolaskentaa. Ristikoiden mallipiirustusten tekemiseen käytetään Tekla Structures 16 -ohjelmistoa. Tekla

Structuresta käytetään myös ristikkojien tuotantokuvien ja materiaaluetteloiden tekoon.

2 MITOITUS

2.1 Käytetyt laskenta-arvot ja materiaalit

TAULUKKO 2. Käytetyt ominaiskuormien arvot ja murtorajatilan yhdistelykertoimet.

MAA	Materiaaliosav. kuormakeroimet			Kuormitus [kN/m ²]			
	γ_{m0}	G	Qlumi	G	ripustus	G yht.	Qlumi
SUOMI	1	1,15	1,5	0,75	0,2	0,95	2
PUOLA	1,1	1,1	1,5	0,35	0,2	0,55	0,72
RC2	Kfi	1					

Puolan

Materiaali varmuuskerroin vaihdetaan SCIA:ssa

Hallimaisiin rakennuksiin tarkoitetut ristikot mitoitetaan luotettavuusluokassa RC2, josta seuraa seuraamusluokka CC2-->Kfi=1,0.

CC2, Keskisuuret seuraamukset ihmishenkien menetysten tai merkittävien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia. (RIL201-1-2008, 24)

Suomessa murtorajatilanteen (MRT) kuormien osavarmuuskertoimet ovat pysyvälle kuormalle $g G= 1,15$ ja ensimmäiselle muuttuvalle kuormalle $g Q=1,5$. Puolassa

vastaavat kertoimet ovat pysyvälle kuormalle $g_G = 1,1$ ja muuttuvalle kuormalle $g_Q = 1,5$. MRT yhdistely $1,35 \cdot G$ ei tule mitoittavaksi poimulevykatoilla vesikaton pienen omanpainon vuoksi. Puolan ristikoita laskettaessa otetaan lisäksi huomioon materiaaliosavarmuusluku $g_{m0} = 1,1$ (Eurokoodi EN1993-1-1.) Lumikuorman arvot ovat valmiiksi kerrottu 0,8 jolloin saadaan lumikuorman arvo katolla (RIL201-1-2008, 94). Lumikuorman liikkuvuutta ei ole huomioitu, koska Eurokoodissa ei ole otettu kantaa lumen liikkuvuuteen. Tuulikuormasta aiheutuvaa tuulenpainetta ja imua kattorakenteille ei ole tässä kehitystehtävässä otettu huomioon, koska kuormitusyhdistelyjen määrä kasvaisi merkittävästi. Kantava profiilipelti oletetaan nivelelliseksi, jolloin kuormien jatkuvuuskerroin $= 1$. Suunnittelijan on otettava huomioon tuulikuormista, poimulevyn jatkuvuudesta ja lisävaakavoimista aiheutuva lisärasitus rakenteille todellisen kohteen mitoituksessa.

Taipumatarkastelut tehdään käyttörajatilassa (KRT). Pysyvälle- ja muuttuvalle kuormalle käytetään kuormakertoimena 1,0. Ristikoiden sallittu taipuma Suomen kansallisen liitteen NA-SFS-EN1993-1-1, (Taulukko 7.1 (FI) Taipumien ja siirtymien käyttörajatilat) mukaan on vesikattorakenteilla $L/300$. Tarvittaessa ristikkoa esikoroitetaan pysyvän kuorman aiheuttaman taipuman verran. Rakenteet lasketaan murto- ja käyttörajatilassa. Palo- ja onnettomuustilannetta ei tutkita.

Ristikoiden päiden kiinnitys pystytukiin on nivelellinen. Kattokallistus on kaikissa ristikoissa $1:20 = 2,86^\circ$. Laskennassa käytetään ristikoiden tehollisena korkeutena $h - (h_{\text{alapaarre}} + h_{\text{yläpaarre}})/2$.

Ristikoiden muoto on pääsääntöisesti KT, mutta R16 m -ristikkosarjassa lasketaan lisäksi muutamia K-mallin ristikoita. Sauvajärjestely on tehty Ruukin sisäisen ohjeen Design-manuaalin mukaisesti. Vesikattorakenteena ristikon päällä on kantava

poimulevy, eristeet ja bitumikermi. Katolta tulevat kuormitukset jakaantuvat taiseisesti kantavan poimulevyn välityksellä metrikuormaksi [kN/m] yläpaarteelle. Poimulevyn oletetaan antavan sivusuunnassa (z-z) tukea yläpaarteelle. Poimulevy kiinnitetään paarteeseen poraruuveilla tai panosnaulaimella joka poimulevyn pohjasta. Yläpaarteen nurjahduspituutena (Vainio 2000, 188-189) voidaan käyttää $0,9 \cdot \text{solmuväli}$ molempien akselien suhteen. Diagonaali- ja vertikaalisauvalla nurjahduspituutena käytetään $0,75 \cdot L$ molempien akselien suhteen. Alapaarteen nurjahduspituutena käytetään $0,9 \cdot \text{solmuväliä}$ (y-y) suunnassa ja $1,0 \cdot L$ (z-z) suunnassa. Kertoimia voidaan käyttää, kun kaikki diagonaali- ja vertikaalisauvat hitsataan ympäri läpihitsausta vastaavasti. Alapaarre oletetaan pysyvästi vedetyksi. Todellisuudessa tuulikuorman vaikutukset on otettava huomioon. Alapaarre voi joissakin kuormitusyhdistelyissä tulla puristetuksi. Pitkä tuentaväli puristetussa alapaarteessa johtaa alapaarteen sivuttaistuentaan tai alapaarteen profiilin kasvattamiseen.

Kuormituksina käytetään pysyväälle kuormalle (G_1)

1. $0,75 \text{ kN/m}^2$ Suomi (NE-alue)
2. $0,25 \text{ kN/m}^2$ Puola (P-alue)

Ripustuskuorma yläpaarteen tasosta $0,20 \text{ kN/m}^2$ (G_2)

Lumikuorman arvo katolla (Q)

1. 2 kN/m^2 Suomi (NE-alue)
2. $0,72 \text{ kN/m}^2$ Puola (P-alue)

Ristikon jännevälinä käytetään 16 m, 24 m, 30 m, 40 m.

Ristikoiden kehävälinä käytetään 5 m, 6 m, 7,2 m ja 8,4 m

Ristikokorkeutena käytetään L/9, L/10, L/12. Korkeutta L/14 käytetään vain 16 m:n ristikkosarjassa.

Ristikkojen valmistamiseen tarvittavan työajan laskentaa varten tehdään mallipiirustukset ja tarvittavat materiaaliluettelot ristikkotyypeittäin. Työaikalaskennasta saadut tulokset liitetään lopulliseen kustannusvertailuun.

Ristikoiden teräslaatusa käytetään laatua S355J2 kuumavalssatuille palkeille (HEA, HEB, IPE) ja laatua S355J2H kylmämuovatuille putkipalkeille (CFRHS). Kehittämistehtävän kantavana ajatuksena on vertailla putkipalkkia ja kuumavalssattua palkkia ristikon paarteina. Sauvoina käytetään vain CFRHS-putkia.

2.2 Sauvojen liitosmitoitus

Ristikon uumasauvat mitoitetaan yleensä nivelelliseksi, jolloin uumasauvat mitoitetaan vain normaalivoimalle. Geometria ja valmistusteknisistä syistä voi liitoksiin tulla epäkeskisyyttä ja epäkeskisyyden aiheuttamaa momenttia. Paarteet ovat jatkuvia rakenteita ja kuormitustyypin mukaan syntyy paarteisiin momenttia, joka on otettava huomioon mitoituksessa. Jos kuormia saadaan keskitettyä ristikon solmupisteisiin, saadaan momenttia pienennettyä (Vainio 2000, 184.) Kaikki uumasauvat ovat ympärähitsattuja. Uumasauvojen ja ristikon paarteiden liitoksiin syntyy jännityshuippuja. Jännityshuippuja tasataan hitsaamalla liitokset tasalujiksi (liite 1). Ristikön osat mitoitetaan teräksen myötölujuudelle $f_y=355 \text{ N/mm}^2$, jolloin hitsin a-mitan on täytettävä ehto $a>1,07*t$, jossa t on liitettävien sauvojen pienempi ainevahvuus.

Liitettävien diagonaalisauvojen liitoskulma vaihtelee 30 ja 60 asteen välillä. Sauvakulman rajoitus on seurausta käytännön toteutuksesta. Pienillä alle 30 asteen

kulmilla hitsaaminen ei enää onnistu kunnolla, ja pienet virheet sauvojen sahausksessa aiheuttavat suuren ilmaraon liitoksessa. Sauvojen sahaus rajoittaa liitoskulman 30 asteeseen. Jos liitoskulma on alle 30 astetta, joudutaan sauvojen päät leikkaamaan työpisteessä. K -ja KT-mallin ristikoissa sauvojen vapaavälin tulee liitoksissa olla $g > t_1 + t_2$ ja $g_a > 1,5 \cdot t_0$. t_1 ja t_2 ovat liitettävien diagonaalisauvojen seinämävahvuuksia ja t_0 =paarteen seinämävahvuus. Rajoituksella g_a pyritään varmistamaan paarteen pinnan plastinen muodonmuutoskyky. Lisäksi on tarkistettava yleiset reunaehdot ristikkoliitoksille (Vainio 2000, 291). (liite 2). Putkipalkkikäsikirjan yleiset ehdot vastaavat standardin SFS-EN 1993-1-8 s.111 ja s.141 (Liite 4) mukaisia yleisiä ehtoja:

- $f_y \leq 355 \text{ N/mm}^2$
- $t_0 \geq 2,5 \text{ mm}$
- $t_i \geq 2,5 \text{ mm}$
- sauvakulma $Q \geq 30^\circ$
- $-0,55 \leq e/h_0 \leq 0,25$ tai $-0,55 \leq e/d_0 \leq 0,25$
- Sauvojen puristettujen taso-osien on kuuluttava poikkileikkausluokkaan 1 tai 2 puhtaassa taivutuksessa
- Uumasauvojen päät eivät saa olla litistettyjä.

Lisää reunaehtoja tulee tarkistettavaksi liitostyyppin mukaan.

Kuumavalssatuilla I-poikkileikkauksilla HEA-, HEB- ja IPE-sauvaliitosten kestävyysien mitoitusarvot on tarkistettu taulukon (SFS-EN 1993-1-8, Taulukko 7.21: Suorakaiteen muotoisten tai pyöreiden uumasauvojen ja I- tai H-muotoisten paarsauvojen välisten hitsausliitosten kestävyysien mitoitusarvot) mukaisesti. (liite

3) Putkipalkkikäsikirjassa ja EN-standardissa ei ole esitetty KT-ristikon liitoksia, kun paarteena on I-poikkileikkaus. Taulukossa 7.21 on esitetty ehdot K-mallin ristikon liitosten laskentaan. Laskenta on suoritettu Excel-taulukkolaskenta ohjelmalla taulukon 7.21 kaavojen mukaan. Alapaarteen liitoksissa, joissa on myös vertikaalisauva (KT-liitos), tulee vertikaalisauvan kautta siirtyvää normaalivoimaa varten varata ylimääräistä kapasiteettia liitokseen. Ristikkojen mallipiirustuksissa ei ole otettu kantaa ristikon liittymisestä muihin runkorakenteisiin.

Jokaisesta ristikosta on mitoitettu kolme ensimmäistä liitosta, jotka ovat nimetty seuraavasti:

- S1= Yläpaarteen ja 1. diagonaalisauvan välinen liitos
- S2= Alapaarteen ja diagonaalisauvojen 1 ja 2 sekä vertikaalisauvan välinen liitos
- S3= Yläpaarteen ja 2. ja 3:n diagonaalisauvan välinen liitos

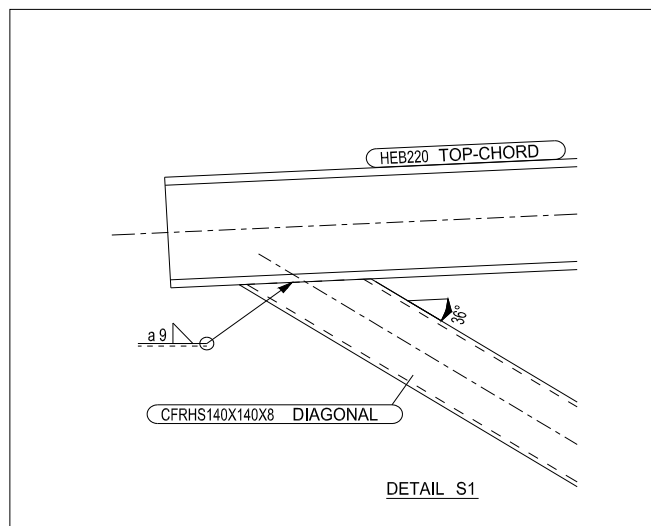
Avoprofiilipaarteen ristikon liitoksia vahvistetaan tarvittaessa. Paarteen uuman myödon tai paarteen leikkaantumisen tullessa mitoitettavaksi vahvistetaan paarteen uuma vahvikelevyillä paarteen molemmin puolin. Paarteen pintaa ei tarvitse vahvistaa. Uumasauvan murtumisen tullessa mitoitettavaksi vahvistetaan paarte poikittaisilla levyjäykisteillä.

Sauvajärjestely ja liitoskulmat vaikuttavat oleellisesti liitoksen kestävyyskykyyn. Sauvavoimat jaetaan x- ja y-suuntaisiin komponentteihin. Pienillä kulman arvoilla x-suuntainen komponentti kasvaa ja y-suuntainen komponentti vastaavasti pienenee Pythagoran-teorian mukaan. Pienillä sauvakulmilla paarteen kestävyysarvot ja kosketuspinta paarteen ja diagonaalisauvan välillä ovat suurimmillaan. X-suuntainen hitsin pituus kasvaa vastaavasti. Liitoksissa pyritään mahdollisimman pieneen epäkeskisyyteen. Liittyvien sauvojen keskilinjojen leikkauskohta tulisi py-

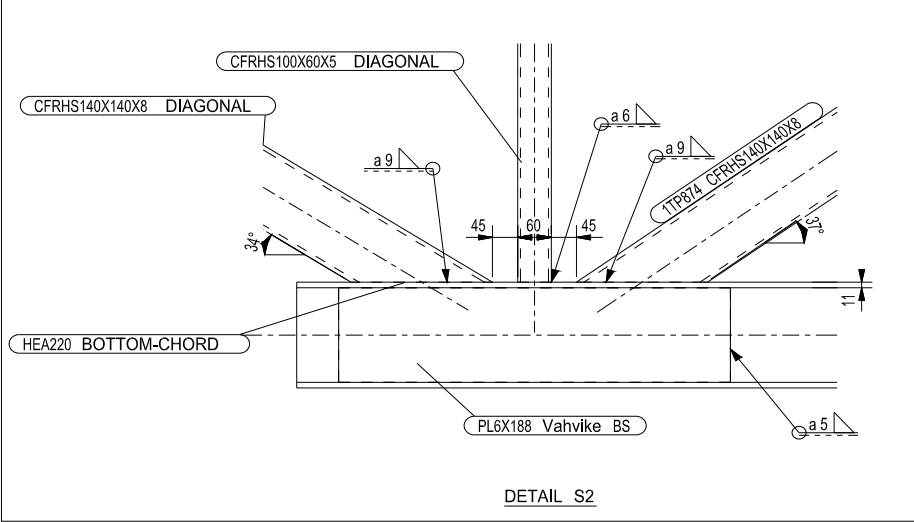
syä paarteen sisällä, ja jos mahdollista keskilinjojen tulisi kohdata paarteen keskilinjalla, jolloin paarteeseen ei synny liitoksesta haitallista lisämomenttia. Taulukossa 3 esitetään arvot käytetyistä sauvakulmista.

TAULUKKO 3. Käytetyt ristikkokorkeudet ja liitoskulmat

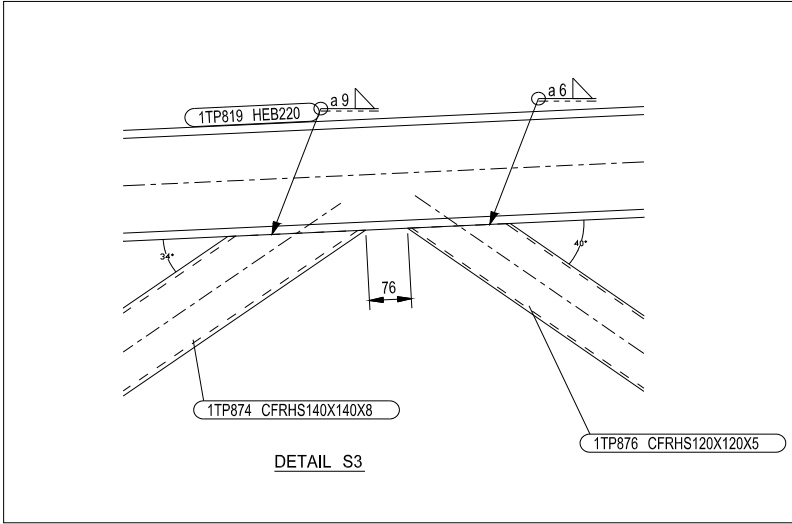
Ristikko	L/9 sauvakulmat			L/10	L/12			L/14								
	[m]	S1	S2		S3	[m]	S1	S2	S3	[m]	S1	S2	S3			
R16	1,78	35	32/36	33	1,6	32	30/32	30	1,33	35	32/35	33	1,14	37	34/90	87/36
R24	2,67	45	45/45	45/45	2,4	42	38/41	38/43	2	33	31/34	31/37	EI			
R30	3,33	48	46/47	44/50	2,85	44	42/44	41/46	2,35	36	34/37	34/40	EI			
R40	4,445	48	45/47	45/51	4	44	41/44	41/47	3,33	36	33/37	34/40	EI			



KUVIO 1. Solmumitoitus S1, ristikko NE_H40H12K7,2



KUVIO 2. Solmumitoitus S2, ristikko NE_H40H12K7,2



KUVIO 3. Solmumitoitus S3, ristikko NE_H40H12K7,2

TAULUKKO 4. Excel-laskenta S1, ristikko NE_H40H12_K7,2

Paarre	L	suunta	b ₀	h ₀	tf ₀	r ₀	tw0	hw
HEB220	2000	Y	220	220	16	18	9,5	152
NE_H40H12_K7,2	apu1	apu1	PLL	f _{y0}	A ₀	E	Av	W _{el,0}
solmu1	16,0	5,5	1	355	9100	210000	2792	736
			1	1			496	572
							Ved	Vpl,Rd
Uumasauva	L	suunta	b ₁	h ₁	t ₁	r ₁	c _{1,b}	c _{1,h}
CFRHS140X140X8	2375	Y	140	140	8	20	100	100
	apu1	apu2	PLL	f _{y1}	A ₁		β	Y _{M5}
	15,4	15,4	1	355	4004		0,63636364	1,0
PURISTUS	N ₀	M ₀	N ₁	Θ ₁	k _n	n	σ _{0,Ed}	Θ ₁
	-840	5,5	844	36°	1	0,281072	100	0,628
	η	f _b	χ	λ _{normalized}	Φ			Y
	0,6364	0	0,001	0,694	690,364			6,875

Tasoristikon kokonaistarkastelun ehtoja

L _{≥6h}	=	2000	>	1320	OK
	=	2375	>	840	OK

Soveltamisala (7.1.1)

f _{y,max}	=	355	<	460	OK	pienennyskerroin
t _{min}	=	8	>	2,5	OK	1,0
t _{0,max}	=	16	<	25,0	OK	

Soveltamisehtoja (7.1.2)

PLL _{min(puristus)}	=	1	<	2	OK
Θ _{min}	=	36°	>	30°	OK

Ehtoja (Taulukko 7.20 uumasauvoille)

b ₁ /t ₁	=	17,5	<	35	OK	PURISTUS
h ₁ /t ₁	=	17,5	<	35	OK	
PLL	=	1	<	2	OK	
b ₀ /tf	=	13,75	<	18,2	OK	
dw	=	220	<	400,0	OK	
h ₁ /b ₁	=	1,00	>	0,5	OK	
			<	2,0	OK	
dw/tw	=	1,4	<	36,5	OK	
PLL	=	1	<	2	OK	

Lisäehtoja (Liite 9.3 RR putkipalkki käsikirja), uuman myötöehdot vain RR käsikirja

bw=(h _i /sin α)+5(tf+r)	=	408,2	>	356	neliö ja suorakaidesauvat
	=	408,2	>	356	pyöreät uumasauvat

Taulukko 7.21

Paarteen uuman myötö

N _{1,Rd}	=	2043			
N _{1,Rd}	=	2042,6	>	844	OK

paarteen leikkautuminen

$$N_{1,Rd} = 974 > 844 \text{ OK}$$

$$N_{0,Rd} = 2733 > 840 \text{ OK}$$

Vahvistettu uuma, poskilevyt uuman molemmin puolin

$$t_p = 6 \text{ mm}$$

$$h_p = 188 \text{ mm}$$

$$l_p = 458 \text{ mm}$$

$$N_{1,Rd} = \text{OK} > 844 \text{ OK}$$

Uumasauvan murtuminen

Uumasauvan murtumista ei tarvitse tarkastaa jos:

$$\beta = 0,64 < 0,79 \text{ OK}$$

Uumasauvan murtuminen

$$b_{eff} = 157,5 < 140$$

$$N_{1,Rd} = 795 < 844 \text{ EI}$$

Jäykisteet uumassa, uumasauvan murtuminen

	b_p	t_p	f_{yp}	a
	100	10	355	4
b_{eff}	157,5	<	264	OK
$b_{eff,s}$	130	<	264	OK
$N_{1,Rd}$	1633	>	844	OK

Diagonaalin hitsaaminen 1,07xt

l	692	mm			
a	8,6	mm			
f_{wd}	261,7	N/mm ²			
F_{rv}	1551	kN	>	1043	OK
					67 %

TAULUKKO 5. Excel-laskenta S2, ristikko NE_H40H12_K7,2

Paarre	L	suunta	b ₀	h ₀	t _{f0}	r ₀	tw0	hw
HEA220	2000	Y	220	210	11	18	7	152
NE_H40H12_K7,2	apu1	apu1	PLL	f _{y0}	A ₀	E	Av	W _{el,0}
solmu2	21,7	8,0	1	355	6430	210000	2067	515
			2	2			32	424
							Ved	Vpl,Rd
Uumasauva 1	L	suunta	b ₁	h ₁	t ₁	r ₁	c _{1,b}	c _{1,h}
CFRHS140X140X8	2488	Y	140	140	8	20	100	100
puristettu sauva	apu1	apu2	PLL	f _{y1}	A ₁			Y _{M5}
	15,4	15,4	1	355	4004			1,0
Uumasauva 2	L	suunta	b ₂	h ₂	t ₂	r ₂	c _{2,b}	c _{2,h}
CFRHS140X140X8	2488	Y	140	140	8	20	100	100
vedetty sauva	apu1	apu2	PLL	f _{y2}	A ₂		β	γ
	15,4	15,4	1	355	4004		0,64	10
VETO	N ₀	M ₀	N ₁	Θ ₁	k _{n1}	n	σ _{0,Ed}	Θ ₁
	1408	5	844	33°	1	0,644175	229	0,576
	η	f _b	χ	λ _{normalized}	Φ			
	0,63636	355	0,001	1,049	878,157			
PURISTUS	g		N ₂	Θ ₂	k _{n2}	α	A _v	Θ ₂
	150		-711	37°	1	0,063	4773	0,646
	η	f _b	χ	λ _{normalized}	Φ			
	0,63636	0	0,001	0,998	825,388			
Tasoristikon kokonaistarkastelun ehtoja (5.1.5)								
L _{≥6h}	=	2000	>	1260	OK			
	=	2488	>	840	OK			
	=	2488	>	840	OK			
e	=	32,7	>	-115,5	OK			
			<	53	OK			
Soveltamisala (7.1.1)								
f _{y,max}	=	355	<	460	OK	pienennyskerroin		
t _{min}	=	8	>	2,5	OK	1,0		
t _{0,max}	=	11	<	25,0	OK			
Soveltamisehtoja (7.1.2)								
PLL _{min(puristus)}	=	1	<	2	OK		*	
Θ _{min}	=	33°	>	30°	OK			
g	=	150	>	16,5	OK			
Ehtoja (Taulukko 7.8)								
b ₁ /t ₁	=	17,5	<	35	OK			
b ₂ /t ₂	=	17,5	<	35	OK			
h ₁ /t ₁	=	17,5	<	35	OK			
h ₂ /t ₂	=	17,5	<	35	OK			
PLL ₁	=	1	<	2	OK	VETO		
PLL ₂	=	1	<	2	OK	PURISTUS		

h_1/b_1	=	1,00	>	0,5	OK
			<	2,0	OK
h_2/b_2	=	1,00	>	0,5	OK
			<	2,0	OK
PLL	=	1	<	2	OK
b_0/t_f	=	20,0	>	16,0	EI
dw	=	210	<	400,0	OK
dw/tw	=	30,0	<	36,5	OK

Lisäehtoja (Liite 9.3 RR putkipalkki käsikirja), uuman myötöehdot vain RR käsikirja

$bw=(h_i/\sin \alpha)+5(t_f+r)$	=	402,1	>	306	neliö ja suorakaidesauvat
bw1	=	402,1	>	306	pyöreät uumasauvat
bw2	=	377,6	>	306	neliö ja suorakaidesauvat
bw2	=	377,6	>	306	pyöreät uumasauvat

paarteen uuman myötö

bw1	=	306,0	bw2	=	306,0
$N_{1,Rd}$	=	1396	>	844	OK
$N_{2,Rd}$	=	1264	>	711	OK

paarteen leikkautuminen

$N_{1,Rd}$	=	778	<	844	EI	KT liitoksessa lisää vertikaalin voima leikkaukseen
$N_{2,Rd}$	=	704	<	711	EI	
$N_{0,Rd}$	=	2281	>	1408	OK	

Vahvistettu uuma, poskilevyt uuman molemmin puolin

tp	=	6	mm		
hp	=	188	mm		
lp	=	700	mm		
$N_{1,Rd}$	=	1627	>	844	OK

Uumasauvan murtuminen

Uumasauvan murtumista ei tarvitse tarkastaa jos:

	β	=	0,64	<	0,70	OK	
	g/t_f	=	13,6	>	2,181818	OK	
OK		0,75	<	1,0	<	1,33 OK	neliösauvat suorakaidesauvat
	b_{eff1}	=	120,0	<	140		
	b_{eff2}	=	120,0	<	140		
	$N_{1,Rd}$	=	682	<	844	EI	
	$N_{2,Rd}$	=	682	>	-711	EI	

Jäykisteet uumassa, uumasauvan murtuminen

	b_p	t_p	f_{yp}	a	
	100	8	355	3	
	b_{eff1}	120	<	264	OK

$N_{2,Rd}$ 1201 > -711 OK

Diagonaalin hitsaaminen 1,07xt

sauva 1						
l	730	mm				
a	9,6	mm				
fwd	261,7	N/mm2				
Frv	1834	kN	>	1006	OK	55 %
sauva 2						
l	681	mm				
a	8,6	mm				
fwd	261,7	N/mm2				
Frv	1526	kN	>	-890	OK	58 %

TAULUKKO 6. Excel-laskenta S3, ristikko NE_H40H12_K7,2

Paarre	L	suunta	b ₀	h ₀	tf ₀	r ₀	tw0	hw
HEB220	2000	Y	220	220	16	18	9,5	152
NE_H40H12_K7,2	apu1	apu1	PLL	f _{y0}	A ₀	E	Av	W _{el,0}
solmu3	16,0	5,5	1	355	9100	210000	2792	736
			1	1			106	572
							Ved	Vpl,Rd
Uumasauva 1	L	suunta	b ₁	h ₁	t ₁	r ₁	c _{1,b}	c _{1,h}
CFRHS140X140X8	2488	Y	140	140	8	20	100	100
puristettu sauva	apu1	apu2	PLL	f _{y1}	A ₁			Y _{M5}
	15,4	15,4	1	355	4004			1,0
Uumasauva 2	L	suunta	b ₂	h ₂	t ₂	r ₂	c _{2,b}	c _{2,h}
CFRHS120X120X5	2488	Y	120	120	5	10	100	100
vedetty sauva	apu1	apu2	PLL	f _{y2}	A ₂		β	γ
	24,6	24,6	1	355	2236		0,59	6,875
PURISTUS	N ₀	M ₀	N ₁	Θ ₁	k _{n1}	n	σ _{0,Ed}	Θ ₁
	-1777	5	-711	34°	0,914691	0,569206	202	0,593
	η	f _b	χ	λ _{normalized}	Φ			
	0,63636	0	0,001	0,712	714,837			
VETO	g		N ₂	Θ ₂	k _{n2}	α	A _v	Θ ₂
	75		454	40°	0,914691	0,182	7680	0,698
	η	f _b	χ	λ _{normalized}	Φ			
	0,54545	355	0,001	0,664	648,000			
Tasoristikon kokonaistarkastelun ehtoja (5.1.5)								
L _{≥6h}	=	2000	>	1320	OK			
	=	2488	>	840	OK			
	=	2488	>	720	OK			
e	=	-0,2	>	-121	OK			
			<	55	OK			
Soveltamisala (7.1.1)								
f _{y,max}	=	355	<	460	OK	pienennyskerroin		
t _{min}	=	5	>	2,5	OK	1,0		
t _{0,max}	=	16	<	25,0	OK			
Soveltamisehtoja (7.1.2)								
PLL _{min(puristus)}	=	1	<	2	OK			
Θ _{min}	=	34°	>	30°	OK			
g	=	75	>	24	OK			
Ehtoja (Taulukko 7.8)								
b ₁ /t ₁	=	17,5	<	35	OK			
b ₂ /t ₂	=	24,0	<	35	OK			
h ₁ /t ₁	=	17,5	<	35	OK			
h ₂ /t ₂	=	24,0	<	35	OK			
PLL ₁	=	1	<	2	OK	PURISTUS		
PLL ₂	=	1	<	2	OK	VETO		

h_1/b_1	=	1,00	>	0,5	OK
			<	2,0	OK
h_2/b_2	=	1,00	>	0,5	OK
			<	2,0	OK
PLL	=	1	<	2	OK
b_0/tf	=	13,8	<	16,0	OK
dw	=	220	<	400,0	OK
dw/tw	=	23,2	<	36,5	OK

Lisäehtoja (Liite 9.3 RR putkipalkki käsikirja), uuman myötöehdot vain RR käsikirja

$bw=(h_i/\sin \alpha)+5(tf+r)$	=	420,4	>	356	neliö ja suorakaidesauvat
bw1	=	420,4	>	356	pyöreät uumasauvat
bw2	=	356,7	>	350	neliö ja suorakaidesauvat
bw2	=	356,7	>	350	pyöreät uumasauvat

paarteen uuman myötö

bw1	=	356,0	bw2	=	350,0
$N_{1,Rd}$	=	2147	>	711	OK
$N_{2,Rd}$	=	1836	>	454	OK

paarteen leikkautuminen

$N_{1,Rd}$	=	1023	>	711	OK
$N_{2,Rd}$	=	890	>	454	OK
$N_{0,Rd}$	=	3213	>	1777	OK

Vahvistettu uuma, poskilevyt uuman molemmin puolin

tp	=	6	mm
hp	=	188	mm
lp	=	657	mm
$N_{1,Rd}$	=	OK	> 711 OK

Uumasauvan murtuminen

Uumasauvan murtumista ei tarvitse tarkastaa jos:

	β	=	0,59	<	0,79	OK
	g/tf	=	4,7	>	3,454545	OK
OK		0,75	<	1,2	<	1,33 OK
	b_{eff1}	=	157,5	<	140	
	b_{eff2}	=	157,5	<	120	
	$N_{1,Rd}$	=	795	>	-711	OK
	$N_{2,Rd}$	=	426	<	454	EI

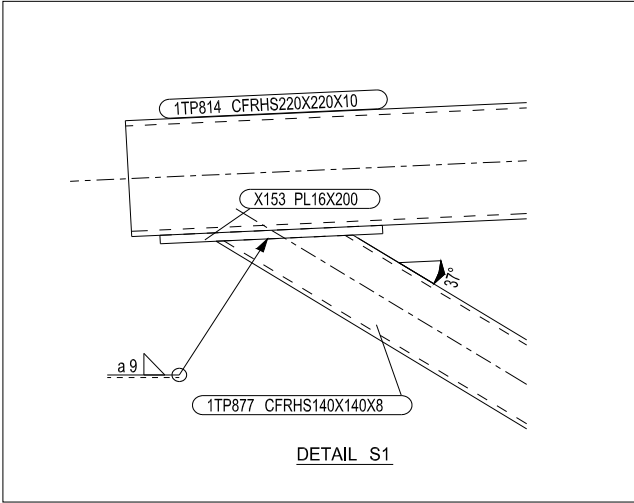
neliösauvat
suorakaidesauvat

beff,s1	130	<	230	OK
N _{1,Rd}	1633	>	-711	OK
N _{2,Rd}	1021	>	454	OK

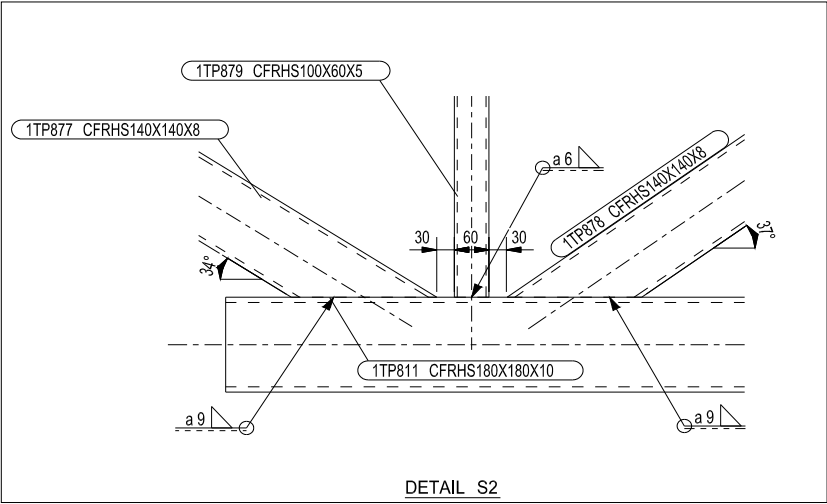
Diagonaalin hitsaaminen 1,07xt

sauva 1				
l	717	mm		
a	9,6	mm		
fwd	261,7	N/mm ²		
Frv	1801	kN	>	-858 OK
				48 %
sauva 2				
l	573	mm		
a	5,4	mm		
fwd	261,7	N/mm ²		
Frv	803	kN	>	593 OK
				74 %

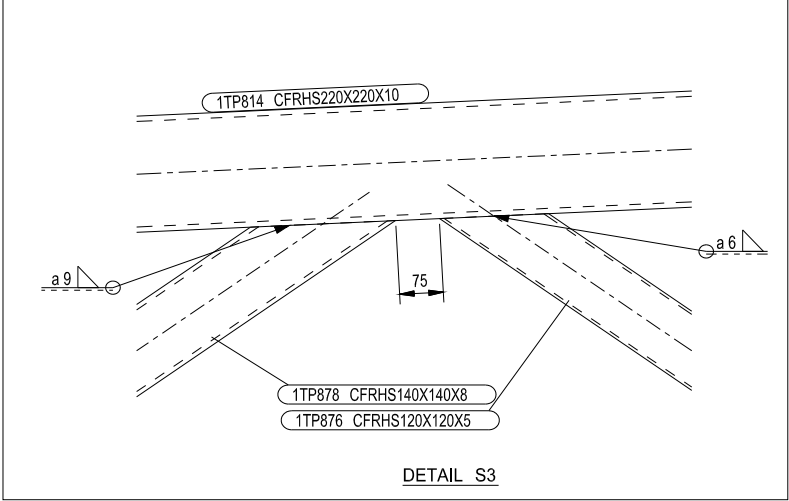
Taulukoissa 7-9 esitetään vastaava putkipalkkiristikko NE_P40H12_K7,2. Liitokset on mitoitettu Excel-ohjelmalla käyttäen Putkipalkkikäsikirjan (Vainio 2000) ohjeita (Liite 5). Putkipalkkiristikon liitoksia vahvistetaan tarvittaessa. Paarteen pinnan murron tullessa mitoitettavaksi vahvistetaan paarteen pinta vahvikelevyillä. Paarteen leikkaantumisen tullessa mitoitettavaksi vahvistetaan paarteen uumat vahvikelevyillä paarteen molemmin puolin. Uumasauvan murtumisen tullessa mitoitettavaksi vahvistetaan paarteen pintaa vahvikelevyillä tai kasvatetaan diagonaalisauvan leveyttä tai seinämän paksuutta.



KUVIO 4. Solmumitoitus S1, ristikko NE_P40H12K7,2



KUVIO 5. Solmumitoitus S2, ristikko NE_P40H12K7,2



KUVIO 6. Solmumitoitus S3, ristikko NE_P40H12K7,2

TAULUKKO 7. Excel-laskenta S1, ristikko NE_P40H12_K7,2

Paarre	L	suunta	b_0	h_0	t_0	r_0	$c_{0,b}$	$c_{0,h}$
CFRHS220x220x10	2000	Y	220	220	10	25	170	170
NE_P40H10_K7,2	apu1	apu2	PLL	f_{y0}	A_0	E	α	$W_{el,0}$
solmu1	20,9	20,9	1	355	8057	210000	0,49	525,6779
Uumasauva	L	suunta	b_1	h_1	t_1	r_1	$c_{1,b}$	$c_{1,h}$
CFRHS140X140X8	2375	Z	140	140	8	20	100	100
	apu1	apu2	PLL	f_{y1}	A_1		β	γ_{M5}
	15,4	15,4	1	355	4004		0,636364	1,0
PAARRE PURISTET	N_0	M_0	N_1	Θ_1	k_n	n	$\sigma_{0,Ed}$	Θ_1
	-838	5,5	992	36°	1,00	0,322468	114	0,628
	η	f_b	χ	$\lambda_{normalized}$	Φ			γ
	0,6364	157	0,443	1,181	1,438			11
Tasoristikon kokonaistarkastelun ehtoja								
	$L \geq 6h$	=	2000	>	1320	OK		
		=	2375	>	840	OK		
Soveltamisala (7.1.1)								
	$f_{y,max}$	=	355	<	460	OK	pienennyskerroin	
	t_{min}	=	8	>	2,5	OK	1,0	
	$t_{0,max}$	=	10	<	25,0	OK		
Soveltamisehtoja (7.1.2)								
	$PLL_{min(puristus)}$	=	1	<	2	OK		
	Θ_{min}	=	36°	>	30°	OK		
Ehtoja (Taulukko 7.8)								
	b_1/b_0	=	0,636364	>	0,25	OK		
	b_1/t_1	=	17,5	<	35	OK		
	h_1/t_1	=	17,5	<	35	OK		
	PLL	=	1	<	2	OK		
	h_0/b_0	=	1	>	0,5	OK		PAARRE PURISTETTU
				<	2,0	OK		
	h_1/b_1	=	1,00	>	0,5	OK		
				<	2,0	OK		
	b_0/t_0	=	22,0	<	35	OK		
	h_0/t_0	=	22,0	<	35	OK		
	PLL	=	1	<	2	OK		
Lisäehtoja (Taulukko 7.9)								
	b_1/b_0	=	0,64	<	0,85	OK		
	b_0/t_0	=	22	>	10	OK		
Taulukko 7.10 jos taulukon 7.9 ehdot täyttyvät								
	$N_{1,Rd}$	=	760	<	992	EI		
	β	=	0,64					

Taulukko 7.11 jos taulukon 7.9 ehdot eivät täyty
Paarteen pinnan murtuminen

$$\text{Jos } \beta \leq 0,85 \text{ silloin } N_{1,Rd} = 760$$

Paarteen sivun lommahtaminen

$$\text{Jos } \beta = 1,0 \text{ silloin } N_{1,Rd} = 1541$$

Sivun lommahdus tai paarteen leikkautuminen

$$\text{Jos } \beta = 0,85 \text{ silloin } N_{1,Rd} = 1496$$

$$\text{Jos } 0,85 \leq \beta \leq 1,0 \text{ silloin } N_{1,Rd} = 1430$$

$$\beta = 0,64 < 1,0 \text{ OK}$$

$$N_{1,Rd} = \text{OK} > 992 \text{ OK}$$

Uumasauvan murtuminen

$$b_{\text{eff}} = 79,54545$$

$$\beta = 0,64 < 0,85 \text{ EI tarkisteta}$$

$$N_{1,Rd} = 1156 > 992 \text{ OK}$$

Lävistysleikkautuminen

$$b_{e,p} = 63,63636$$

$$\beta = 0,64 < 0,85 \text{ EI tarkisteta}$$

$$\beta = 0,64 < 0,91 \text{ OK}$$

$$N_{1,Rd} = 2105 > 992 \text{ OK}$$

vahvikelevy paarteen pinnalla PAARRE VAHVISTETTAVA

b_p	t_p	f_{yp}
220	16	355

Taulukko 7.17 Vahvistettu liitos
Vetokuormitus

$$l_p \geq 371$$

$$\geq 357$$

$$b_p \geq 200$$

$$N_{1,Rd} = 1946,3 > 992 \text{ OK}$$

Diagonaalin hitsaaminen 1,2xt

$$l \quad 692 \quad \text{mm}$$

$$a \quad 9,6 \quad \text{mm}$$

$$\text{fwd} \quad 261,7 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\text{Frv} \quad 1739 \quad \text{kN} > 1226 \text{ OK} \quad 70 \%$$

TAULUKKO 8. Excel-laskenta S2, ristikko NE_P40H12_K7,2

Paarre	L	suunta	b ₀	h ₀	t ₀	r ₀	c _{0,b}	c _{0,h}
CFRHS180X180X10	4000	Y	180	180	10	25	130	130
NE_P40H10_K7,2	apu1	apu2	PLL	f _{y0}	A ₀	E	α	V _{Ed}
solmu2	16,0	16,0	1	355	6457	210000	0,49	430,3
	V _{pl,Rd}	A _{w0}	W _{el,0}					
	662	3228	335,1999					
Uumasauva 1	L	suunta	b ₁	h ₁	t ₁	r ₁	c _{1,b}	c _{1,h}
CFRHS140X140X8	2326	Y	140	140	8	20	100	100
puristettu sauva	apu1	apu2	PLL	f _{y1}	A ₁			Y _{M5}
	15,4	15,4	1	355	4004			1,0
Uumasauva 2	L	suunta	b ₂	h ₂	t ₂	r ₂	c _{2,b}	c _{2,h}
CFRHS100X60X5	1380	Z	100	60	5	10	80	40
vedetty sauva	apu1	apu2	PLL	f _{y2}	A ₂			γ
	19,7	9,8	1	355	1436			9
Uumasauva 3			b ₃	h ₃	t ₃	r ₃	c _{3,b}	c _{3,h}
CFRHS140X140X8	2488	Y	140	140	8	20	100	100
	apu1	apu2	PLL	f _{y3}	A ₃			β
	15,4	15,4	1	355	4004			0,67
PAARRE VEDETTY	N ₀	M ₀	N ₁	Θ ₁	k _n	n	σ _{0,Ed}	Θ ₁
	1405	0,5	992	33°	1	0,617175	219	0,576
	η		χ	λ _{normalized}	Φ			
	0,777778	195	0,551	0,982	1,173			
PURISTUS	g ₁		N ₂	Θ ₂	k _n	α	A _v	Θ ₂
	30		-110	90°	1	0,277	4099	1,571
	η	f _b	χ	λ _{normalized}	Φ			
	0,333333	252	0,709	0,725	0,891			
PURISTUS	g ₂		N ₃	Θ ₃	k _n			Θ ₃
	30		-710	37°	1			0,646
	η	f _b	χ	λ _{normalized}	Φ			
	0,777778	206	0,579	0,934	1,116			
Tasoristikon kokonaistarkastelun ehtoja								
L _{≥6h}	=	4000	>	1080	OK			
	=	2326	>	840	OK			
	=	1380	>	360	OK			
	=	2488	>	840	OK			
e ₁₃	=	5,9	>	-99	OK			
			<	45	OK			
e ₃₂	=	42,9	>	-99	OK			
			<	45	OK			
e ₁₂	=	142,8	>	-99	OK			
			>	45	EI			
Soveltamisala (7.1.1)						pienennyskerroin		
f _{y,max}	=	355	<	460	OK	1,0		
t _{min}	=	5	>	2,5	OK			

$t_{0,max}$	=	10	<	25,0	OK	
Soveltamisehtoja (7.1.2)						
$PLL_{min(puristus)}$	=	1	<	2	OK	
Θ_{min}	=	33°	>	30°	OK	
g_1	=	30	>	16	OK	
g_2	=	30	>	13	OK	
Ehtoja (Taulukko 7.8)						
b_1/b_0	=	0,777778	>	0,35	OK	
			>	0,28	OK	
b_2/b_0	=	0,555556	>	0,35	OK	
			>	0,28	OK	
b_3/b_0	=	0,777778	>	0,35	OK	
			>	0,28	OK	
b_1/t_1	=	17,5	<	35	OK	
b_2/t_2	=	20,0	<	35	OK	
b_2/t_2	=	17,5	<	35	OK	
h_1/t_1	=	17,5	<	35	OK	
h_2/t_2	=	12,0	<	35	OK	
h_2/t_2	=	17,5	<	35	OK	
PLL_1	=	1	<	2	OK	PAARRE V
PLL_2	=	1	<	2	OK	PURISTUS
h_0/b_0	=	1	>	0,5	OK	
			<	2,0	OK	
h_1/b_1	=	1,00	>	0,5	OK	
			<	2,0	OK	
h_2/b_2	=	0,60	>	0,5	OK	
			<	2,0	OK	
h_2/b_2	=	1,00	>	0,5	OK	
			<	2,0	OK	
b_0/t_0	=	18,0	<	35	OK	
h_0/t_0	=	18,0	<	35	OK	
PLL	=	1	<	2	OK	
g/b_0	=	0,166667	=	0,17	OK	
			<	0,5	OK	
Lisäehtoja (Taulukko 7.9)						
$(b_1+b_2)/2b_1$	=	0,857143	<	1,3	OK	
			>	0,6	OK	
b_0/t_0	=	18,0	>	15	OK	
Taulukko 7.12, huomioiden taulukkoa 7.15 mitoitus ehdot						
Paarteen pinnan murtuminen						
$N_{1,Rd}$	=	1160	>	992	OK	
$N_{2,Rd}$	=	632	>	110	OK	
$N_{3,Rd}$	=	1050	>	710	OK	
$N_{1,Rd}\sin\theta_1$	=	632	>	112,99	OK	$N_{1,Ed}\sin\theta_1+$
			>	-110,00	OK	$N_{2,Ed}\sin\theta_2$

Paarteen leikkautuminen

$N_{1,Rd}$	=	1543	>	992	OK
$N_{2,Rd}$	=	840	>	110	OK
$N_{0,Rd}$	=	1942	>	1405	OK

Poskilevyt paarteeseen

$N_{1,Rd}$	=	OK	>	992	OK
$N_{2,Rd}$	=	OK	>	110	OK
$N_{0,Rd}$	=	1948	>	1405	OK

levyt

b_p	t_p	f_{yp}	Avp	Vpl,rd	Vsd	Vsd/Vpl,rd
180	0	355	0	840,2	650	0,77
	I_p	\geq	825	mm		

Uumasauvan murtuminen

b_{eff1}	=	97,2			
$N_{1,Rd}$	=	1378	>	992	OK
b_{eff2}	=	100,0			
$N_{2,Rd}$	=	533	>	110	OK
b_{eff3}	=	97,2			
$N_{3,Rd}$	=	1378	>	710	OK

Lävistysleikkautuminen

β	=	0,67	<	0,89	OK
$b_{e,p1}$	=	77,77778			
$N_{1,Rd}$	=	2754	>	992	OK
$b_{e,p2}$	=	55,55556			
$N_{2,Rd}$	=	565	>	110	OK
$b_{e,p3}$	=	77,77778			
$N_{3,Rd}$	=	2326	>	710	OK

vahvikelevy paarteen pinnalla

b_p	t_p	f_{yp}
180	16	355

Taulukko 7.18

Vahvistettu liitos

I_p	\geq	915	
b_p	\geq	160	OK
t_p	\geq	16	OK

Paarteen pinnan murtuminen

$N_{1,Rd}$	=	2970	>	992	OK	
$N_{2,Rd}$	=	1618	>	110	OK	
$N_{3,Rd}$	=	2688	>	710	OK	
$N_{1,Rd}\sin\theta_1$	=	1618	>	112,99	OK	$N_{1,Ed}\sin\theta_1+$
			>	-110,00	OK	$N_{2,Ed}\sin\theta_2$

Uumasauvan murtuminen

b_{eff1}	=	140			
$N_{1,Rd}$	=	1500	>	992	OK
b_{eff2}	=	100			
$N_{2,Rd}$	=	533	>	110	OK
b_{eff3}	=	140			
$N_{3,Rd}$	=	1500	>	710	OK

Lävistysleikkautuminen

β	=	0,67	<	0,89	OK
$b_{e,p1}$	=	124,4444			
$N_{1,Rd}$	=	4688	>	992	OK
$b_{e,p2}$	=	88,88889			
$N_{2,Rd}$	=	1013	>	110	OK
$b_{e,p3}$	=	124,4444			
$N_{3,Rd}$	=	3782	>	710	OK

Diagonaalin hitsaaminen 1,07xt

sauva 1

l	730	mm			
a	8,6	mm			
fwd	261,7	N/mm ²			
Frv	1636	kN	>	1183	OK

72 %

sauva 2

l	480	mm			
a	5,4	mm			
fwd	261,7	N/mm ²			
Frv	672	kN	>	-110	OK

16 %

sauva 3

l	809	mm			
a	8,6	mm			
fwd	261,7	N/mm ²			
Frv	1813	kN	>	-889	OK

49 %

TAULUKKO 9. Excel-laskenta S3, ristikko NE_P40H12_K7,2

Paarre	L	suunta	b ₀	h ₀	t ₀	r ₀	c _{0,b}	c _{0,h}
CFRHS220x220x10	2000	Y	220	220	10	25	170	170
NE_P40H10_K7,2	apu1	apu2	PLL	f _{y0}	A ₀	E	α	V _{Ed}
solmu3	20,9	20,9	1	355	8057	210000	0,49	104,6
	V _{pl,Rd}	A _{v0}	W _{el,0}					
	826	4028	525,6779					
Uumasauva 1	L	suunta	b ₁	h ₁	t ₁	r ₁	c _{1,b}	c _{1,h}
CFRHS140X140X8	2488	Y	140	140	8	20	100	100
puristettu sauva	apu1	apu2	PLL	f _{y1}	A ₁			Y _{M5}
	15,4	15,4	1	355	4004			1,0
Uumasauva 2	L	suunta	b ₂	h ₂	t ₂	r ₂	c _{2,b}	c _{2,h}
CFRHS120X120X5	2488	Y	120	120	5	10	100	100
vedetty sauva	apu1	apu2	PLL	f _{y2}	A ₂		β	Y
	24,6	24,6	1	355	2236		0,59	11
PAARRE PURISTET	N ₀	M ₀	N ₁	Θ ₁	k _n	n	σ _{0,Ed}	Θ ₁
	-1776	4	-710	34°	0,87	0,64239	228	0,593
	η	f _b	χ	λ _{normalized}	Φ			
	0,6364	152	0,429	1,211	1,481			
VETO	g	N ₂	N ₂	Θ ₂	k _n	α	A _v	Θ ₂
	75	455	455	40°	0,87	0,115	4652	0,698
	η	f _b	χ	λ _{normalized}	Φ			
	0,5455	355	0,419	1,130	1,461			
Tasoristikon kokonaistarkastelun ehtoja (5.1.5)								
L≥6h	=	2000	>	1320	OK			
	=	2488	>	840	OK			
	=	2488	>	720	OK			
e	=	-0,2	>	-121	OK			
			<	55	OK			
Soveltamisala (7.1.1)								
f _{y,max}	=	355	<	460	OK	pienennyskerroin	1,0	
t _{min}	=	5	>	2,5	OK			
t _{0,max}	=	10	<	25,0	OK			
Soveltamisehtoja (7.1.2)								
PLL _{min(puristus)}	=	1	<	2	OK			
Θ _{min}	=	34°	>	30°	OK			
g	=	75	>	13	OK			
Ehtoja (Taulukko 7.8)								
b ₁ /b ₀	=	0,636364	>	0,35	OK			
			>	0,32	OK			
b ₂ /b ₀	=	0,545455	>	0,35	OK			
			>	0,32	OK			
b ₁ /t ₁	=	17,5	<	35	OK			
b ₂ /t ₂	=	24,0	<	35	OK			

h_1/t_1	=	17,5	<	35	OK
h_2/t_2	=	24,0	<	35	OK
PLL ₁	=	1	<	2	OK
PLL ₂	=	1	<	2	OK
h_0/b_0	=	1	>	0,5	OK
			<	2,0	OK
h_1/b_1	=	1,00	>	0,5	OK
			<	2,0	OK
h_2/b_2	=	1,00	>	0,5	OK
			<	2,0	OK
b_0/t_0	=	22,0	<	35	OK
h_0/t_0	=	22,0	<	35	OK
PLL	=	1	<	2	OK
g/b_0	=	0,340909	>	0,204545	OK
			<	0,6	OK

PAARRE PURISTETTU
VETO

Lisäehtoja (Taulukko 7.9)

$(b_1+b_2)/2b_1$	=	0,9	<	1,3	OK
			>	0,6	OK
b_0/t_0	=	22	>	15	OK

Taulukko 7.10 jos taulukon 7.9 ehdot täyttyvät

$N_{1,Rd}$	=	958	>	710	OK
$N_{2,Rd}$	=	833	>	455	OK

Taulukko 7.12 jos taulukon 7.9 ehdot eivät täyty

Paarteen pinnan murtuminen

$N_{1,Rd}$	=	958	>	710	OK
$N_{2,Rd}$	=	833	>	455	OK

Paarteen leikkautuminen

$N_{1,Rd}$	=	1705	>	710	OK
$N_{2,Rd}$	=	1483	>	455	OK
$N_{0,Rd}$	=	2847	>	1776	OK

Poskilevyt paarteeseen

$N_{1,Rd}$	=	OK	>	710	OK
$N_{2,Rd}$	=	OK	>	455	OK
$N_{0,Rd}$	=	3210	>	1776	OK

levyt

b_p		t_p	f_{yp}	Avp	Vpl,rd	Vsd	Vsd/Vpl,rd
220		6	355	2640	1494,6	1103	0,74
		l_p	≥	656	mm		

Uumasauvan murtuminen

b_{eff1}	=	79,5					
$N_{1,Rd}$	=	1328	>	710	OK		

b_{eff2}	=	109,1			
$N_{2,Rd}$	=	797	>	455	OK
Lävistysleikkautuminen					
$b_{e,p1}$	=	63,63636			
β	=	0,59	<	0,91	OK
$N_{1,Rd}$	=	2582	>	710	OK
$b_{e,p2}$	=	54,54545			
β	=	0,59	<	0,91	OK
$N_{2,Rd}$	=	1747	>	455	OK

vahvikelevy paarteen pinnalla

b_p	t_p	f_{yp}
220	16	355

Taulukko 7.18

Vahvistettu liitos

l_p	\geq	768	
b_p	\geq	200	OK
t_p	\geq	16	OK

Paarteen pinnan murtuminen

$N_{1,Rd}$	=	2452	>	710	OK
$N_{2,Rd}$	=	2134	>	455	OK

Uumasauvan murtuminen

b_{eff1}	=	140			
$N_{1,Rd}$	=	1500	>	710	OK
b_{eff2}	=	120			
$N_{2,Rd}$	=	817	>	455	OK

Lävistysleikkautuminen

$b_{e,p1}$	=	101,8182			
β	=	0,59	<	0,92	OK
$N_{1,Rd}$	=	4355	>	710	OK
$b_{e,p2}$	=	87,27273			
β	=	0,59	<	0,91	OK
$N_{2,Rd}$	=	2962	>	455	OK

Diagonaalin hitsaaminen 1,07xt**sauva 1**

l	717	mm			
a	8,6	mm			
fwd	261,7	N/mm ²			
Frv	1606	kN	>	-856	OK
					53 %

sauva 2

l	573	mm			
a	5,4	mm			
fwd	261,7	N/mm ²			
Frv	803	kN	>	594	OK
					74 %

LÄHTEET

Eurokoodi EN1993-1-1: Eurocode 3 : Teräsrakenteiden suunnittelu.

Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt

Eurokoodi EN1993-1-8: Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu.

Osa 1-8: Liitosten suunnittelu

Vainio, H. 2000. Rautaruukin Putkipalkkikäsikirja. Hämeenlinna

SFS-EN 1090-2: Teräs- ja alumiinirakenteiden toteuttaminen. Osa

2; Teräsrakenteita koskevat tekniset vaatimukset

RIL201-1-2008: Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat

SFS-EN1990 Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet

LIITTEET

Liite 1. Tasaluja hitsi, Rautaruukin putkipalkkikäsikirja s.190

Liite 2. Yleiset reunaehdot ristikoiden solmumitoitukseen, Rautaruukin putkipalkkikäsikirja s.291

Liite 3. SFS-EN 1993-1-8, Taulukko 7.21: Suorakaiteen muotoisten tai pyöreiden uumasauvojen ja I- tai H-muotoisten parresauvojen välisten hitsausliitosten kestävyyksien mitoitusarvot

Liite 4. SFS-EN 1993-1-8, Taulukko 7.20: Pyöreiden tai suorakaiteen muotoisten uumasauvojen ja I- tai H-muotoisten parresauvojen välisten hitsausliitosten pätevyysrajat

Liite 5. N-, K- ja KT-ristikoiden vapaavälisen liitosten kestävyudet, taulukko 9.3.2, Rautaruukin putkipalkkikäsikirja s.294-295

Liite 6. Malliristikko NE_H16H9_K7,2

Liite 7. Malliristikko NE_H16H10_K7,2

Liite 8. Malliristikko NE_H16H12_K7,2

Liite 9. Malliristikko NE_H16H14_K7,2

Liite 10. Malliristikko P_P24H9_K8,4

Liite 11. Malliristikko P_P24H10_K8,4

Liite 12. Malliristikko P_P24H12_K8,4

Liite 13. Malliristikko NE_P30H9_K6

Liite 14. Malliristikko NE_P30H10_K6

Liite 15. Malliristikko NE_P30H12_K6

Liite 16. Malliristikko P_H40H9_K5

Liite 17. Malliristikko P_H40H10_K5

Liite 18. Malliristikko P_H40H12_K5

Liite 19. SCIA laskenta ristikosta NE_P40H12_K7,2 (30)