



Teräsrakenneyhdistys
Finnish Constructional Steelwork Association

Korkealujuusteräksiin liittyvien suunnittelusääntöjen kehitys

Teemu Tiainen
Erityisasiantuntija, TkT
Teräsrakenneyhdistys ry.



Mitä on korkealujuusteräs?

Korkealujuusteräksen määrittely riippuu sovelluksesta

- Pelkästään rakentamisessa monia erilaisia terästuotteita: **rakenneteräksiä** ($f_y = 300\text{-}500\text{ N/mm}^2$), **raudoiteteräksiä** ($f_y = 500\text{-}700\text{ N/mm}^2$), **jänneteräksiä** ($f_y = 1000\text{-}2000\text{ N/mm}^2$), joiden lujuusominaisuudet ovat erilaisia
- Muissa sovelluksissa paljon lisää erilaisia teräksiä, esim. painelaitteet, koneiden ja ajoneuvojen osat, työkalut jne.
- Lisäksi määrittely riippuu tarkasteluajankohdasta, esimerkiksi rakenneteräksissä joitakin kymmeniä vuosia sitten tavanomainen lujuus oli S235 (myötölujuus 235 N/mm^2), nykyään S355

Nykytilanne Eurokoodissa

- Nykyinen **EN 1993-1-1** kattaa rakenneteräksissä lujuusvälin **S235-S460** (myötölujuus 235-460 N/mm²) ja laajennusosa **EN 1993-1-12 S460-S700**
- **EN 1090-2** tuorein amendment (2024) kattaa rakenneteräkset S960 asti
- Uuden **Eurocode 3:n** scope **S235-S700** ja tulevan EN 1993-1-12:n **S700-S960**
- *Tässä esityksessä* korkealujuusteräksellä ymmärretään rakenneteräkset **S460-S960**

Korkealujuusteräksen hyödyt

Ajoneuvoissa (esim. rekka)

- Keveämpi rakenne:
 - vähemmän CO₂-päästöjä valmistuksesta
 - suurempi hyötykuorma -> käytönaikaiset CO₂- ja polttoainesäästöt

-> **Kustannushyöty kertyy koko elinkaaren aikana**



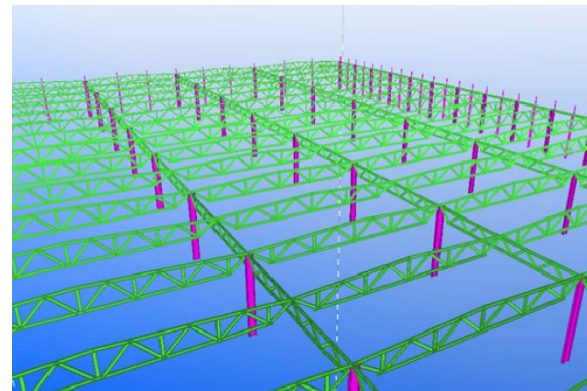
4.12.2025

© Teräsrakenneyhdistys

Rakentamisessa (esim. halli)

- Keveämpi rakenne:
 - vähemmän CO₂-päästöjä valmistuksesta (!)
 - ei käytönaikaista hyötyä esim. kohentuneen energiatalouden myötä
 - rakenneosan valmistus- ja kuljetuskustannus ?

-> **Hyödyt pitää saada valmistusvaiheessa**



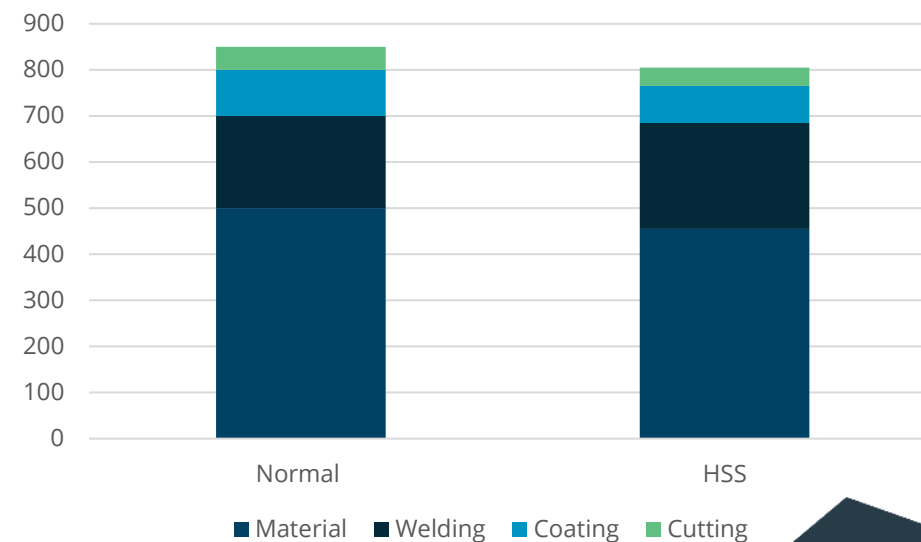
Korkealuusteräs rakentamisessa

Verrattuna tavalliseen rakenneteräkseen

- Materiaali: jossain määrin kalliimpaa
- Joissakin työvaiheissa eroja: Esimerkiksi hitsaus, poraus, sahaus
- Joissakin ei: esimerkiksi maalaus, raepuhallus

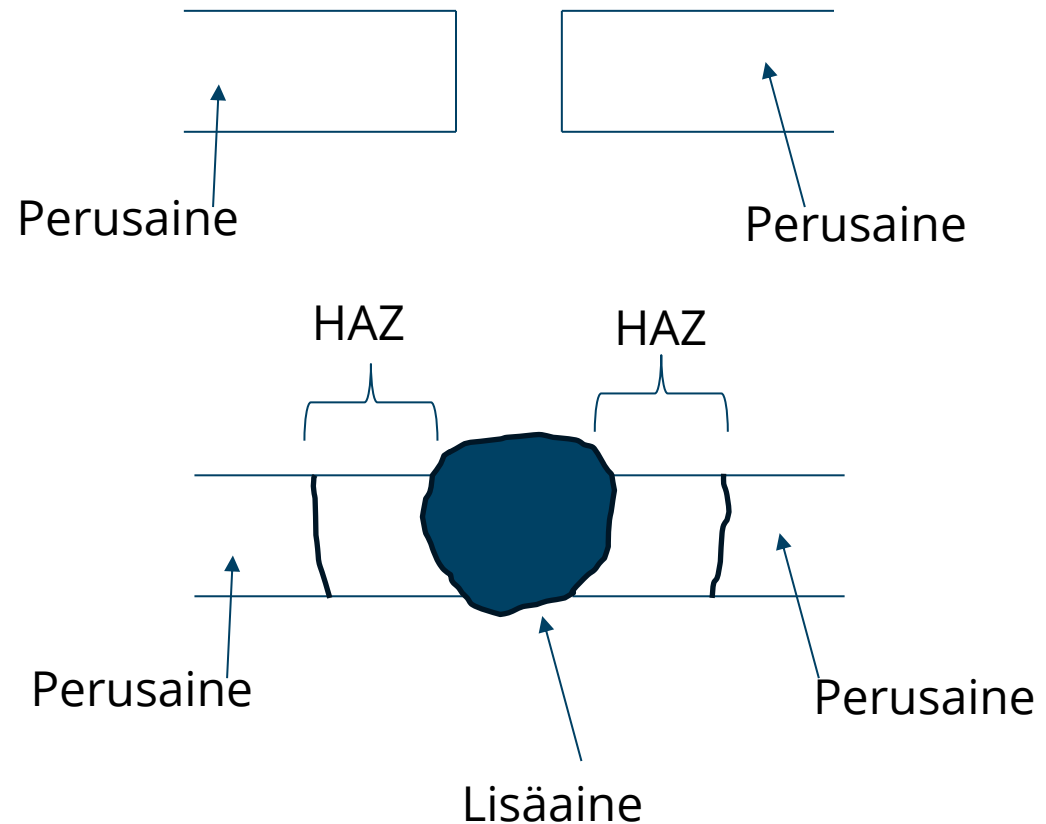
= > kustannusvaikutus kokonaisuutena hankala arvioida ilman tarkempaa laskemista

	Normal	HSS
Material [mk/kg]	3	4
Weight [kg]	500	350
Material cost [mk]	1500	1400



Esim. hitsaus

- Hitsin läheisyyteen muodostuu HAZ-vyöhyke, jossa yleensä alentunut lujuus
- Tärkeä parametri $t_{8/5}$ (jäähdyminen 800 -> 500 celsius)
- Hitsauksen parametrit (lämmöntuonti etc) valittava siten, että $t_{8/5}$ rajat, jotka WPS:ssä, toteutuvat



According to the execution class, the following parts of the EN ISO 3834 series apply:

- | | | |
|------------------|---------------|---------------------------------------|
| — EXC1: | EN ISO 3834-4 | “Elementary quality requirements”; |
| — EXC2: | EN ISO 3834-3 | “Standard quality requirements”; |
| — EXC3 and EXC4: | EN ISO 3834-2 | “Comprehensive quality requirements”. |

The scope of application of EXC1 may be restricted in accordance with national provisions arising from EN 1993-1-1:2005/A1:2014, Annex C (see [4.1.2](#)).

■^{A1} For HSS, the weld quality management system shall be in accordance with EN ISO 3834-2. ■^{A1}

Tuleva EN 1993-1-12

Tilannekatsaus

EN 1993-1-12 työn järjestäytyminen

- TC250/SC3:ssa kullekin standardiosalle on työryhmä (WG)
- Osan 1-12 laatijaryhmä TC250/SC3/WG12, vetäjä (convenor) T. Tiainen (FI)
- Tiivis ryhmä (kymmenkunta aktiivijäsentä FI, SWE, GE, UK), ei erillistä PT:tä
- Ryhmä aiemmassa vaiheessa mukana myös S460-S700 sisällön viemisessä muihin EC3-osiin
- Uusi standardi EN 1993-1-12 ei kuulu Eurokoodien mandaattiin, joten aikataulukaan ei ole näihin sidottu

Tuleva EN 1993-1-12

- Scope: tietyt rakenneteräkset myötölujuusvälillä 700-960 N/mm²
- Esittää tarvittavat lisäsäännöt muihin **EN 1993** osiin, jotta mainittuja materiaaleja voidaan hyödyntää
- Toteutuksen tekniset vaatimukset **EN 1090-2** mukaisesti kuten muissakin teräsrakenteissa, tuoreimman amendmentin muutokset huomioon ottaen
- CE-merkintä **EN 1090-1** mukaan niissä rakenteissa, joita se koskee

Materiaalit

- Ominaisuudet suoraan tuotestandardeista (vrt. EN 1993-1-1:2022, joka sisältää myös vaihtoehtoiset taulukot)
- **EN 10025-6**
EN 10149-2
EN 10210-3
EN 10219-3

Table 5.3 — Nominal values of yield strength f_y and ultimate tensile strength f_u for structural hollow sections conforming to EN 10210 (hot finished) and EN 10219 (cold formed)

Steel grade and qualites	Nominal thickness of the element t mm					
	$t \leq 16$ mm		$16 \text{ mm} < t \leq 40$ mm		$40 \text{ mm} < t \leq 65$ mm	
	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]
EN 10210-3:						
S770 QH/QLH/QL1H	770	850	710	770	670	720
S890 QH/QLH/QL1H	890	940	830	880	-	-
S960 QH/QLH/QL1H	960	980	850	900	-	-
EN 10219-3:						
S770 QH/QLH/QL1H	770	850	710	770	-	-
S890 QH/QLH/QL1H	890	940	830	880	-	-
S900 MH	900	930	880	930	-	-
S960 MH	960	980	940	980	-	-
S960 QH/QLH/QL1H	960	980	850	900	-	-

(4) To replace EN 1993-1-1:2022, 5.2.2(1), the minimum ductility requirements given below should be provided for elastic global analysis:

- $f_u / f_y \geq 1,03$;
- elongation at failure not less than 12 %.

NOTE The National Annex can give different limiting values.

Nurjahdus

- Mitoitus tutuilla kaavoilla (EN 1993-1-1)
- Nurjahduskäyrät pääsääntöisesti edullisemmat korkeammilla lujuuksilla
- Huom! Eivät päde, jos kuumilla oikaisua käytetään

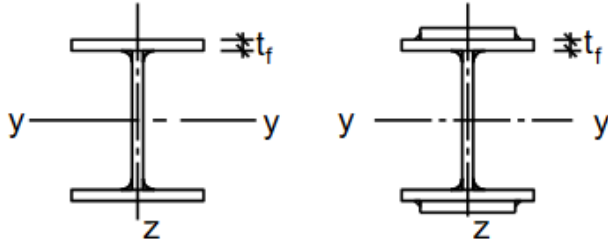
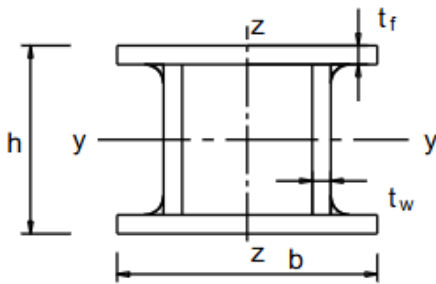
$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{but } \chi \leq 1,0$$

where $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} \quad \text{for Class 1, 2 and 3 cross-sections}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}} \quad \text{for Class 4 cross-sections}$$

Table 5.4 — Buckling curves for flexural buckling of welded I-sections, hollow sections and welded box sections in steel grades higher than S700 up to and including S960

Cross section		Limits	Buckling about axis	Buckling curve S700 < f _{yk} ≤ S960
Welded I-sections		t _f ≤ 40 mm	any	a
Hollow sections		Cold formed	any	b
Welded box sections		t _f ≤ 40 mm Generally (except as below)	any	a
		Thick welds: a > 0,5 t _f and b/t _f < 30, and h/t _w < 30	any	b

NOTE Table 5.4 is not applicable to flame straightened members

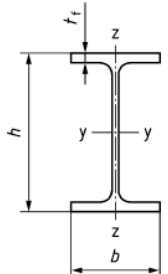
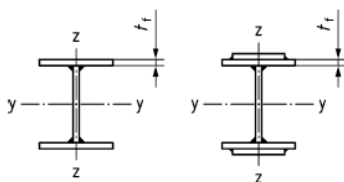
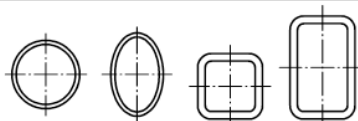
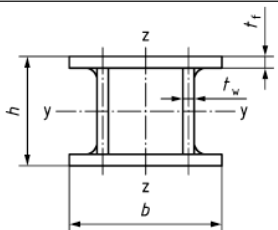
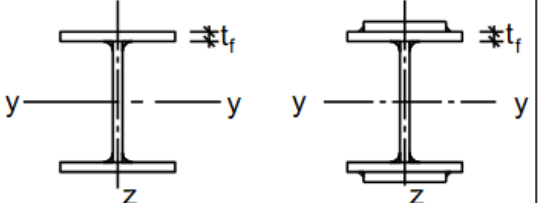
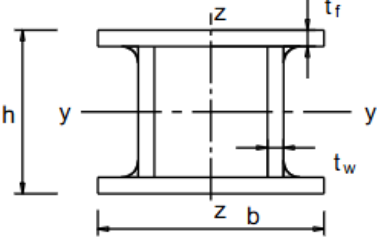
Cross-section		Limits	Buckling about axis	Buckling curve	
				S235 S275 S355 S420	S460 up to S700 inclusive
Rolled I- or H-sections		$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40$ mm	y-y z-z	a a ₀
			$t_f > 40$ mm	y-y z-z	b a c b
		$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100$ mm	y-y z-z	b c a b
			$t_f > 100$ mm	y-y z-z	d d c c
Welded I-sections		$t_f \leq 40$ mm	y-y z-z	b c b c	
		$t_f > 40$ mm	y-y z-z	c d c d	
Hollow sections		hot finished	any	a	a ₀
		cold-formed	any	c	c
Welded box sections		generally (except as below)	any	b	b
		thick welds: $a > 0,5t_f$ and $b/t_f < 30$, and $h/t_w < 30$	any	c	c

Table 5.4 — Buckling curves for flexural buckling of welded I-sections, hollow sections and welded box sections in steel grades higher than S700 up to and including S960

Cross section		Limits	Buckling about axis	Buckling curve	
				$S700 < f_{yk} \leq S960$	
Welded I-sections		$t_f \leq 40$ mm	any	a	
			any	a	
Hollow sections		Cold formed	any	b	
Welded box sections		$t_f \leq 40$ mm Generally (except as below)	any	a	
		Thick welds: $a > 0,5 t_f$ and $b/t_f < 30$, and $h/t_w < 30$	any	b	

NOTE Table 5.4 is not applicable to flame straightened members

Palomitoitus EN 1993-1-2

- Palo-osa sellaisenaan sovellettavissa

5.2 Additional rules to EN 1993-1-2

(1) The rules in EN 1993-1-2 applies to steel grades higher than S700 up to and including S960 without additional rules.

- Huom! Palo-osan amendmentissa tulossa jäähtymisvaiheen materiaaliominaisuudet S500-S700, testisarja sisälsi myös S960 ja S1100 teräksiä

Young's modulus:

$$E_{\theta,c} = E_{\theta} \cdot g_{E,\theta}(T_u) = E_{20^{\circ}\text{C}} \cdot k_{E,\theta}(T) \cdot g_{E,\theta}(T_u) \quad (1)$$

Yield strength:

$$f_{y,\theta,c} = f_{y,\theta} \cdot g(T_u) = f_{y,20^{\circ}\text{C}} \cdot k_{y,\theta}(T) \cdot g(T_u) \quad (2)$$

Proportional limit:

$$f_{p,\theta,c} = f_{p,\theta} \cdot g(T_u) = f_{p,20^{\circ}\text{C}} \cdot k_{p,\theta}(T) \cdot g(T_u) \quad (3)$$

with:

$$\begin{aligned} T_u \leq 600^{\circ}\text{C}: g_{E,\theta}(T_u) &= 1,0 \\ T_u > 600^{\circ}\text{C}: g_{E,\theta}(T_u) &= 1,4 - 0,65 \cdot T_u \cdot 10^{-3} \end{aligned} \quad (4)$$

and:

$$\begin{aligned} T_u \leq 500^{\circ}\text{C}: g_{y,\theta}(T_u) &= g_{p,\theta}(T_u) = 1,0 \\ T_u > 500^{\circ}\text{C}: g_{y,\theta}(T_u) &= g_{p,\theta}(T_u) = 1,75 - 1,55 \cdot T_u \cdot 10^{-3} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\text{but with: } k_{i,\theta}(T) \cdot g_{i,\theta}(T_u) \geq k_{i,\theta}(T_u) \quad (6)$$

where

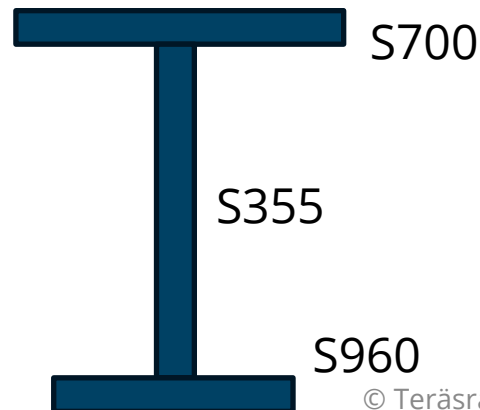
Hitsatut hybridipalkit

5.5 Additional rules to EN 1993-1-5

(1) The rules in EN 1993-1-5 applies to steel grades higher than S700 up to and including S960 if the following additional rule are complied with.

(2) To replace EN 1993-1-5:202X, 6.3(7), hybrid girders may have flange material with yield strength f_{yf} ranging from f_{yw} to λf_{yw} provided that:

- a) the increase of flange stresses caused by yielding of the web is taken into account by limiting the stresses in the web to f_{yw} ;
- b) f_{yf} is used in determining the effective area of the web.



Liitokset

- Kenties tärkein osa, johon 1-12 kohdistaa lisäsäätöjä on liitoksia koskeva **EN 1993-1-8**
- Tutkimukset paljolti vielä kesken, mihin liittyy myös koko standardiosan aikataulun epävarmuus

5.8 Additional rules to EN 1993-1-8

(1) The rules in EN 1993-1-8 applies to steel grades higher than S700 up to and including S960 if the following additional rules are complied with.

(2) In addition to EN 1993-1-8:2024, 4.2(4), an elastic distribution of forces within the joint should be assumed.

(3) To replace EN 1993-1-8:2024, 5.4.1(1), see WG12 doc. N174.

(4) To replace EN 1993-1-8:2024, 5.9.1(1), see WG12 doc. N174.

(5) To replace EN 1993-1-8:2024, 5.9.1(3), see WG12 doc. N174.

(6) To replace EN 1993-1-8:2024, 5.9.1(9), see WG12 doc. N174.

(7) To replace EN 1993-1-8:2024, 5.11(1), see WG12 doc. N174.

(8) To replace EN 1993-1-8:2024, 5.11(4), see WG12 doc. N174.

(9) To replace EN 1993-1-8:2024, 5.11(7), see WG12 doc. N174.

(10) To replace EN 1993-1-8:2024, 5.11(8), see WG12 doc. N174.

(11) To replace EN 1993-1-8:2024, 5.14(2), see WG12 doc. N174.

(12) To replace EN 1993-1-8:2024, 5.14(3), see WG12 doc. N174.

(13) To replace EN 1993-1-8:2024, 5.14(4), see WG12 doc. N174.

(14) To replace EN 1993-1-8:2024, 5.15(2), see WG12 doc. N174.

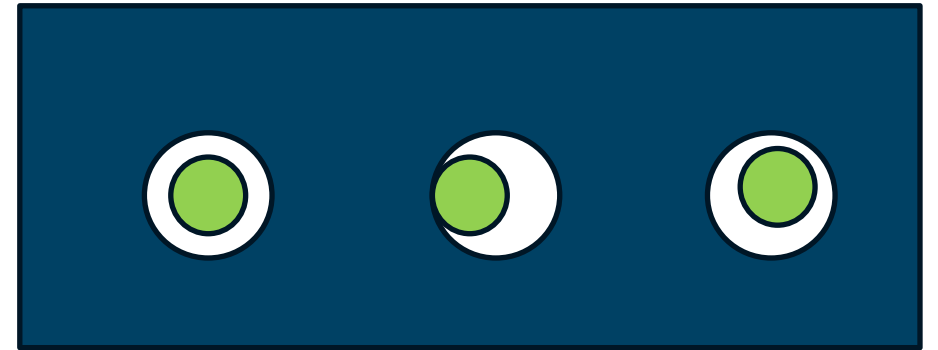
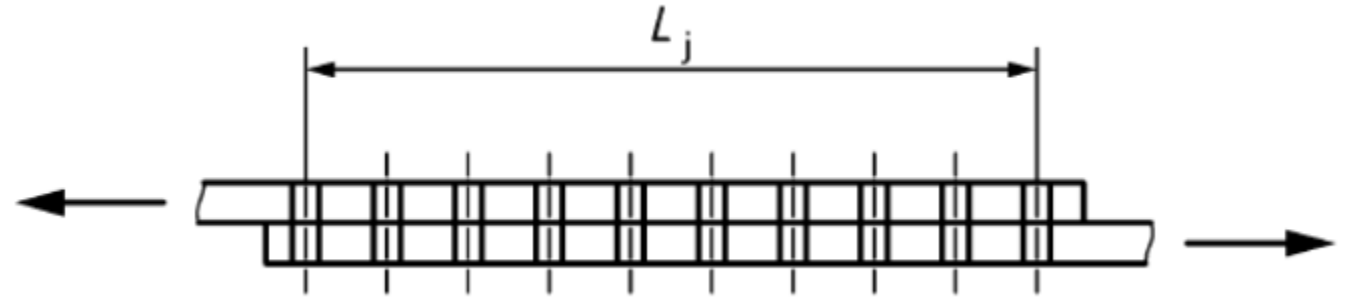
(15) As an alternative to Table 6.1 in EN 1993-1-8:2024, 6.5.3.2(6), the correlation factor β_w should be taken from Table 5.5.

Table 5.5 — Correlation factor β_w for fillet welds in steel grades higher than S700 up to and including S960

Standard and steel grade				Correlation factor β_w
EN 10025-6	EN 10210-3	EN 10219-3	EN 10149-2	
	S770 QH/QLH/QL1H	S770 QH/QLH/QL1H		
	S770 QH/QLH/QL1H	S890 QH/QLH/QL1H		

Pulttiliitokset

- Liitettävien levyjen reiät eivät välttämättä kohdakkain
- Matalalujuuksissa tapauksissa kokonaiskestävyys on laskettavissa yksittäisten kestävyyksien summana plastisoitumisen ansiosta
- Korkeamman lujuuden tapauksessa näin ei välttämättä aina ole
-> **rajat selvitettävä tutkimuksin**



Putkiliitokset

- **EN 1993-1-8:2005** esitetty putkiliitosten mitoitus tapa jonkin verran muuttuu uudessa versiossa
- Vastaavan kaltaiset lujuuden alennuskertoimet myös uudessa **EN 1993-1-8**:ssa, mutta suositusarvot hieman muuttuneet (ja ovat kansallisesti valittavissa)

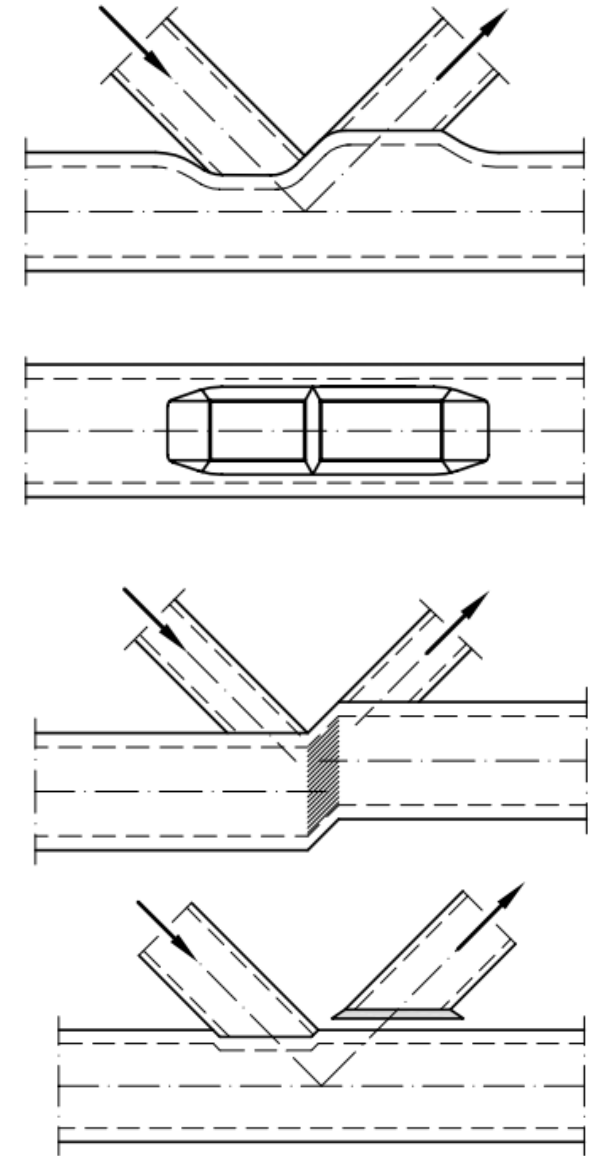
$235 < f_y \leq 355$ [N/mm²]: 1,0 -> 1,0

$355 < f_y \leq 460$ [N/mm²]: 0,9 -> 0,9

$460 < f_y \leq 550$ [N/mm²]: 0,8 -> 0,86

$550 < f_y \leq 700$ [N/mm²]: 0,8 -> 0,8

$700 < f_y \leq 960$ [N/mm²]: tutkimukset kesken



EN 1993-1-9 ja 1-10

- **EN 1993-1-9** (väsyminen): HFMI-jälkikäsittelyliitteeseen lisäohjeet/korvaavat taulukot
- **EN 1993-1-10**: korvaavat taulukot materiaalilaadun valitsemiseen, menettely sinänsä sama, erona tosin, että tässä taulukot kuormituksen mukaan (staattinen vs. väsytytys) eikä toteutusluokan mukaan kuten. Asiasta keskusteltaneen vielä

Steel grade	Quality	TKV	KV												
		°C	J	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	-80	-120	10		
				$\sigma_{Ed} = 0.75 \cdot f_y(t)$											
S770	QH	0	40	75	50	35	25	19	14	11	5	2	17		
	QH	-20	30	110	75	50	35	25	19	14	6	3	25		
	QLH	-20	40	165	110	75	50	35	25	19	9	3	25		
	QLH	-40	30	250	165	110	75	50	35	25	11	4	25		
	QLH1	-40	40	250	250	165	110	75	50	35	14	5	25		
	QLH1	-60	30	250	250	250	165	110	75	50	19	6	25		
S890	Q,QH	0	40	35	25	18	13	10	7	6	2	1	7		
	Q,QH	-20	30	45	35	25	18	13	10	7	4	2	10		
	QL,QLH	-20	40	65	45	35	25	18	13	10	5	2	15		
	QL,QLH	-40	30	95	65	45	35	25	18	13	6	2	23		
	QL1,QLH1	-40	40	140	95	65	45	35	25	18	7	2	25		
	QL1,QLH1	-60	30	215	140	95	65	45	35	25	10	4	25		
S900	MC,MH	-20	40	60	45	30	20	17	12	9	4	2	14		
	MC,MH	-40	27	90	60	45	30	20	17	12	5	2	21		
	Q,QH	0	40	30	20	17	12	9	7	5	3	1	7		
	Q,QH	-20	30	45	30	20	17	12	9	7	4	1	10		
	QL,QLH	-20	40	60	45	30	20	17	12	9	4	2	14		
	QL,QLH	-40	30	90	60	45	30	20	17	12	5	2	21		
	QL1,QLH1	-40	40	135	90	60	45	30	20	17	7	3	25		
	QL1,QLH1	-60	30	200	135	90	60	45	30	20	9	3	25		
S960	MC,MH	-20	40	45	30	20	16	12	9	7	3	1	10		
	MCMH	-40	27	60	45	30	20	16	12	9	4	2	14		
	Q,QH	0	40	20	16	12	10	7	6	4	2	1	5		
	Q,QH	-20	30	30	20	16	12	10	7	5	3	1	7		
	QL,QLH	-20	40	45	30	20	16	12	9	7	3	1	10		
	QL,QLH	-40	30	60	45	30	20	16	12	9	4	2	14		
	QL1,QLH1	-40	40	85	60	45	30	20	16	12	5	2	20		
	QL1,QLH1	-60	30	125	85	60	45	30	20	16	7	2	25		

Kiitos, kysymyksiä?

Yhteystiedot:
Teemu Tiainen
050 4701436
teemu.tiainen@rt.fi

