

Hitsattujen rakenneputkiliitosten mitoitus

Muutokset standardin EN 1993-1-8 päivityksessä

Kristo Mela

Tenure track –professori

Tampereen yliopisto

kristo.mela@tuni.fi

Teräsrakentamisen T&K-päivät, 24.-25.8.2023, Tampere

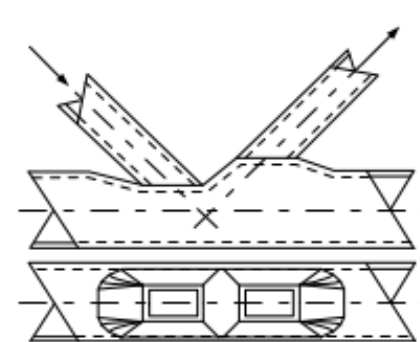
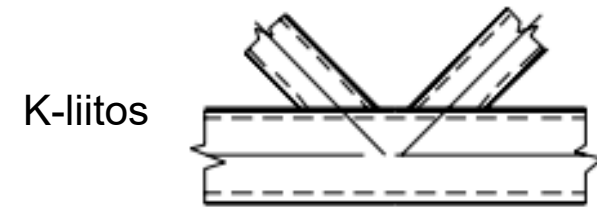
Hitsatut putkiliitokset

- Käytetään tyypillisesti ristikkorakenteissa.
- Suunnittelu ja mitoitus EN 1993-1-8:2005.
 - 5.1.5 Mallinnus ja analysointi
 - 7 Mitoitus
- Säännöt perustuvat kansainvälisiin tutkimuksiin ja ne ovat yhdenmukaisia esim. CIDECTin ja ISO-standardin kanssa.
- Päivitystarve:
 - Uudet tutkimustulokset, jotka on sisällytetty CIDECTin ohjeeseen ja ISO 14346:en.
 - Korkealujuusterästen käsittely

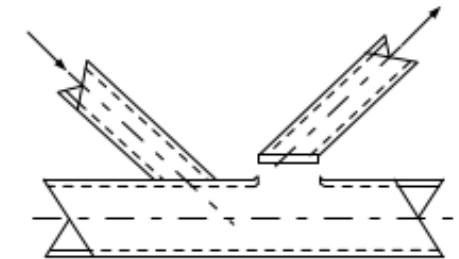


Hitsatut putkiliitokset - Mitoitus

1. Tunnistetaan liitoksen tyyppi.
2. Lasketaan liitoksen kestävyys vallitseville vauriomuodoille
 - Kestävyys ilmoitetaan uumasauvan suurimpana sallittuna voimana.
 - Liitoksen kestävyys, $N_{i,Rd}$, uumasauvan i suhteen on eri vauriomuodoille laskettu pienin kestävyysarvo.
3. Liitoksen kaikkien uumasauvojen on toteutettava ehto $N_{i,Ed} \leq N_{i,Rd}$



Paarteen pinnan myötäminen



Paarteen lävistysleikkautuminen

Kuvat: Packer et al. (2009)

Hitsatut putkiliitokset - Mitoitus

1) Paarteen pinnan murtuminen:

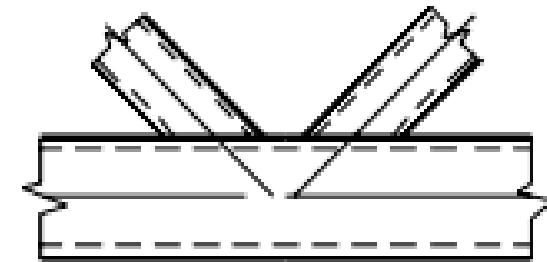
$$N_{i,Rd} = \frac{8.9k_n f_{y0} t_0^2 \sqrt{\gamma} \beta}{\sin \theta_i} \frac{1}{\gamma_{M5}}$$

2) Paarteen leikkautuminen:

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3} \sin \theta_i} \frac{1}{\gamma_{M5}}$$

$$N_{0,Rd} = \left(f_{y0} (A_0 - A_v) + f_{y0} A_v \sqrt{1 - (V_{Ed}/V_{pl,Rd})^2} \right) \frac{1}{\gamma_{M5}}$$

K-liitos



3) Uumasauvan murtuminen:

$$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (2h_i - 4t_i + b_i + b_{eff}) \frac{1}{\gamma_{M5}}$$

4) Lävistysleikkautuminen:

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3} \sin \theta_i} \left(\frac{2h_i}{\sin \theta_i} + b_i + b_{e,p} \right) \frac{1}{\gamma_{M5}}$$

Standardin EN 1993-1-8 päivitys

Hitsatut putkiliitokset, Luku 9

- Yleiset periaatteet pysyvät ennallaan
- Yksityiskohdissa paljon pieniä muutoksia
 - Koko putkiliitoksia käsittelevä luku on luettava huolella läpi.
- Tässä keskitytään kolmeen oleelliseen muutokseen
 - 1) Putkiliitosten luokittelu (tyypit)
 - 2) Paarteen jännitysfunktio
 - 3) Korkealujuusteräket

MUUTOS 1

HITSATTUJEN PUTKILIITOSTEN LUOKITTELU

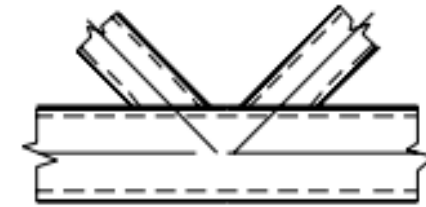
LIITOSTYYPPI

EN 1993-1-8:2005

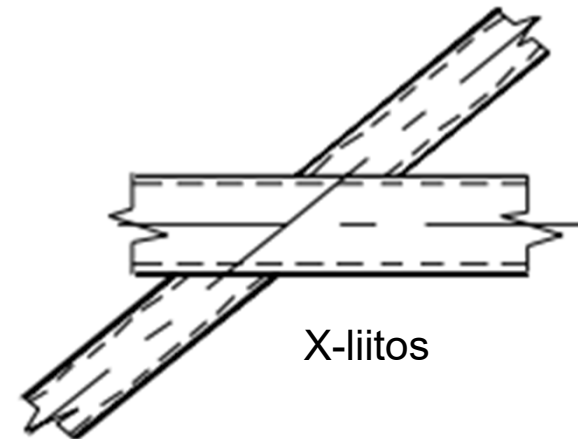
- Hitsatun putkiliitoksen tyyppi perustuu liitoksen ulkonäköön (Kuva 7.1)

prEN 1993-1-8:2023 Kohta 9.4

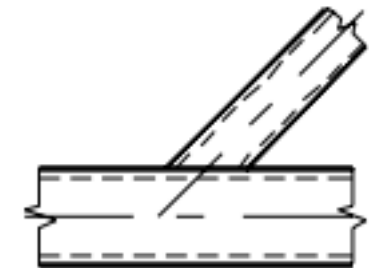
- Tyyppi perustuu **voimansiirtotapaan** liitoksessa
- Liitos voi olla kahta eri tyyppiä!



K-liitos



X-liitos

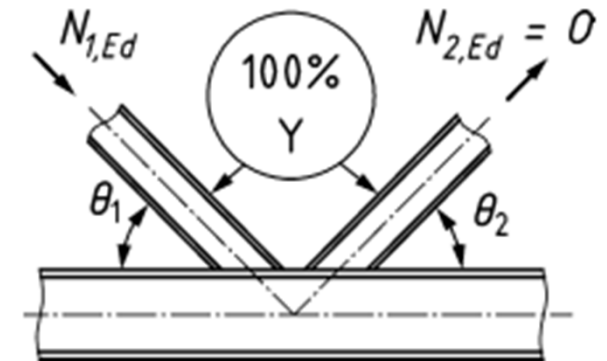


Y-liitos

LIITOSTYYPPI

prEN 1993-1-8:2023

When the *force component normal to the chord in a brace member* ($N_i \sin \theta_i$) is *in equilibrium with beam shear in the chord member*, the joint should be defined as **T-joint** configuration if the brace is perpendicular to the chord. Otherwise, it should be defined as **Y-joint** configuration.

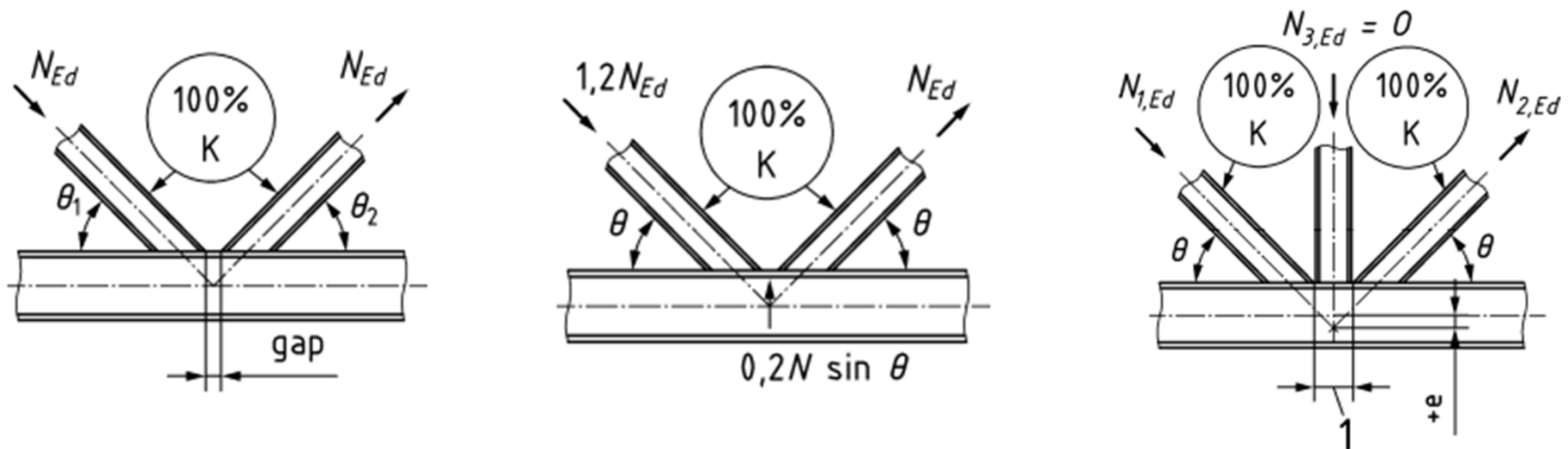


➔ T/Y-liitoksessa uumasauvan normaalivoima siirtyy vain paarteelle

LIITOSTYYPPI

prEN 1993-1-8:2023

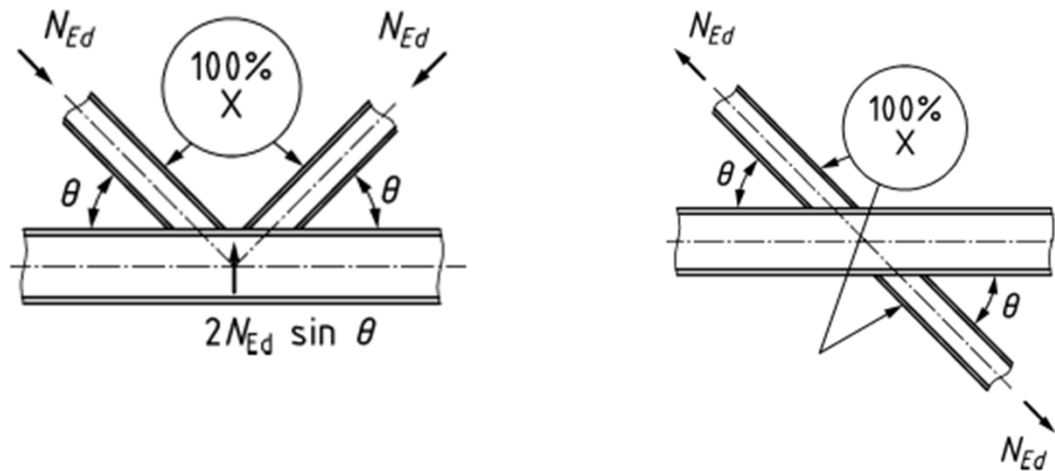
When the force component normal to the chord in a brace member ($N_i \sin\theta_i$) is (within 20%) *in equilibrium with the loads in other brace member(s) on the same side*, the joint should be defined as **K-joint** configuration.



LIITOSTYYPPI

prEN 1993-1-8:2023

When the force component normal to the chord ($N_i \sin \theta_i$) *is transmitted through the chord member and is in equilibrium with brace member(s) on the opposite side*, the joint should be classified as **X-joint** configuration.

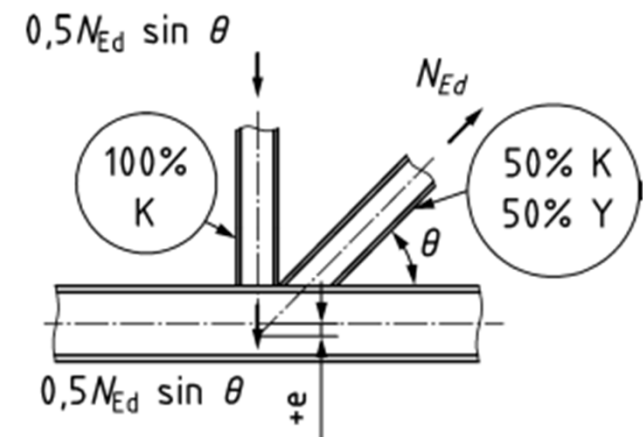


LIITOSTYYPPI

prEN 1993-1-8:2023

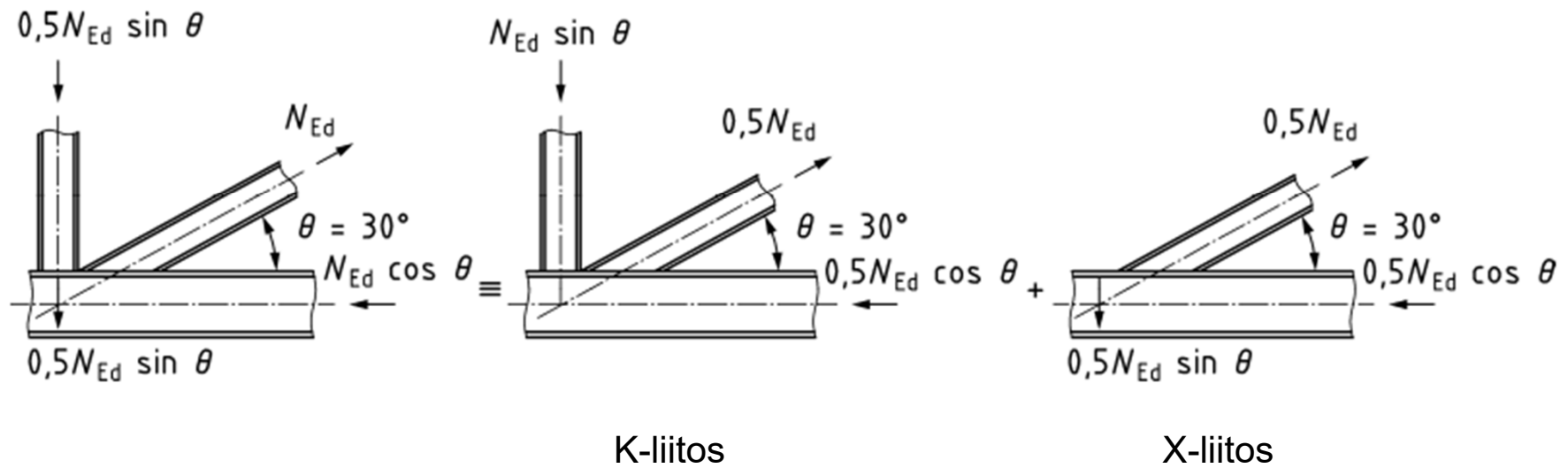
When brace members transmit **part of their load as K-joint configuration and part of their load as T-, Y-, or X-joint configuration**, the joints should be designed by *linear interaction of the proportion of the brace force involved in each type of load transfer*, with the exception of shear between the brace(s) and the chord face.

➔ Yksittäinen uumasauva voi olla samaan aikaan osana K-liitosta ja T/Y/X-liitosta.

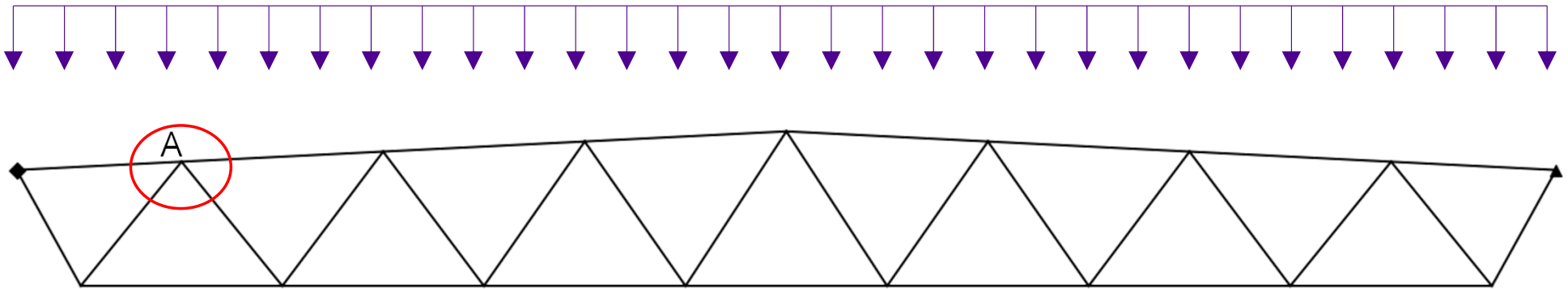


LIITOSTYYPPI

prEN 1993-1-8:2023



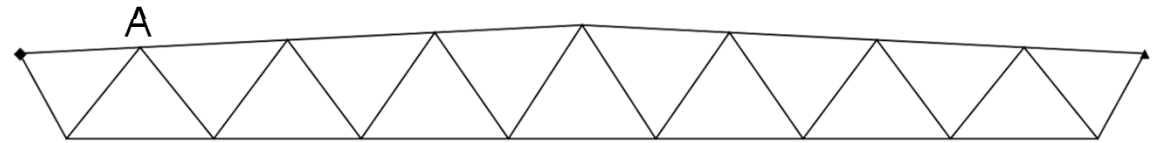
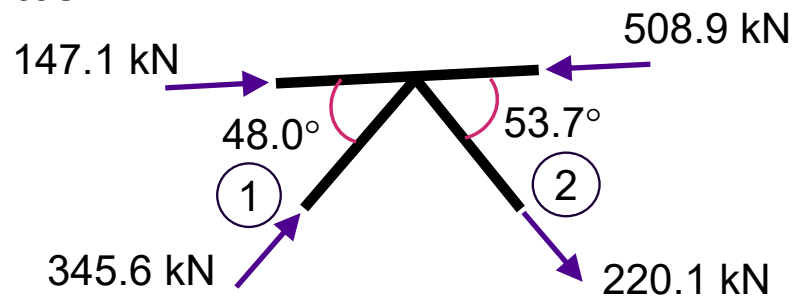
ESIMERKKI



Luokitellaan liitos A

ESIMERKKI

Liitos A:



Uumasauvojen voimien pystykomponentit:

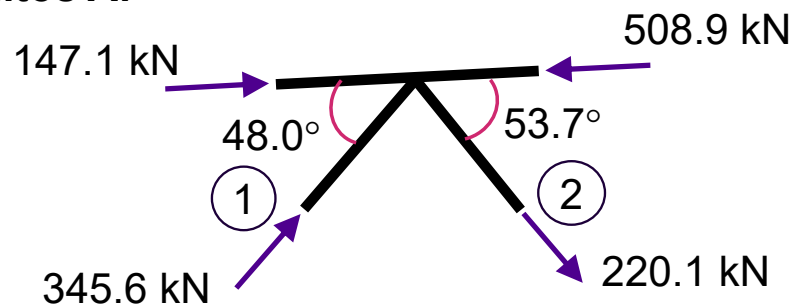
$$N_{1y} = N_1 \sin \theta_1 = 345.6 \text{ kN} \cdot \sin 48.0^\circ = 256.7 \text{ kN}$$

$$N_{2y} = N_2 \sin \theta_2 = 220.1 \text{ kN} \cdot \sin 53.7^\circ = 177.3 \text{ kN}$$

$\frac{N_{1y}}{N_{2y}} = 1.45 > 1.2$
Liitos ei ole puhdas K-liitos!

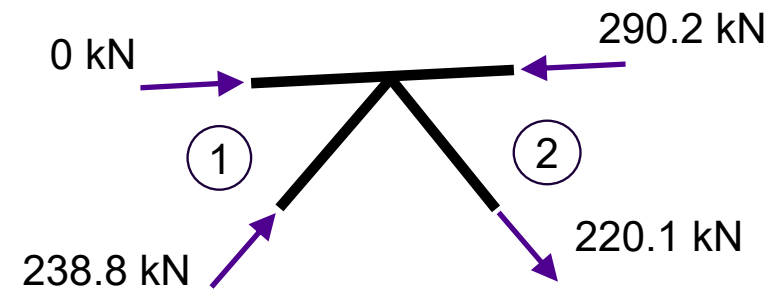
ESIMERKKI

Liitos A:



K-liitos:

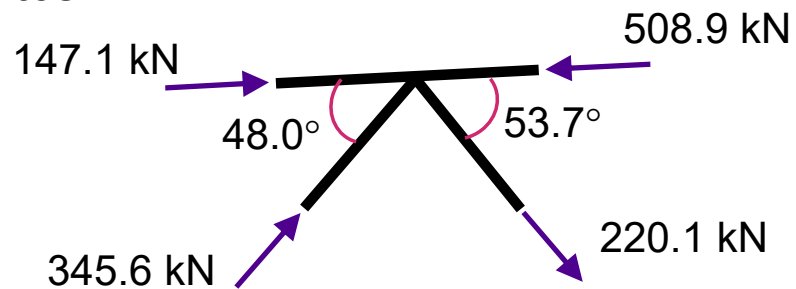
Sauvassa 1 on voima, jonka paarretta vastaan kohtisuora komponentti vastaan sauvan 2 kohtisuoraa komponenttia.



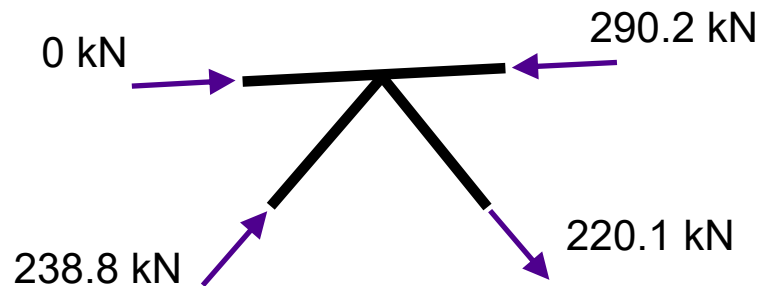
Paarteeseen valitaan normaalivoimat, jotka ovat tasapainossa uumasauvojen normaalivoimien kanssa.

ESIMERKKI

Liitos A:

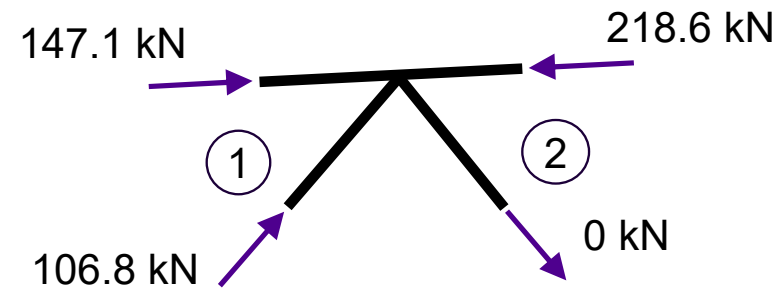


K-liitos:



Y-liitos:

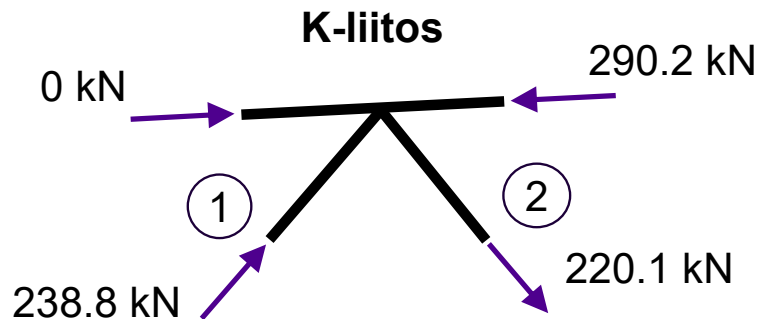
- Sauva 1: voima, joka "jää yli" K-liitoksesta
- Sauva 2: ei voimaa
- Paarre, vasen: alkuperäinen voima
- Paarre, oikea: K-liitoksesta "yli jäänyt" voima



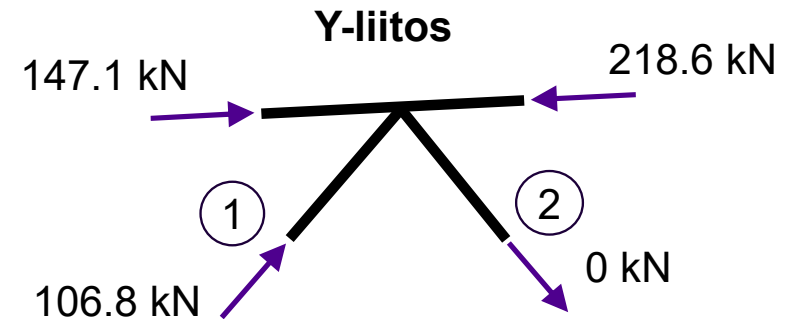
Sauvan 1 kohtisuora komponentti siirtyy paarten leikkausvoimana

ESIMERKKI

Liitos A – mitoitus:



- Lasketaan sauvalle 1 käyttöaste voimaa 238.8 kN vastaan
- Lasketaan sauvalle 2 käyttöaste voimaa 220.1 kN vastaan



- Lasketaan sauvalle 1 käyttöaste voimaa 106.8 kN vastaan
- Lasketaan yhteen sauvan 1 käyttöasteet K-liitoksessa ja Y-liitoksessa

MUUTOS 2

PAARTEEN JÄNNITYSFUNKTIO

PAARTEEN JÄNNITYSFUNKTIO

- Paarteen liitoksen puoleiset normaalijännitykset (kalvojännitykset) vaikuttavat liitoksen kestävyys (vauriomuoto: paarteen pinnan myötäminen)
- Vaikutus otetaan huomioon **paarteen jännitysfunktion** (*chord stress function*) avulla.
 - Pienentää kestävyttä, kun paarteessa on puristusta.
 - Ei vaikuta kestävyys, kun paarteessa on vetoa.
 - Riippuu paarteen jännityksen suuruudesta (n) sekä uumasauvojen ja paarteen ulkomittojen suhteesta (β).

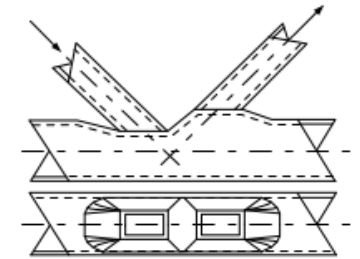
EN 1993-1-8:2005

$$N_{i,Rd} = \frac{8.9k_n f_{y0} t_0^2 \sqrt{\gamma} \beta}{\sin \theta_i} \frac{1}{\gamma_{M5}}$$

k_n ... paarteen **jännitysfunktio**:

$$k_n = \begin{cases} \min \left\{ 1.3 - \frac{0.4n}{\beta}, 1.0 \right\} & \text{kun } n > 0 \quad \text{puristusta} \\ 1.0 & \text{kun } n < 0 \quad \text{vetoa} \end{cases}$$

$$n = \frac{\sigma_{0,Ed}}{f_{y0}} \frac{1}{\gamma_{M5}} \quad \sigma_{0,Ed} = \frac{N_{0,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}}$$



Paarteen normaalijännitys liitoksen puolella on

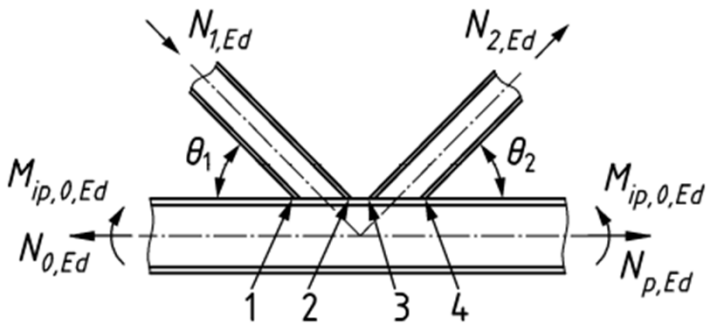
PAARTEEN JÄNNITYSFUNKTIO

prEN 1993-1-8:2023

$$Q_f = (1 - |n_0|)^{C_1} \geq Q_{f,min}$$

$$n_0 = \frac{N_{0,Ed}}{A_0 f_{y0}} \pm \frac{M_{ip,0,Ed}}{W_{ip,pl,0} f_{y0}}$$

alaraja



Sections		Min. value of chord stress function $Q_{f,min}$	Exponent C_1 for joint configurations with chords loaded in compression and in tension			
Brace and Plates	Chord		T-, Y- and X- Compression ($n_0 < 0$)		K- and N- with gap Compression ($n_0 < 0$)	
			Tension ($n_0 \geq 0$)	Tension ($n_0 \geq 0$)	Tension ($n_0 \geq 0$)	Tension ($n_0 \geq 0$)
CHS	CHS	0,4	$0,45 - 0,25\beta$	0,2	$0,25^a$	$0,2^a$
Plates ^b	CHS	0,3	0,25	0,2	-	-
CHS or RHS	RHS	0,4	$0,6 - 0,5\beta$	0,1	$0,5 - 0,5\beta \geq 0,1$	0,1
Longitudinal plates	RHS	0,3	0,2	0,1	-	-
Transverse plates ^c	RHS	0,3	$0,03\gamma$	0,1	-	-

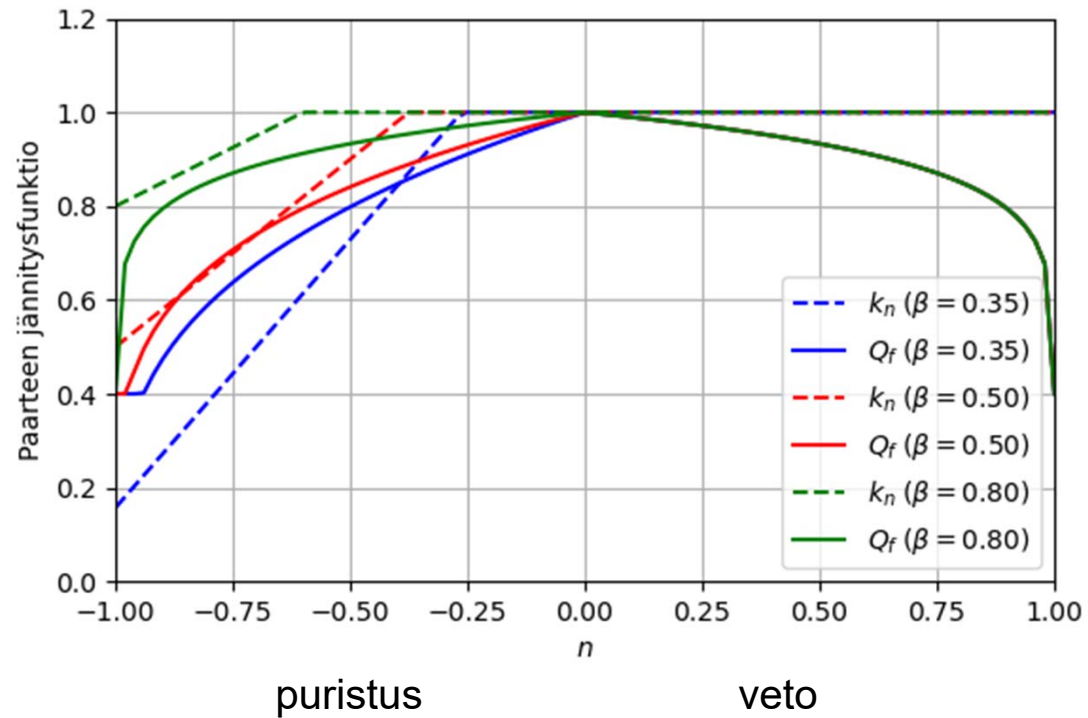
^a If brace moments have to be considered C_1 and the minimum chord stress function $Q_{f,min}$ for T-, Y- and X-joint configurations should be adopted.
^b Longitudinal, transverse plates, I or H sections and RHS.
^c Also applies to I or H sections and RHS.

EN 1993-1-8:2005

$$k_n = \begin{cases} \min \left\{ 1.3 - \frac{0.4n}{\beta}, 1.0 \right\} & \text{kun } n > 0 \quad \text{puristusta} \\ 1.0 & \text{kun } n < 0 \quad \text{vetoa} \end{cases}$$

PAARTEEN JÄNNITYSFUNKTIO

Esimerkki: K-liitos



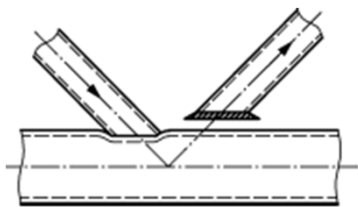
MUUTOS 3

KORKEALUJUUSTERÄKSET

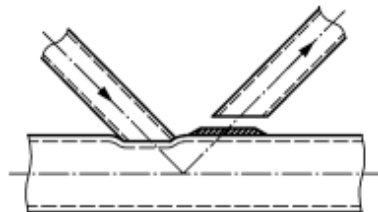
KORKEALUJUUSTERÄKSET

EN 1993-1-8:2005

- Jos liitoksessa on sauvoja, joiden myötöraja ylittää 355 MPa pienennetään liitoksen kestävyyttä.
 - S460 asti: kerroin on 0.9
 - S500-S700: kerroin on 0.8 (EN 1993-1-12:2007)



Chord punching shear



Brace failure

prEN 1993-1-8:2023

- The design resistance of the joints should be multiplied by a material factor C_{β} as relevant, depending on the failure mode, where the value of C_{β} is based on the yield strength of the failing member.
- **In addition** to multiplying by the material factor C_{β} in cases of **chord punching shear failure** and **tension brace failure modes**, the yield strength f_{y0} and f_{yi} used in the design formulae for $N_{i,Rd}$, and $M_{i,Rd}$ should not be greater than $0,8f_{u0}$ and $0,8f_{ui}$, respectively.

KORKEALUJUUSTERÄKSET

MATERIAALIKERTOIMET (Table 9.1)

Lujuus	C_f (2023)	C_f (2005)
$f_y \leq 355$ MPa	1.00	1.00
355 MPa < $f_y \leq 460$ MPa	0.90	0.90
460 MPa < $f_y \leq 550$ MPa	0.86	0.80
550 MPa < $f_y \leq 700$ MPa	0.80	0.80

prEN 1993-1-8:2023

- The values for the material factor C_f are given in Table 9.1 unless the **National Annex** gives different values.
- The choice of failure modes where the yield strength is limited to $0,8f_{u0}$ or $0,8f_{ui}$ can be modified by the **National Annex**.

KORKEALUJUUSTERÄKSET

prEN 1993-1-8:2023

Chord plastification

$$N_{i,Rd} = \frac{8,9 C_f \beta \gamma^{0,5} \frac{f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_i} Q_f}{\gamma_{M5}}$$

Brace failure

$$N_{i,Rd} = \frac{C_f f_{yi} t_i (2h_i - 4t_i + b_i + b_{eff})}{\gamma_{M5}}$$

Chord punching shear failure

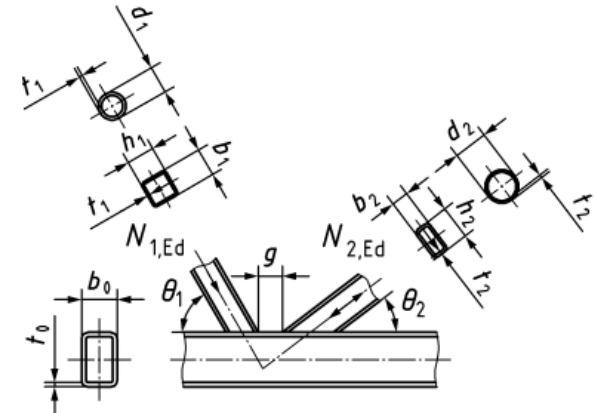
$$N_{i,Rd} = \frac{C_f \frac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3} \sin \theta_i} (2h_1 + b_i + b_{e,p})}{\gamma_{M5}}$$

Chord shear failure

$$N_{i,Rd} = \frac{\frac{f_{y0} A_{v,0,gap}}{\sqrt{3} \sin \theta_i}}{\gamma_{M5}}$$

$$N_{0,V,Rd} = \frac{(A_0 - A_{v,0,gap}) f_{y0} + A_{v,0,gap} f_{y0} \sqrt{1 - \left(\frac{V_{0,gap,Ed}}{V_{0,gap,Rd}} \right)^2}}{\gamma_{M5}}$$

Ei pienennyskerrointa paarten leikkautumiselle!



KORKEALUJUUSTERÄKSET

prEN 1993-1-8:2023

In addition to multiplying by the material factor C_f in cases of **chord punching shear failure** and **tension brace failure modes**, the yield strength f_{y0} and f_{yi} used in the design formulae for $N_{i,Rd}$ and $M_{i,Rd}$ should not be greater than $0,8f_{u0}$ and $0,8f_{ui}$, respectively.

- **Tausta:** huoli lujien terästen liitosten sitkeydestä/muodonmuutoskyvystä “hauraissa” vauriomuodoissa.
- **Vaikutus:**
 - Esim. S700MLH, $f_y = 700$ MPa, $f_u = 750$ MPa, joten $0,8f_u = 0,8 \cdot 700$ MPa = 600 MPa = $0,86 f_y$.
 - Kun lisäksi käytetään materiaalikerrointa $C_f = 0,8$, pienennetään liitoksen kestävyyttä suhteessa myötörajaan kertoimella $0,8 \cdot 0,86 = \mathbf{0,688!}$
- **HUOM!** Tämä pienennys näkyy vain kahdessa vauriomuodossa.

YHTEENVETO

YHTEENVETO

- EN 1993-1-8 päivitetään vastaamaan muita kansainvälisiä hitsattujen putkiliitosten suunnitteluohjeita ja –standardeja.
- Yleiset mitoitusperiaatteet ovat ennallaan.
 - Liitosten luokittelu voimansiirtotavan mukaan on yksi merkittävimmistä eroista.
 - Paljon ”pieniä” muutoksia yksityiskohdissa.
- Kansallisella valinnalla voidaan säätää lujia teräksiä koskevia pienennyskertoimia.
- Päivityksen todelliset vaikutukset nähdään vasta, kun uusia sääntöjä aletaan soveltaa laajassa mittakaavassa.