
Teräksisen putkiristikon K-liitoksen lujuus



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Rakennustekniikka

Visamäki, kevät 2016

Jere Konttila



VISAMÄKI
Rakennustekniikka
Rakennetekniikka

Tekijä	Jere Konttila	Vuosi 2016
Työn nimi	Teräksisen putkiristikon K-liitoksen lujuus	

TIIVISTELMÄ

Työssä tutkittiin teräsrakenteisen ristikon K-liitoksen vapaavälin vaikutusta liitoksen lujuuteen. Työn tilaajana toimi Hämeen ammattikorkeakoulun Ohutlevykeskus. Tavoitteena oli löytää yhteys pienen vapaavälin ja heikon kantavuuden välillä.

Tarkoituksena oli myös tutkia, kuinka lähellä eurokoodin mitoitusmalli on todellista kuormituskapasiteettia. Myötöviivateorian hyödyntämistä parrteen pinnan myötäämisen mitoituksessa haluttiin tutkia lähinnä tutkimuksen tekijän toimesta.

Työssä on sovellettu laajasti rakennesuunnittelijan opintojen aikana kerättyä osaamista rakenteiden mekaniikasta ja lujuusopinasta sekä teräsrakenteiden suunnittelusta. Kirjallisia lähteitä on hyödynnetty vain hieman, koska aiheesta ei ole aiemmin tiettävästi tehty paljoakaan tutkimustyötä. Liitosten mitoittamisesta ja käytännön kokemuksista on keskusteltu alan toimijoiden kanssa, ja osa ajatuksista on kirjattu työhön. Oma aiemmin hankittua rakennusalan kokemusta on hyödynnetty prototyypin ja jiggin rakentamisessa.

Tulosten perusteella voidaan todeta eurokoodin mitoitusstandardi lyhyen vapaavälin K-liitokselle hieman kyseenalaiseksi. Mitoituksen antamat kuormituskapasiteetit olivat osittain korkeampia kuin testeissä mitatut todelliset kestävyudet. Syynä tähän on se, ettei laskennan teoria aivan sovellu tarkoitukseen.

Vielä ei ole tiedossa, jatketaanko tutkimustyötä aiheesta, mutta saatujen tulosten perusteella se olisi suositeltavaa. Työ vaatisi ehdottomasti vertailukelpoisia tuloksia, jotta voitaisiin vetää varmoja johtopäätöksiä aiheesta.

Avainsanat K-liitos, eurokoodi, myötöviivateoria, plastisuusteoria, teräsristikko, vapaaväli

Sivut 38 s. + liitteet 95 s.

VISAMÄKI

Degree Programme in Construction Engineering
Structural Engineering

Author

Jere Konttila

Year 2016

Subject of Bachelor's thesis

Resistance of hollow tube steel truss K-joint

ABSTRACT

The purpose of this Bachelor's thesis was to study the effect of the length of the gap in the steel truss on the resistances of the gapped K-joint. The thesis was commissioned by Häme University of Applied Sciences Sheet Metal Centre which wanted to research the most likely failing mechanisms of the joint. The main goal was to find the common factor between small gaps and weak loading resistances.

Another aim was also to check how close to the true loading resistance the Eurocode standard of steel design was. Utilizing The Yield Line Theory in design calculations in the yield of the chord face was also studied.

The knowledge obtained during studies of structural engineering about structural mechanics and statics and design of the steel structures were applied extensively in the thesis. Only few published sources were utilized as not much research about the subject exists. The design of joints and practical experiences were discussed with experts in the field. The author's own experience in the construction field was used in fabricating the support frame and the prototype.

According to the tests conducted in the thesis the Eurocode design codex of the gapped K-joint can be concluded to be faulty. Design resistances of the calculations were much higher than the real resistances that were measured in the tests because the calculation doesn't quite fit into the subject. Based on the results obtained in the thesis further studies on the subject are recommended. Comparable results are needed to verify the conclusions drawn from the test results.

Keywords K-joint, Eurocode, the Yield Line Theory, Theory of Plasticity, steel truss, gap

Pages 38 p. + appendices 95 p.

SISÄLLYS

MERKINNÄT	1
1 JOHDANTO	3
2 KOESTETTAVAT LIITOKSET	4
2.1 Teräsristikon K-liitos.....	4
2.2 Vapaaväli.....	7
3 LASKELMIEN ENNUSTAMAT LIITOSLUJUUDET.....	9
3.1 Teräksen vetokokeet.....	9
3.2 Eurokoodin mukainen laskenta.....	10
3.3 Plastisuusteorian mukainen laskenta.....	15
4 KOEJÄRJESTELYT.....	18
4.1 Koestustapa.....	18
4.2 Avustavat rakenteet.....	19
5 TERÄSRISTIKON K-LIITOSTEN KOESTUS	22
6 KOESTUSKSEN TULOKSET	24
6.1 Mitoitusehtojen mukaiset vapaavälit.....	24
6.2 Mitoitusehtojen vastaiset vapaavälit	30
7 LOPPUPÄÄTELMÄT	33
7.1 Eurokoodilaskennan paikkansapitävyys.....	34
7.2 Plastisuusteorian mukaisen laskennan paikkansapitävyys	35
7.3 Tutkimuksen jatkokehitys ja hyödynnettävyys.....	36
LÄHTEET	37

Liite 1	Vapaavälisen K-liitoksen eurokoodimitoitus
Liite 2	Koekappaleiden hitsisauman a-mitan eurokoodimitoitus
Liite 3	Myötöviivateorian mukainen lujuuslaskelma
Liite 4	Myötöviivateorian havainnekuva
Liite 5	Teräksen vetokokeiden tulokset
Liite 6	Eurokoodin mitoitusohjeen mukainen lujuuslaskelma materiaalin todellisella myötölujuudella
Liite 7	Myötöviivateorian mukainen lujuuslaskelma materiaalin todellisella myötölujuudella
Liite 8	Koekappaleiden voima-siirtymäkuvaajat
Liite 9	Koekappaleiden valmistuspiirustukset

MERKINNÄT

a	mitta myötöviivateoriassa
a_k	hitsin poikkileikkauksen kateetin pituus vapaavälin puolella myötöviivateoriassa
a_w	hitsin a-mitta
b	myötöviivateoriassa tarkasteltavan pinnan osan leveys
b_0	paarteen leveys
b_i	uumasauvan leveys
b_1	uumasauvan 1-leveys
b_2	uumasauvan 2-leveys
b_{eff}	uumasauvan tehollinen leveys
b_{ep}	tehollinen leveys leikkauslävistymistä tarkasteltaessa
c	mitta myötöviivateoriassa
d	mitta myötöviivateoriassa
e	mitta myötöviivateoriassa sekä liitoksen epäkeskisyys eurokoodissa
f	mitta myötöviivateoriassa
f_{av}	teräksen myötölujuuksien tilastollinen keskiarvo
f_u	teräksen murtolujuus
f_y	teräksen myötölujuus
f_{y0}	paarteen teräksen myötölujuus
$f_{y0,tod}$	teräksen todellinen ylempi myötöraja
F_0	paarteessa vaikuttava normaalivoima
g	liitoksen teoreettinen vapaaväli
g_{min}	liitoksen teoreettisen vapaavälin vähimmäismitta
h	myötöviivateoriassa paarteen pinnan materiaalivahvuus
$h_{d,30}$	mitta myötöviivateoriassa
$h_{d,90}$	mitta myötöviivateoriassa
h_0	paarteen korkeus
h_1	uumasauvan 1-korkeus
h_2	uumasauvan 2-korkeus
k_n	kerroin eurokoodimitoituksessa, jolla huomioidaan mm. liitoksen epäkeskisyyttä
k_{σ}	korjauskerroin teräksen keskimääräistä vetolujuutta laskettaessa
l_0	mitta myötöviivateoriassa
n	kerroin eurokoodissa, kun lasketaan kerrointa k_n ja testien lukumäärä teräksen keskimääräistä vetolujuutta laskettaessa
q	viivakuorma myötöviivateoriassa
t_d	uumasauvan seinämävahvuus
t_0	paarteen seinämävahvuus
A_v	paarteen leikkauspinta-ala
A_0	paarteen poikkipinta-ala
F_d	uumasauvan mitoituskuorma
$M_{0,Ed}$	paarteessa vaikuttava taivutusmomentti
M_{py}	myötömomentti myötöviivateoriassa
$N_{N,Rd}$	paarteen leikkauslävistymisen mitoitusarvo
$N_{p,Rd}$	paarteen pinnan myötöämisen mitoitusarvo
N_{Rd}	liitoksen mitoittava kuorman arvo
$N_{u,Rd}$	uumasauvan murtumisen mitoitusarvo

Teräksisen putkiristikon K-liitoksen lujuus

$N_{vi.Rd}$	paarteen leikkausmyötäämisen mitoitusarvo
$W_{pl.0}$	paarteen plastinen taivutusvastus
W_S	sisäisen työn arvo myötöviivateoriassa
W_U	ulkoisen työn arvo myötöviivateoriassa
α	kerroin, jolla lasketaan paarteen leikkauspinta-alaa A_v eurokoodissa
β	suhteellinen leveys
δ	siirtymä myötöviivateoriassa
γ	kerroin, jolla lasketaan pinnan myötäämistä eurokoodissa
γ_{M5}	ristikkoliitoksen osavarmuusluku
φ_i	nivelen kiertymä myötöviivateoriassa, numero alaindeksissä kertoo nivelen
θ_i	kulma paarteen ja uumasauvan välissä
$\sigma_{0.Ed}$	laskennallinen puristusjännitys paarteessa
σ_x	kerroin teräksen keskimääräistä vetolujuutta laskettaessa

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan rakenneputkista valmistetun, teräsrakenteisen ristikon K-liitoksen lujuutta, kun diagonaalien eli uumasauvojen vapaaväliä pienennetään enemmän kuin eurokoodin määrittämät mitoitus ehdot sallivat.

Teräsrakenteisten ristikoiden käyttö on noussut Suomessa vahvasti perinteisen teräsbetoni- ja puurakentamisen rinnalle. Teräsristikoilla päästään edullisemmin pitkiin jänneväleihin muihin materiaaleihin verrattuna.

Viime aikoina on kuitenkin ilmennyt ongelmia ja vaaratilanteita teräksisten kehä- ja ristikkorakenteiden pettäessä. Kyseisiä hallirakennelmia on romahuttanut Suomessa talviaikaan kuormitusten kasvaessa lähinnä katon lumi-kuorman vaikutuksesta. Työssä tutkitaan, onko virheellisellä ristikon K-liitoksen vapaavälillä vaikutusta liitoksen lujuuteen.

Syitä virheelliseen vapaaväliin lopputuotteessa voi olla monia. Ensimmäinen syy virheisiin saattaa löytyä suunnittelijoista. Eurokoodimitoituksessa huomioitavia mitoitus ehtoja on niin paljon, että virheiden määrä niitä käsin huomioitaessa on ilmeinen. Tietokoneohjelmat ovat varmasti hyvä apu tällaiseen laskentaan, mutta niidenkin käytössä piilee omat riskinsä.

Toinen syy on varmasti eurokoodimitoituksen käytön erilaisuus muihin mitoitus malleihin verrattuna sekä vähäiset kokemukset sen käytöstä. (Rinne, keskustelu 5.2.2016).

Opinnäytetyön tuottamaa tietoa voidaan hyödyntää virheellisesti mitoitettujen rakenteiden korjauksessa sekä korjaustarpeiden selvittämisessä.

Työn tarkoituksena on selvittää, onko liian pienellä vapaavälillä merkittävää vaikutusta liitoksen lujuuteen sekä ovatko eurokoodin ja plastisuusteorian antamat lujuus- ja muodonmuutosennusteet paikkansapitäviä. Työssä sivutaan myös hieman eurokoodin laskentaperusteita ja kerrotaan myötöviiviteorian perusteista.

Tutkimus toteutetaan testien avulla, joissa vaihdellaan vapaaväliä. Liitokset koestetaan HAMK Ohutlevykeskuksen testikehällä, ja tuloksia verrataan laskelmiin. Tämän työn käytännön osuutta ja koestusten lopputuloksia tullaan hyödyntämään myös eräässä ylemmän ammattikorkeakoulun päättötyössä, Vapaavälin vaikutus teräksisten kattoristikoiden K-liitoksissa (Rinne Ari). Työssä tutkitaan samankaltaista aihetta.

Vapaavälin vaikutusta liitoksen lujuuteen ei ole aiemmin Suomessa tietävästi testattu, vaikka kyseisten liitosten lujuudessa on ollut viime aikoina paljon ongelmia. Aikaisemmin on Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa tutkittu lähinnä lämpötilan vaikutusta liitoksen lujuuteen (Kempainen 2002). Täten työn tuottamaan tietoihin ja lopputuloksiin ei ole vastaavaa vertailukohdetta.

2 KOESTETTAVAT LIITOKSET

Suomessa on käytetty K-liitoksia teräsristikoidissa jo kauan rakennuksissa, joissa vaaditaan pitkiä jännevälejä. Muun muassa palloiluhalleissa, ratsastusmaneesseissa ja teollisuushalleissa pitkät jännevälit ovat yleisiä.

K-ristikko toimii hyvin pitkillä jänneväleillä, jos ristikon kantamat kuormat saadaan siirrettyä ristikon uumasauvojen ja yläpaarteiden liitoskohtiin. Tällöin ylä- sekä alapaarteiden taivutusmomentit pienenevät merkittävästi, jolloin niissä voidaan käyttää profiileina rakenneputkia. Rakenneputkien käyttö ristikon osien profiileina on suositeltavaa näiden ollessa keveitä suhteessa niiden kuormituskapasiteettiin. Rakenneputket toimivat myös hyvin vedettyinä ja puristettuina sauvarakenteina.

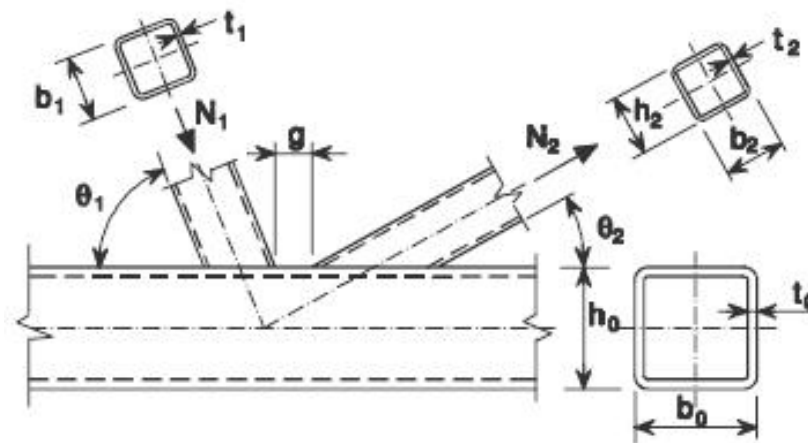
K-ristikon käyttöä puoltaa myös suhteellisen harva uumasauvajako, mikä vähentää materiaali- ja työmenekkiä. Tällaisessa ristikkorakenteessa puristetun yläpaarteiden ja uumasauvojen liitosten jännevälit ovat kuitenkin pitkiä, jolloin puristetun yläpaarteiden nurjahtaminen pitää huomioida laskelmissa. Yläpaarteiden profiilina joudutaankin ehkä käyttämään hieman vahvempaa rakenneputkea verrattuna alapaarteeseen. (Rakenneputket EN 1993 -käsikirja, 420–423.)

2.1 Teräsristikon K-liitos

K-liitoksessa kaksi uumasauvaa liittyvät ala- tai yläpaarteena toimivaan rakenneputkeen (Kuva 1). Liitos voidaan toteuttaa hitsaamalla kappaleet yhteen. Useimmiten uumasauvat hitsataan suoraan paarteiden pintaan kiinni käyttäen piena- tai päittäishitsiä. Liitosta voidaan vahvistaa hitsaamalla paarteiden pintaan tai kylkiin vahvistuslevyjä. Vahvistustapoja on useita riippuen määräävästä murtumismuodosta. (SFS EN 1993-1-8.)

Liitostyyppi

Vapaaväliset K- ja N- liitokset



Kuva 1. Vapaavälisen K-liitoksen havainnekuva (Kuva: SFS EN:1993-1-8).

Suunniteltaessa teräsristikoita oletetaan uumasauvojen ja paarteiden väliset liitokset nivelliitoksiksi, koska teräsristikon sauvojen välisen liitoksen jäykkyydelle ei ole eurokoodissa laskentaohjetta. Tällöin uumasauvoissa vaikuttavat pelkästään normaalivoimat, mikä helpottaa huomattavasti laskentaa. Tässä työssä tarkasteltavan liitoksen uumasauvat on liitetty puristettuun alapaarteeseen uumasauvojen ympäri kiertävällä, jatkuvalla pienahitsillä. Liitos täyttää eurokoodin suunnitteluehdon, joka määrää pienahitsin käytöstä eri tilanteissa.

Teräsrakenteisia ristikoita valmistettaessa pitää varsinaisen hitsaustyön tekijällä olla hitsaajan pätevyys. Hitsaajan pätevyyden saa suorittamalla sertifiointin mukaisia kursseja sekä läpäisemällä vaadittavat kokeet. Kokeissa mitataan mm. tekijän osaamista käytännön osuudella. Hitsaajan pätevyysvaatimus vaihtelee työstettävän rakenteen toteutusluokan mukaan. (SFS EN 1090-2.)

Kun metallia hitsataan, syntyy paljon lämpöä. Molemmat hitsattavat kapaleet lämpenevät paikallisesti hyvin nopeasti hyvin korkeaan lämpötilaan. Tämä on erittäin tärkeä asia tiedostaa metallia hitsattaessa. Kun metalli kuumenee voimakkaasti, sen mikrorakenne muuttuu. (Kinnunen, Saarinen, Tiira, Ulvinen, & Väänänen 2001, 104). Kiteet metallin sisällä voivat kasvavaa suuriksi ja teräs voi muuttua hauraaksi.

Teräksisen putkiristikon K-liitoksen lujuus

Normaalilujuusteräksiä eli teräksiä, joiden myötölujuus on korkeintaan 460 MPa, hitsattaessa teräksen kovuus hitsisauman välittömässä läheisyydessä hieman kasvaa. Normaalilujuuksinen teräs karkaistuu tässä jonkin verran. Tätä aluetta hitsisauman lähellä kutsutaan muutosvyöhykkeeksi tai HAZ-vyöhykkeeksi (Lukkari 1997, 27). Muutosvyöhyke syntyy hitsausauman ympäröimälle alueelle, jonka lämpötila hitsatessa on kasvanut 1100–1500 asteeseen celsiusta. HAZ-vyöhykkeen nimitys tulee englannin kielen sanoista Heat Affected Zone.

Teräksen kovuus siis kasvaa, mutta samalla se muuttuu hauraammaksi ja menettää plastista muodonmuutoskykyä. HAZ-vyöhykkeellä olevalla materiaalilla ei siis voida katsoa olevan yhtä suurta muodonmuutoskapasiteettia kuin muulla materiaalilla.

Pienahitsejä voidaan käyttää osien kiinnittämiseen, jos liitospintojen muodostama kulma on 60–120 astetta. Pienahitsejä ei saa lopettaa rakenneosien päissä tai sivuilla, vaan ne hitsataan jatkuvina ja täysikokoisina kulman ympäri kaksi kertaa hitsin kyljen pituiseksi, ellei tämä ole luokse päästävyuden tai liitoksen muodon takia epäkäytännöllistä. Liitettävien rakenneputkien nimellisen seinämävahvuuden on myös oltava vähintään 2,5 mm. Käytettävien teräsprofiilien pitää kuulua joko poikkileikkausluokkaan 1 tai 2. (SFS EN 1993-1-8.)

Eurokoodimitoituksessa annetaan liitokselle muitakin suunnittelu-ehdotuksia, joiden noudattaminen suunnittelussa on ensiarvoisen tärkeää mitoituksen paikkansapitävyyden kannalta. Liitoksen paarteen ja uumasauvojen poikkileikkausprofiileille on asetettu suunnittelu-ehdotuksia (Taulukko 1). Näistä kaava 5 ottaa myös kantaa vapaavälin g pituuteen.

Taulukko 1. Suunnittelu-ehdotuksia liitoksen geometrialle ja käytetyille profiileille (SFS EN 1993-1-8).

$$(1) \quad \frac{b_i}{b_0} \geq 0,35$$

$$(2) \quad \frac{b_i}{t_i} \leq 35$$

$$(3) \quad 15 \leq \frac{b_0}{t_0} \leq 35$$

$$(4) \quad 0,8 \leq \frac{b_1 + b_2}{2b_1} \leq 1,3$$

$$(5) \quad 0,5(1 - \beta) \leq \frac{g}{b_0} \leq 1,5(1 - \beta)$$

Teräksisen putkiristikon K-liitoksen lujuus

Testikappaleita valmistetaan yhteensä seitsemän, joista kuusi on erilaisia. Testikappaleet eroavat toisistaan pelkästään vapaaväliltään. Koekappaleet on suunniteltu siten, että niiden murtotapa olisi paarteen pinnan myötääminen tai läpileikkautuminen. Tämä on ollut romahtaneissa rakennuksissakin usein murtotapana (Korkeamäki, keskustelu 10.12.2015). Murtotapaan pysyy vaikuttamaan helposti paarteen ja uumasauvojen profiilien leveyttä muuttamalla.

Kun paarteen leveys on suuri suhteessa uumasauvan leveyteen ja uumasauvan ja paarteen välinen liitos on sijoitettu keskelle paarteen pintaa, tulee paarteen pinnan myötääminen yhä varmemmin mitoittavaksi tekijäksi. Uumasauva pääsee painumaan paarteen profiilin sisään. Vastaavasti paarteen pinnassa on paljon materiaalia, mikä mahdollistaa suhteellisen suuren venymän jo pienellä kuormituksella diagonaalista paarteeseen. Tällaista tilannetta tulisi välttää, koska liitoksen kuormituskapasiteetti laskee hyvin nopeasti.

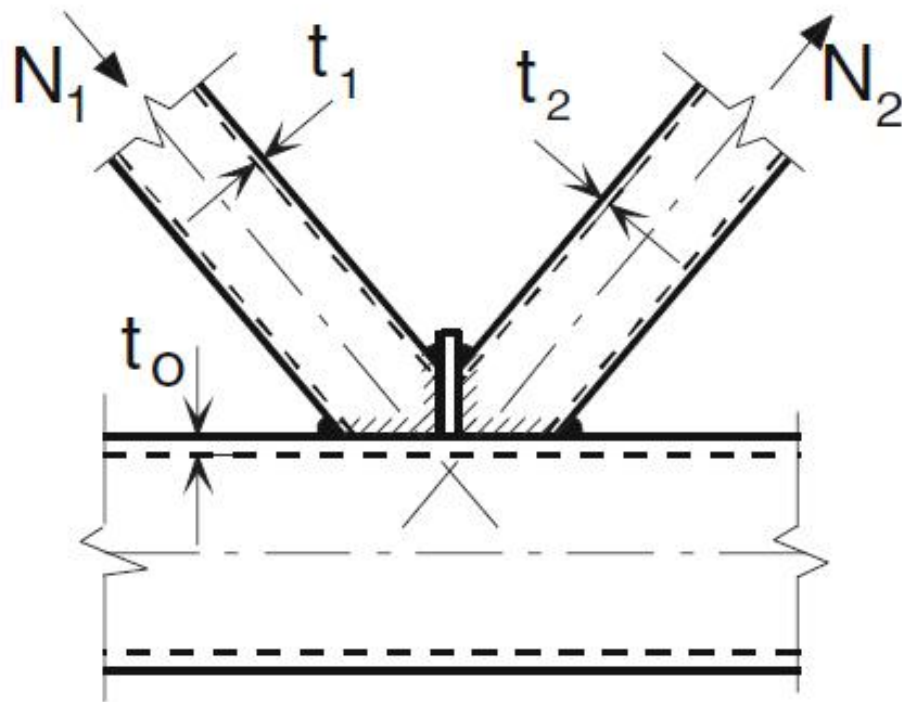
Koestettavilla liitoksilla parreprofiilina oli 80 x 80 x 3 mm. Uumasauvojen profiileiksi valittiin 40 x 40 x 3 mm. (Taulukko 2) Liitoksen hitsisaumat mitoitettiin eurokoodin mitoitusohjeen mukaan, ja a-mitaksi saatiin 3 mm. (Liite 2) Profiilit olivat juuri ja juuri eurokoodin mitoitusohjeiden mukaisia keskinäisten mittasuhteidensa puolesta. Profiilit ovat materiaaliltaan S355J2H, eli kyseessä on RHS-putkien välinen ristikkoliitos. (Liite 9)

Taulukko 2. Koekappaleiden päätiedot. (Taulukko: Jere Konttila)

Koekappale vapaaväliltään	Uumasauvojen profiili	Parreputken profiili	Rakenneputkien materiaali
40 mm	40x40x3 mm	80x80x3 mm	S355J2H
30 mm	40x40x3 mm	80x80x3 mm	S355J2H
20 mm -1	40x40x3 mm	80x80x3 mm	S355J2H
20 mm -2	40x40x3 mm	80x80x3 mm	S355J2H
15 mm	40x40x3 mm	80x80x3 mm	S355J2H
10 mm	40x40x3 mm	80x80x3 mm	S355J2H
5 mm	40x40x3 mm	80x80x3 mm	S355J2H

2.2 Vapaaväli

K-ristikkoliitoksia voidaan suunnitella kahdella tavalla, vapaavälillä (Kuva 1) ja ilman vapaaväliä. Ilman vapaaväliä suunniteltaessa uumasauvat pitää limittää siten, että ne ovat osittain vierekkäin paarteen liitoksessa. Limittämällä pyritään siihen, että osa uumasauvasta välittyvästä normaalivoimasta välittyy suoraan toiseen uumasauvaan. Ilman vapaaväliä ja uumasauvat kohdakkain ei saisi K-liitosta suunnitella eikä toteuttaa, ellei liitosta ole vahvistettu erityistoimenpitein. Kyseisiä erityistoimenpiteitä ovat esimerkiksi teräslevy uumasauvojen välissä, siten että niiden ympäri on varmasti mahdollista hitsata asianmukainen sauma. Teräslevy uumasauvojen välissä jakaa tehokkaasti myös voimia paarteen uumille. (Kuva 2)



Kuva 2. Vahvistettu, hitsattu K-liitos (Kuva: SFS EN:1993-1-8).

Vapaaväli K-liitoksessa antaa liitokselle riittävän muodonmuutoskapasiteetin. Muodonmuutoskapasiteettia liitoksella on oltava, jotta varsinkin paarteen pinnan plastista myötäämistä vastaan saataisiin enemmän kimmoisana venyvää materiaalia.

Ristikkoliitoksessa toisen uumasauvan puristaessa paarteen pintaa toiseen uumasauvaan syntyy vetojännitys. Nämä muodostavat liitoksen keskelle paarteen pintaan leikkausjännitystä. Tämän leikkausjännityksen arvellaan kasvavan hyvin suureksi varsinkin pienillä vapaaväleillä. Jos K-liitos on toteutettu täysin ilman vapaaväliä, vallitsee uumasauvojen välissä lähes puhdas leikkausjännitys. Liitoksessa usein paarteena käytetyllä RHS-putkiprofiilin pinnalla ei ole juurikaan kapasiteettia vastustaa tällaista jännitystä, koska pinnan materiaalivahvuus on usein hyvinkin pieni suhteessa profiilin muihin mittoihin.

Vapaaväliin jäävään paarteeseen muodostuu myös veto- tai puristusjännitys riippuen siitä, onko kyseessä ylä- vai alapaarre. Tämän pinnan osan on oltava riittävän suuri, jotta jännitykset voivat tasaantua ja jakautua uudelleen, ennen kuin ne välittyvät toisesta uumasauvasta seuraavaan.

Koekappaleiden diagonaalit oli hitsattu paarteeseen eri vapaaväleillä. Eurokoodin mitoitusehto mukaisilla vapaaväleillä valmistettuja kappaleita olivat 40, 30 ja 20 mm. Lisäksi koestettiin kolme, vapaaväliltään mitoitusehto vastaista kappaletta, vapaaväliltään 15, 10 ja 5 mm. Koekappaleita, joissa uumasauvojen vapaavälinä oli alle 20 mm, haluttiin koestaa, koska

Teräksisen putkiristikon K-liitoksen lujuus

kyseisiä virheellisesti suunniteltuja liitoksia on valmistettu ja asennettu laajalti.

Vapaaväli ei vaikuta eurokoodimitoituksessa suoraan liitoksen lujuuteen. Sen sijaan vapaaväli luo epäkeskisyyttä liitokseen, mikä kasvattaa alapaarteissa vallitsevaa taivutusmomenttia ja näin laskee liitoksen kuormituskapasiteettia.

3 LASKELMIEN ENNUSTAMAT LIITOSLUJUUDET

Koestustuloksia varten on laskettu kahdella eri tavalla liitosten laskennalliset lujuudet (Taulukko 7). Eurokoodin mukaisessa laskennassa käytetyt osavarmuuskertoimet on muutettu ykkösiksi, jolloin ne eivät vaikuta laskennan tulokseen kapasiteettia vähentävästi. Tämän vuoksi laskennan pitäisi antaa todellista liitoslujuutta vastaava ”karakteristinen lujuusarvo”. Todellisuudessa näin ei aivan ole, mutta tämä tarkoittaa laskentaa. (Liite 1)

Lisäksi koestustuloksiin verrattavaa laskentaa varten on tehty materiaalin vetokokeet. Terästoimittajat valmistavat annettua nimellislujuutta jonkin verran lujempaa terästä, jotta materiaali ei mistään syystä jäisi luvattua heikommaksi. Tämä olisi erittäin vaarallista mitoituksen kannalta. Tämä on esimerkkinä siitä, että mitoituksessa on lisävarmuutta muuallakin kuin lujuuslaskennan osavarmuuskertoimissa.

Plastisuusteorian mukaisessa laskennassa on laskettu eurokoodimitoituksen ennustaman murtotavan eli paarteen pinnan myötäämiseen vaadittava todellinen myötömomentti. Plastisuusteorian mukainen laskenta tässä työssä käsittelee tarkemmin myötöviivateoriaa hyödyntävän, virtuaalisentyön menetelmällä lasketun laattamaisen rakenteen lujuuslaskelman, jolla tarvittava myötömomentti saavutetaan. (Liite 3) Sama laskenta tehtiin myös paarteen materiaalin todellisella myötölujuudella. (Liite 7)

3.1 Teräksen vetokokeet

Teräksen vetokokeilla voidaan varmistua materiaalin laadusta ja selvittää käytetyn teräksen todellinen myötö- ja murtolujuus. Vetokokeita tehdään teräksen valmistajien toimesta mm. laadunvarmistustarkoituksessa. Koestuskappaleita valmistettaessa otettiin kaikista käytetyistä teräsputkista lyhyet (300 mm) pätkät talteen. Talteen otetuista putkista leikattiin vetokoe-kappaleiden aihiot, noin 30 mm leveä ja 300 mm pitkä laatta. Aihiot leikattiin jokaisesta putkesta ja jokaiselta putken neljältä sivulta.

Teräksen vetokoe on standardisoitu testi, jolla voidaan selvittää tarkasti teräksen erilaisia materiaaliominaisuuksia. Standardisointi on tarpeen, jotta kokeiden tulokset olisivat vertailukelpoisia myös muualla tehtyjen vetokokeiden kanssa. Standardissa on määrätty mm. vetokoe-kappaleiden määräästä, koelaitteen toiminnasta, vetokappaleiden työstötapa-aihiosta sekä kuormitusnopeudesta. Kuormitusnopeus voi vaikuttaa testistä saataviin tu-

Teräksisen putkiristikon K-liitoksen lujuus

loksiin. Materiaali käyttäytyy eri lailla nopeasti kuormitettaessa kuin hitaasti kuormaa lisättäessä. Teräksellä kuormitusnopeuden merkitys on kuitenkin pieni.

Koestusaihiot lähetettiin SSAB:lle Hämeenlinnaan, jossa aihioista saatiin koneistamalla tarkasti oikean muotoiset ja mittaiset vetosauvat. Koestus tapahtuu laitteella, joka vetää sauvaa molemmista päistä mitaten sauvan venymän ja voiman. Sauvan poikkipinta-alasta ja voimasta voidaan laskea sauvassa kokeen kullakin hetkellä vallitseva vetojännitys. Tämän jälkeen saadaan helposti selville jännityksen suhde venymään, joka kertoo teräksen lujuuden.

Tärkein tulos, mitä teräksen vetokokeella voidaan selvittää, on materiaalin ylempi myötöraja. Suuri osa teräksen ominaisuuksista kerrotaan teräksen ylempään myötörajan avulla. (Kinnunen ym. 2001, 10.)

Vetokokeista saatujen tulosten mukaan uumasauvaprofiilin todellinen myötölujuus oli n. 518 MPa. Paarreprofiilin todellinen myötölujuus oli n. 382 MPa. Kyseisellä materiaalilla ei ollut selkeää ylempää myötörajaa nähtävissä, joten se määriteltiin jännitykseksi, jolla vetokoesauva saa 0,2 %:n suuruisen venymän. Teräksen keskimääräiseen vetolujuuden laskemiseen on määritely omat laskentatapansa (Taulukko 3). Vetokokeiden tulosten perusteella voitiin todeta, että materiaali oli asianmukaista ja laadultaan hyvää. (Liite 5)

Taulukko 3. Teräksen keskimääräinen vetolujuus. (Kaavat: Jarmo Havula, luentomateriaali, 2010)

40x40x3	Ylempi myötöraja	Korjauskerroin	Keskiarvo tuloksista		$f_{yk} = f_{av} \cdot k_{\sigma} \cdot \sigma_x$
Koekappale	f_y	k_{σ}	f_{av}	σ_x	$f_{yk} \text{ (kN)}$
1	528	3,15	533,3	4,88763	517,9
2	532				
3	540				
80x80x3	Ylempi myötöraja	Korjauskerroin	Keskiarvo tuloksista		$f_{yk} = f_{av} \cdot k_{\sigma} \cdot \sigma_x$
Koekappale	f_y	k_{σ}	f_{av}	σ_x	$f_{yk} \text{ (kN)}$
1	440	3,15	424,3	13,486619	381,9
2	407				
3	426				

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (f_{yi} - f_{yav})^2}{n-1}}$$

3.2 Eurokoodin mukainen laskenta

Eurokoodien mukainen mitoitus on hyväksytty laajasti maailmalla. Tämä helpottaa työtä etenkin ulkomaisia kohteita suunniteltaessa sekä tilattaessa ja kilpailutettaessa suunnittelutyötä ulkomailta. Yksi yhteinen standardi myös yhtenäistää rakennesuunnittelua. Kansalliset liitteet tietysti lisäävät tai muuttavat joitain yksityiskohtia mitoituksessa, mutta mitoitusperiaate pysyy samana.

Teräksisen putkiristikon K-liitoksen lujuus

SFS-EN 1993-1-8 (Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1–8: Liitosten suunnittelu) määrää teräsrakenteiden liitosten mitoituksen. Teräsrakenteiden putkiprofiilien välisten liitosten mitoitus eurokoodin mukaan pohjautuu plastisuusteoriaan ja kokeellisiin tuloksiin. Mitoituksen kaavoissa näkyvät kertoimet on lisätty korjaamaan pelkän plastisuusteorian laskennan ja kokeellisten tulosten välistä virhettä.

Esimerkiksi ristikon K-liitoksen mitoituksessa esiintyy muutama yksinäinen numeroarvo ja termi, jotka nostavat liitoksen lujuutta. Laskennallinen lujuus jäisi ilman näitä kertoimia suhteettoman pieneksi ja antaisi turhan paljon varmuutta kestävyydelle. K-liitoksen mitoitus eurokoodin mukaisesti on melko yksinkertainen prosessi, jos eurokoodimitoitus periaatteiltaan on jo ennestään tuttua.

Eurokoodi EN:1993-1-8 Liitosten suunnittelu antaa listan todennäköisistä putkiprofiileilla toteutettujen ristikkoliitosten vaurioitumismuodoista. (Kuva 3) Listassa on esitelty kuusi erilaista vaurioitumismuotoa:

- a) paarteen pinnan murtuminen (paarteen tai paarteen pinnan plastisoituminen)
- b) paarteen sivun murtuminen myötämällä
- c) paarteen leikkausmurtuminen
- d) paarreputken profiilin pinnan leikkauslävistyminen
- e) uumasauvan murtuminen vetomurtona
- f) paikallinen lommahdus uuma- tai paarresauvassa.

Teräksisen putkiristikon K-liitoksen lujuus

Muoto	Aksiaalinen voima	Taivutusmomentti
a		
b		
c		
d		
e		
f		

Kuva 3. Suorakaiteen muotoisten paarre- ja uumasauvojen välisten liitosten murtumismuodot (Kuva: SFS EN:1993-1-8).

Kaikkia vaurioitumismuotoja ei kuitenkaan tarvitse joka tilanteessa tarkastella. Jos liitos täyttää annetut lisäehdot (Taulukko 4), riittää mitoituksessa, kun tarkastelee vain paarteiden pinnan murtumista (Kuva 3, a) ja uumasauvan murtumista. (Kuva 3, e ja Taulukko 5) Laskelmissa pitää tällöin käyttää pienennettyä tehollista leveyttä. (SFS EN:1993-1-8.) Tämä kuitenkin nopeuttaa laskentaa, jos käytössä ei ole valmista laskentarutiinia. Lisäehtojen täytyessä eivät muut murtumismuodot voi missään vaiheessa tulla määrääviksi tekijöiksi.

Taulukko 4. Lisäehdot liitoksen sauvojen poikkileikkausprofileille (Taulukko: SFS EN:1993-1-8).

Teräksisen putkiristikon K-liitoksen lujuus

Uumasauva	Liitostyyppi	Liitosparametrit	
Neliön muotoinen rakenneputki	T, Y tai X	$b_1/b_0 \leq 0,85$	$b_0/t_0 \geq 10$
	Vapaavälinen K tai N	$0,6 \leq \frac{b_1+b_2}{2b_1} \leq 1,3$	$b_0/t_0 \geq 15$
Pyöreä rakenneputki	T, Y tai X		$b_0/t_0 \geq 10$
	Vapaavälinen K tai N	$0,6 \leq \frac{d_1+d_2}{2d_1} \leq 1,3$	$b_0/t_0 \geq 15$

Profiileille määrättyillä lisäehdoilla varmistetaan mm. uumasauvojen keskinäistä mittasuhdetta sekä paarteen seinämävahvuuden suhdetta paarteen profiilin leveyteen. Viimeksi mainittu estää lähinnä liian kapean profiilin käytön paarteena.

Taulukko 5. Suorakaiteen muotoisten uuma- ja parresauvojen välisten hitsattujen K-liitosten aksiaalisten kestävyyksien mitoitusarvot (Taulukko: SFS EN:1993-1-8).

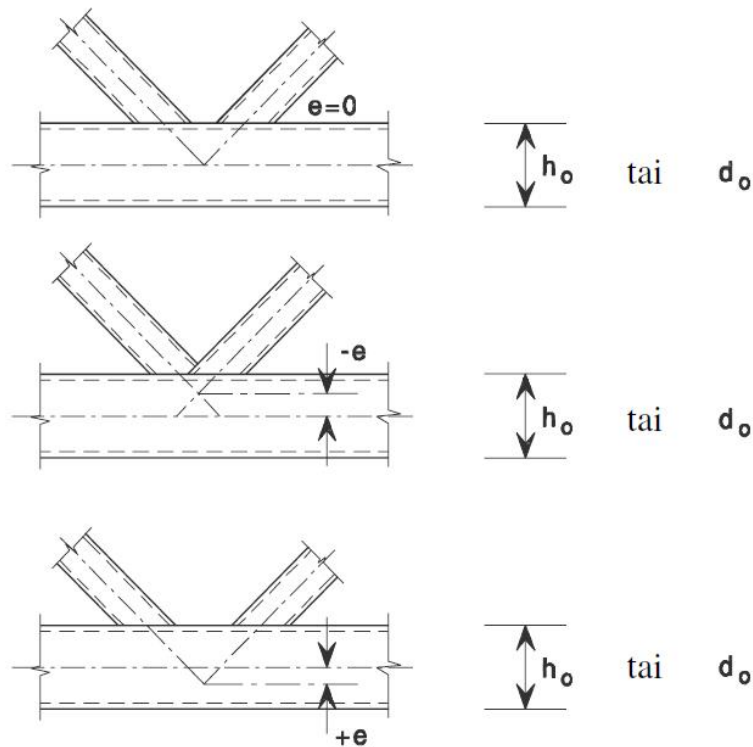
Kestävyyden mitoitusarvo [$i = 1$ tai 2]	
Paarteen pinnan murtuminen	
$N_{i,Rd} = \frac{8,9k_n f_{y0} t_0^2 \sqrt{\gamma} (b_1 + b_2 + h_1 + h_2)}{\sin \theta_i} / \gamma_{M5}$	
Paarteen leikkautuminen	
$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3} \sin \theta_i} / \gamma_{M5}$	
$N_{0,Rd} = \left[(A_0 - A_v) f_{y0} + A_v f_{y0} \sqrt{1 - (V_{Ed} / V_{pl,Rd})^2} \right] / \gamma_{M5}$	
Uumasauvan murtuminen	
$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (2h_i - 4t_i + b_i + b_{eff}) / \gamma_{M5}$	
Lävistysleikkautuminen	$\beta \leq (1 - 1/\gamma)$
$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3} \sin \theta_i} \left(\frac{2h_i}{\sin \theta_i} + b_i + b_{e,p} \right) / \gamma_{M5}$	

Pinnan murtumista laskettaessa kerroin k_n huomioi liitoksen kohdalla paarteessa vaikuttavan mahdollisen taivutusmomentin laskien liitoksen laskennallista lujuutta. Tämä kerroin myös huomioi vapaavälistä ja uumasauvojen

Teräksisen putkiristikon K-liitoksen lujuus

kulmasta pääasiassa riippuvaisen liitoksen epäkeskisyyden e . (Kuva 4) Kerrotoimella alennetaan myös paarteen pinnan kapasiteettia, jos paarre on puristettu.

Voimakas puristusjännitys saattaa aiheuttaa paarteen pinnassa paikallisen lommahduksen. Paikallinen lommahdus on yleinen murtotapa, kun kyseessä on ohut levymäinen rakenne. Paarteen pinta saattaa muodostaa riittävän ohuen levyrakenteen, vaikka se onkin vain osa koko profiilia. Lommahdus heikentää huomattavasti paarteen pinnan kykyä kantaa kuormia ja paarteen poikkileikkauksen kykyä vastustaa puristusjännitystä.



Kuva 4. Vapaavälisen sekä limitetyn K-liitoksen epäkeskisyyden e (Kuva: SFS EN:1993-1-8).

Limitetyille K-liitoksille annettujen uuma- ja paarrepoikkileikkausten profiileille, liitoksien geometrioille ja uumasauvojen ja paarteiden välisille hitsausliitoksille on annettu eurokoodissa mitoitusohjeita. Kaikkien annettujen mitoitusohjeiden on täyttyvä, jotta mitoitusohjeen antamia kaavoja voidaan hyödyntää liitoksen lujuuden laskemiseen.

Yllättävää eurokoodin mukaista laskentaa tarkasteltaessa on se, ettei uumasauvojen vapaaväli vaikuta suoraan laskentaan mitenkään. Vapaavälin pituus pitää valita siten, että kaikki mitoitusohjeet täyttyvät. Kaikista mitoitusohjeista vain kaksi määrää vapaavälin pituudesta. (Taulukko 6) Jos paarteen pinnan lujuuteen perehtyy esimerkiksi puhtaan plastisuusteorian kautta, on vapaavälin pituudella suuri merkitys pinnan myötäämiseen vaadittavaan voimaan. Tähän tosin löytyy selitys, joka myöhemmin tulee ilmi.

Teräksisen putkiristikon K-liitoksen lujuus

Taulukko 6. Pyöreiden ja suorakaiteen muotoisten uumasauvojen ja suorakaiteen muotoisten parresauvojen välisten hitsausliitosten pätevyysrajat (Taulukko: SFS EN:1993-1-8).

Liitostyyppi	Liitosparametrit [$i = 1$ tai 2 , $j =$ limitetty uumasauva]					
	b_i/b_0 tai d_i/b_0	b_i/t_i ja h_i/t_i tai d_i/t_i		h_0/b_0 ja h_i/b_i	b_0/t_0 Ja h_0/t_0	Vapaavälinen tai limitetty liitos b_i/b_i
		Puristus	Veto			
T, Y tai X	$b_i/b_0 \geq 0,25$	$b_i/t_i \leq 35$ ja $h_i/t_i \leq 35$			≤ 35 ja Poikkileikkausluokka 2	–
Vapaavälinen K-liitos	$b_i/b_0 \geq 0,35$ ja $\geq 0,1 + 0,01 b_0/t_0$	ja Poikkileikkausluokka 2	$b_i/t_i \leq 35$ ja $h_i/t_i \leq 35$	$\geq 0,5$ mutta $\leq 2,0$	≤ 35 ja Poikkileikkausluokka 2	$g/b_0 \geq 0,5(1 - \beta)$ mutta $\leq 1,5(1 - \beta)$ ¹⁾ kuitenkin vähintään $g \geq t_1 + t_2$
Vapaavälinen N-liitos					Poikkileikkausluokka 2	
Limitetty K-liitos	$b_i/b_0 \geq 0,25$	Poikkileikkausluokka 1			Poikkileikkausluokka 2	$\lambda_{ov} \geq 25\%$ mutta $\lambda_{ov} \leq 100\%$ ²⁾ ja $b_i/b_j \geq 0,75$
Limitetty N-liitos						
Pyöreä uumasauva	$d_i/b_0 \geq 0,4$ mutta $\leq 0,8$	Poikkileikkausluokka 1	$d_i/t_i \leq 50$	Kuten edellä, mutta b_i korvataan d_i :llä ja b_j korvataan d_j :llä.		

¹⁾ Jos $g/b_0 > 1,5(1 - \beta)$ ja $g > t_1 + t_2$ liitosta käsitellään kahtena erillisenä T- tai Y-liitoksena.
²⁾ Limitystä voidaan kasvattaa, jotta limitetyn uumasauvan reuna voidaan hitsata parresauvaan.

Eurokoodin mitoitusohjetta käyttämällä saatiin liitoksen todelliseksi kuormankantokyvyksi noin 64,5 kN. (Liite 6) Laskennan kuormituskapasiteetti oli ohjeen mukaan loppujen lopuksi sama kuin mitoitusilanteen vastaava, koska ristikkoliitoksen osavarmuusluku käytetään 1.0:aa. Kaikki mitoitus ehdot täyttyivät neljässä kappaleessa, ja lopuilla kolmella kappaleella ehtojen täytyminen jäi vajavaiseksi vapaavälin pituuden osalta. Nämä lujuudet on laskettu käyttäen teräksen todellista myötölujuutta.

3.3 Plastisuusteorian mukainen laskenta

Vaikka eurokoodimitoitus ristikon K-liitoksen osalta perustuukin plastisuusteoriaan, on tämän tutkimustyön yhtenä osa-alueena ollut laskea karkea paarten pinnan myötämiseen vaadittava voima hyödyntäen myötöviiva-teoriaa. Tästä kyseisestä laskentatavasta käytetään muutamaa eri nimitystä, mm. ykkössiirtymämenetelmä ja virtuaalisen työn menetelmä.

Virtuaalisen työn menetelmän päätavoitteena on laskea tarvittava työ, jotta materiaalin myötömomentti saavutetaan. Laskenta perustuu materiaalin sisäisen työn laskemiseen, jonka jälkeen lasketaan vaadittava voima, jolla saavutetaan sama arvo. Voiman arvoa kutsutaan ulkoiseksi työksi. Menetelmällä etsitään siis momenttia, jolla rakenne myötää ja jolla siihen muodostuu ensimmäinen plastinen nivel.

Teräksisen putkiristikon K-liitoksen lujuus

Laskentatapa sopii erityisen hyvin isotrooppisesti ja anisotrooppisesti raudoitetuille teräsbetoni-laatoille. Teräkselle menetelmä sopii myös hyvin sen ollessa hyvin homogeeninen materiaali. (Korkeamäki, keskustelu 10.12.2015.) Laskentaa voidaan soveltaa myös palkkeihin, jolloin menetelmän periaate ja ymmärrettävyys helpottuvat ja laskenta yksinkertaistuu.

Kokonaisen putkiprofiilin kaikkien pintojen tarkastelu samanaikaisesti virtuaalisen työn menetelmällä muodostaa nopeasti erittäin monimutkaisen laskennan. Tästä syystä kannattaa tutkia vain yhtä profiilin osaa kerrallaan. Menetelmään sisältyy muutama pakollinen oletus ja yksinkertaistus, jotta se voidaan suorittaa käsin. Lisäksi laskennan paikkansapitävyyden ehtona on, että tutkittavalla rakenteella tulee olla riittävä muodonmuutoskapasiteetti. Menetelmä ei huomioi lainkaan syntyviä leikkausvoimia, mikä aiheuttaa epätarkkuutta.

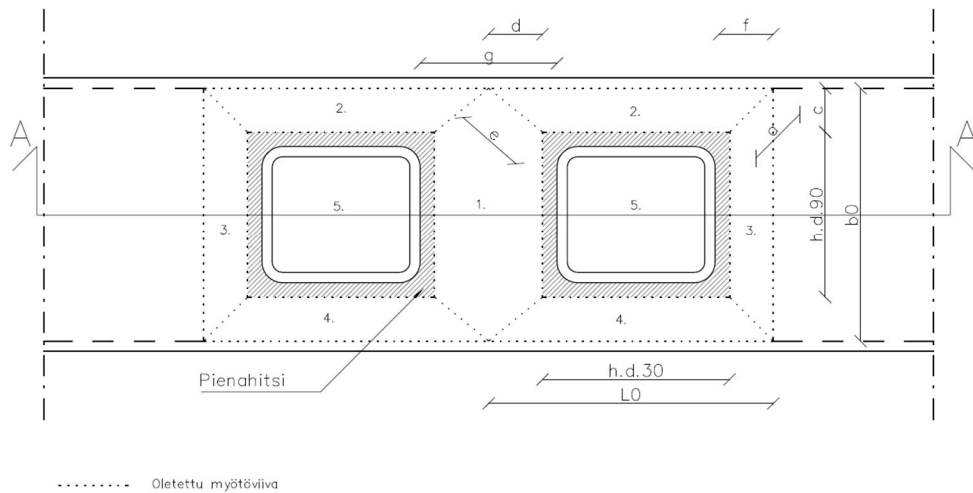
Plastisuusteoria perustuu rakenteeseen syntyvien myötönivelten etsimiseen. Teorialla voidaan huomioida piste-, viiva- ja tasokuormia. Myötönivelten paikat ja pituudet pitää yleensä arvata, koska nivelten pituuksien tarkka selvittäminen vaatisi esimerkiksi tässä tapauksessa pitkän ja mutkikkaan differentiaaliyhtälön muodostamisen ja ratkaisemisen. Yleensä tämä ei myöskään lisää merkittävästi laskennan tarkkuutta verrattuna valistuneeseen arvaukseen. Nivelten pituuksia kannattaa muuttaa muutama kerta ja laskea uusi lopputulos, jolloin tulos tarkentuu suoritetun iteroinnin seurauksena.

Lisäksi myötöviivojen pituuksia veikattaessa lähestytään ratkaisua liian pitkien myötöviivojen puolelta. Tämän seurauksena laskettu myötömomentti saattaa jäädä rakenteen todellista lujuutta suuremmaksi. Tästä syystä muutama iterointi on enemmän kuin suositeltavaa.

Koska teräs on homogeeninen materiaali, voimme olettaa, että myötöviivat lähtevät uumasauvan hitsisauman ulkonurkasta 45° :n kulmassa. Nivelet kulkevat aina parreprofiilin uumaan asti ja yhdistyvät toisiinsa suorin linjoin. Vapaavälin kohdalla vierekkäisten uumasauvojen nurkista lähtevät myötönivelet kulkevat suoraan toisiaan vastaan paarteen uumalle. Vapaaväliin ei myöskään muodostu paarteen poikkisuuntaista niveltä, koska toinen sauvoista on vedetty ja toinen puristettu. Näin ollen vapaaväliin oletetaan muodostuvan tasainen laatta, joka kiertyy suorana tasana. Tällä tavoin laskettuna myötöviivojen etäisyydet on saatu optimoituja suhteessa momentin saamaan momenttivarten. Paarteen pinnan kuormitus on laskettu viiva-kuormana uumasauvojen profiilin ympärillä kiertävän hitsauksen ulkokehällä.

Myötöviivateoriaa ei voida hyödyntää, kun lasketaan ristikkoliitoksia, joiden vapaavälit ovat pieniä. Vapaaväliltään 30 mm oleva liitos pysyy lopputulokseltaan vielä suhteellisen lähellä eurokoodimitoituksen antamaa myötökuormaa, mutta jo 20 mm:n vapaavälin liitoksen laskeminen alkaa tuottaa melko suurta virhettä. Vapaavälin pienentyessä paarteen pintaan alkaa muodostua leikkausjännityksiä, joita laskenta ei huomioi. Tämän lisäksi myötöviivateorian laskennan mukaan uumasauvasta välittyvällä voimalla ei ole riittävästi vartta, jotta saataisiin aikaiseksi riittävän suuri momentti myötöniveleen nähden. (Kuva 5)

Teräksisen putkiristikon K-liitoksen lujuus



Kuva 5. Myötöviivateorian mittalyhenteiden ja nivelten havainnekuva. (Kuva: Jere Konttila)

Myötöviivateorian mukaisella laskennalla saatiin paarteen pinnan myötäämiseen vaadittavaksi sauvavoimaksi 40 mm:n vapaavälillä noin 53 kN (Taulukko 7). Vapaavälillä 10 ja 5 mm laskennallinen pinnan myötääminen tapahtuisi kummassakin vasta 1154 kN:n kuormituksella. (Liite 3)

Kahdesta viimeisestä tuloksesta voidaan huomata, kuinka suuri merkitys leikkausjännityksellä on pinnan kuormituskapasiteettiin suhteessa taivutusjännitykseen. Laskennan antamaa virhettä pohdittaessa tultiin lopputulokseen, että edellä mainittu ehto rakenteen muodonmuutoskyvystä ei tulisi enää täyttymään vapaavälin ollessa alle 20 mm.

Taulukko 7. Laskelmien yhteenvetotaulukko.

Koe kappale vapaaväliltään	Eurokoodilaskennan mukainen kestävyys (kN) kun $f_y=355$ Mpa	Eurokoodilaskennan mukainen kestävyys (kN) kun $f_y=381,9$ Mpa	Plastisuusteorian mukainen kestävyys (kN) kun $f_y=355$ Mpa	Plastisuusteorian mukainen kestävyys (kN) kun $f_y=381,9$ Mpa
40 mm	59,9	64,5	52,7	53,5
30 mm	59,9	64,5	54,8	55,6
20 mm -1	59,9	64,5	67,9	68,9
20 mm -2	59,9	64,5	67,9	68,9
15 mm	59,9	64,5	113,2	114,9
10 mm	59,9	64,5	1154,4	1171,0
5 mm	59,9	64,5	1154,4	1171,0

Myötöviivateorian hyödyntäminen työssä vaikutti tämän laskennan jälkeen epätodennäköiseltä, koska sen antamat tulokset olivat osaksi paljonkin alhaisempia ja toisaalta aivan liian korkeita verrattuna eurokoodimitoituksen vastaaviin.

Kun myötöviivateoriolla laskettiin liitoksen lujuutta, ja myötölujuutena käytettiin paarteen todellista myötörajaa 382 MPa, saatiin 40 mm:n vapaavälillä tulokseksi 54 kN. Vapaavälillä 30 mm tulos oli 55 kN ja 20 mm:n

vapaavälillä 69 kN. 15 mm:n vapaavälillä tulos oli 115 kN ja 10 mm:n ja 5 mm:n vapaavälillä 1171 kN. (Liite 7)

4 KOEJÄRJESTELYT

Koestustapa, jolla koekappaleiden kuormitus suoritettiin, oli tarkoin mietitty luotettavan lopputuloksen saavuttamiseksi. Koekappaleiden muodon ja testikehän ominaisuuksien vuoksi niitä ei voida koestaa ilman avustavia tukirakenteita, joten testejä varten kehitetty koestusjigi oli välttämättömyys.

4.1 Koestustapa

Koekuormitukset toteutettiin HAMK Ohutlevykeskuksessa testikehällä. Kuormitus suoritettiin yhtä hydraulitoimista sylinteriä käyttäen. Sylinterillä pystytään kohdistamaan enimmillään 250 kN:n voima joko vetona tai puristuksena. (Kuva 6)

Koekappaleita tultiin näissä testeissä puristamaan toisesta uumasauvasta. K-liitoksen kiinnitystavalla koestusjigiin ja testikehään voidaan aiheuttaa toiseen uumasauvaan vetojännitys ja alapaarten toiseen päähän puristusjännitys. Alapaarten toinen pää on vapaana, mistä syystä testi ei anna täysin todellista käyttötilannetta vastaavaa tietoa alapaarten jännitysten osalta. Opinnäytetyössä tutkittavan uumasauvojen ja alapaarten välisen liitoksen tarkasteluun tämä ei kuitenkaan vaikuta merkittävästi.

Koestus suoritettiin kahdessa osassa. Ensimmäisessä osassa liituskappaletta koestettiin lähes mitoitusstandardin antamalla, suurimmalla sallitulla kuormituksella 55 kN. Koekappaleeseen kohdistetun voiman saavuttaessa 55 kN, kuormitus poistettiin kokonaan. Kuormitus poistettiin kokonaan, jotta voitiin mitata, onko liitokseen jäänyt jo pysyviä muodonmuutoksia.

Eurokoodin antamalla todellisella kuormituskapasiteetilla kuormitettaessa pitäisi koko paarten pinnan poikkileikkauksen olla plastisoitunut, mutta murtoa ei pitäisi vielä tapahtua. Kun kuormitus oli poistettu, tarkistettiin, oliko liitokseen jäänyt pysyviä muodonmuutoksia. Tarkistus suoritettiin silmämääräisesti kappaleesta ja kuormitus sylinterin antureiden antamaa tietoa analysoimalla.



Kuva 6. Ohutlevykeskuksen testikehä. (Kuva: Jere Konttila)

4.2 Avustavat rakenteet

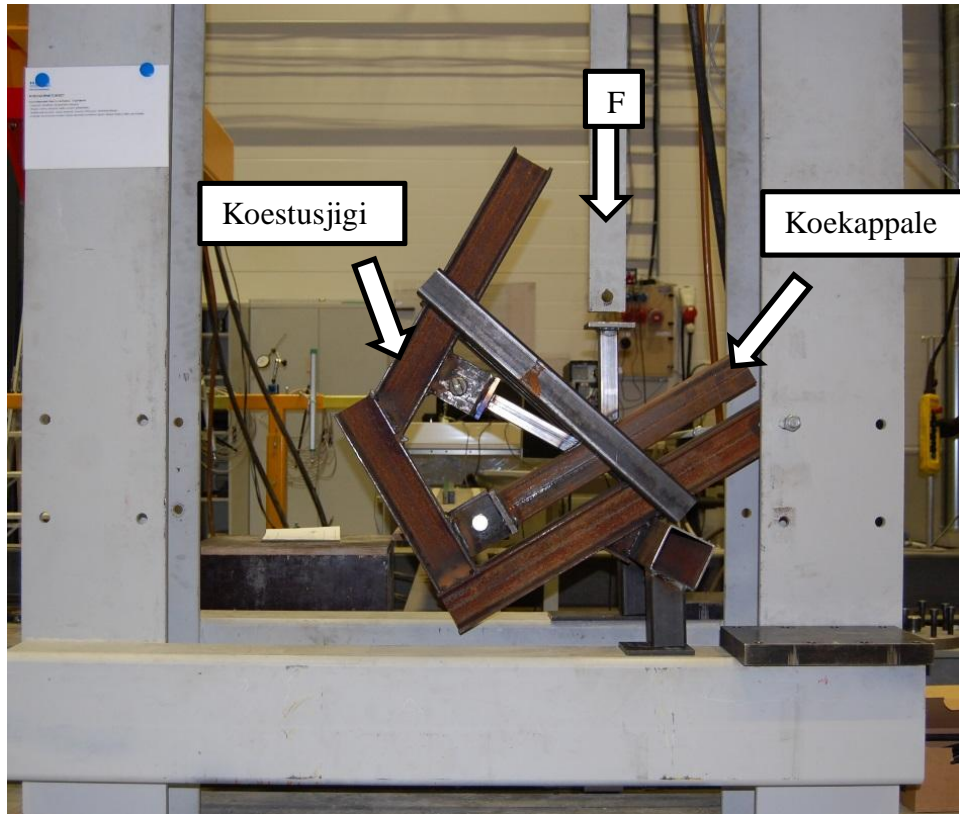
Koestuksesta tehtiin prototyyppi, jolla selvitettiin testikappaleen kiinnittämistä ja käyttäytymistä testitilanteessa. (Kuva 7) Haasteiksi ilmenivät koekappaleen kiinnittäminen ja tukeminen sivuttaissuunnassa, jotta sylinterin aiheuttama puristusvoima ei välittyisi diagonaalista alapaarteeseen epätaisisesti.

Koekappaleiden kiinnitys jigiin tehtiin kahdella nivelliitoksella, mikä vastaisi todellista käyttötilannetta melko hyvin. Koestustilanteessa kappaleen muodonmuutoksia ei pyritty liikaa rajoittamaan. Koekappaleiden muodonmuutokset etenkin liitoksen kohdalla paarteiden pinnassa ja kyljissä haluttiin

Teräksisen putkiristikon K-liitoksen lujuus

nähdä mahdollisimman hyvin. Muodonmuutosten oletettiin olevan vähäisiä, mutta kuitenkin silminnähtäviä.

Uumasauvaan kohdistettava voima välitettiin puristussylinteristä teräksisen varren avulla. Varren ja uumasauvan välillä ei ollut mitään kiinteää liitosta. Uumasauvan päähän oli hitsattu lappeelleen 100 x 100 x 10 mm:n teräslappu materiaaliltaan S355J2, mikä jakoi varren aiheuttaman kuormituksen tasaisemmin koko uumasauvan poikkileikkaukselle.



Kuva 7. Prototyypin koestuksen alkutilanne. Voima F, koestusjigi ja koekappale. (Kuva: Jere Konttila)

Koekappaleen kiinnittämistä varten testikehään rakennettiin erityinen koestusjigi, jolla kappale saatiin kiinnitettyä ja säädettyä oikeaan asentoon puristussylinteriin nähden. Testissä käytetty koestusijigi ja prototyyppi ristikkoliitoksesta rakennettiin itse. Jigiä suunniteltaessa pohdittiin voimien kohdistumista sen rakenteisiin ja kuinka niitä voitaisiin kaikkein tehokkaimmin vastustaa. Jigin materiaalit ja profiilit valittiin riittävän vahvoiksi, jotta itse jigin muodonmuutokset kokeiden aikana jäisivät mahdollisimman pieniksi. Tämän seurauksena jigissä tapahtuvat muodonmuutokset jäivät kokeissa olemattomiksi.

Koestusijigin kehärakenne on profiililtaan HEA 100, ja materiaalina on käytetty S355J2-laadun terästä. Jigin vinotuet yläpaarteesta alapaarteeseen ovat profiililtaan 60 x 60 x 3 mm ja teräslaadultaan S355J2H. Koekappaleen kiinnittämiseen tarvittavina korvakkeina jigissä on käytetty 100 x 100 x 10 mm:n S355J2-teräslappuja, joita on hitsattu kaksi kappaletta kumpaakin niveltä kohden. Kaikki liitokset jigissä on hitsattu ympäri profiilin jatkuvalla pienahitsillä, a-mitaltaan noin 5 mm.

Prototyyppiä koestettaessa koekappale alkoi kääntyä toiselle sivulle, jolloin puristettu diagonaali alkoi painua toisesta kyljestään huomattavasti voimakkaammin paarteen pintaan. Tämä vääristää testituloksia, koska diagonaalin puristusvoima alkaa jakautua epätasaisesti sen poikkipintaan nähden. Yhä pienemmälle alueelle kohdistuva puristusjännitys alkaa kasvaa suhteettoman nopeasti ja aiheuttaa tositilanteen vastaisia muodonmuutoksia paarteen pintaan.

Pelättyä koekappaleiden sivulle vääntymistä ei päässyt tapahtumaan varsinaisen koestuksen aikana. Tähän oli varauduttu hitsaamalla koestusjigiin pienet teräslaput vinositeiden sisäpintoihin tukemaan koekappaleita sivuttaissuunnassa alapaarteen alapinnan tasolta. Koekappaletta varottiin tukemasta suoraan paarteen uumasta, koska siinä oletettiin myös tapahtuvan muodonmuutoksia testin aikana.

Testikehän puristussylinteriin jouduttiin myös kiinnittämään jatkovarsi, koska sylinteri oli liian korkealla puristaakseen suoraan diagonaalia. Sylinterin jatkovarsi oli testin aikana yksi muodonmuutosta vääristävistä tekijöistä, mutta senkään muodonmuutokset (nurjahdus) eivät olleet kokeen aikana vaikuttavilla voimilla merkittäviä.

Koestusta varten jigi tuettiin paremmin paikoilleen prototyypin koestuksen kokemusten perusteella. Tällä tavoin saatiin tarkempaa tietoa muodonmuutoksien suuruudesta paarteen yläpinnassa. Lisäksi testikehästä tiivistettiin kaikki raot ja liitokset jatkovarren ja puristussylinterin sekä jigin takaosan ja poikittaisen HEA 140:n välistä peltilevyillä.

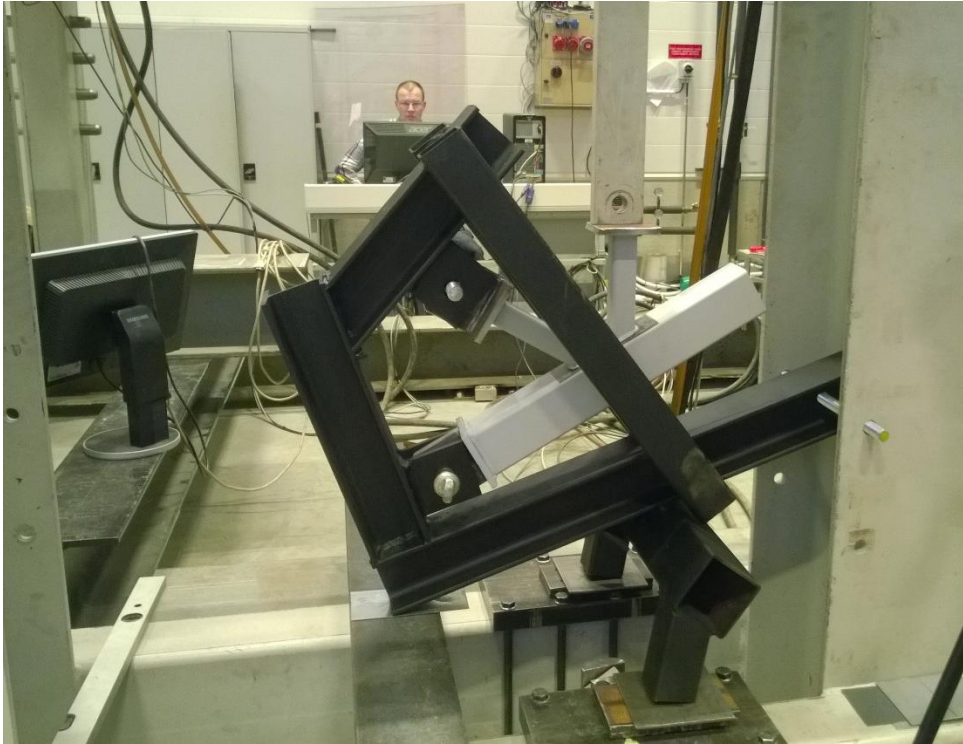
Koekappaleet ja koestusjigi maalattiin, jotta tulosten havainnointi silmämääräisesti helpottuisi. Koekappaleisiin maalattiin lasikuituteippiä sabluunana käyttäen noin 2 x 2 mm:n verkko liitoskohdan ympärille. (Kuva 8) Maalattu verkko auttoi hahmottamaan muodonmuutoksia sen venyessä paarteen pinnan mukana. Paarteen pinnasta haluttiin nähdä ja selvittää myötöviivateorian ennustamat plastiset myötönivelet sekä niiden suunnat ja pituudet. Tuloksia voitiin verrata laskelmissa päätelyihin myötöviivakuvioihin. Koska verkkoa ei maalattu käyttäen tarkkaa sabluunaa, ei sitä voinut hyödyntää muodonmuutosten mittaamiseen optisilla laitteilla.



Kuva 8. Verkkokuvio havainnoinnin helpottamiseksi. (Kuva: Jere Konttila)

5 TERÄSRISTIKON K-LIITOSTEN KOESTUS

Liitosten koestus tapahtui Ohutlevykeskuksella 5.2.2016, ja se onnistui suunnitelmien mukaan. Koestustapahtumasta ja tutkimustyöstä tehtiin lehtiartikkeli Hämeen Sanomiin (Numero 44, 138. Vuosikerta). Puristavan sylinterin jatkoksi asennettu teräsvarsikaan ei nurjahtanut missään vaiheessa. Voimat olivat niin pieniä suhteessa jatkovarren poikkileikkauksen geometriaan, ettei tähän ollut mahdollisuutta. (Kuva 9)



Kuva 9. Koestuksen alkutilanne. (Kuva: Jere Konttila)

Todellisessa tilanteessa teräsristikossa oleva alapaarteen K-liitos kiertyy hieman. Yläpaarre ja yläpaarteen K-liitoksesta lähtevät uumasauvat saavat tällaisessa tilanteessa myös kiertymää. Uumasauvat ovat profiililtaan usein myös sellaisia, että ne nurjahtavat helpommin tai saavat verrattain enemmän taipumaa kuin valitut paarreprofiilit. Tällöin uumasauvan päät kiertyvät K-liitoksiensa mukana hieman. Veto- ja puristusjännitykset pääsevät tasaantumaan uumasauvojen eri sivuilla jonkin verran paremmin kuin kokeessa. Uumasauvat pitäisi mitoitaa myös nurjahdukselle, mutta senkin jälkeen sallittu kiertymä sauvojen päissä voi riittää jännitysten tasaantumiselle.

Tällaisten kiertymien huomioiminen eurokoodimitoituksessa on mahdollonta, mutta oletettavasti se on huomioitu, kun koko mitoitussmallia on kehitetty. Myötöviivateoriaan jännitysten epätasaisen jakautumisen voi liittää esimerkiksi erittelemällä kunkin sivun aiheuttaman viivakuorman erisuuruiseksi. Oheisissa laskelmissa tätä ei tehty, vaan laskenta yritettiin pitää mahdollisimman yksinkertaisena.

Muita huomioitavia asioita koestuksessa olivat mahdollisimman pitkän varren käyttö puristussylinterin jatkeena. Koestuksen aikana vaarana saattaa olla sylinterin vahingoittuminen, jos koekappale äkisti nurjahtaa sivulle tai esimerkiksi jigi pettää. Jos sylinteriä pitää työntää kovin ulos koestuksen aikana, riski koestussylinterin männän vääntymiselle tai muulle vaurioitumiselle kasvaa huomattavasti.

6 KOESTUSKSEN TULOKSET

Koestusten tulokset olivat monella tapaa yllättäviä (Taulukko 8 ja Taulukko 9). Kaikkien koekappaleiden kohdalla alapaarteen pinnan myötääminen oli eurokoodimitoituksen mukaan todennäköisin murtotapa. Koestuksessa kuitenkin huomattiin, ettei niin ollut jokaisen koekappaleen kohdalla. Syyt saatiin tuloksiin olivat hankalia selvittää, koska kokeessa oli niin monta muuttujaa ja todellisesta käyttötilanteesta yksinkertaistettua asiaa.

Taulukko 8. Koestusten tulokset kuormituksen suhteen.

Koekappale vapaaväliltään	Eurokoodi		Myötöviiviteoria	Koetus (kN)	Murtotapa
	Paarteen pinnan myötö (kN)	Paarteen pinnan leikkautumisen (kN)	Paarteen pinnan myötö (kN)		
40 mm	64,5	194,6	53,5	58,9	Paarteen pinnan leikkausmurto HAZ-vyöhykkeeltä
30 mm	64,5	194,6	55,6	71,2	
20 mm -1	64,5	194,6	68,9	84,3	
20 mm -2	64,5	194,6	68,9	78,2	
15 mm	64,5	194,6	114,9	82,8	
10 mm	64,5	194,6	1171,0	85,8	
5 mm	64,5	194,6	1171,0	120,7	Uumasauvan vetomurto HAZ-vyöhykkeeltä

Taulukko 9. Koestuksen tulokset muodonmuutosten suhteen.

Koekappale vapaaväliltään	Plastiset muodonmuutokset (mm), kun voima oli 55 kN	Koetus (kN)
40 mm	7,1	59
30 mm	4,8	71
20 mm -1	-	84
20 mm -2	3,2	78
15 mm	3,0	83
10 mm	2,1	86
5 mm	1,9	121

Mitoitusehtojen mukaisilla, vapaaväliltään 20, 30 ja 40 mm:n, kappaleilla lopullinen murtotapa oli eurokoodin suuntainen. Suuria pysyviä muodonmuutoksia syntyi liitokseen jo laskennan kuormilla. Vapaaväliltään mitoitusehtojen vastaisilla koekappaleilla murtotapa oli myös saman tapainen lukuun ottamatta vapaavälillä 5 mm valmistettua liitosta. Tämä kappale murtui lopullisesti vedetyn uumasauvan vetolujuuden ylittyessä.

6.1 Mitoitusehtojen mukaiset vapaavälit

Eurokoodimitoituksen ehtojen mukaiset liitokset menettivät kantokyvyn tavalla, jonka mitoitusmalli ennusti. Testin ensimmäisessä vaiheessa, jossa kuormitus poistettiin lähes eurokoodilaskennan antaman todellisen lasketun kuormituskapasiteetin kohdalla, tehtiin heti mielenkiintoisia havaintoja.

Teräksisen putkiristikon K-liitoksen lujuus

Paarteen pintaan oli jäänyt suuria pysyviä muodonmuutoksia jo tällä, 55 kN:n, voimalla.

K-liitos vapaaväliltään 40 mm murtui vedetyn uumasauvan ja alapaarteen välisen hitsausliitoksen juuresta noin 59 kN:n suuruisella voimalla, mikä tuli suurena yllätyksenä. (Kuva 10) Liitoksen mitoitusohjeessa ei vaikuttanut tämän testin perusteella olevan lainkaan varmuutta murtoon nähden. Liitoksen heikkoa kestävyyttä voi selittää mm. se, että 40 mm:n vapaaväli oli pisin ehtojen sallima. Kyseistä koekappaletta sai juuri ja juuri käsitellä K-liitoksena. Jos vapaaväli olisi ollut suurempi, olisi uumasauvojen ja paarteen välistä liitosta pitänyt käsitellä kahtena erillisenä Y-liitoksena.

Pienahitsi itsessään ei pettänyt, vaan paarteen pinta leikkautui hitsin ulkokehää pitkin oletetulta HAZ-vyöhykkeeltä. Hitsaukset kestivät jokaisessa koekappaleessa tarvittavan kuormituksen, eikä niiden valmistuksessa ollut tapahtunut näkyviä virheitä. Saumat näyttivät hyvin tasalaatuisilta ja asianmukaisesti hitsatuilta. Hitsauksen aikana teräkseen mahdollisesti syntyvien HAZ-vyöhykkeiden muodostumista ja laajuutta ei tosin voitu tarkastaa. HAZ-vyöhykkeen mahdollinen muodostuminen voi vaikuttaa suuresti kappaleiden lopulliseen lujuuteen.

Paarteen pinnassa tapahtuvat muodonmuutokset olivat selkeästi nähtävissä koekappaleissa, joiden vapaaväli oli mitoitusehtojen mukainen. Kaikista suurimmat pinnan muodonmuutokset syntyivät odotusten mukaisesti kappaleessa, jossa oli pisin vapaaväli. Muodonmuutoksia mitattiin sylinterin pään siirtymän avulla, eli muodonmuutosten suuruudella tarkoitetaan tässä paarteen pinnan painumisen ja venymisen siirtymää 60 °:n kulmassa paarteeseen nähden.



Kuva 10. K-liitos vapaaväliltään 40 mm. (Kuva: Jere Konttila)

Koekappaleissa oli havaittavissa murtotilanteen jälkeen myös muita muodonmuutoksia. Alapaarteen kylki oli kappaleissa pahoin lommahtanut uumasauvojen liitoksen kohdalla. (Kuva 11) Paikallinen lommahtaminen tapahtuu paarteeseen muodostuvien leikkausvoimien vaikutuksesta. Leikkausvoimat pyrkivät nimensä mukaisesti leikkaamaan paarteen, mutta tätä

Teräksisen putkiristikon K-liitoksen lujuus

profiilin uumat vastustavat voimakkaasti. Lommahtamisen suunnan määrää tässä tapauksessa uumasauvoissa vaikuttavien voimien suunta.

Alapaarteen kyljen ja yläpinnan välinen kulma pyrkii pysymään 90-asteisena. Vedetty uumasauva vetää paarteen pintaa, joka vaikuttaa kulmaan yrittäen avata ja kiertää sitä. Tätä paarteen kylki eli uuma vastustaa. Lopulta, kun uumasauvassa vaikuttava voima kasvaa tarpeeksi suureksi, kylki painuu sisään. Tätä myötäämistä kutsutaan paikalliseksi lommahtamiseksi. Puristavan uumasauvan kohdalla ilmiö on päinvastainen voimien suhteen, jolloin kylki pullahtaa ulos. Lommahtamisen suunnalla ei tässä ole merkitystä lujuuden heikkenemiseen.



Kuva 11. Koekappaleen kyljen lommahdus. (Kuva: Jere Konttila)

Testikappale 30 mm:n vapaavälillä (Kuva 12) murtui paarteen pinnasta HAZ-vyöhykettä mukailleen lähes ympäri vedetyn uumasauvan.

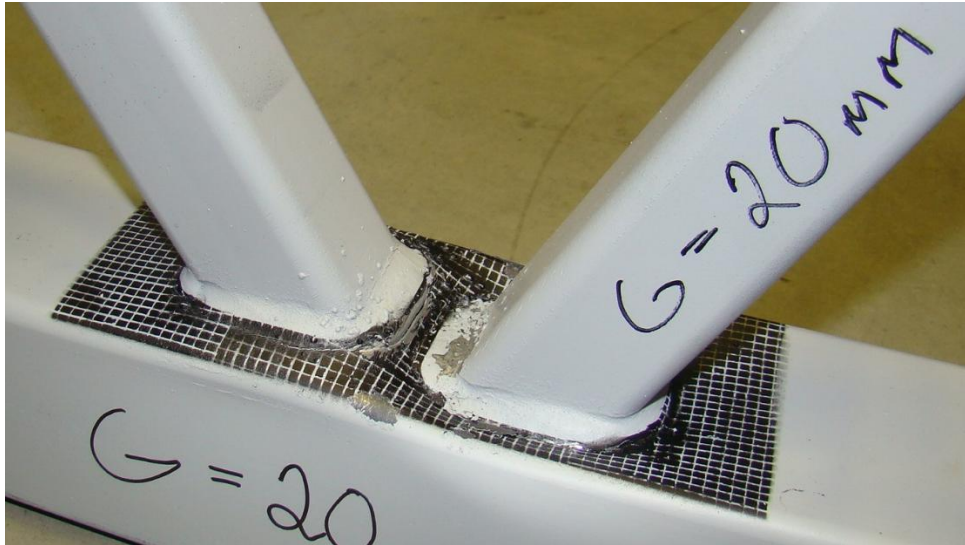


Kuva 12. K-liitos vapaaväliltään 30 mm, lopullinen murtuminen HAZ-alueessa. (Kuva: Jere Konttila)

Koska liitoksia 20 mm:n välillä päätettiin tilata kaksi kappaletta, koestettiin toinen niistä yhdessä vaiheessa kerralla murtoon asti. Tällä tavoin saatiin myös hyvä vertailutulos muille testituloksille. Tästä kappaleesta haluttiin

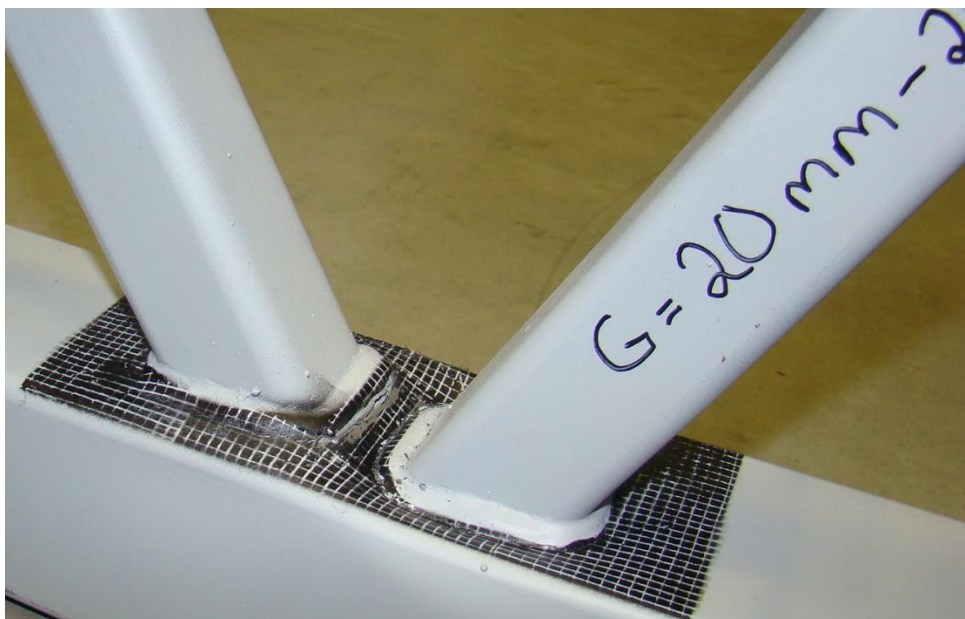
Teräksisen putkiristikon K-liitoksen lujuus

myös saada varmasti pätevä ja onnistunut koestustapahtuma, koska se oli mitoitussehtojen mukaan valmistettu pienimmällä mahdollisella vapaavälillä. Kappaleen oletettiin olevan erityisen mielenkiintoinen sen ollessa niin sanottu rajatapaus. Ensimmäinen kappaleista koestettiin heti murtoon asti ja se kesti noin 84 kN:n kuormituksen. (Kuva 13)



Kuva 13. K-liitos vapaaväliltään 20 mm, jossa yksivaiheinen koestus murtoon saakka. (Kuva: Jere Konttila)

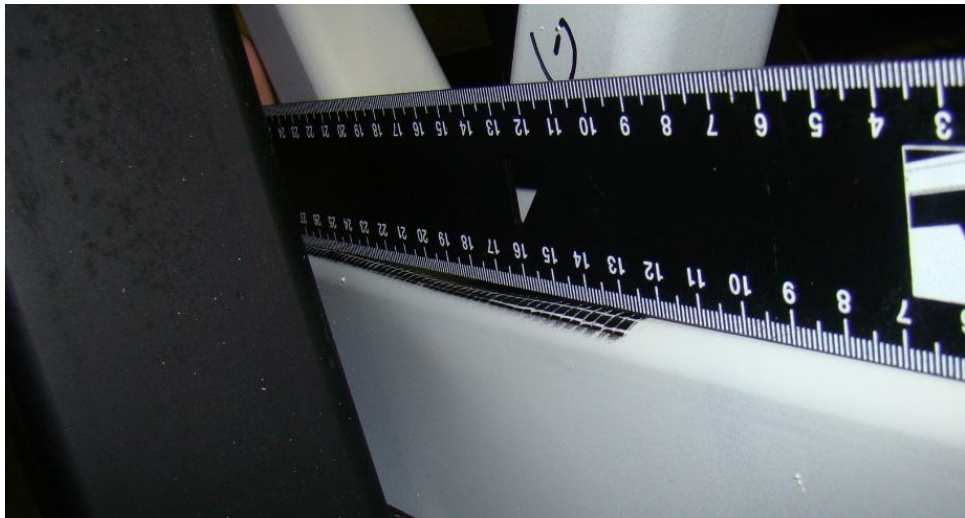
Toinen 20 mm:n vapaavälin liitoksista koestettiin kahdessa osassa kuten muutkin kappaleet. (Kuva 14) Liitos pystyi vastustamaan noin 78 kN:n suurista voimia. Kappaleiden murtolujuuden välillä ei ollut suurtakaan eroa huolimatta siitä, että toista kappaletta oli jo koestettu huomattavasti teräksen kimmoisan muodonmuutosalueen ulkopuolelle. Ero murtolujuudessa oli tosin niin päin, ettei kahdessa vaiheessa koestettu liitos pystynyt kantamaan enää aivan yhtä suurta kuormaa kuin kerralla murtoon asti koestettu.



Teräksisen putkiristikon K-liitoksen lujuus

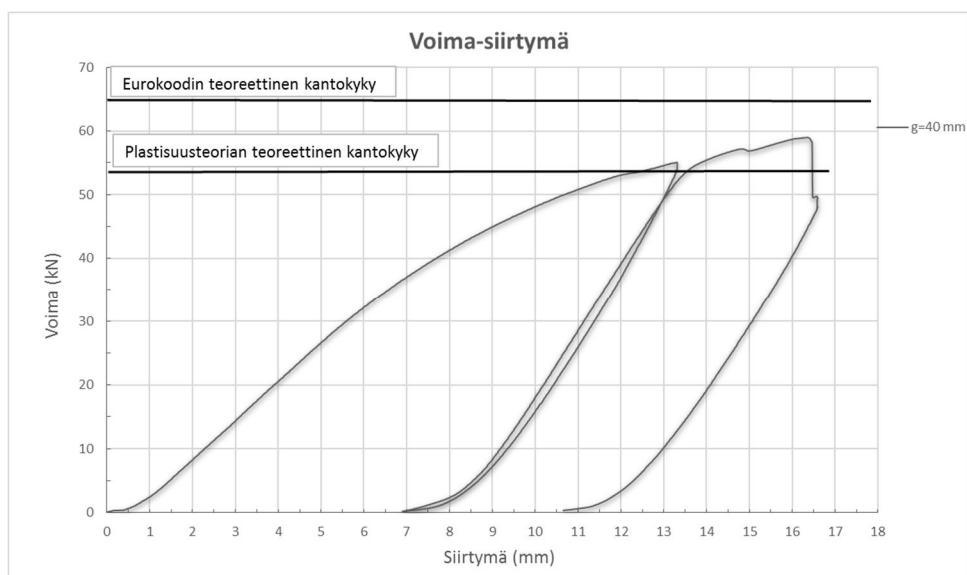
Kuva 14. K-liitos vapaaväliltään 20 mm, joka koestettiin kahdessa vaiheessa muiden tapaan. (Kuva: Jere Konttila)

Alapaarteisiin jääneet suuret plastiset muodonmuutokset jo lähes eurokoodin teoreettisilla kuormilla olivat suuri yllätys. Eurokoodilaskennan mukaan putkiprofiilien välisen ristikkoliitoksen materiaalin osavarmuusluku γ_{M5} on vain 1,0. Tämä tarkoittaa sitä, ettei ristikkoliitokselle lasketa lainkaan varmuutta sen kantavuudelle. Todellisuudessa varmuutta muodostuu tietysti kuormien osavarmuuskertoimien ja teräksen nimellisen myötölujuuden kautta. Kappaleessa, jossa vapaaväli oli 40 mm, pysyviä muodonmuutoksia paarteen pinnassa oli tapahtunut noin 7,1 mm jo kokeen ensimmäisen vaiheen jälkeen. (Kuva 15 ja Taulukko 10)



Kuva 15. Plastiset muodonmuutokset lähes eurokoodin kuormituskapasiteetilla. Vapaaväli 40 mm. (Kuva: Jere Konttila)

Taulukko 10. Voima-siirtymä kuvaaja, kun vapaaväli on 40 mm.



Teräksisen putkiristikon K-liitoksen lujuus

Testikappaleeseen 30 mm:n vapaavälillä muodostui hieman vähemmän plastisia muodonmuutoksia kuin pidemmällä vapaavälillä valmistettuun kappaleeseen. (Kuva 16) Pysyviä muodonmuutoksia jäi paarteen pintaan noin 4,8 mm. Tämä oli ymmärrettävää, koska pintaan syntyville plastisille nivelille vaikuttavasta voimasta ei päässyt kehittymään niin pitkää momenttivartta. Voima pysyi samana, mutta momenttivarsi lyheni, jolloin yhtä suureen muodonmuutokseen olisi vaadittu samassa suhteessa suurempi voima.



Kuva 16. Plastiset muodonmuutokset lähes eurokoodin kuormituskapasiteetilla. Vapaaväli 30 mm. (Kuva: Jere Konttila)

Plastisten muodonmuutosten määrä on laskettu testin vaiheessa, jossa kappale on jo kuormitettu 5 kN:n voimalla. Tämän hetken sylinterin siirtymää on verrattu hetkeen, jossa kuormitusta poistetaan ja siitä on jäljellä enää vain tuo sama 5 kN. Koekappaleessa, jonka vapaaväli oli 20 mm, pysyvien muodonmuutosten uumasauvan suuntainen suuruus koestuksen ensimmäisen vaiheen jälkeen putosi jo alle puoleen. (Kuva 17) Pysyvien muodonmuutosten syvyys oli vain noin 3,2 mm.



Kuva 17. Plastiset muodonmuutokset lähes eurokoodin kuormituskapasiteetilla. Vapaaväli 20 mm. (Kuva: Jere Konttila)

Teräksisen putkiristikon K-liitoksen lujuus

6.2 Mitoitusehtojen vastaiset vapaavälit

Vapaaväliltään 15 mm oleva K-liitos kesti noin 83 kN:n kuormituksen. (Kuva 18) Murtoon vaadittu voima oli hyvin lähellä testikappaletta, jonka vapaaväli oli 20 mm. Tulos tuntui järkevältä, vaikka liitoksen geometria olikin mitoitusehto vastainen. Oletettavasti myös mitoitusehtoihin on laskettu tai pohdittu varmuus pienten virheiden varalle.



Kuva 18. Murotapa 15 mm:n vapaavälillä oli sama kuin mitoitusehto mukaisillakin kappaleilla. (Kuva: Jere Konttila)

Kun vapaaväliä pienennettiin riittävästi, alkoi koekappaleissa näkyä muitakin muodonmuutoksia ennen lopullista murtoa. Vapaaväliltään 10 mm:n kappaleessa alkoi näkyä puristetun uumasauvan vapaavälin puoleisen kyljen paikallista lommahtamista. (Kuva 19) Osa kyljestä painui uumasauvan sisään ja laski uumasauvan lujuutta, mutta tästä ei kuitenkaan muodostunut liitoksen lujuutta määräävää tekijää. Uumasauvan kyljen lommahtaminen voidaan tässä kuvitella eräänlaisena kappaleen pinnan nurjahtamisena. Kappale kykeni kantamaan kuormaa noin 86 kN ennen lopullista murtoa.



Kuva 19. Murtotapa vapaavälin ollessa 10 mm. (Kuva: Jere Konttila)

Teräksisen putkiristikon K-liitoksen lujuus

Pienimmällä vapaavälillä valmistetun koekappaleen muodonmuutokset jäivät odotusten mukaisesti pienimmiksi. (Kuva 20) Voimat uumasauvojen välillä siirtyivät lähes suoraan sauvasta toiseen eivätkä kulkeneet tai jakautuneet niinkään paarteen pinnalle. Kappaleessa vapaaväliin jäävä pienahitsi oli pelkästään yksinkertainen, koska väliin ei mahtunut kahta hitsaus-saamaa. Hitsausauma oletettavasti myös lisäsi merkittävästi paarteen pinnan materiaalivahvuutta vapaavälissä, mikä antoi sille paljon suuremman lujuuden.

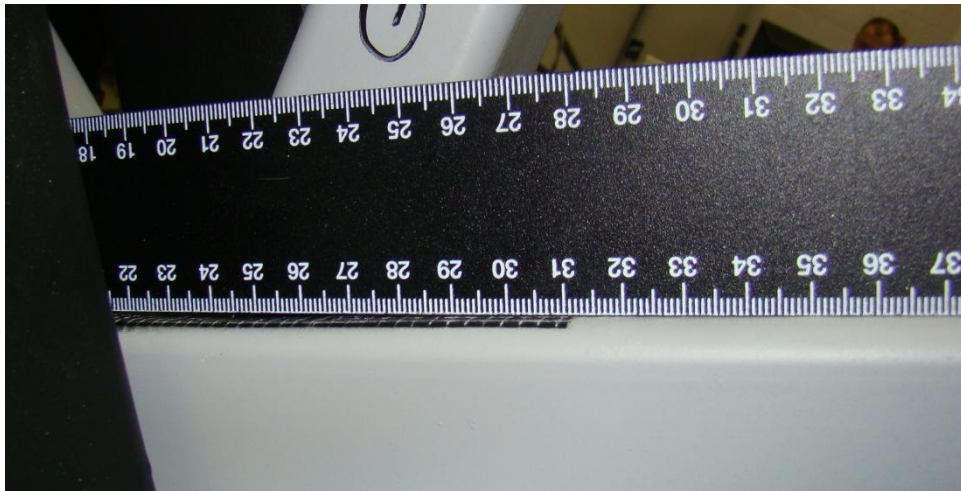
Koestustilanne kesti melko kauan verraten muihin testeihin, koska liitoksen lujuus oli ylivoimaisesti korkein. Loppujen lopuksi koekappale murtui vedetyn uumasauvan liitoksen puoleiselta sivulta. Todennäköisesti tämä murtoalue sijaitsi HAZ-vyöhykkeellä. Vedetyn uumasauvan murtoon vaadittu voima oli 121 kN, kun taas siihen vaadittu eurokoodin mukainen teoreettinen kuormitus oli 131 kN.



Kuva 20. Murtotapana vedetyn uumasauvan vetomurto HAZ-vyöhykkeeltä, kun vapaaväli oli vain 5 mm. (Kuva: Jere Konttila)

Koekappaleissa tapahtuneet pysyvät muodonmuutokset pienenevät odotusten mukaisesti vapaavälin pienentyessä. Vapaavälillä 15 mm pysyviä muodonmuutoksia koestuksen ensimmäisen vaiheen jälkeen oli vain noin 3,0 mm. (Kuva 21) Silmin nähtävää paarteen kylkien paikallista lommahtamista ei myöskään tapahtunut pienillä vapaaväleillä.

Teräksisen putkiristikon K-liitoksen lujuus



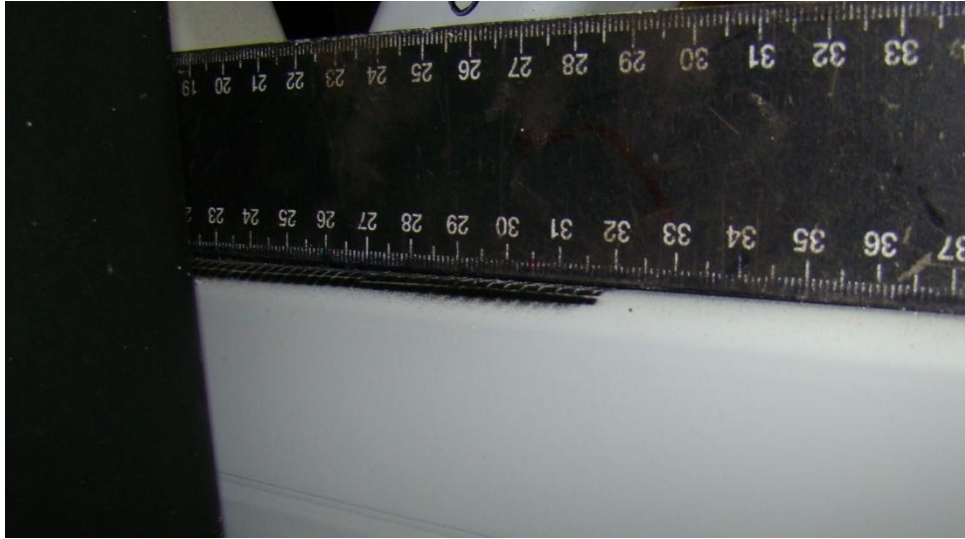
Kuva 21. Plastiset muodonmuutokset lähes eurokoodin kuormituskapasiteetilla. Vapaaväli 15 mm. (Kuva: Jere Konttila)

Vapaavälillä 10 mm ei pysyviä muodonmuutoksia juurikaan jäänyt edes paarteen pintaan. (Kuva 22) Muodonmuutosta ei pystynyt paljaalla silmällä toteamaan. Pinnan painuma oli kuormitusta poistettaessa 5 kN:n kohdalla vain noin 2,1 mm.



Kuva 22. Plastiset muodonmuutokset lähes eurokoodin kuormituskapasiteetilla. Vapaaväli 10 mm. (Kuva: Jere Konttila)

Viimeisessä, 5 mm:n vapaavälillä valmistetussa kappaleessa olivat plastiset muodonmuutokset samaa kokoluokkaa kuin astetta suuremmalla vapaavälillä valmistetussa. (Kuva 23) Venymä oli tässä noin 1,9 mm. Tutkittavaa voisi olla jatkossa se, kuinka paljon plastisen nivelen syntyminen vaikuttaa liitoksen lujuuteen pitkällä aikavälillä, jos kuormitus ei kuitenkaan lisäännä yli mitoitettun arvon. Murtotapa pienillä vapaaväleillä oli hyvin äkillinen ja verrattavissa siltä osin teräsbetonirakenteen hauraaseen murtoon. Liitos ei antanut juurikaan pettämisen merkkejä ennen lopullista murtoa.



Kuva 23. Plastiset muodonmuutokset lähes eurokoodin kuormituskapasiteetilla. Vapaaväli 5 mm. (Kuva: Jere Konttila)

7 LOPPUPÄÄTELMÄT

Työssä tutkittiin teräsristikon vapaavälisen K-liitoksen vapaavälin vaikutusta liitoksen lujuuteen. Uumasauva- ja paarreprofiilit valittiin siten, että paarteiden pinnan myötääminen tulisi kaikissa tapauksissa mitoittavaksi tekijäksi. Lisäksi paarre- ja uumasauvojen poikkileikkausten keskinäinen mitasuhteiden oli samaa kokoluokkaa kuin ympäri maata romahtaneissa rakenteissa. (Korkeamäki, keskustelu 10.12.2015.)

Koestusten tulosten perusteella (Taulukko 11) voidaan sanoa, että eurokoodin vapaavälisen K-liitoksen mitoitusohje ei aivan pidä laskennan kannalta paikkaansa. (Taulukko 5) Liitoksen kestävyys oli osin pienempi kuin mitoitusstandardin tulos antoi olettaa. Lisäksi koekappaleiden lopullinen murto-otapa oli erilainen, kuin laskenta ennusti.

Koestusten loppupäätelmiä tukevat kokemukset Suomessa romahtaneista teräsrakenteisista rakennuksista. Eurokoodi vaatisi siis tarkempaa jatkotutkimusta aiheesta.

Koestuksessa huomattiin, että varsinkin vedetyn sauvan vapaavälin puoleinen syrjä alkoi ottaa yhä enemmän vetojännitystä suhteessa sen muihin sivuihin. Tämän oletettiin johtuvan siitä, että koestettavan kappaleen tuet olivat kiinteitä. Jos tuet olisivat päässeet kiertymään samassa suhteessa muun koestettavan kappaleen kanssa, olisivat vetojännitykset tasaantuneet hieman paremmin.

Jännitysten epätasaisen kohdistumisen oletettiin tapahtuvan myös puristuksessa uumasauvassa puristusjännityksen kanssa. Tämän oletettiin johtuvan myös siitä syystä, ettei puristussylinteri päässyt kiertymään kappaleen mukana ja puristumaan koko kokeen ajan aivan kohtisuoraan uumasauvaan nähden. Tällaiseen koestustapahtumaan olisi tarvittu erilainen testikehä. Testikehä, jossa olisi kaksi sylinteriä voisi tuottaa tarkemman testituloksen.

Teräksisen putkiristikon K-liitoksen lujuus

Taulukko 11. Kokeiden tulosten yhteenveto (Taulukko: Jere Konttila).

Koekappale vapaaväliltään	Murtotapa	Lisähavainnot
40 mm	Paarteen pinnan murtuminen HAZ-vyöhykkeeltä	Alapaarteen pinnan muodonmuutokset olivat suuria ennen lopullista murtoa.
30 mm	Paarteen pinnan murtuminen HAZ-vyöhykkeeltä lähes koko uumasauvan ympäri	Alapaarteen pinnan muodonmuutokset olivat kohtuu suuria ennen lopullista murtoa.
20 mm -1	Paarteen pinnan murtuminen HAZ-vyöhykkeeltä	Liitos kesti kuormitusta suhteellisen tasaisesti verraten venymään aina murtoon asti.
20 mm -2	Paarteen pinnan murtuminen HAZ-vyöhykkeeltä	Paarteen pinnan muodonmuutokset pienivät huomattavasti verraten suurempiin vapaaväleihin.
15 mm	Paarteen pinnan murtuminen HAZ-vyöhykkeeltä	Alapaarteen kylkien lommahtaminen oli yhtä suurta kaikilla koekappaleilla.
10 mm	Paarteen pinnan murtuminen HAZ-vyöhykkeeltä	Puristetussa uumasauvassa alkoi näkyä vapaavälin puoleisen kyljen lommahtamista. Paarteen pinnan muodonmuutokset pienivät edelleen.
5 mm	Uumasauvan vetomurto vapaavälin puolelta, HAZ-vyöhykkeeltä	Puristetun uumasauvan vapaavälin puoleisen kyljen lommahtaminen näkyi selvästi. Murto oli äkillinen ilman ennakkovaroitusta.

7.1 Eurokoodilaskennan paikkansapitävyys

Kokeiden perusteella vapaavälin pituudella oli suuri vaikutus liitoksen murtolujuuteen. Odotusten vastaisesti liian pienillä vapaaväleillä valmistettujen liitosten kuormankantokyky lopulliseen murtoon oli paljon suurempi kuin pidemmällä vapaaväleillä. Tulos on yllättävä, koska vapaavälit 5, 10 ja 15 mm ovat suunnittelu-ehdojen vastaisia. Liitosten koestuksissa saadut lujuudet ovat kaikki järjestyksessä vapaavälin pituuksiinsa nähden lukuun ottamatta 20 ja 15 mm:n vapaavälin liitoksia. Pisimmällä vapaavälillä valmistettu liitos kesti kuormitusta heikoiten ja lyhimmällä välillä parhaiten. (Taulukko 12)

Taulukko 12. Koekappaleiden muodonmuutokset ja murtoon vaadittu voima. Harmaalla pohjalla olevat vapaavälit ovat mitoitus-ehdojen vastaisia.

Koekappale vapaaväliltään	Plastiset muodonmuutokset (mm), kun voima oli 55 kN	Lopulliseen murtoon vaadittu voima (kN)
40 mm	7,1	59
30 mm	4,8	71
20 mm -1	-	84
20 mm -2	3,2	78
15 mm	3,0	83
10 mm	2,1	86
5 mm	1,9	121

Jo eurokoodin mukaan lasketuilla kestävyyksillä tapahtui suuria pysyviä muodonmuutoksia. Tällä kuormituksella liitokseen saa muodostua pysyviä muodonmuutoksia, mutta niiden pitäisi olla maltillisia. Pysyvät muodonmuutokset näkyvät havainnollisesti voima-siirtymäkuvaajista. (Liite 4 ja Taulukko 12)

Liitokset murtuivat pääosin kahdella eri murtotavalla, paarteen pinnan leikkautumisella ja paarteen pinnan myötäämisellä. Molemmat murtotilat tapahtuivat alemmilla kuormituksilla, kuin niiden laskenta ennusti. Murtotavat keskittyivät kaikki HAZ-vyöhykkeille. Hitsauksen yhteydessä oli

Teräksisen putkiristikon K-liitoksen lujuus

muodostunut merkittävä HAZ-vyöhyke hitsisaumojen ympärille, joka alensi liitosten lujuutta huomattavasti. HAZ-vyöhykkeet muodostuivat todennäköisesti liian suuren lämmöntuonnin seurauksena teräkseen. Tämä voi johtua hitsauslaitteen vääristä säädöistä. Eurokoodin laskenta ei huomioi teräksen alentunutta lujuutta HAZ-vyöhykkeellä, koska sitä ei saisi tapahtua normaalilujuuksisia teräksiä käytettäessä.

Koekappaleet valmistti pätevöitynyt hitsaaja, jolloin ei voida olettaa osamattomuutta hitsauksessa. Todennäköiset virheet hitsauksessa saattoivat syntyä huolimattomuudesta. Tämä vahvistaa väittämän, ettei työnjohdon ja laadunvalvonnan määrää valmistusvaiheessa voida laiminlyödä.

Koetulosten alhainen kestävyys voi selittyä osin myös koekappaleen kiinnittämällä testikehään, joka aiheutti todellista käyttötilannetta enemmän epätasaisuutta jännitysten jakautumiseen liitoksessa. Koekappaleen kiinnitystapa saattoi myös aiheuttaa koetettaessa hitsausliitoksiin lisäjännityksiä, joita ei työssä tarkemmin selvitetty. Koekappaleen, jonka vapaaväli oli 40 mm, alhainen koetulos selittyy osittain sillä, että sen geometria täytti vain juuri ja juuri eurokoodin mitoitus ehdot.

Tulosten perusteella eurokoodin mitoitus ehtoja voisi hieman kiristää vapaavälin pituuden osalta. Mitoituksessa kannattaisi suosia mahdollisimman lyhyttä, kuitenkin mitoitus ehdot täyttävää vapaaväliä.

7.2 Plastisuusteorian mukaisen laskennan paikkansapitävyys

Karkean plastisuusteorian lujuuslaskelman lopputulos oli osin lähempänä koestusten tuloksia kuin eurokoodimitoituksen tulos. Ero oli huomattava, sillä myötöviivateorialla karkeasti laskettu kuormitus 40 mm:n vapaavälillä oli 53 kN.

Eurokoodin lähes 60 kN:iin verrattuna tulos on hyvinkin mielenkiintoinen, sillä myötöviivateoria perustuu yksinkertaiseen olettamukseen myötömomentista ja sen mitoituksen kulku on yksinkertaisempi kuin eurokoodimitoituksen. Lisäksi myötöviivateoria antaa aina rakenteen todellisen lujuuden, eikä laske mukaan lainkaan varmuutta myötäämistä vastaan. Toki on huomioitava se tosiasia plastisuusteorian käytöstä, ettei sillä pysty laskemaan läheskään kaikkia liitoksia. Liitoksissa, joissa leikkausjännitykset kasvavat suuriksi verrattuna taivutusjännityksiin, tapahtuu laskennassa suuriakin virheitä, joiden välttäminen ei laskennan kulun puitteissa onnistu.

Myötöviivateorian ennustama lujuus liitokselle, kun laskennassa käytettiin materiaalin todellista myötölujuutta, oli 54 kN. Liitoksen lujuuteen ei siis vaikuttanut niinkään materiaalin lujuus laskennassa, vaan enemmänkin toteutuvien myötöviivojen sijainti ja niiden pituudet.

7.3 Tutkimuksen jatkokehitys ja hyödynnettävyys

Työssä tehtyä tutkimustyötä voidaan hyödyntää osin tällaisenaan esimerkiksi silloin, kun korjataan jo virheellisesti toteutettuja rakenteita. Koestusten perusteella näyttäisi paarteen pinnan leikkautuminen vedetyn uumasauvan ja paarteen välisen hitsin muutosvyöhykkeeltä olevan liitoksen lopullinen murtotapa. Lisäksi testeissä huomattiin, että paarteen pinnan koko poikkileikkauksen plastisoitumista alkaa tapahtua jo suhteellisen pienillä kuormilla. Nämä tiedot ovat hyödyllisiä, kun aletaan kehittää erilaisia korjausmenetelmiä liitosta vahvistamaan.

Tutkimustyötä kannattaa ehdottomasti jatkaa aiheesta perehtymällä syvemmin eurokoodimitoituksen perustaan vapaavälisen K-liitoksen osalta. Koestustapahtumaan kannattaa myös syventyä ja kehittää siitä yhä paremmin todellista käyttötilannetta vastaava.

Mahdollisuutta voiman kohdistamisesta koko kuormituksen ajan kohtisuoraan uumasauvaan nähden kannattaisi myös kehittää. Tällöin voiman saisi jaettua tasaisemmin koko koestuksen ajan koko uumasauvan poikkileikkauksiprofiilille. Koekappaleita pitää myös olla enemmän kutakin vapaaväliä kohden, jolloin nähtäisiin varmasti, oliko kaksivaiheisella koestustavalla jokin vaikutus liitoksen lopulliseen lujuuteen.

Koestusten perusteella eurokoodimitoituksen osittain virheellinen kantavuus vapaavälisen K-liitoksen kohdalla on myös erittäin tärkeä tiedostaa. Virhe saattaa johtua liian löyhistä mitoitusohjeista, jotka määräävät paarteja uumasauvaprofiilien välisestä leveyden suhteesta, sekä vapaavälin pituudesta. Nämä eivät tosin vaikuta suoraan pinnan leikkauslävistymisen mahdollisuuteen, vaan enemmänkin pinnan myötöämisen vaatimaan kuormitukseen.

Koestusten perusteella voidaan myös todeta, että suunnitteluvirheiden havaitsemiseen jo suunnitteluvaiheessa pitää ehdottomasti panostaa enemmän. Koska liitoksen mitoituksessa ei näytä olevan suurtakaan varmuutta, on vaarallista suunnitella ristikkoliitoksia liian suurella käyttöasteella. Tämän riskin takia liitosten valmistuksessa pitää ehdottomasti panostaa oikein koulutettuun ja pätevään työvoimaan. Lisäksi panostaminen laadunvalvontaan valmistusvaiheessa pelastaa varmasti paljon. Muun muassa työn tilaajan pitää varmistua valmistajan pätevyydestä ja kyvystä valmistaa laadukas lopputuote.

Myötöviivateorian hyödynnettävyyttä K-liitoksen mitoituksessa kannattaa myös tutkia enemmän sen antaessa melko hyvänkin vertailuarvon eurokoodin laskelmille pitkiä vapaavälejä mitoittaessa.

LÄHTEET

Kinnunen, J., Saarinen, E., Tiira, S., Ulvinen, S. & Väänänen, E. 2001. Teräsrakenteiden suunnittelu. 4. painos. Tampere: Rakennustieto.

Lukkari, J. 1997. Hitsaustekniikka. Perusteet ja kaarihitsaus. 4. painos. Helsinki: Edita Prima oy.

Rakenneputket EN 1993 käsikirja 2012. Ruukki Oyj.

SFS EN 1090-2 Eurokoodi 3 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 2. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

SFS EN 1993-1-8 Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten suunnittelu. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

Kemppainen, R. 2002. Materiaalimallin määrittämisestä kylmämuovattujen putkipalkkien K-liitosten FE-analyysissä. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Konetekniikan osasto. Konstruktio tekniikan laitos. Opinnäytetyö.

Keskustelut

Korkeamäki, T. 2015. Lehtori. Hämeen ammattikorkeakoulu. Keskustelu. 10.12.2015.

Rinne, A. 2016. Rakennesuunnittelija. Hovisuunnittelijat Oy. Keskustelu. 5.2.2016.

VAPAAVÄLISEN K-LIITOKSEN EUROKOODIMITOITUS

Profiilitiedot

Diagonaalit 80*80*3 S355J2H

Alapaarre 40*40*3 S355J2H

$$f_y := 355 \cdot \text{MPa}$$

$$f_u := 510 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{y0} := f_y$$

Paarteen materiaalin
myötölujuus

$$t_0 := 3 \cdot \text{mm}$$

Paarteen seinämäpaksuus

$$t_d := 3 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin seinämävahvuus

$$\theta_i := 60^\circ$$

Diagonaalin i ja paarteen välinen kulma

$$b_1 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 1 leveys

$$b_2 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 2 leveys

$$h_1 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 1 korkeus

$$h_2 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 2 korkeus

$$h_0 := 80 \cdot \text{mm}$$

Alapaarteen korkeus

$$b_0 := 80 \cdot \text{mm}$$

Alapaarteen leveys

$$A_0 := 901 \cdot \text{mm}^2$$

Alapaarteen poikkipinta-ala

$$\gamma_{M5} := 1.0$$

Rakenneputkien ristikkoliitoksen osavamuusluku

$$g_{\text{w}} := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalien teoreettinen vapaaväli

$$a_w := 3 \cdot \text{mm}$$

Hitsin a-mitta

$$h_{d.30} := \frac{a_w}{\cos(60 \cdot \text{deg})} + \frac{a_w}{\cos(30 \cdot \text{deg})} + h_1 = 49.464 \cdot \text{mm}$$

Sivumitta, ks. plastisuusteorian
mittalyhenteiden havainnekuva.

$$W_{p1.0} := 25780 \cdot \text{mm}^3$$

Alapaarteen plastinen taivutusvastus

Vapaavälin suuruuden mitoitusehto

$g_{\text{EHTO}} :=$	"OK" if $g \geq 2 \cdot t_d$ = "OK"
	"HUOMIO" otherwise

Paarteeseen liitettävien uumasauvojen profiileille asetetut ehdot

$b_{1.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $\frac{b_1}{b_0} \geq 0.35$ = "OK"
	"HUOMIO" otherwise

$b_{2.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $\frac{b_1}{t_d} < 35$ = "OK"
	"HUOMIO" otherwise

$b_{3.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $15 < \frac{b_0}{t_0} < 35$ = "OK"
	"HUOMIO" otherwise

$b_{4.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $0.8 < \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_1} < 1.3$ = "OK"
	"HUOMIO" otherwise

$$\beta := \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} = 0.5$$

Paarteen leveyden suhde paarteen kaksinkertaiseen seinämävahvuuteen

$b_{5.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $0.5 \cdot (1 - \beta) \leq \frac{g}{b_0} \leq 1.5 \cdot (1 - \beta)$ = "OK"
	"HUOMIO" otherwise

Liitoksen epäkeskisyyys

$$e_g := \frac{g + h_{d.30}}{2} = 44.732 \cdot \text{mm} \quad e_0 := e_g \cdot \tan(\theta_1) = 77.478 \cdot \text{mm} \quad e := e_0 - \frac{h_0}{2} = 37.478 \cdot \text{mm}$$

Paarteen taivutusmomentin huomioimisehto

$\epsilon_{\text{EHITO}} :=$	"EI HUOMIOIDA" if $-0.55 \cdot h_0 \leq e \leq 0.25 \cdot h_0$ = "HUOMIOITAVA!"
	"HUOMIOITAVA!" otherwise

$$-0.55 \cdot h_0 = -44 \cdot \text{mm}$$

Ehtojen raja-arvot

Iteroi voimaa

$$F_d := 59.9 \cdot \text{kN}$$

$$0.25 \cdot h_0 = 20 \cdot \text{mm} \quad M_{0.Ed} := \left(\frac{g + h_{d.30}}{2} \right) \cdot \sin(\theta_1) \cdot F_d = 2.32 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Alapaarteen pinnan murtuminen

$$\gamma := \frac{b_0}{2 \cdot t_0} = 13.333$$

$$F_0 := \cos(\theta_1) = \frac{F_0}{F_d} \text{ solve, } F_0 \rightarrow 59.9 \cdot \text{kN} \cdot \cos(60.0^\circ) = 29.95 \cdot \text{kN}$$

$$\sigma_{0.Ed} := \begin{cases} \frac{F_0}{A_0} & \text{if } \epsilon_{\text{EHITO}} = \text{"EI HUOMIOIDA"} = 123.251 \cdot \text{MPa} \\ \frac{F_0}{A_0} + \frac{M_{0.Ed}}{W_{p1.0}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$n := \frac{\sigma_{0.Ed}}{f_{y0}} = 0.347$$

$$\beta_w := \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} = 0.5$$

$$k_n := 1.3 - \frac{0.4 \cdot n}{\beta} = 1.022$$

Jos paarteen suurin normaalijännitys on vetoa, on $k_n = 1.0$.

Muulloin

arvo lasketaan kaavasta.

$$\sigma := 2$$

Sigma on 1 jos paarteessa vetojännitys

$$k_{\text{red}} := \begin{cases} 1.0 & \text{if } \sigma = 1 = 1 \\ k_n & \text{if } k_n \leq 1 \\ 1.0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$N_{p.Rd} := \frac{8.9 \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \sqrt{\gamma} \cdot \left(\frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4 \cdot b_0} \right)}{\gamma_{M5}} = 59.947 \cdot \text{kN}$$

Paarteen leikkausmyötääminen

$$\alpha := \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4 \cdot g^2}{3 \cdot t_0^2}}}$$

$$A_v := (2 \cdot h_0 + \alpha \cdot b_0) \cdot t_0 = 495.556 \cdot \text{mm}^2$$

$$N_{vi,Rd} := \frac{\frac{f_{y0} \cdot A_v}{\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_i)}}{\gamma_{M5}} = 117.282 \cdot \text{kN}$$

Uumasauvan murtuminen

$$b_{\text{eff}} := \frac{10 \cdot b_1 \cdot t_0^2 \cdot f_{y0}}{b_0 \cdot t_d \cdot f_{y0}} = 15 \cdot \text{mm}$$

$$N_{u,Rd} := \frac{f_y \cdot t_d \cdot (2 \cdot h_1 - 4 \cdot t_d + b_1 + b_{\text{eff}})}{\gamma_{M5}} = 130.995 \cdot \text{kN}$$

Paarteen leikkauslävistyminen

$$b_{\text{ep}} := \frac{10 \cdot t_0 \cdot b_0}{b_0} = 30 \cdot \text{mm}$$

$$N_{N,Rd} := \frac{\frac{f_{y0} \cdot t_0}{\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_i)} \cdot \left(\frac{2 \cdot h_0}{\sin(\theta_i)} + b_1 + b_{\text{ep}} \right)}{\gamma_{M5}} = 180.874 \cdot \text{kN}$$

Mitoittava kuormitus

$$N_{Rd} := \min(N_{p,Rd}, N_{vi,Rd}, N_{N,Rd}, N_{u,Rd}) = 59.9 \cdot \text{kN}$$

Profilitiedot

Diagonaalit 80*80*3 S355J2H

Alapaarte 40*40*3 S355J2H

$$f_y := 355 \cdot \text{MPa}$$

$$f_u := 510 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{y0} := f_y$$

Paarteen materiaalin
myötölujuus

$$t_0 := 3 \cdot \text{mm}$$

Paarteen seinämäpaksuus

$$t_d := 3 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin seinämävahvuus

$$\theta_i := 60^\circ$$

Diagonaalin i ja paarteen välinen kulma

$$b_1 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 1 leveys

$$b_2 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 2 leveys

$$h_1 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 1 korkeus

$$h_2 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 2 korkeus

$$h_0 := 80 \cdot \text{mm}$$

Alapaarteen korkeus

$$b_0 := 80 \cdot \text{mm}$$

Alapaarteen leveys

$$A_0 := 901 \cdot \text{mm}^2$$

Alapaarteen poikkipinta-ala

$$\gamma_{M5} := 1.0$$

Rakenneputkien ristikkoliitoksen osavamuusluku

$$g_{\text{av}} := 30 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalien teoreettinen vapaaväli

$$a_w := 3 \cdot \text{mm}$$

Hitsin a-mitta

$$h_{d,30} := \frac{a_w}{\cos(60 \cdot \text{deg})} + \frac{a_w}{\cos(30 \cdot \text{deg})} + h_1 = 49.464 \cdot \text{mm}$$

Sivumitta, ks. plastisuusteorian
mittalyhenteiden havainnekuva.

$$W_{p1.0} := 25780 \cdot \text{mm}^3$$

Alapaarteen plastinen taivutusvastus

Vapaavälin suuruuden mitoitusehto

$g_{\text{EHTO}} :=$	"OK" if $g \geq 2 \cdot t_d$	"OK"
	"HUOMIO" otherwise	

Paarteeseen liitettävien uumasauvojen profiileille asetetut ehdot

$b_{1,\text{EHTO}} :=$	"OK" if $\frac{b_1}{b_0} \geq 0.35$	"OK"
	"HUOMIO" otherwise	

$b_{2,\text{EHTO}} :=$	"OK" if $\frac{b_1}{t_d} < 35$	"OK"
	"HUOMIO" otherwise	

$b_{3,\text{EHTO}} :=$	"OK" if $15 < \frac{b_0}{t_0} < 35$	"OK"
	"HUOMIO" otherwise	

$b_{4,\text{EHTO}} :=$	"OK" if $0.8 < \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_1} < 1.3$	"OK"
	"HUOMIO" otherwise	

$$\beta := \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} = 0.5$$

Paarteen leveyden suhde paarteen kaksinkertaiseen seinämävahvuuteen

$b_{5,\text{EHTO}} :=$	"OK" if $0.5 \cdot (1 - \beta) \leq \frac{g}{b_0} \leq 1.5 \cdot (1 - \beta)$	"OK"
	"HUOMIO" otherwise	

Liitoksen epäkeskisyyys

$$e_g := \frac{g + h_{d.30}}{2} = 39.732 \cdot \text{mm} \quad e_0 := e_g \cdot \tan(\theta_1) = 68.818 \cdot \text{mm} \quad e := e_0 - \frac{h_0}{2} = 28.818 \cdot \text{mm}$$

Paarteen taivutusmomentin huomioimisehto

$$e_{\text{EHTO}} := \begin{cases} \text{"EI HUOMIOIDA"} & \text{if } -0.55 \cdot h_0 \leq e \leq 0.25 \cdot h_0 \\ \text{"HUOMIOITAVA!"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"HUOMIOITAVA!"}$$

$$-0.55 \cdot h_0 = -44 \cdot \text{mm}$$

Ehtojen raja-arvot

Iteroi voimaa

$$F_d := 59.9 \cdot \text{kN}$$

$$0.25 \cdot h_0 = 20 \cdot \text{mm}$$

$$M_{0.Ed} := \left(\frac{g + h_{d.30}}{2} \right) \cdot \sin(\theta_1) \cdot F_d = 2.061 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Alapaarteen pinnan murtuminen

$$\gamma := \frac{b_0}{2 \cdot t_0} = 13.333$$

$$F_0 := \cos(\theta_1) \cdot \frac{F_0}{F_d} \text{ solve, } F_0 \rightarrow 59.9 \cdot \text{kN} \cdot \cos(60.0^\circ) = 29.95 \cdot \text{kN}$$

$$\sigma_{0.Ed} := \begin{cases} \frac{F_0}{A_0} & \text{if } e_{\text{EHTO}} = \text{"EI HUOMIOIDA"} \\ \frac{F_0}{A_0} + \frac{M_{0.Ed}}{W_{pl.0}} & \text{otherwise} \end{cases} = 113.19 \cdot \text{MPa}$$

$$n := \frac{\sigma_{0.Ed}}{f_{y0}} = 0.319$$

$$\beta_{\text{ww}} := \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} = 0.5$$

$$k_n := 1.3 - \frac{0.4 \cdot n}{\beta} = 1.045$$

Jos paarteen suurin normaalijännitys on vetoa, on $k_n = 1.0$.

Muulloin arvo lasketaan kaavasta.

$$\sigma := 2$$

Sigma on 1 jos paarteessa vetojännitys

$$k_{\text{ww}} := \begin{cases} 1.0 & \text{if } \sigma = 1 \\ k_n & \text{if } k_n \leq 1 \\ 1.0 & \text{otherwise} \end{cases} = 1$$

$$N_{p.Rd} := \frac{8.9 \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \sqrt{\gamma} \cdot \left(\frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4 \cdot b_0} \right)}{\gamma_{M5}} = 59.947 \cdot \text{kN}$$

Paarteen leikkausmyötääminen

$$\alpha := \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4 \cdot g^2}{3 \cdot t_0^2}}}$$

$$A_v := (2 \cdot h_0 + \alpha \cdot b_0) \cdot t_0 = 500.707 \cdot \text{mm}^2$$

$$N_{vi.Rd} := \frac{\frac{f_{y0} \cdot A_v}{\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_1)}}{\gamma_{M5}} = 118.501 \cdot \text{kN}$$

Uumasauvan murtuminen

$$b_{\text{eff}} := \frac{10 \cdot b_1 \cdot t_0^2 \cdot f_{y0}}{b_0 \cdot t_d \cdot f_{y0}} = 15 \cdot \text{mm}$$

$$N_{u.Rd} := \frac{f_y \cdot t_d \cdot (2 \cdot h_1 - 4 \cdot t_d + b_1 + b_{\text{eff}})}{\gamma_{M5}} = 130.995 \cdot \text{kN}$$

Paarteen leikkauslävistyminen

$$b_{\text{ep}} := \frac{10 \cdot t_0 \cdot b_0}{b_0} = 30 \cdot \text{mm}$$

$$N_{N.Rd} := \frac{\frac{f_{y0} \cdot t_0}{\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_1)} \cdot \left(\frac{2 \cdot h_0}{\sin(\theta_1)} + b_1 + b_{\text{ep}} \right)}{\gamma_{M5}} = 180.874 \cdot \text{kN}$$

Mitoittava kuormitus

$$N_{Rd} := \min(N_{p.Rd}, N_{vi.Rd}, N_{N.Rd}, N_{u.Rd}) = 59.9 \cdot \text{kN}$$

Profiilitiedot

Diagonaalit 80*80*3 S355J2H

Alapaarre 40*40*3 S355J2H

$$f_y := 355 \cdot \text{MPa}$$

$$f_u := 510 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{y0} := f_y$$

Paarteen materiaalin
myötölujuus

$$t_0 := 3 \cdot \text{mm}$$

Paarteen seinämäpaksuus

$$t_d := 3 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin seinämävahvuus

$$\theta_i := 60^\circ$$

Diagonaalin i ja paarteen välinen kulma

$$b_1 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 1 leveys

$$b_2 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 2 leveys

$$h_1 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 1 korkeus

$$h_2 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 2 korkeus

$$h_0 := 80 \cdot \text{mm}$$

Alapaarteen korkeus

$$b_0 := 80 \cdot \text{mm}$$

Alapaarteen leveys

$$A_0 := 901 \cdot \text{mm}^2$$

Alapaarteen poikkipinta-ala

$$\gamma_{M5} := 1.0$$

Rakenneputkien ristikkoliitoksen osavarmuusluku

$$g_{\text{mm}} := 20 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalien teoreettinen vapaaväli

$$a_w := 3 \cdot \text{mm}$$

Hitsin a-mitta

$$h_{d.30} := \frac{a_w}{\cos(60 \cdot \text{deg})} + \frac{a_w}{\cos(30 \cdot \text{deg})} + h_1 = 49.464 \cdot \text{mm}$$

Sivumitta, ks. plastisuusteorian
mittalyhenteiden havainnekuva.

$$W_{p1.0} := 25780 \cdot \text{mm}^3$$

Alapaarteen plastinen taivutusvastus

Vapaavälin suuruuden mitoitusehto

$g_{\text{EHTO}} :=$	"OK" if $g \geq 2 \cdot t_d$ = "OK"
	"HUOMIO" otherwise

Paarteeseen liitettävien uumasauvojen profileille asetetut ehdot

$b_{1.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $\frac{b_1}{b_0} \geq 0.35$ = "OK"
	"HUOMIO" otherwise

$b_{2.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $\frac{b_1}{t_d} < 35$ = "OK"
	"HUOMIO" otherwise

$b_{3.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $15 < \frac{b_0}{t_0} < 35$ = "OK"
	"HUOMIO" otherwise

$b_{4.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $0.8 < \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_1} < 1.3$ = "OK"
	"HUOMIO" otherwise

$$\beta := \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} = 0.5$$

Paarteen leveyden suhde paarteen kaksinkertaiseen seinämävahvuuteen

$b_{5.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $0.5 \cdot (1 - \beta) \leq \frac{g}{b_0} \leq 1.5 \cdot (1 - \beta)$ = "OK"
	"HUOMIO" otherwise

Liitoksen epäkeskisyyys

$$e_g := \frac{g + h_{d.30}}{2} = 34.732 \cdot \text{mm} \quad e_0 := e_g \cdot \tan(\theta_i) = 60.158 \cdot \text{mm} \quad e := e_0 - \frac{h_0}{2} = 20.158 \cdot \text{mm}$$

Paarteen taivutusmomentin huomioimisehto

$$e_{\text{EHTO}} := \begin{cases} \text{"EI HUOMIOIDA"} & \text{if } -0.55 \cdot h_0 \leq e \leq 0.25 \cdot h_0 \\ \text{"HUOMIOITAVA!"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$-0.55 \cdot h_0 = -44 \cdot \text{mm}$$

Ehtojen raja-arvot

Iteroi voimaa

$$F_d := 59.9 \cdot \text{kN}$$

$$0.25 \cdot h_0 = 20 \cdot \text{mm}$$

$$M_{0.Ed} := \left(\frac{g + h_{d.30}}{2} \right) \cdot \sin(\theta_i) \cdot F_d = 1.802 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Alapaarteen pinnan murtuminen

$$\gamma := \frac{b_0}{2 \cdot t_0} = 13.333$$

$$F_0 := \cos(\theta_i) = \frac{F_0}{F_d} \text{ solve, } F_0 \rightarrow 59.9 \cdot \text{kN} \cdot \cos(60.0^\circ) = 29.95 \cdot \text{kN}$$

$$\sigma_{0.Ed} := \begin{cases} \frac{F_0}{A_0} & \text{if } e_{\text{EHTO}} = \text{"EI HUOMIOIDA"} \\ \frac{F_0}{A_0} + \frac{M_{0.Ed}}{W_{pl.0}} & \text{otherwise} \end{cases} = 103.129 \cdot \text{MPa}$$

$$n := \frac{\sigma_{0.Ed}}{f_{y0}} = 0.291$$

$$\beta_{\text{ww}} := \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} = 0.5$$

$$k_n := 1.3 - \frac{0.4 \cdot n}{\beta} = 1.068$$

Jos paarteen suurin normaaliännitys on vetoa, on $k_n = 1.0$.

Muulloin arvo lasketaan kaavasta.

$$\sigma := 2$$

Sigma on 1 jos paarteessa vetoännitys

$$k_{\text{ww}} := \begin{cases} 1.0 & \text{if } \sigma = 1 \\ k_n & \text{if } k_n \leq 1 \\ 1.0 & \text{otherwise} \end{cases} = 1$$

$$N_{p.Rd} := \frac{8.9 \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \sqrt{\gamma}}{\sin(\theta_i)} \cdot \left(\frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4 \cdot b_0} \right) \cdot \gamma_{M5} = 59.947 \cdot \text{kN}$$

Paarteen leikkausmyötääminen

$$\alpha := \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4 \cdot g^2}{3 \cdot t_0^2}}}$$

$$A_v := (2 \cdot h_0 + \alpha \cdot b_0) \cdot t_0 = 510.917 \cdot \text{mm}^2$$

$$N_{vi.Rd} := \frac{\frac{f_{y0} \cdot A_v}{\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_i)}}{\gamma_{M5}} = 120.917 \cdot \text{kN}$$

Uumasauvan murtuminen

$$b_{\text{eff}} := \frac{10 \cdot b_1 \cdot t_0^2 \cdot f_{y0}}{b_0 \cdot t_d \cdot f_{y0}} = 15 \cdot \text{mm}$$

$$N_{u.Rd} := \frac{f_y \cdot t_d \cdot (2 \cdot h_1 - 4 \cdot t_d + b_1 + b_{\text{eff}})}{\gamma_{M5}} = 130.995 \cdot \text{kN}$$

Paarteen leikkauslävistyminen

$$b_{\text{ep}} := \frac{10 \cdot t_0 \cdot b_0}{b_0} = 30 \cdot \text{mm}$$

$$N_{N.Rd} := \frac{\frac{f_{y0} \cdot t_0}{\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_i)} \cdot \left(\frac{2 \cdot h_0}{\sin(\theta_i)} + b_1 + b_{\text{ep}} \right)}{\gamma_{M5}} = 180.874 \cdot \text{kN}$$

Mitoittava kuormitus

$$N_{Rd} := \min(N_{p.Rd}, N_{vi.Rd}, N_{N.Rd}, N_{u.Rd}) = 59.9 \cdot \text{kN}$$

Profiilitiedot

Diagonaalit 80*80*3 S355J2H

Alapaarre 40*40*3 S355J2H

$$f_y := 355 \cdot \text{MPa}$$

$$f_u := 510 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{y0} := f_y$$

Paarteen materiaalin
myötölujuus

$$t_0 := 3 \cdot \text{mm}$$

Paarteen seinämäpaksuus

$$t_d := 3 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin seinämävahvuus

$$\theta_1 := 60^\circ$$

Diagonaalin i ja paarteen välinen kulma

$$b_1 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 1 leveys

$$b_2 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 2 leveys

$$h_1 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 1 korkeus

$$h_2 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 2 korkeus

$$h_0 := 80 \cdot \text{mm}$$

Alapaarteen korkeus

$$b_0 := 80 \cdot \text{mm}$$

Alapaarteen leveys

$$A_0 := 901 \cdot \text{mm}^2$$

Alapaarteen poikkipinta-ala

$$\gamma_{M5} := 1.0$$

Rakenneputkien ristikkoliitoksen osavarmuusluku

$$g_{\text{av}} := 15 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalien teoreettinen vapaaväli

$$a_w := 3 \cdot \text{mm}$$

Hitsin a-mitta

$$h_{d.30} := \frac{a_w}{\cos(60 \cdot \text{deg})} + \frac{a_w}{\cos(30 \cdot \text{deg})} + h_1 = 49.464 \cdot \text{mm}$$

Sivumitta, ks. plastisuusteorian
mittalyhenteiden havainnekuva.

$$W_{pl.0} := 25780 \cdot \text{mm}^3$$

Alapaarteen plastinen taivutusvastus

Vapaavälin suuruuden mitoitusehto

$g_{\text{EHTO}} :=$	"OK" if $g \geq 2 \cdot t_d$	= "OK"
	"HUOMIO" otherwise	

Paarteeseen liitettävien uumasauvojen profiileille asetetut ehdot

$b_{1.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $\frac{b_1}{b_0} \geq 0.35$	= "OK"
	"HUOMIO" otherwise	

$b_{2.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $\frac{b_1}{t_d} < 35$	= "OK"
	"HUOMIO" otherwise	

$b_{3.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $15 < \frac{b_0}{t_0} < 35$	= "OK"
	"HUOMIO" otherwise	

$b_{4.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $0.8 < \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_1} < 1.3$	= "OK"
	"HUOMIO" otherwise	

$$\beta := \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} = 0.5$$

Paarteen leveyden suhde paarteen kaksinkertaiseen seinämävahvuuteen

$b_{5.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $0.5 \cdot (1 - \beta) \leq \frac{g}{b_0} \leq 1.5 \cdot (1 - \beta)$	= "HUOMIO"
	"HUOMIO" otherwise	

Liitoksen epäkeskisyyys

$$e_g := \frac{g + h_{d.30}}{2} = 32.232 \cdot \text{mm} \quad e_0 := e_g \cdot \tan(\theta_1) = 55.828 \cdot \text{mm} \quad e := e_0 - \frac{h_0}{2} = 15.828 \cdot \text{mm}$$

Paarteen taivutusmomentin huomioimisehto

$$e_{\text{EHTO}} := \begin{cases} \text{"EI HUOMIOIDA"} & \text{if } -0.55 \cdot h_0 \leq e \leq 0.25 \cdot h_0 \\ \text{"HUOMIOITAVA!"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"EI HUOMIOIDA"}$$

$$-0.55 \cdot h_0 = -44 \cdot \text{mm}$$

Ehtojen raja-arvot

Iteroi voimaa

$$F_d := 59.9 \cdot \text{kN}$$

$$0.25 \cdot h_0 = 20 \cdot \text{mm}$$

$$M_{0.Ed} := \left(\frac{g + h_{d.30}}{2} \right) \cdot \sin(\theta_1) \cdot F_d = 1.672 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Alapaarteen pinnan murtuminen

$$\gamma := \frac{b_0}{2 \cdot t_0} = 13.333$$

$$F_0 := \cos(\theta_1) \cdot \frac{F_0}{F_d} \text{ solve, } F_0 \rightarrow 59.9 \cdot \text{kN} \cdot \cos(60.0^\circ) = 29.95 \cdot \text{kN}$$

$$\sigma_{0.Ed} := \begin{cases} \frac{F_0}{A_0} & \text{if } e_{\text{EHTO}} = \text{"EI HUOMIOIDA"} \\ \frac{F_0}{A_0} + \frac{M_{0.Ed}}{W_{p1.0}} & \text{otherwise} \end{cases} = 33.241 \cdot \text{MPa}$$

$$n := \frac{\sigma_{0.Ed}}{f_{y0}} = 0.094$$

$$\beta_{\text{ww}} := \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} = 0.5$$

$$k_n := 1.3 - \frac{0.4 \cdot n}{\beta} = 1.225$$

Jos paarteen suurin normaaliännitys on vetoa, on $k_n = 1.0$.

Muulloin arvo lasketaan kaavasta.

$$\sigma := 2$$

Sigma on 1 jos paarteessa vetoännitys

$$k_{\text{ww}} := \begin{cases} 1.0 & \text{if } \sigma = 1 \\ k_n & \text{if } k_n \leq 1 \\ 1.0 & \text{otherwise} \end{cases} = 1$$

$$N_{p.Rd} := \frac{8.9 \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \sqrt{\gamma} \cdot \left(\frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4 \cdot b_0} \right)}{\gamma_{M5}} = 59.947 \cdot \text{kN}$$

Paarteen leikkausmyötääminen

$$\alpha := \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4 \cdot g^2}{3 \cdot t_0^2}}}$$

$$A_v := (2 \cdot h_0 + \alpha \cdot b_0) \cdot t_0 = 520.959 \cdot \text{mm}^2$$

$$N_{vi.Rd} := \frac{f_{y0} \cdot A_v}{\frac{\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_i)}{\gamma_{M5}}} = 123.294 \cdot \text{kN}$$

Uumasauvan murtuminen

$$b_{\text{eff}} := \frac{10 \cdot b_1 \cdot t_0^2 \cdot f_{y0}}{b_0 \cdot t_d \cdot f_{y0}} = 15 \cdot \text{mm}$$

$$N_{u.Rd} := \frac{f_y \cdot t_d \cdot (2 \cdot h_1 - 4 \cdot t_d + b_1 + b_{\text{eff}})}{\gamma_{M5}} = 130.995 \cdot \text{kN}$$

Paarteen leikkauslävistyminen

$$b_{\text{ep}} := \frac{10 \cdot t_0 \cdot b_0}{b_0} = 30 \cdot \text{mm}$$

$$N_{N.Rd} := \frac{f_{y0} \cdot t_0 \cdot \left(\frac{2 \cdot h_0}{\sin(\theta_i)} + b_1 + b_{\text{ep}} \right)}{\gamma_{M5}} = 180.874 \cdot \text{kN}$$

Mitoittava kuormitus

$$N_{Rd} := \min(N_{p.Rd}, N_{vi.Rd}, N_{N.Rd}, N_{u.Rd}) = 59.9 \cdot \text{kN}$$

Profiilitiedot

Diagonaalit 80*80*3 S355J2H

Alapaarre 40*40*3 S355J2H

$$f_y := 355 \cdot \text{MPa}$$

$$f_u := 510 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{y0} := f_y$$

Paarteen materiaalin
myötölujuus

$$t_0 := 3 \cdot \text{mm}$$

Paarteen seinämäpaksuus

$$t_d := 3 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin seinämävahvuus

$$\theta_i := 60^\circ$$

Diagonaalin i ja paarteen välinen kulma

$$b_1 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 1 leveys

$$b_2 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 2 leveys

$$h_1 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 1 korkeus

$$h_2 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 2 korkeus

$$h_0 := 80 \cdot \text{mm}$$

Alapaarteen korkeus

$$b_0 := 80 \cdot \text{mm}$$

Alapaarteen leveys

$$A_0 := 901 \cdot \text{mm}^2$$

Alapaarteen poikkipinta-ala

$$\gamma_{M5} := 1.0$$

Rakenneputkien ristikkoliitoksen osavarmuusluku

$$g_{\text{ax}} := 10 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalien teoreettinen vapaaväli

$$a_w := 3 \cdot \text{mm}$$

Hitsin a-mitta

$$h_{d,30} := \frac{a_w}{\cos(60 \cdot \text{deg})} + \frac{a_w}{\cos(30 \cdot \text{deg})} + h_1 = 49.464 \cdot \text{mm}$$

Sivumitta, ks. plastisuusteorian
mittalyhenteiden havainnekuva.

$$W_{p1.0} := 25780 \cdot \text{mm}^3$$

Alapaarteen plastinen taivutusvastus

Vapaavälin suuruuden mitoitusehto

$g_{\text{EHTO}} :=$	"OK" if $g \geq 2 \cdot t_d$ = "OK"
	"HUOMIO" otherwise

Paarteeseen liitettävien uumasauvojen profiileille asetetut ehdot

$b_{1.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $\frac{b_1}{b_0} \geq 0.35$ = "OK"
	"HUOMIO" otherwise

$b_{2.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $\frac{b_1}{t_d} < 35$ = "OK"
	"HUOMIO" otherwise

$b_{3.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $15 < \frac{b_0}{t_0} < 35$ = "OK"
	"HUOMIO" otherwise

$b_{4.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $0.8 < \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_1} < 1.3$ = "OK"
	"HUOMIO" otherwise

$$\beta := \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} = 0.5$$

Paarteen leveyden suhde paarteen kaksinkertaiseen seinämävahvuuteen

$b_{5.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $0.5 \cdot (1 - \beta) \leq \frac{g}{b_0} \leq 1.5 \cdot (1 - \beta)$ = "HUOMIO"
	"HUOMIO" otherwise

Liitoksen epäkeskisyyys

$$e_g := \frac{g + h_{d.30}}{2} = 29.732 \cdot \text{mm} \quad e_0 := e_g \cdot \tan(\theta_1) = 51.497 \cdot \text{mm} \quad e := e_0 - \frac{h_0}{2} = 11.497 \cdot \text{mm}$$

Paarteen taivutusmomentin huomioimisehto

$\epsilon_{\text{EHTO}} :=$	"EI HUOMIOIDA" if $-0.55 \cdot h_0 \leq e \leq 0.25 \cdot h_0$ = "EI HUOMIOIDA"
	"HUOMIOITAVA!" otherwise

$$-0.55 \cdot h_0 = -44 \cdot \text{mm}$$

Ehtojen raja-arvot

Iteroi voimaa

$$F_d := 59.9 \cdot \text{kN}$$

$$0.25 \cdot h_0 = 20 \cdot \text{mm}$$

$$M_{0.Ed} := \left(\frac{g + h_{d.30}}{2} \right) \cdot \sin(\theta_1) \cdot F_d = 1.542 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Alapaarteen pinnan murtuminen

$$\gamma := \frac{b_0}{2 \cdot t_0} = 13.333$$

$$F_0 := \cos(\theta_1) = \frac{F_0}{F_d} \text{ solve, } F_0 \rightarrow 59.9 \cdot \text{kN} \cdot \cos(60.0^\circ) = 29.95 \cdot \text{kN}$$

$$\sigma_{0.Ed} := \begin{cases} \frac{F_0}{A_0} & \text{if } \epsilon_{\text{EHTO}} = \text{"EI HUOMIOIDA"} = 33.241 \cdot \text{MPa} \\ \frac{F_0}{A_0} + \frac{M_{0.Ed}}{W_{pl.0}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$n := \frac{\sigma_{0.Ed}}{f_{y0}} = 0.094$$

$$\beta_{\text{ww}} := \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} = 0.5$$

$$k_n := 1.3 - \frac{0.4 \cdot n}{\beta} = 1.225$$

Jos paarteen suurin normaalijännitys on vetoa, on $k_n = 1.0$.

Muulloin arvo lasketaan kaavasta.

$$\sigma := 2$$

Sigma on 1 jos paarteessa vetojännitys

$$k_{\text{ww}} := \begin{cases} 1.0 & \text{if } \sigma = 1 = 1 \\ k_n & \text{if } k_n \leq 1 \\ 1.0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$N_{p.Rd} := \frac{8.9 \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \sqrt{\gamma}}{\sin(\theta_1)} \cdot \left(\frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4 \cdot b_0} \right) = 59.947 \cdot \text{kN}$$

γ_{M5}

Paarteen leikkausmyötääminen

$$\alpha := \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4 \cdot g^2}{3 \cdot t_0^2}}}$$

$$A_v := (2 \cdot h_0 + \alpha \cdot b_0) \cdot t_0 = 540.35 \cdot \text{mm}^2$$

$$N_{vi.Rd} := \frac{\frac{f_{y0} \cdot A_v}{\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_i)}}{\gamma_{M5}} = 127.883 \cdot \text{kN}$$

Uumasauvan murtuminen

$$b_{\text{eff}} := \frac{10 \cdot b_1 \cdot t_0^2 \cdot f_{y0}}{b_0 \cdot t_d \cdot f_{y0}} = 15 \cdot \text{mm}$$

$$N_{u.Rd} := \frac{f_y \cdot t_d \cdot (2 \cdot h_1 - 4 \cdot t_d + b_1 + b_{\text{eff}})}{\gamma_{M5}} = 130.995 \cdot \text{kN}$$

Paarteen leikkauslävistyminen

$$b_{\text{ep}} := \frac{10 \cdot t_0 \cdot b_0}{b_0} = 30 \cdot \text{mm}$$

$$N_{N.Rd} := \frac{\frac{f_{y0} \cdot t_0}{\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_i)} \cdot \left(\frac{2 \cdot h_0}{\sin(\theta_i)} + b_1 + b_{\text{ep}} \right)}{\gamma_{M5}} = 180.874 \cdot \text{kN}$$

Mitoittava kuormitus

$$N_{Rd} := \min(N_{p.Rd}, N_{vi.Rd}, N_{N.Rd}, N_{u.Rd}) = 59.9 \cdot \text{kN}$$

Profiilitiedot

Diagonaalit 80*80*3 S355J2H

Alapaarre 40*40*3 S355J2H

$$f_y := 355 \cdot \text{MPa}$$

$$f_u := 510 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{y0} := f_y$$

Paarteen materiaalin
myötölujuus

$$t_0 := 3 \cdot \text{mm}$$

Paarteen seinämäpaksuus

$$t_d := 3 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin seinämävahvuus

$$\theta_i := 60^\circ$$

Diagonaalin i ja paarteen välinen kulma

$$b_1 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 1 leveys

$$b_2 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 2 leveys

$$h_1 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 1 korkeus

$$h_2 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 2 korkeus

$$h_0 := 80 \cdot \text{mm}$$

Alapaarteen korkeus

$$b_0 := 80 \cdot \text{mm}$$

Alapaarteen leveys

$$A_0 := 901 \cdot \text{mm}^2$$

Alapaarteen poikkipinta-ala

$$\gamma_{M5} := 1.0$$

Rakenneputkien ristikkoliitoksen osavamuusluku

$$g_{\text{av}} := 5 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalien teoreettinen vapaaväli

$$a_w := 3 \cdot \text{mm}$$

Hitsin a-mitta

$$h_{d,30} := \frac{a_w}{\cos(60 \cdot \text{deg})} + \frac{a_w}{\cos(30 \cdot \text{deg})} + h_1 = 49.464 \cdot \text{mm}$$

Sivumitta, ks. plastisuusteorian
mittalyhenteiden havainnekuva.

$$W_{p1.0} := 25780 \cdot \text{mm}^3$$

Alapaarteen plastinen taivutusvastus

Vapaavälin suuruuden mitoitusehto

$g_{\text{EHTO}} :=$	"OK" if $g \geq 2 \cdot t_d$ = "HUOMIO"
	"HUOMIO" otherwise

Paarteeseen liitettävien uumasauvojen profiileille asetetut ehdot

$b_{1.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $\frac{b_1}{b_0} \geq 0.35$ = "OK"
	"HUOMIO" otherwise

$b_{2.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $\frac{b_1}{t_d} < 35$ = "OK"
	"HUOMIO" otherwise

$b_{3.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $15 < \frac{b_0}{t_0} < 35$ = "OK"
	"HUOMIO" otherwise

$b_{4.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $0.8 < \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_1} < 1.3$ = "OK"
	"HUOMIO" otherwise

$$\beta := \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} = 0.5$$

Paarteen leveyden suhde paarteen kaksinkertaiseen seinämävahvuuteen

$b_{5.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $0.5 \cdot (1 - \beta) \leq \frac{g}{b_0} \leq 1.5 \cdot (1 - \beta)$ = "HUOMIO"
	"HUOMIO" otherwise

Liitoksen epäkeskisyyttä

$$e_g := \frac{g + h_{d,30}}{2} = 27.232 \cdot \text{mm} \quad e_0 := e_g \cdot \tan(\theta_1) = 47.167 \cdot \text{mm} \quad e := e_0 - \frac{h_0}{2} = 7.167 \cdot \text{mm}$$

Paarteen taivutusmomentin huomioimisehto

$$e_{\text{EHTO}} := \begin{cases} \text{"EI HUOMIOIDA"} & \text{if } -0.55 \cdot h_0 \leq e \leq 0.25 \cdot h_0 \\ \text{"HUOMIOITAVA!"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"EI HUOMIOIDA"}$$

$$-0.55 \cdot h_0 = -44 \cdot \text{mm}$$

Ehtojen raja-arvot

Iteroi voimaa

$$F_d := 59.9 \cdot \text{kN}$$

$$0.25 \cdot h_0 = 20 \cdot \text{mm}$$

$$M_{0,Ed} := \left(\frac{g + h_{d,30}}{2} \right) \cdot \sin(\theta_1) \cdot F_d = 1.413 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Alapaarteen pinnan murtuminen

$$\gamma := \frac{b_0}{2 \cdot t_0} = 13.333$$

$$F_0 := \cos(\theta_1) = \frac{F_0}{F_d} \text{ solve, } F_0 \rightarrow 59.9 \cdot \text{kN} \cdot \cos(60.0^\circ) = 29.95 \cdot \text{kN}$$

$$\sigma_{0,Ed} := \begin{cases} \frac{F_0}{A_0} & \text{if } e_{\text{EHTO}} = \text{"EI HUOMIOIDA"} \\ \frac{F_0}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{pl,0}} & \text{otherwise} \end{cases} = 33.241 \cdot \text{MPa}$$

$$n := \frac{\sigma_{0,Ed}}{f_{y0}} = 0.094$$

$$\beta_{\text{ww}} := \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} = 0.5$$

Jos paarteen suurin normaalijännitys on vetoa, on $k_n = 1.0$.

$$k_n := 1.3 - \frac{0.4 \cdot n}{\beta} = 1.225$$

Muulloin

arvo lasketaan kaavasta.

$$\sigma := 2$$

Sigma on 1 jos paarteessa vetojännitys

$$k_{\text{av}} := \begin{cases} 1.0 & \text{if } \sigma = 1 \\ k_n & \text{if } k_n \leq 1 \\ 1.0 & \text{otherwise} \end{cases} = 1$$

$$N_{p,Rd} := \frac{8.9 \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \sqrt{\gamma} \cdot \left(\frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4 \cdot b_0} \right)}{\gamma_{M5}} = 59.947 \cdot \text{kN}$$

Paarteen leikkausmyötääminen

$$\alpha := \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4 \cdot g^2}{3 \cdot t_0^2}}}$$

$$A_v := (2 \cdot h_0 + \alpha \cdot b_0) \cdot t_0 = 590.66 \cdot \text{mm}^2$$

$$N_{vi.Rd} := \frac{\frac{f_{y0} \cdot A_v}{\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_i)}}{\gamma_{M5}} = 139.79 \cdot \text{kN}$$

Uumasauvan murtuminen

$$b_{\text{eff}} := \frac{10 \cdot b_1 \cdot t_0^2 \cdot f_{y0}}{b_0 \cdot t_d \cdot f_{y0}} = 15 \cdot \text{mm}$$

$$N_{u.Rd} := \frac{f_y \cdot t_d \cdot (2 \cdot h_1 - 4 \cdot t_d + b_1 + b_{\text{eff}})}{\gamma_{M5}} = 130.995 \cdot \text{kN}$$

Paarteen leikkauslävistyminen

$$b_{\text{ep}} := \frac{10 \cdot t_0 \cdot b_0}{b_0} = 30 \cdot \text{mm}$$

$$N_{N.Rd} := \frac{\frac{f_{y0} \cdot t_0}{\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_i)} \cdot \left(\frac{2 \cdot h_0}{\sin(\theta_i)} + b_1 + b_{\text{ep}} \right)}{\gamma_{M5}} = 180.874 \cdot \text{kN}$$

Mitoittava kuormitus

$$N_{Rd} := \min(N_{p.Rd}, N_{vi.Rd}, N_{N.Rd}, N_{u.Rd}) = 59.9 \cdot \text{kN}$$

KOEKAPPALEIDEN HITSISAUMAN a-MITAN EUROKOODIMITOITUS

Profilitiedot

Diagonaalit 80*80*3 S235J2H

Alapaarre 40*40*3 S235J2H

$f_y := 355 \cdot \text{MPa}$	$F_{w,Ed} := 59.9 \cdot \text{kN}$	Eurokoodin antama suurin diagonaalissa vaikuttava voima
$f_u := 510 \cdot \text{MPa}$	$F_{ed} := 59.9 \cdot \text{kN}$	
$\beta_w := 0.9$	Hitsin lujuuskerroin materiaalin lujuuden mukaan	
$t_0 := 3 \cdot \text{mm}$	Paarteen seinämäpaksuus	
$\theta_1 := 60^\circ$	Diagonaalin i ja paarteen välinen kulma	
$b_1 := 40 \cdot \text{mm}$	Diagonaalin 1 leveys	
$t_d := 3 \cdot \text{mm}$	Diagonaalin seinämävahvuus	
$b_2 := 40 \cdot \text{mm}$	Diagonaalin 2 leveys	
$h_1 := 40 \cdot \text{mm}$	Diagonaalin 1 korkeus	
$h_2 := 40 \cdot \text{mm}$	Diagonaalin 2 korkeus	
$h_0 := 80 \cdot \text{mm}$	Alapaarteen korkeus	
$b_0 := 80 \cdot \text{mm}$	Alapaarteen leveys	
$A_0 := 901 \cdot \text{mm}^2$	Alapaarteen poikkipinta-ala	
$\gamma_{M0} := 1.0$	Materiaalin osavarmuusluku	
$\gamma_{M2} := 1.25$	Hitsin osavarmuusluku	
$l_w := 2 \cdot \frac{b_1}{\sin(\theta_1)} + 2 \cdot b_1 = 172.376 \cdot \text{mm}$	Hitsin pituus	

Mitoitusehdot

$$l_{w,EHTO} := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } 60^\circ \leq \theta_1 \leq 120^\circ \\ \text{"HUOMIO"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"OK"} \quad \text{Pienahitsin käyttöehto}$$

$$a := 3 \cdot \text{mm} \quad \text{a-mitta kokeilemalla tässä}$$

Hitsin mitoitus

$$f_{vw,Rd} := \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 261.732 \cdot \text{MPa} \quad \text{Hitsin leikkauslujuuden mitoitusarvo}$$

$$A_w := l \cdot a = 517.128 \cdot \text{mm}^2 \quad \text{Hitsin a-pinnan pikkipinta-ala}$$

$$\delta_T := \frac{\sin(\theta_1) \cdot F_{ed}}{A_w} = 100.313 \cdot \text{MPa} \quad \text{Poikkipinta-alassa vallitseva y -suuntainen vetojännitys}$$

$$\tau_{II} := \frac{3}{2} \frac{\cos(\theta_1) \cdot F_{ed}}{A_w} = 86.874 \cdot \text{MPa} \quad \text{Poikkipinta-alassa vallitseva z -suuntainen leikkausjännitys}$$

$$\tau_T := 0 \quad \text{Poikkipinnassa vallitseva x -suuntainen leikkausjännitys}$$

$$a_{EHTO} := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } \left[\delta_T^2 + 3 \cdot (\tau_T^2 + \tau_{II}^2) \right]^{0.5} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \\ \text{"HUOMIO"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"OK"} \quad \text{Pienahitsin kestävyysmitoitusehto}$$

$$\alpha := \frac{1.1}{\gamma_{M2}} \cdot \frac{\gamma_{M2}}{1.25} \quad \text{Tekijä}$$

$$a_{EHTO2} := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } \frac{a}{\max(t_d, t_0)} \geq 1.05 \cdot \alpha \\ \text{"HUOMIO"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{Ehdon antama hitsin pienin a-mitta}$$

$$a_{\min} := 1.05 \cdot \alpha \cdot \max(t_d, t_0) = 2.772 \cdot \text{mm}$$

$$a_{EHTO3} := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } a \geq \frac{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}}{2} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \cdot \frac{f_u}{f_u} \cdot \max(t_0, t_d) \\ \text{"HUOMIO"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"OK"}$$

MYÖTÖVIIVATEORIAN MUKAINEN LUJUUSLASKELMA

Profilitiedot

Diagonaalit 80*80*3 S355J2H

Alapaarre 40*40*3 S355J2H

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

$$f_u := 510 \text{ MPa}$$

$$f_{y0} := f_y$$

$$A_0 := 901 \text{ mm}^2$$

$$t_d := 3 \text{ mm}$$

$$t_0 := 3 \text{ mm}$$

$$\theta_1 := 60^\circ$$

$$b_1 := 40 \text{ mm}$$

$$b_2 := 40 \text{ mm}$$

$$h_1 := 40 \text{ mm}$$

$$h_2 := 40 \text{ mm}$$

$$h_0 := 80 \text{ mm}$$

$$b_0 := 80 \text{ mm}$$

$$g := 40 \text{ mm}$$

$$a_w := 3 \text{ mm}$$

Paarteen materiaalin
myötölujuus

Alapaarteen poikkipinta-ala

Diagonaalin seinämävahvuus

Paarteen seinämäpaksuus

Diagonaalin i ja paarteen välinen kulma

Diagonaalin 1 leveys

Diagonaalin 2 leveys

Diagonaalin 1 korkeus

Diagonaalin 2 korkeus

Alapaarteen korkeus

Alapaarteen leveys

Diagonaalien teoreettinen vapaaväli

Hitsin a-mitta

Myötöviiva teoria

Lähtötiedot

$$b := 1 \text{ mm}$$

$$h := 3 \text{ mm}$$

$$\delta := 1$$

$$a_k := \frac{a_w}{\cos(60 \text{ deg})} = 6 \text{ mm}$$

$$W_{pl} := \frac{b \cdot h^2}{4} = 2.25 \text{ mm}^3$$

$$M_{py} := f_y \cdot W_{pl} = 798.75 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Tarkastelupinnan leveys

Tarkastelupinnan korkeus

Pystysuuntainen siirtymä enintään

Hitsin kateetti vapaavälin puolella

Alapaarteen pinnan plastinen taivutusvastus

Profiilin plastinen myötömomenti

Myötönivelten pituudet

$$h_{d,90} := 2 \cdot \frac{a_w}{\cos(45 \cdot \text{deg})} + h_1 = 48.485 \cdot \text{mm}$$

$$h_{d,30} := \frac{a_w}{\cos(60 \cdot \text{deg})} + \frac{a_w}{\cos(30 \cdot \text{deg})} + h_1 = 49.464 \cdot \text{mm}$$

$$b_{0k} := 74 \cdot \text{mm}$$

$$c_w := \frac{b_0 - h_{d,90}}{2} = 12.757 \cdot \text{mm}$$

$$d := \begin{cases} \left(\frac{e_g}{2} - a_k \right) & \text{if } \frac{e_g}{2} - a_k > 0 \cdot \text{mm} \\ 0.1 \cdot \text{mm} & \text{otherwise} \end{cases} = 14 \cdot \text{mm}$$

$$f := \sqrt{c^2 + c^2} = 18.042 \cdot \text{mm}$$

$$l_0 := d + h_{d,30} + f = 81.506 \cdot \text{mm}$$

$$e := \sqrt{d^2 + c^2} = 18.941 \cdot \text{mm}$$

$$a := \sqrt{f^2 + c^2} = 22.096 \cdot \text{mm}$$

Kiertokulmat myötönivelissä

$$\varphi_{20} := \frac{\delta}{c} = 0.078 \cdot \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{30} := \frac{\delta}{f} = 0.055 \cdot \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{10} := \frac{\delta}{d} = 0.071 \cdot \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{12} := \sqrt{\varphi_{20}^2 + \varphi_{10}^2} = 0.106 \cdot \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{25} := \varphi_{20} = 0.078 \cdot \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{15} := \frac{\delta}{d} = 0.071 \cdot \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{23} := \sqrt{\varphi_{20}^2 + \varphi_{30}^2} = 0.096 \cdot \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{35} := \varphi_{30} = 0.055 \cdot \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$W_s := M_{py} \cdot 4 \cdot (a \cdot \varphi_{23} + e \cdot \varphi_{12} + h_{d,30} \cdot \varphi_{25} + l_0 \cdot \varphi_{20}) + M_{py} \cdot 2 \cdot (h_{d,90} \cdot \varphi_{35} + h_{d,90} \cdot \varphi_{15}) = 55821.465 \cdot \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$W_u := 4 \cdot q_y \cdot \left(h_{d,30} + \frac{f}{2} + \frac{d}{2} + h_{d,90} + \frac{2 \cdot c}{2} \right) \text{ simplify } \rightarrow 0.5069102303297136 \cdot \text{m} \cdot q_y$$

$$W_s = W_u$$

$$q := \frac{\frac{W_s}{\text{mm}}}{479.1102303297136 \cdot \text{mm}} = 116.511 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Viivakuorma uumasauvan pienahitsin ulkokehällä

$$F_w := \frac{q \cdot (h_{d,30} + h_{d,90}) \cdot 2 \cdot 2}{\sin(\theta_1)} = 52.71 \cdot \text{kN}$$

Uumasauvan voimaresultantti

$$\frac{F}{60 \cdot \text{kN}} = 87.851 \cdot \%$$

Myötäämiseen vaadittava voima eurokoodi mitoituksen arvosta

Profilitiedot

Diagonaalit 80*80*3 S355J2H

Alapaarre 40*40*3 S355J2H

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

$$f_u := 510 \text{ MPa}$$

$$f_{y0} := f_y$$

$$A_0 := 901 \text{ mm}^2$$

$$t_d := 3 \text{ mm}$$

$$t_0 := 3 \text{ mm}$$

$$\theta_i := 60^\circ$$

$$b_1 := 40 \text{ mm}$$

$$b_2 := 40 \text{ mm}$$

$$h_1 := 40 \text{ mm}$$

$$h_2 := 40 \text{ mm}$$

$$h_0 := 80 \text{ mm}$$

$$b_0 := 80 \text{ mm}$$

$$g_{\Delta} := 30 \text{ mm}$$

$$a_w := 3 \text{ mm}$$

Paarteen materiaalin
myötölujuus

Alapaarteen poikkipinta-ala

Diagonaalin seinämävahvuus

Paarteen seinämäpaksuus

Diagonaalin i ja paarteen välinen kulma

Diagonaalin 1 leveys

Diagonaalin 2 leveys

Diagonaalin 1 korkeus

Diagonaalin 2 korkeus

Alapaarteen korkeus

Alapaarteen leveys

Diagonaalien teoreettinen vapaaväli

Hitsin a-mitta

Myötöviiva teoria

Lähtötiedot

$$b := 1 \text{ mm}$$

$$h := 3 \text{ mm}$$

$$\delta_{\Delta} := 1$$

$$a_k := \frac{a_w}{\cos(60 \text{ deg})} = 6 \text{ mm}$$

$$W_{pl} := \frac{b \cdot h^2}{4} = 2.25 \text{ mm}^3$$

$$M_{py} := f_y \cdot W_{pl} = 798.75 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Tarkastelupinnan leveys

Tarkastelupinnan korkeus

Pystysuuntainen siirtymä enintään

Hitsin kateetti vapaavälin puolella

Alapaarteen pinnan plastinen taivutusvastus

Profiilin plastinen myötömomenti

Myötönivelten pituudet

$$h_{d,90} := 2 \cdot \frac{a_w}{\cos(45 \text{ deg})} + h_1 = 48.485 \text{ mm}$$

$$h_{d,30} := \frac{a_w}{\cos(60 \text{ deg})} + \frac{a_w}{\cos(30 \text{ deg})} + h_1 = 49.464 \text{ mm}$$

$$b_{0k} := 74 \text{ mm}$$

$$s_w := \frac{b_0 - h_{d,90}}{2} = 12.757 \text{ mm}$$

$$d := \begin{cases} \left(\frac{e}{2} - a_k \right) & \text{if } \frac{e}{2} - a_k > 0 \text{ mm} \\ 0.1 \text{ mm} & \text{otherwise} \end{cases} = 9 \text{ mm}$$

$$f := \sqrt{c^2 + c^2} = 18.042 \text{ mm}$$

$$l_0 := d + h_{d,30} + f = 76.506 \text{ mm}$$

$$e := \sqrt{d^2 + c^2} = 15.613 \text{ mm}$$

$$a := \sqrt{f^2 + c^2} = 22.096 \text{ mm}$$

Kiertokulmat myötönivelissä

$$\varphi_{20} := \frac{\delta}{c} = 0.078 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{30} := \frac{\delta}{f} = 0.055 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{10} := \frac{\delta}{d} = 0.111 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{12} := \sqrt{\varphi_{20}^2 + \varphi_{10}^2} = 0.136 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{25} := \varphi_{20} = 0.078 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{15} := \frac{\delta}{d} = 0.111 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{23} := \sqrt{\varphi_{20}^2 + \varphi_{30}^2} = 0.096 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{35} := \varphi_{30} = 0.055 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$W_s := M_{py} \cdot 4 \cdot (a \cdot \varphi_{23} + e \cdot \varphi_{12} + h_{d,30} \cdot \varphi_{25} + l_0 \cdot \varphi_{20}) + M_{py} \cdot 2 \cdot (h_{d,90} \cdot \varphi_{35} + h_{d,90} \cdot \varphi_{15}) = 58008.1 \text{ N mm}$$

$$W_u := 4 \cdot q_y \cdot \left(h_{d,30} + \frac{f}{2} + \frac{d}{2} + h_{d,90} + \frac{2 \cdot c}{2} \right) \text{ simplify} \rightarrow 0.4969102303297136 \text{ m} \cdot q_y$$

$$W_s = W_u$$

$$q := \frac{\frac{W_s}{\text{mm}}}{479.1102303297136 \text{ mm}} = 121.075 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Viivakuorma uumasauvan pienahitsin ulkokehällä

$$F_w := \frac{q \cdot (h_{d,30} + h_{d,90}) \cdot 2 \cdot 2}{\sin(\theta_1)} = 54.775 \text{ kN}$$

Uumasauvan voimaresultantti

$$\frac{F}{60 \text{ kN}} = 91.292 \%$$

Myötämiseen vaadittava voima eurokoodi mitoituksen arvosta

Profiilitiedot

Diagonaalit 80*80*3 S355J2H

Alapaarre 40*40*3 S355J2H

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

$$f_u := 510 \text{ MPa}$$

$$f_{y0} := f_y$$

$$A_0 := 901 \text{ mm}^2$$

$$t_d := 3 \text{ mm}$$

$$t_0 := 3 \text{ mm}$$

$$\theta_i := 60^\circ$$

$$b_1 := 40 \text{ mm}$$

$$b_2 := 40 \text{ mm}$$

$$h_1 := 40 \text{ mm}$$

$$h_2 := 40 \text{ mm}$$

$$h_0 := 80 \text{ mm}$$

$$b_0 := 80 \text{ mm}$$

$$g_{\text{min}} := 20 \text{ mm}$$

$$a_w := 3 \text{ mm}$$

Paarteen materiaalin
myötölujuus

Alapaarteen poikkipinta-ala

Diagonaalin seinämävahvuus

Paarteen seinämäpaksuus

Diagonaalin i ja paarteen välinen kulma

Diagonaalin 1 leveys

Diagonaalin 2 leveys

Diagonaalin 1 korkeus

Diagonaalin 2 korkeus

Alapaarteen korkeus

Alapaarteen leveys

Diagonaalien teoreettinen vapaaväli

Hitsin a-mitta

Myötöviiva teoria

Lähtötiedot

$$b := 1 \text{ mm}$$

$$h := 3 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{min}} := 1$$

$$a_k := \frac{a_w}{\cos(60 \text{ deg})} = 6 \text{ mm}$$

$$W_{pl} := \frac{b \cdot h^2}{4} = 2.25 \text{ mm}^3$$

$$M_{py} := f_y \cdot W_{pl} = 798.75 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

Tarkastelupinnan leveys

Tarkastelupinnan korkeus

Pystysuuntainens siirtymä enintään

Hitsin kateetti vapaavälin puolella

Alapaarteen pinnan plastinen taivutusvastus

Profiilin plastinen myötömomentti

Myötönivelten pituudet

$$h_{d,90} := 2 \cdot \frac{a_w}{\cos(45 \text{ deg})} + h_1 = 48.485 \text{ mm}$$

$$h_{d,30} := \frac{a_w}{\cos(60 \text{ deg})} + \frac{a_w}{\cos(30 \text{ deg})} + h_1 = 49.464 \text{ mm}$$

$$b_{0k} := 74 \text{ mm}$$

$$c_w := \frac{b_0 - h_{d,90}}{2} = 12.757 \text{ mm}$$

$$d := \begin{cases} \left(\frac{g}{2} - a_k \right) & \text{if } \frac{g}{2} - a_k > 0 \text{ mm} \\ 0.1 \text{ mm} & \text{otherwise} \end{cases} = 4 \text{ mm}$$

$$f := \sqrt{c^2 + c^2} = 18.042 \text{ mm}$$

$$l_0 := d + h_{d,30} + f = 71.506 \text{ mm}$$

$$e := \sqrt{d^2 + c^2} = 13.37 \text{ mm}$$

$$a := \sqrt{f^2 + c^2} = 22.096 \text{ mm}$$

Kiertokulmat myötönivelissä

$$\varphi_{20} := \frac{\delta}{c} = 0.078 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{30} := \frac{\delta}{f} = 0.055 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{10} := \frac{\delta}{d} = 0.25 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{12} := \sqrt{\varphi_{20}^2 + \varphi_{10}^2} = 0.262 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{25} := \varphi_{20} = 0.078 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{15} := \frac{\delta}{d} = 0.25 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{23} := \sqrt{\varphi_{20}^2 + \varphi_{30}^2} = 0.096 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{35} := \varphi_{30} = 0.055 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$W_s := M_{py} \cdot 4 \cdot (a \cdot \varphi_{23} + e \cdot \varphi_{12} + h_{d,30} \cdot \varphi_{25} + l_0 \cdot \varphi_{20}) + M_{py} \cdot 2 \cdot (h_{d,90} \cdot \varphi_{35} + h_{d,90} \cdot \varphi_{15}) = 71922.413 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$W_u := 4 \cdot q_y \cdot \left(h_{d,30} + \frac{f}{2} + \frac{d}{2} + h_{d,90} + \frac{2 \cdot c}{2} \right) \text{ simplify} \rightarrow 0.4869102303297136 \text{ m} \cdot q_y$$

$$W_s = W_u$$

$$q := \frac{W_s}{\frac{W_s}{\text{mm}}} = 150.117 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Viivakuoma uumasauvan pienahitsin ulkokehällä

$$F_w := \frac{q \cdot (h_{d,30} + h_{d,90}) \cdot 2 \cdot 2}{\sin(\theta_1)} = 67.914 \text{ kN}$$

Uumasauvan voimaresultantti

$$\frac{F}{60 \text{ kN}} = 113.19 \%$$

Myötämiseen vaadittava voima eurokoodi mitoituksen arvosta

Profiliitiedot

Diagonaalit 80*80*3 S355J2H

Alapaarre 40*40*3 S355J2H

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

$$f_u := 510 \text{ MPa}$$

$$f_{y0} := f_y$$

$$A_0 := 901 \text{ mm}^2$$

$$t_d := 3 \text{ mm}$$

$$t_0 := 3 \text{ mm}$$

$$\theta_i := 60^\circ$$

$$b_1 := 40 \text{ mm}$$

$$b_2 := 40 \text{ mm}$$

$$h_1 := 40 \text{ mm}$$

$$h_2 := 40 \text{ mm}$$

$$h_0 := 80 \text{ mm}$$

$$b_0 := 80 \text{ mm}$$

$$\frac{g}{m} := 15 \text{ mm}$$

$$a_w := 3 \text{ mm}$$

Paarteen materiaalin
myötölujuus

Alapaarteen poikkipinta-ala

Diagonaalin seinämävahvuus

Paarteen seinämäpaksuus

Diagonaalin i ja paarteen välinen kulma

Diagonaalin 1 leveys

Diagonaalin 2 leveys

Diagonaalin 1 korkeus

Diagonaalin 2 korkeus

Alapaarteen korkeus

Alapaarteen leveys

Diagonaalien teoreettinen vapaaväli

Hitsin a-mitta

Myötöviiva teoria

Lähtötiedot

$$b := 1 \text{ mm}$$

$$h := 3 \text{ mm}$$

$$\frac{\delta}{m} := 1$$

$$a_k := \frac{a_w}{\cos(60 \text{ deg})} = 6 \text{ mm}$$

$$W_{pl} := \frac{b \cdot h^2}{4} = 2.25 \text{ mm}^3$$

$$M_{py} := f_y \cdot W_{pl} = 798.75 \text{ N mm}$$

Tarkastelupinnan leveys

Tarkastelupinnan korkeus

Pystysuuntainen siirtymä enintään

Hitsin kateetti vapaavälin puolella

Alapaarteen pinnan plastinen taivutusvastus

Profiilin plastinen myötömomenti

Myötönivelten pituudet

$$h_{d,90} := 2 \cdot \frac{a_w}{\cos(45 \text{ deg})} + h_1 = 48.485 \text{ mm}$$

$$h_{d,30} := \frac{a_w}{\cos(60 \text{ deg})} + \frac{a_w}{\cos(30 \text{ deg})} + h_1 = 49.464 \text{ mm}$$

$$b_0 := 74 \text{ mm}$$

$$e_w := \frac{b_0 - h_{d,90}}{2} = 12.757 \text{ mm}$$

$$d := \begin{cases} \left(\frac{e_w}{2} - a_k \right) & \text{if } \frac{e_w}{2} - a_k > 0 \text{ mm} \\ 0.1 \text{ mm} & \text{otherwise} \end{cases} = 1.5 \text{ mm}$$

$$f := \sqrt{c^2 + c^2} = 18.042 \text{ mm}$$

$$l_0 := d + h_{d,30} + f = 69.006 \text{ mm}$$

$$e := \sqrt{d^2 + c^2} = 12.845 \text{ mm}$$

$$a := \sqrt{f^2 + c^2} = 22.096 \text{ mm}$$

Kiertokulmat myötönivelissä

$$\varphi_{20} := \frac{\delta}{c} = 0.078 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{30} := \frac{\delta}{f} = 0.055 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{10} := \frac{\delta}{d} = 0.667 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{12} := \sqrt{\varphi_{20}^2 + \varphi_{10}^2} = 0.671 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{25} := \varphi_{20} = 0.078 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{15} := \frac{\delta}{d} = 0.667 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{23} := \sqrt{\varphi_{20}^2 + \varphi_{30}^2} = 0.096 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{35} := \varphi_{30} = 0.055 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$W_s := M_{py} \cdot 4 \cdot (a \cdot \varphi_{23} + e \cdot \varphi_{12} + h_{d,30} \cdot \varphi_{25} + l_0 \cdot \varphi_{20}) + M_{py} \cdot 2 \cdot (h_{d,90} \cdot \varphi_{35} + h_{d,90} \cdot \varphi_{15}) = 119926.445 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$W_u := 4 \cdot q_y \cdot \left(h_{d,30} + \frac{f}{2} + \frac{d}{2} + h_{d,90} + \frac{2 \cdot c}{2} \right) \text{ simplify} \rightarrow 0.4819102303297136 \text{ m} \cdot q_y$$

$$W_s = W_u$$

$$q := \frac{\frac{W_s}{\text{mm}}}{479.1102303297136 \text{ mm}} = 250.311 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Viivakuorma uumasauvan pienahitsin ulkokehällä

$$F_w := \frac{q \cdot (h_{d,30} + h_{d,90}) \cdot 2 \cdot 2}{\sin(\theta_i)} = 113.243 \text{ kN}$$

Uumasauvan voimaresultantti

$$\frac{F}{60 \text{ kN}} = 188.738 \%$$

Myötämiseen vaadittava voima eurokoodi mitoituksen arvosta

Profilitiedot

Diagonaalit 80*80*3 S355J2H

Alapaarre 40*40*3 S355J2H

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

$$f_u := 510 \text{ MPa}$$

$$f_{y0} := f_y$$

$$A_0 := 901 \text{ mm}^2$$

$$t_d := 3 \text{ mm}$$

$$t_0 := 3 \text{ mm}$$

$$\theta_i := 60^\circ$$

$$b_1 := 40 \text{ mm}$$

$$b_2 := 40 \text{ mm}$$

$$h_1 := 40 \text{ mm}$$

$$h_2 := 40 \text{ mm}$$

$$h_0 := 80 \text{ mm}$$

$$b_0 := 80 \text{ mm}$$

$$g_w := 10 \text{ mm}$$

$$a_w := 3 \text{ mm}$$

Myötöviiva teoria

Lähtötiedot

$$b := 1 \text{ mm}$$

$$h := 3 \text{ mm}$$

$$\frac{\delta}{\Delta} := 1$$

$$a_k := \frac{a_w}{\cos(60 \text{ deg})} = 6 \text{ mm}$$

$$W_{pl} := \frac{b \cdot h^2}{4} = 2.25 \text{ mm}^3$$

$$M_{py} := f_y \cdot W_{pl} = 798.75 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Paarteen materiaalin
myötölujuus

Alapaarteen poikkipinta-ala

Diagonaalin seinämävahvuus

Paarteen seinämäpaksuus

Diagonaalin i ja paarteen välinen kulma

Diagonaalin 1 leveys

Diagonaalin 2 leveys

Diagonaalin 1 korkeus

Diagonaalin 2 korkeus

Alapaarteen korkeus

Alapaarteen leveys

Diagonaalien teoreettinen vapaaväli

Hitsin a-mitta

Tarkastelupinnan leveys

Tarkastelupinnan korkeus

Pystysuuntainen siirtymä enintään

Hitsin kateetti vapaavälin puolella

Alapaarteen pinnan plastinen taivutusvastus

Profiilin plastinen myötömomenti

Myötönivelten pituudet

$$h_{d,90} := 2 \cdot \frac{a_w}{\cos(45 \text{ deg})} + h_1 = 48.485 \text{ mm}$$

$$h_{d,30} := \frac{a_w}{\cos(60 \text{ deg})} + \frac{a_w}{\cos(30 \text{ deg})} + h_1 = 49.464 \text{ mm}$$

$$b_{0k} := 74 \text{ mm}$$

$$c_w := \frac{b_0 - h_{d,90}}{2} = 12.757 \text{ mm}$$

$$d := \begin{cases} \left(\frac{e}{2} - a_k \right) & \text{if } \frac{e}{2} - a_k > 0 \text{ mm} \\ 0.1 \text{ mm} & \text{otherwise} \end{cases} = 0.1 \text{ mm}$$

$$f := \sqrt{c^2 + c^2} = 18.042 \text{ mm}$$

$$l_0 := d + h_{d,30} + f = 67.606 \text{ mm}$$

$$e := \sqrt{d^2 + c^2} = 12.758 \text{ mm}$$

$$a := \sqrt{f^2 + c^2} = 22.096 \text{ mm}$$

Kiertokulmat myötönivelissä

$$\varphi_{20} := \frac{\delta}{c} = 0.078 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{30} := \frac{\delta}{f} = 0.055 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{10} := \frac{\delta}{d} = 10 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{12} := \sqrt{\varphi_{20}^2 + \varphi_{10}^2} = 10 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{25} := \varphi_{20} = 0.078 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{15} := \frac{\delta}{d} = 10 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{23} := \sqrt{\varphi_{20}^2 + \varphi_{30}^2} = 0.096 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{35} := \varphi_{30} = 0.055 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$W_s := M_{py} 4 (a \cdot \varphi_{23} + e \cdot \varphi_{12} + h_{d,30} \cdot \varphi_{25} + l_0 \cdot \varphi_{20}) + M_{py} 2 (h_{d,90} \cdot \varphi_{35} + h_{d,90} \cdot \varphi_{15}) = 1222565.202 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$W_u := 4 \cdot q_y \left(h_{d,30} + \frac{f}{2} + \frac{d}{2} + h_{d,90} + \frac{2 \cdot c}{2} \right) \text{ simplify} \rightarrow 0.4791102303297136 \text{ m} \cdot q_y$$

$$W_s = W_u$$

$$q := \frac{\frac{W_s}{\text{mm}}}{479.1102303297136 \text{ mm}} = 2551.741 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Viivakuoma uumasauvan pienahitsin ulkokehällä

$$\bar{F}_k := \frac{q (h_{d,30} + h_{d,90}) \cdot 2 \cdot 2}{\sin(\theta_1)} = 1154.43 \text{ kN}$$

Uumasauvan voimaresultantti

$$\frac{F}{60 \text{ kN}} = 1924.05 \%$$

Myötäämiseen vaadittava voima eurokoodi mitoituksen arvosta

Profiilitiedot

Diagonaalit 80*80*3 S355J2H

Alapaarre 40*40*3 S355J2H

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

$$f_u := 510 \text{ MPa}$$

$$f_{y0} := f_y$$

$$A_0 := 901 \text{ mm}^2$$

$$t_d := 3 \text{ mm}$$

$$t_0 := 3 \text{ mm}$$

$$\theta_i := 60^\circ$$

$$b_1 := 40 \text{ mm}$$

$$b_2 := 40 \text{ mm}$$

$$h_1 := 40 \text{ mm}$$

$$h_2 := 40 \text{ mm}$$

$$h_0 := 80 \text{ mm}$$

$$b_0 := 80 \text{ mm}$$

$$g_{\text{w}} := 5 \text{ mm}$$

$$a_{\text{w}} := 3 \text{ mm}$$

Paarteen materiaalin
myötölujuus

Alapaarteen poikkipinta-ala

Diagonaalin seinämävahvuus

Paarteen seinämäpaksuus

Diagonaalin i ja paarteen välinen kulma

Diagonaalin 1 leveys

Diagonaalin 2 leveys

Diagonaalin 1 korkeus

Diagonaalin 2 korkeus

Alapaarteen korkeus

Alapaarteen leveys

Diagonaalien teoreettinen vapaaväli

Hitsin a-mitta

Myötöviiva teoria

Lähtötiedot

$$b := 1 \text{ mm}$$

$$h := 3 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{w}} := 1$$

$$a_k := \frac{a_{\text{w}}}{\cos(60 \text{ deg})} = 6 \text{ mm}$$

$$W_{\text{pl}} := \frac{b \cdot h^2}{4} = 2.25 \text{ mm}^3$$

$$M_{\text{py}} := f_y \cdot W_{\text{pl}} = 798.75 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Tarkastelupinnan leveys

Tarkastelupinnan korkeus

Pystysuuntainens siirtymä enintään

Hitsin kateetti vapaavälin puolella

Alapaarteen pinnan plastinen taivutusvastus

Profiilin plastinen myötömomentti

Myötönivelten pituudet

$$h_{d,90} := 2 \cdot \frac{a_w}{\cos(45 \text{ deg})} + h_1 = 48.485 \text{ mm}$$

$$h_{d,30} := \frac{a_w}{\cos(60 \text{ deg})} + \frac{a_w}{\cos(30 \text{ deg})} + h_1 = 49.464 \text{ mm}$$

$$b_{0k} := 74 \text{ mm}$$

$$s_w := \frac{b_0 - h_{d,90}}{2} = 12.757 \text{ mm}$$

$$d := \begin{cases} \left(\frac{e}{2} - a_k \right) & \text{if } \frac{e}{2} - a_k > 0 \text{ mm} \\ 0.1 \text{ mm} & \text{otherwise} \end{cases} = 0.1 \text{ mm}$$

$$f := \sqrt{c^2 + c^2} = 18.042 \text{ mm}$$

$$l_0 := d + h_{d,30} + f = 67.606 \text{ mm}$$

$$e := \sqrt{d^2 + c^2} = 12.758 \text{ mm}$$

$$a := \sqrt{f^2 + c^2} = 22.096 \text{ mm}$$

Kiertokulmat myötönivelissä

$$\varphi_{20} := \frac{\delta}{c} = 0.078 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{30} := \frac{\delta}{f} = 0.055 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{10} := \frac{\delta}{d} = 10 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{12} := \sqrt{\varphi_{20}^2 + \varphi_{10}^2} = 10 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{25} := \varphi_{20} = 0.078 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{15} := \frac{\delta}{d} = 10 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{23} := \sqrt{\varphi_{20}^2 + \varphi_{30}^2} = 0.096 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{35} := \varphi_{30} = 0.055 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$W_s := M_{py} \cdot 4 \cdot (a \cdot \varphi_{23} + e \cdot \varphi_{12} + h_{d,30} \cdot \varphi_{25} + l_0 \cdot \varphi_{20}) + M_{py} \cdot 2 \cdot (h_{d,90} \cdot \varphi_{35} + h_{d,90} \cdot \varphi_{15}) = 1222565.202 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$W_u := 4 \cdot q_y \left(h_{d,30} + \frac{f}{2} + \frac{d}{2} + h_{d,90} + \frac{2 \cdot c}{2} \right) \text{ simplify} \rightarrow 0.4791102303297136 \text{ m} \cdot q_y$$

$$W_s = W_u$$

$$q := \frac{\frac{W_s}{\text{mm}}}{479.1102303297136 \text{ mm}} = 2551.741 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Viivakuoma uumasauvan pienahitsin ulkokehällä

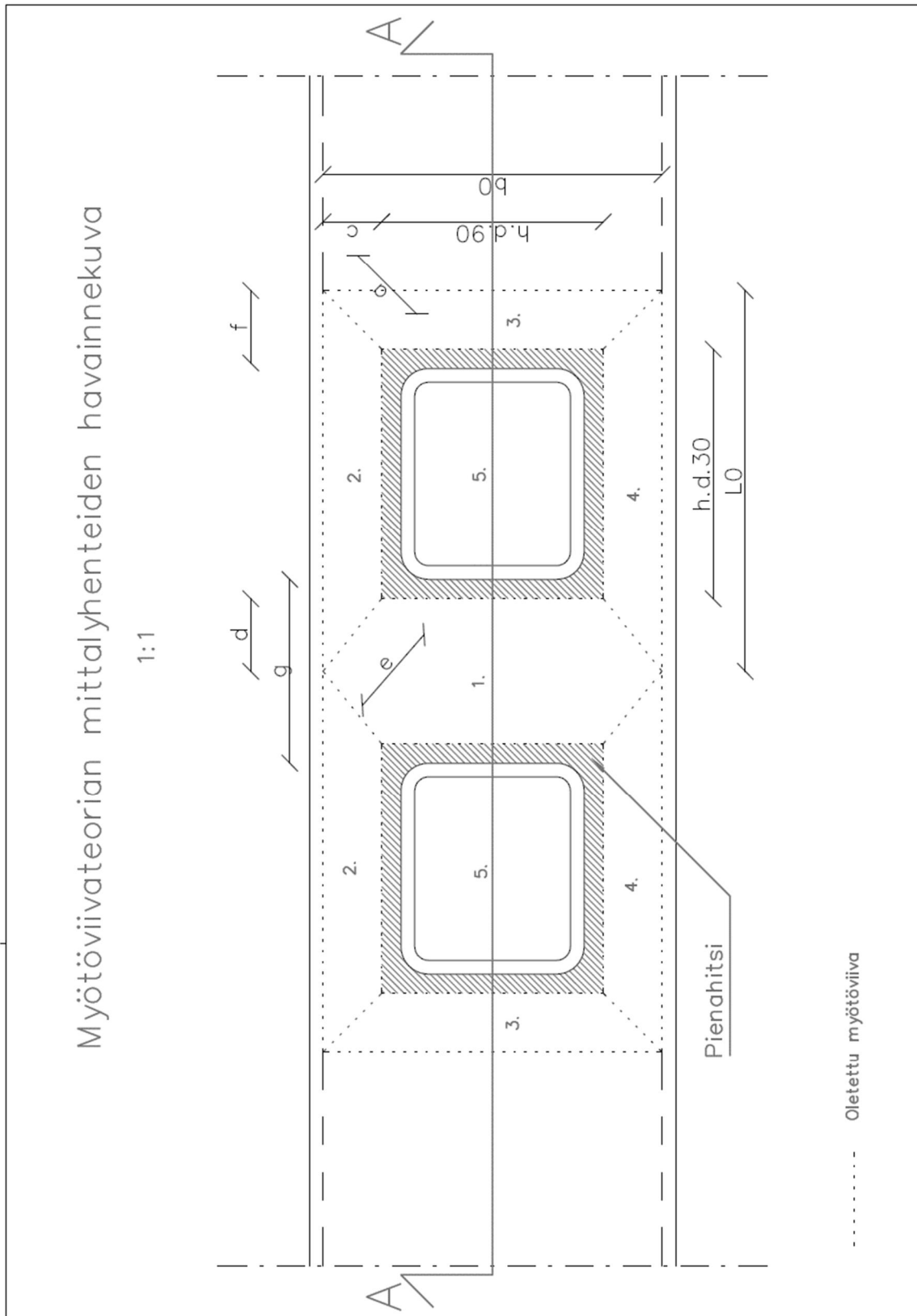
$$F_w := \frac{q \cdot (h_{d,30} + h_{d,90}) \cdot 2 \cdot 2}{\sin(\theta_1)} = 1154.43 \text{ kN}$$

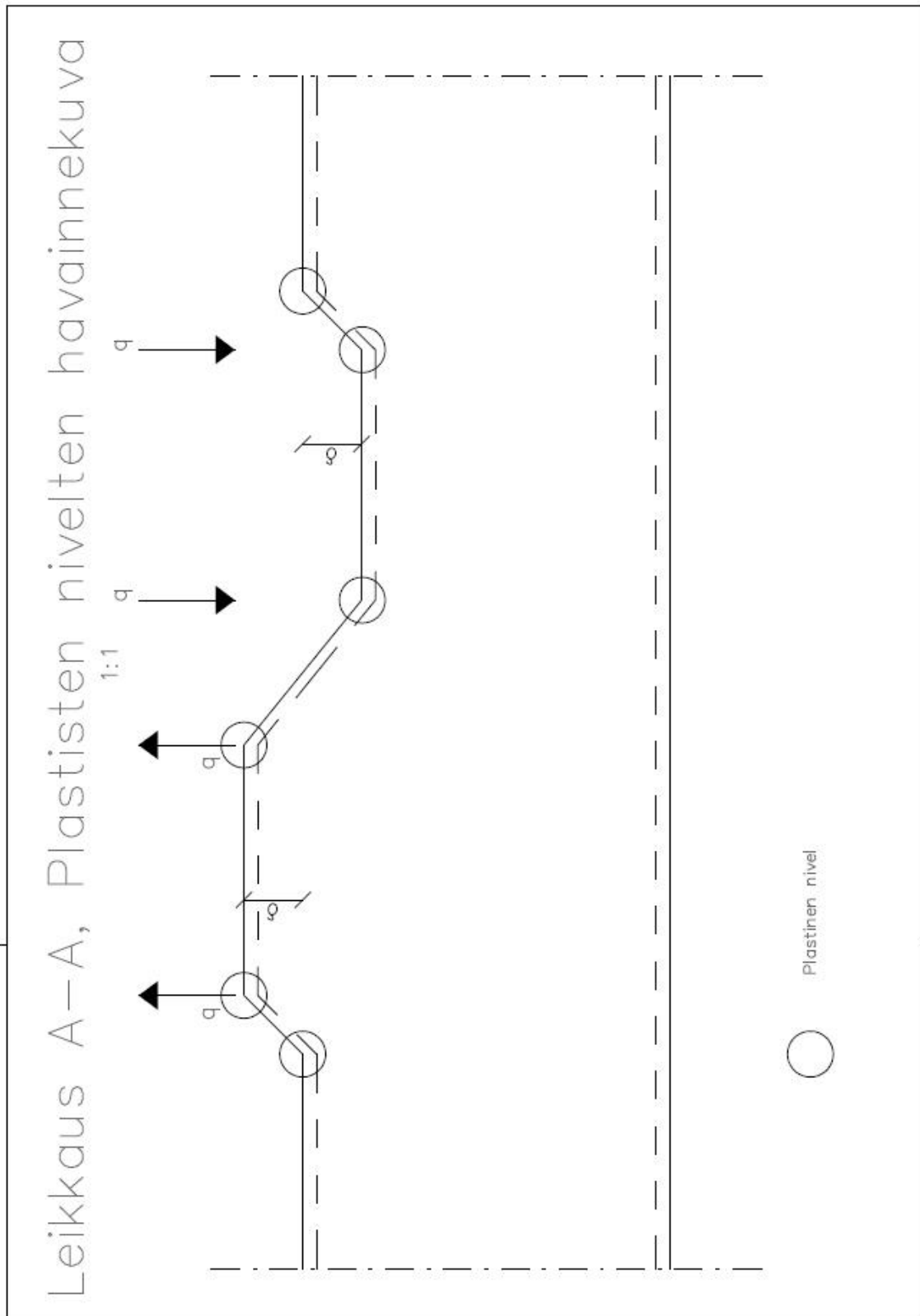
Uumasauvan voimaresultantti

$$\frac{F}{60 \text{ kN}} = 1924.05 \%$$

Myötäämiseen vaadittava voima eurokoodi mitoituksen arvosta

MYÖTÖVIIVATEORIAN HAVAINNEKUVA





TERÄKSEN VETOKOKEIDEN TULOKSET

Lehikoinen Reijo

Työnumero: 12601

10.3.2016

Näyttenumero:	Selitys:
M001554	80*80 A-1
M001555	80*80 A-2
M001556	80*80 A-3
M001557	80*80 A-4
M001558	40*40 A-1
M001559	40*40 A-2
M001560	40*40 A-3
M001561	40*40 A-4

10.3.2016 11:45:56

Zwick / Roell

Test report

Pre-load : 2 MPa Speed in the yield range : 0.0025 1/s
 Speed, E-Modulus : 60 MPa/s Test speed : 0.008 1/s
 Speed, yield point : 30 MPa/s

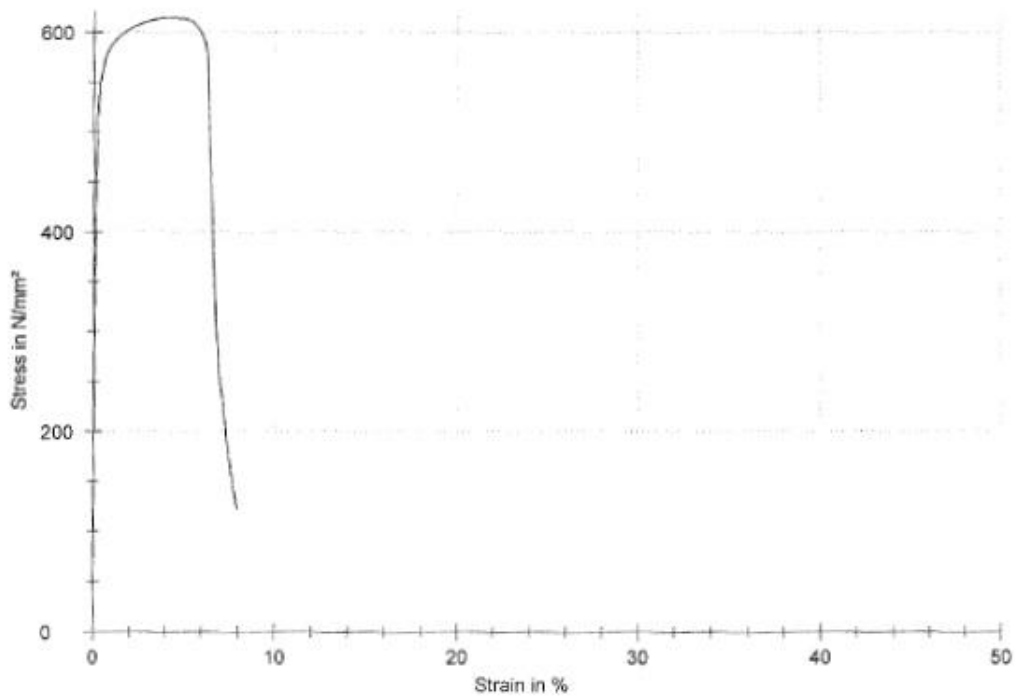
Test results:

No.	Barcode	e ₀ mm	b ₀ mm	S ₀ mm ²	m _E GPa	R _{p0.2} MPa	R _{eH} MPa	R _{eL} MPa	R _m MPa	A _e %	A ₈₀ %	A ₅₀ %	A ₅ %	A _g %
1	M001554	2.757	19.37	53.40	740	623	-	-	615	-	8	10	10	4.17

No.	r1	r2	n1_Supl	n2	n3	n4	K1 N	K2 N	K3 N	K4 N	Hrb	Hr30t	A _g %	R _s MPa
1	1.080	1.096	0.079	-	-	-	767.2	-	-	-	0	0	4.3	123

No.	A _v %	RaTop µm	RzTop µm	RPcTop 1/cm	RSmTop mm	WtTop µm	RaBot µm	RzBot µm	RPcBot 1/cm	RSmBot mm	WtBot µm
1	7.9	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00

Series graph:



10.3.2016 11:48:06

Zwick / Roell

Test report

Pre-load : 2 MPa Speed in the yield range : 0.0025 1/s
 Speed, E-Modulus : 60 MPa/s Test speed : 0.008 1/s
 Speed, yield point : 30 MPa/s

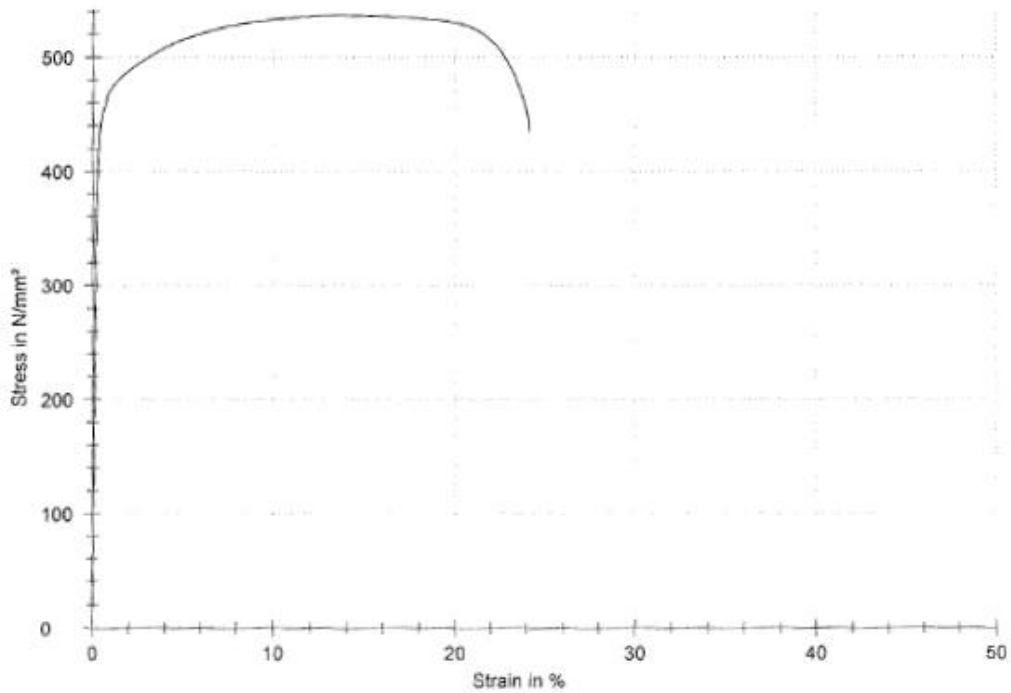
Test results:

No.	Barcode	g ₀ mm	b ₀ mm	S ₀ mm ²	m _E GPa	R _{p0.2} MPa	R _{eH} MPa	R _{eL} MPa	R _m MPa	A _e %	A ₈₀ %	A ₅₀ %	A ₅ %	A _g %
1	M001555	2.709	19.43	52.64	183	440	-	-	536	-	24	29	31	13.71

No.	r1	r2	n1_Supl	n2	n3	n4	K1 N	K2 N	K3 N	K4 N	Hrb	Hr30t	A _{gt} %	R _a MPa
1	0.760	0.759	0.128	-	-	-	721.1	-	-	-	0	0	14.0	435

No.	A _e %	RaTop μm	RzTop μm	RPcTop 1/cm	RSmTop mm	WtTop μm	RaBot μm	RzBot μm	RPcBot 1/cm	RSmBot mm	WtBot μm
1	24.2	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00

Series graph:



10.3.2016 11:50:22

Zwick / Roell

Test report

Pre-load : 2 MPa Speed in the yield range : 0.0025 1/s
 Speed, E-Modulus : 60 MPa/s Test speed : 0.008 1/s
 Speed, yield point : 30 MPa/s

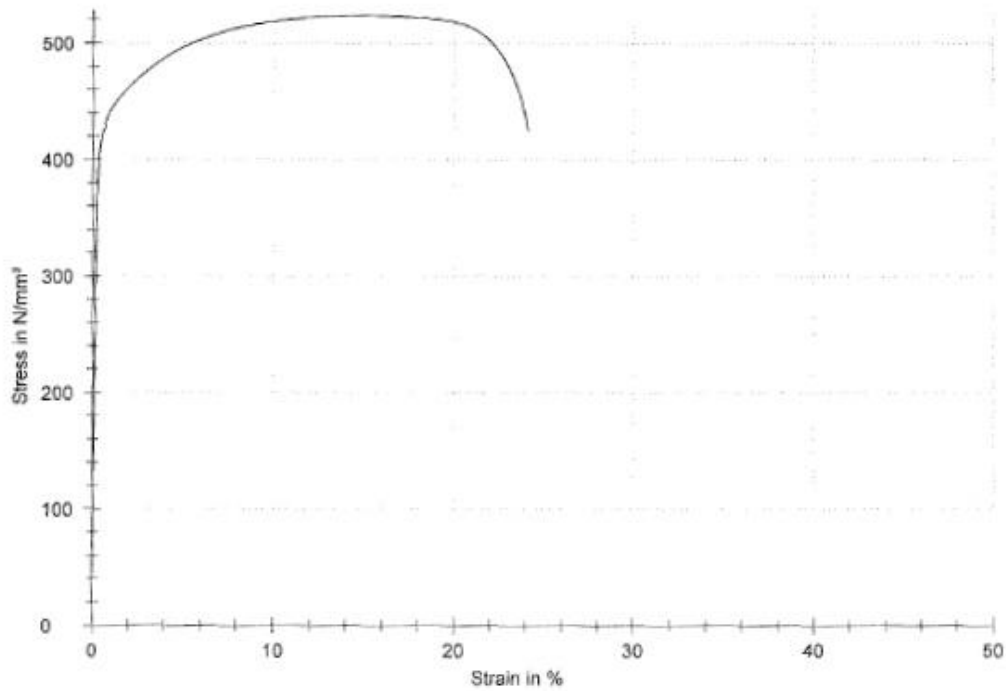
Test results:

No.	Barcode	a_0 mm	b_0 mm	S_0 mm ²	$m\epsilon$ GPa	$R_{p0.2}$ MPa	R_{eH} MPa	R_{eL} MPa	R_m MPa	A_g %	A_{80} %	A_{50} %	A_5 %	A_g %
1	M001556	2.724	19.47	53.04	197	407	-	-	524	-	24	29	31	14.75

No.	r1	r2	n1_Supl	n2	n3	n4	K1 N	K2 N	K3 N	K4 N	Hrb	Hr30t	A _{gt} %	R _e MPa
1	0.827	0.825	0.137	-	-	-	737.1	-	-	-	0	0	15.0	425

No.	A _i %	RaTop µm	RzTop µm	RPcTop 1/cm	RSmTop mm	WlTop µm	RaBot µm	RzBot µm	RPcBot 1/cm	RSmBot mm	WlBot µm
1	24.2	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00

Series graph:



10.3.2016 11:52:40

Zwick / Roell

Test report

Pre-load : 2 MPa Speed in the yield range : 0.0025 1/s
 Speed, E-Modulus : 60 MPa/s Test speed : 0.008 1/s
 Speed, yield point : 30 MPa/s

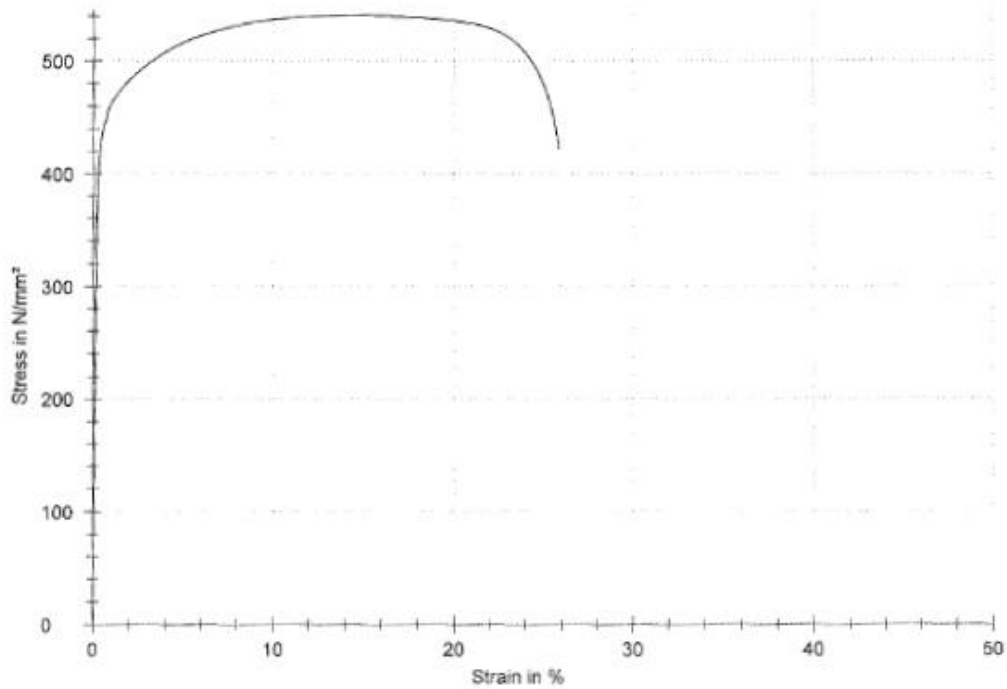
Test results:

No.	Barcode	as mm	bs mm	Sc mm²	mE GPa	Rp0.2 MPa	ReH MPa	ReL MPa	Rm MPa	Ae %	AB0 %	A50 %	A5 %	A0 %
1	M001657	2.733	19.47	53.21	193	426	-	-	540	-	26	31	33	13.75

No.	r1	r2	n1_Supl	n2	n3	n4	K1 N	K2 N	K3 N	K4 N	Hrb	Hr30t	Agr %	R0 MPa
1	0.734	0.735	0.131	-	-	-	750.4	-	-	-	0	0	14.0	422

No.	Ai %	RaTop µm	RzTop µm	RPcTop 1/cm	RSmTop mm	WtTop µm	RaBot µm	RzBot µm	RPcBot 1/cm	RSmBot mm	WtBot µm
1	25.9	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00

Series graph:



10.3.2016 11:55:00

Zwick / Roell

Test report

Pre-load : 2 MPa Speed in the yield range : 0.0025 1/s
 Speed, E-Modulus : 60 MPa/s Test speed : 0.008 1/s
 Speed, yield point : 30 MPa/s

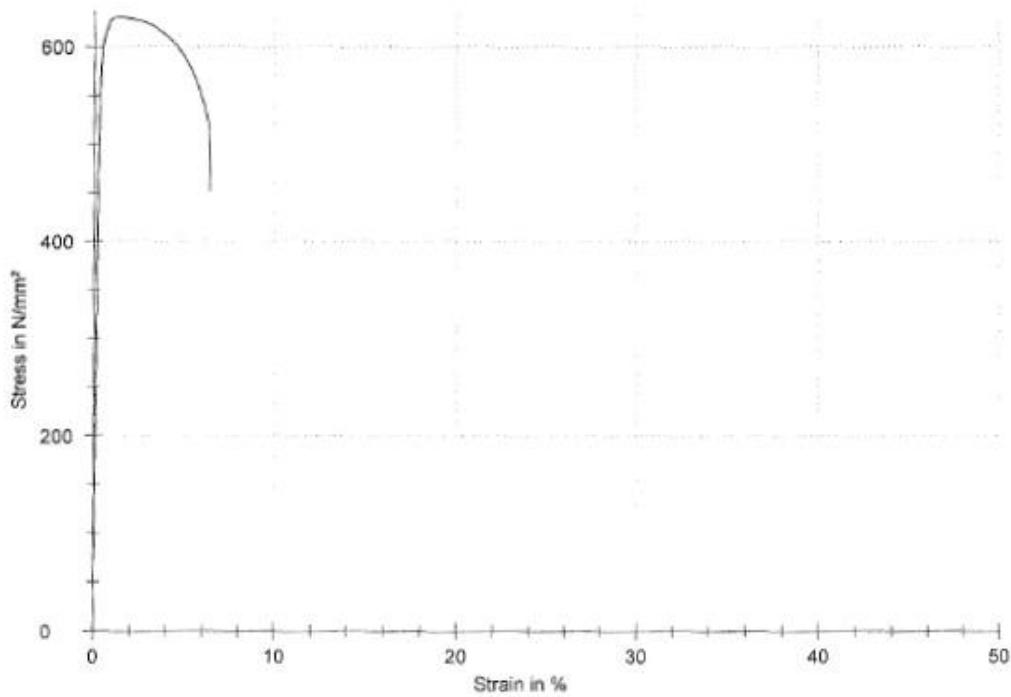
Test results:

No.	Barcode	a ₀ mm	b ₀ mm	S ₀ mm ²	mE GPa	R _{p0.2} MPa	R _{elH} MPa	R _{elL} MPa	R _m MPa	A _w %	A _{B0} %	A _{B50} %	A _{B5} %	A _{Bg} %
1	M001558	2.924	19.97	58.39	221	592	-	-	630	-	6	6	6	1.19

No.	r1	r2	n1_Supl	n2	n3	n4	K1 N	K2 N	K3 N	K4 N	Hrb	Hr30t	A _{gt} %	R _B MPa
1	1.073	1.005	0.064	-	-	-	-	-	-	-	0	0	1.5	452

No.	A _e %	RaTop µm	RzTop µm	RPcTop 1/cm	RSmTop mm	WtTop µm	RaBot µm	RzBot µm	RPcBot 1/cm	RSmBot mm	WtBot µm
1	6.4	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00

Series graph:



10.3.2016 11:57:09

Zwick / Roell

Test report

Pre-load : 2 MPa Speed in the yield range : 0.0025 1/s
 Speed, E-Modulus : 60 MPa/s Test speed : 0.008 1/s
 Speed, yield point : 30 MPa/s

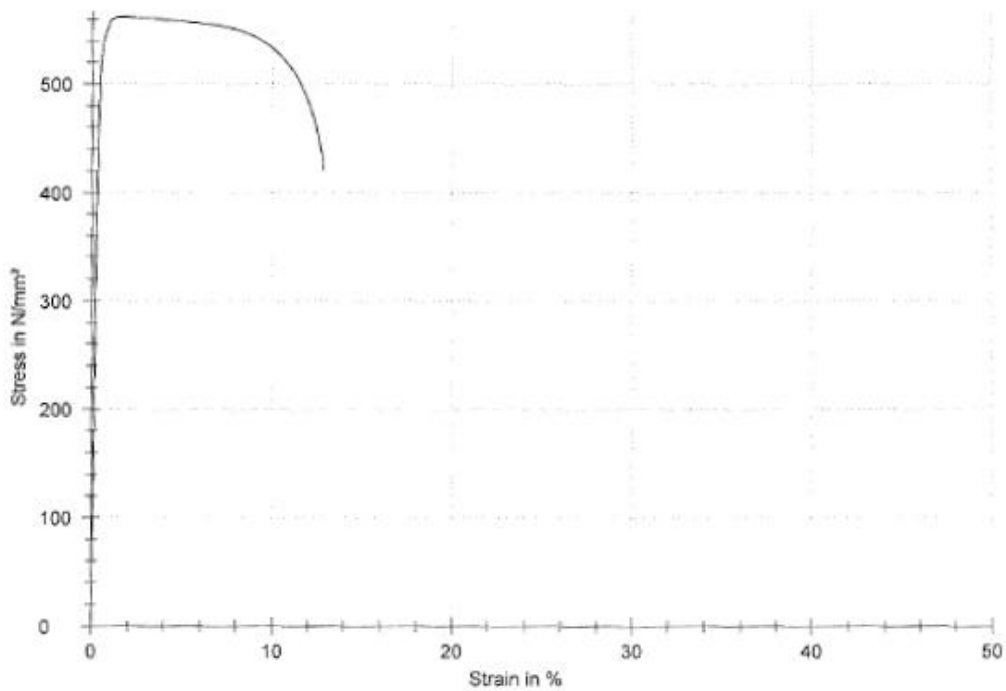
Test results:

No.	Barcode	s ₀ mm	b ₀ mm	S ₀ mm ²	m _E GPa	R _{0.2} MPa	R _H MPa	R _{At} MPa	R _m MPa	A ₀ %	A ₈₀ %	A ₅₀ %	A ₅ %	A ₀ %
1	M001559	2.927	20.00	58.54	148	528	-	-	562	-	13	15	16	1.46

No.	r1	r2	n1_Supl	n2	n3	n4	K1 N	K2 N	K3 N	K4 N	Hrb	Hr30t	A _{gt} %	R _B MPa
1	0.496	0.448	0.056	-	-	-	-	-	-	-	0	0	1.8	420

No.	A _i %	RaTop µm	RzTop µm	RPcTop 1/cm	RSmTop mm	WlTop µm	RaBot µm	RzBot µm	RPcBot 1/cm	RSmBot mm	WlBot µm
1	12.9	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00

Series graph:



10.3.2016 11:59:16

Zwick / Roell

Test report

Pre-load : 2 MPa Speed in the yield range : 0.0025 1/s
 Speed, E-Modulus : 60 MPa/s Test speed : 0.008 1/s
 Speed, yield point : 30 MPa/s

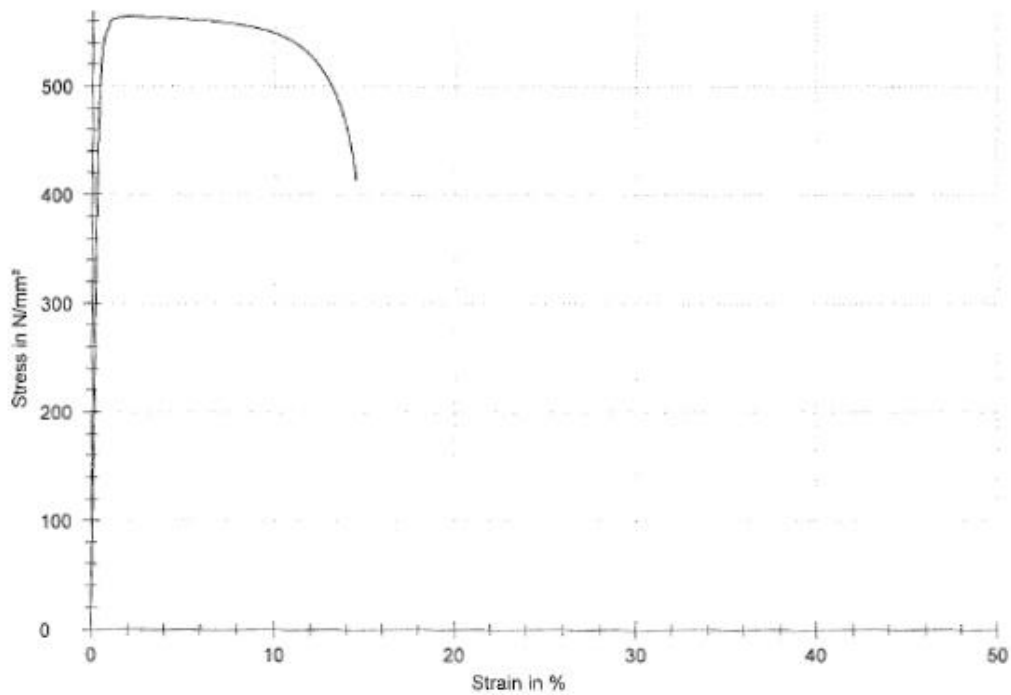
Test results:

No.	Barcode	a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	mE GPa	R002 MPa	ReH MPa	ReL MPa	ReM MPa	A0 %	A80 %	A50 %	A5 %	A0 %
1	M001560	2.963	19.97	59.17	154	532	-	-	564	-	14	17	18	1.77

No.	r1	r2	n1_Supl	n2	n3	n4	K1 N	K2 N	K3 N	K4 N	Hrb	Hr30t	Agr %	Ra MPa
1	0.546	0.516	0.047	-	-	-	-	-	-	-	0	0	2.1	413

No.	Ai %	RaTop µm	RzTop µm	RPcTop 1/cm	RSmTop mm	WtTop µm	RaBot µm	RzBot µm	RPcBot 1/cm	RSmBot mm	WtBot µm
1	14.5	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00

Series graph:



10.3.2016 12:01:25

Zwick / Roell

Test report

Pre-load : 2 MPa Speed in the yield range : 0.0025 1/s
 Speed, E-Modulus : 60 MPa/s Test speed : 0.008 1/s
 Speed, yield point : 30 MPa/s

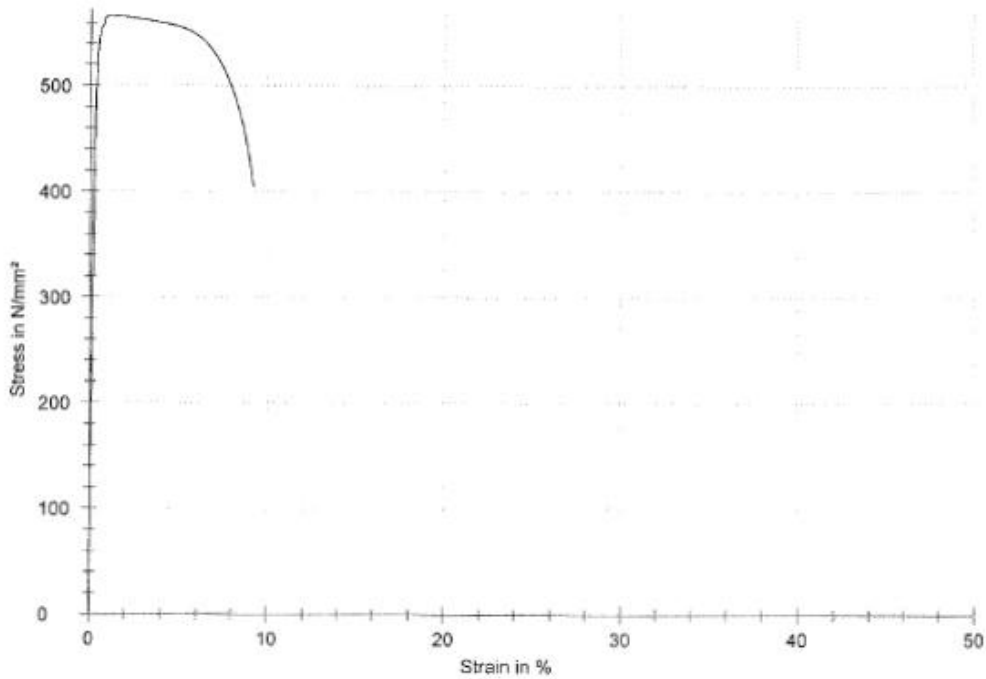
Test results:

No.	Barcode	a ₀ mm	b ₀ mm	S ₀ mm ²	m _E GPa	R _{p0.2} MPa	R _{elH} MPa	R _{eL} MPa	R _m MPa	A _e %	A ₈₀ %	A ₅₀ %	A ₅ %	A ₀ %
1	M001561	2.966	12.36	36.66	205	540	-	-	567	-	9	11	13	1.01

No.	r1	r2	n1_Supl	n2	n3	n4	K1 N	K2 N	K3 N	K4 N	Hrb	Hr30t	A _{gt} %	R _B MPa
1	1.314	1.218	0.053	-	-	-	-	-	-	-	0	0	1.3	404

No.	A _v %	RaTop µm	RzTop µm	RPcTop 1/cm	RSmTop mm	WtTop µm	RaBot µm	RzBot µm	RPcBot 1/cm	RSmBot mm	WtBot µm
1	9.2	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00

Series graph:



EUROKOODIN MITOITUSOHJEEN MUKAINEN LUJUUSLASKLEMA
MATERIAALIN TODELLISELLA MYÖTÖLUJUUDELLA

Profilitiedot

Diagonaalit 80*80*3 S355J2H

Alapaarre 40*40*3 S355J2H

$$f_y := 355 \cdot \text{MPa}$$

$$f_u := 510 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{y,\text{tod}} := 381.9 \cdot \text{MPa}$$

Paareprofiilin teräksen todellinen myötölujuus

$$f_{y0} := f_{y,\text{tod}}$$

Paarteen materiaalin
todellinen ylempi myötölujuus

$$t_0 := 3 \cdot \text{mm}$$

Paarteen seinämäpaksuus

$$t_d := 3 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin seinämävahvuus

$$\theta_i := 60^\circ$$

Diagonaalin i ja paarteen välinen kulma

$$b_1 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 1 leveys

$$b_2 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 2 leveys

$$h_1 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 1 korkeus

$$h_2 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 2 korkeus

$$h_0 := 80 \cdot \text{mm}$$

Alapaarteen korkeus

$$b_0 := 80 \cdot \text{mm}$$

Alapaarteen leveys

$$A_0 := 901 \cdot \text{mm}^2$$

Alapaarteen poikkipinta-ala

$$\gamma_{M5} := 1.0$$

Rakenneputkien ristikkoliitoksen osavarmuusluku

$$g_{\text{av}} := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalien teoreettinen vapaaväli

$$a_w := 3 \cdot \text{mm}$$

Hitsin a-mitta

$$h_{d,30} := \frac{a_w}{\cos(60 \cdot \text{deg})} + \frac{a_w}{\cos(30 \cdot \text{deg})} + h_1 = 49.464 \cdot \text{mm}$$

Sivumitta, ks. plastisuusteorian
mittalyhenteiden havainnekuva.

$$W_{p1.0} := 25780 \cdot \text{mm}^3$$

Alapaarteen plastinen taivutusvastus

Vapaavälin suuruuden mitoitusehto

$g_{\text{EHTO}} :=$	"OK" if $g \geq 2 \cdot t_d$ = "OK"
	"HUOMIO" otherwise

Paarteeseen liitettävien uumasauvojen profiileille asetetut ehdot

$b_{1.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $\frac{b_1}{b_0} \geq 0.35$ = "OK"
	"HUOMIO" otherwise

$b_{2.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $\frac{b_1}{t_d} < 35$ = "OK"
	"HUOMIO" otherwise

$b_{3.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $15 < \frac{b_0}{t_0} < 35$ = "OK"
	"HUOMIO" otherwise

$b_{4.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $0.8 < \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_1} < 1.3$ = "OK"
	"HUOMIO" otherwise

$$\beta := \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} = 0.5$$

Paarteen leveyden suhde paarteen kaksinkertaiseen seinämävahvuuteen

$b_{5.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $0.5 \cdot (1 - \beta) \leq \frac{g}{b_0} \leq 1.5 \cdot (1 - \beta)$ = "OK"
	"HUOMIO" otherwise

Liitoksen epäkeskisyyys

$$e_g := \frac{g + h_{d,30}}{2} = 44.732 \cdot \text{mm} \quad e_0 := e_g \cdot \tan(\theta_1) = 77.478 \cdot \text{mm} \quad e := e_0 - \frac{h_0}{2} = 37.478 \cdot \text{mm}$$

Paarteen taivutusmomentin huomioimisehto

$$e_{\text{EHTO}} := \begin{cases} \text{"EI HUOMIOIDA"} & \text{if } -0.55 \cdot h_0 \leq e \leq 0.25 \cdot h_0 \\ \text{"HUOMIOITAVA!"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$-0.55 \cdot h_0 = -44 \cdot \text{mm}$$

Ehtojen raja-arvot

Iteroi voimaa

$$F_d := 64.5 \cdot \text{kN}$$

$$0.25 \cdot h_0 = 20 \cdot \text{mm} \quad M_{0,Ed} := \left(\frac{g + h_{d,30}}{2} \right) \cdot \sin(\theta_1) \cdot F_d = 2.499 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Alapaarteen pinnan murtuminen

$$\gamma := \frac{b_0}{2 \cdot t_0} = 13.333$$

$$F_0 := \cos(\theta_1) = \frac{F_0}{F_d} \text{ solve, } F_0 \rightarrow 64.5 \cdot \text{kN} \cdot \cos(60.0^\circ) = 32.25 \cdot \text{kN}$$

$$\sigma_{0,Ed} := \begin{cases} \frac{F_0}{A_0} & \text{if } e_{\text{EHTO}} = \text{"EI HUOMIOIDA"} \\ \frac{F_0}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{pl,0}} & \text{otherwise} \end{cases} = 132.716 \cdot \text{MPa}$$

$$n := \frac{\sigma_{0,Ed}}{f_{y0}} = 0.348$$

$$\beta_w := \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} = 0.5$$

Jos paarteen suurin normaalijännitys on vetoa, on $k_n = 1.0$.

$$k_n := 1.3 - \frac{0.4 \cdot n}{\beta} = 1.022$$

Muulloin arvo lasketaan kaavasta.

$$\sigma := 2$$

Sigma on 1 jos paarteessa vetojännitys

$$k_{\text{av}} := \begin{cases} 1.0 & \text{if } \sigma = 1 \\ k_n & \text{if } k_n \leq 1 \\ 1.0 & \text{otherwise} \end{cases} = 1$$

$$N_{p,Rd} := \frac{8.9 \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \sqrt{\gamma} \cdot \left(\frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4 \cdot b_0} \right)}{\gamma_{M5}} = 64.49 \cdot \text{kN}$$

Paarteen leikkausmyötääminen

$$\alpha := \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4 \cdot g^2}{3 \cdot t_0^2}}}$$

$$A_v := (2 \cdot h_0 + \alpha \cdot b_0) \cdot t_0 = 495.556 \cdot \text{mm}^2$$

$$N_{vi.Rd} := \frac{f_{y0} \cdot A_v}{\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_i) \cdot \gamma_{M5}} = 126.168 \cdot \text{kN}$$

Uumasauvan murtuminen

$$b_{\text{eff}} := \frac{10 \cdot b_1 \cdot t_0^2 \cdot f_{y0}}{b_0 \cdot t_d \cdot f_{y0}} = 15 \cdot \text{mm}$$

$$N_{u.Rd} := \frac{f_y \cdot t_d \cdot (2 \cdot h_1 - 4 \cdot t_d + b_1 + b_{\text{eff}})}{\gamma_{M5}} = 130.995 \cdot \text{kN}$$

Paarteen leikkauslävistyminen

$$b_{\text{ep}} := \frac{10 \cdot t_0 \cdot b_0}{b_0} = 30 \cdot \text{mm}$$

$$N_{N.Rd} := \frac{\frac{f_{y0} \cdot t_0}{\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_i)} \cdot \left(\frac{2 \cdot h_0}{\sin(\theta_i)} + b_1 + b_{\text{ep}} \right)}{\gamma_{M5}} = 194.58 \cdot \text{kN}$$

Mitoittava kuormitus

$$N_{Rd} := \min(N_{p.Rd}, N_{vi.Rd}, N_{N.Rd}, N_{u.Rd}) = 64.5 \cdot \text{kN}$$

Profiilitiedot

Diagonaalit 80*80*3 S355J2H

Alapaarre 40*40*3 S355J2H

$$f_y := 355 \cdot \text{MPa}$$

$$f_u := 510 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{y,\text{tod}} := 381.9 \cdot \text{MPa}$$

Paarreprofiilin teräksen todellinen myötölujuus

$$f_{y0} := f_{y,\text{tod}}$$

Paarteen materiaalin todellinen ylempi myötölujuus

$$t_0 := 3 \cdot \text{mm}$$

Paarteen seinämäpaksuus

$$t_d := 3 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin seinämävahvuus

$$\theta_i := 60^\circ$$

Diagonaalin i ja paarteen välinen kulma

$$b_1 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 1 leveys

$$b_2 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 2 leveys

$$h_1 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 1 korkeus

$$h_2 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 2 korkeus

$$h_0 := 80 \cdot \text{mm}$$

Alapaarteen korkeus

$$b_0 := 80 \cdot \text{mm}$$

Alapaarteen leveys

$$A_0 := 901 \cdot \text{mm}^2$$

Alapaarteen poikkipinta-ala

$$\gamma_{M5} := 1.0$$

Rakenneputkien ristikkoliitoksen osavarmuusluku

$$g_{\text{ax}} := 30 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalien teoreettinen vapaaväli

$$a_w := 3 \cdot \text{mm}$$

Hitsin a-mitta

$$h_{d,30} := \frac{a_w}{\cos(60 \cdot \text{deg})} + \frac{a_w}{\cos(30 \cdot \text{deg})} + h_1 = 49.464 \cdot \text{mm}$$

Sivumitta, ks. plastisuusteorian mittalyhenteiden havainnekuva.

$$W_{pl,0} := 25780 \cdot \text{mm}^3$$

Alapaarteen plastinen taivutusvastus

Vapaavälin suuruuden mitoitusehto

$g_{\text{EHTO}} :=$	"OK" if $g \geq 2 \cdot t_d$	= "OK"
	"HUOMIO" otherwise	

Paarteeseen liitettävien uumasauvojen profileille asetetut ehdot

$b_{1.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $\frac{b_1}{b_0} \geq 0.35$	= "OK"
	"HUOMIO" otherwise	

$b_{2.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $\frac{b_1}{t_d} < 35$	= "OK"
	"HUOMIO" otherwise	

$b_{3.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $15 < \frac{b_0}{t_0} < 35$	= "OK"
	"HUOMIO" otherwise	

$b_{4.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $0.8 < \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_1} < 1.3$	= "OK"
	"HUOMIO" otherwise	

$$\beta := \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} = 0.5$$

Paarteen leveyden suhde paarteen kaksinkertaiseen seinämävahvuuteen

$b_{5.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $0.5 \cdot (1 - \beta) \leq \frac{g}{b_0} \leq 1.5 \cdot (1 - \beta)$	= "OK"
	"HUOMIO" otherwise	

Liitoksen epäkeskisyys

$$e_g := \frac{g + h_{d.30}}{2} = 39.732 \cdot \text{mm} \quad e_0 := e_g \cdot \tan(\theta_1) = 68.818 \cdot \text{mm} \quad e := e_0 - \frac{h_0}{2} = 28.818 \cdot \text{mm}$$

Paarteen taivutusmomentin huomioimisehto

$$\epsilon_{\text{EHTO}} := \begin{cases} \text{"EI HUOMIOIDA"} & \text{if } -0.55 \cdot h_0 \leq e \leq 0.25 \cdot h_0 \\ \text{"HUOMIOITAVA!"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$-0.55 \cdot h_0 = -44 \cdot \text{mm} \quad \text{Ehtojen raja-arvot} \quad \text{Iteroi voimaa} \quad F_d := 64.5 \cdot \text{kN}$$

$$0.25 \cdot h_0 = 20 \cdot \text{mm} \quad M_{0.Ed} := \left(\frac{g + h_{d.30}}{2} \right) \cdot \sin(\theta_1) \cdot F_d = 2.219 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Alapaarteen pinnan murtuminen

$$\gamma := \frac{b_0}{2 \cdot t_0} = 13.333$$

$$F_0 := \cos(\theta_1) = \frac{F_0}{F_d} \text{ solve, } F_0 \rightarrow 64.5 \cdot \text{kN} \cdot \cos(60.0^\circ) = 32.25 \cdot \text{kN}$$

$$\sigma_{0.Ed} := \begin{cases} \frac{F_0}{A_0} & \text{if } \epsilon_{\text{EHTO}} = \text{"EI HUOMIOIDA"} \\ \frac{F_0}{A_0} + \frac{M_{0.Ed}}{W_{p1.0}} & \text{otherwise} \end{cases} = 121.883 \cdot \text{MPa}$$

$$n := \frac{\sigma_{0.Ed}}{f_{y0}} = 0.319$$

$$\beta_{\text{w}} := \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} = 0.5$$

$$k_n := 1.3 - \frac{0.4 \cdot n}{\beta} = 1.045$$

Jos paarteen suurin normaalijännitys on vetoa, on $k_n = 1.0$.

Muulloin arvo lasketaan kaavasta.

$$\sigma := 2$$

Sigma on 1 jos paarteessa vetojännitys

$$k_{\text{w}} := \begin{cases} 1.0 & \text{if } \sigma = 1 \\ k_n & \text{if } k_n \leq 1 \\ 1.0 & \text{otherwise} \end{cases} = 1$$

$$N_{p.Rd} := \frac{8.9 \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \sqrt{\gamma} \cdot \left(\frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4 \cdot b_0} \right)}{\gamma_{M5}} = 64.49 \cdot \text{kN}$$

Paarteen leikkausmyötääminen

$$\alpha := \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4 \cdot g^2}{3 \cdot t_0^2}}}$$

$$A_v := (2 \cdot h_0 + \alpha \cdot b_0) \cdot t_0 = 500.707 \cdot \text{mm}^2$$

$$N_{vi.Rd} := \frac{\frac{f_{y0} \cdot A_v}{\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_1)}}{\gamma_{M5}} = 127.48 \cdot \text{kN}$$

Uumasauvan murtuminen

$$b_{\text{eff}} := \frac{10 \cdot b_1 \cdot t_0^2 \cdot f_{y0}}{b_0 \cdot t_d \cdot f_{y0}} = 15 \cdot \text{mm}$$

$$N_{u.Rd} := \frac{f_y \cdot t_d \cdot (2 \cdot h_1 - 4 \cdot t_d + b_1 + b_{\text{eff}})}{\gamma_{M5}} = 130.995 \cdot \text{kN}$$

Paarteen leikkauslävistyminen

$$b_{\text{ep}} := \frac{10 \cdot t_0 \cdot b_0}{b_0} = 30 \cdot \text{mm}$$

$$N_{N.Rd} := \frac{\frac{f_{y0} \cdot t_0}{\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_1)} \cdot \left(\frac{2 \cdot h_0}{\sin(\theta_1)} + b_1 + b_{\text{ep}} \right)}{\gamma_{M5}} = 194.58 \cdot \text{kN}$$

Mitoittava kuormitus

$$N_{Rd} := \min(N_{p.Rd}, N_{vi.Rd}, N_{N.Rd}, N_{u.Rd}) = 64.5 \cdot \text{kN}$$

Profilitiedot

Diagonaalit 80*80*3 S355J2H

Alapaarre 40*40*3 S355J2H

$f_y := 355 \cdot \text{MPa}$

$f_u := 510 \cdot \text{MPa}$

$f_{y,\text{tod}} := 381.9 \cdot \text{MPa}$

Paarreprofiilin teräksen todellinen myötölujuus

$f_{y0} := f_{y,\text{tod}}$

Paarteen materiaalin todellinen ylempi myötölujuus

$t_0 := 3 \cdot \text{mm}$

Paarteen seinämäpaksuus

$t_d := 3 \cdot \text{mm}$

Diagonaalin seinämävahvuus

$\theta_1 := 60^\circ$

Diagonaalin i ja paarteen välinen kulma

$b_1 := 40 \cdot \text{mm}$

Diagonaalin 1 leveys

$b_2 := 40 \cdot \text{mm}$

Diagonaalin 2 leveys

$h_1 := 40 \cdot \text{mm}$

Diagonaalin 1 korkeus

$h_2 := 40 \cdot \text{mm}$

Diagonaalin 2 korkeus

$h_0 := 80 \cdot \text{mm}$

Alapaarteen korkeus

$b_0 := 80 \cdot \text{mm}$

Alapaarteen leveys

$A_0 := 901 \cdot \text{mm}^2$

Alapaarteen poikkipinta-ala

$\gamma_{M5} := 1.0$

Rakenneputkien ristikkoliitoksen osavarmuusluku

$g_{\text{ax}} := 20 \cdot \text{mm}$

Diagonaalien teoreettinen vapaaväli

$a_w := 3 \cdot \text{mm}$

Hitsin a-mitta

$$h_{d,30} := \frac{a_w}{\cos(60 \cdot \text{deg})} + \frac{a_w}{\cos(30 \cdot \text{deg})} + h_1 = 49.464 \cdot \text{mm}$$

Sivumitta, ks. plastisuusteorian mittalyhenteiden havainnekuva.

$W_{p1,0} := 25780 \cdot \text{mm}^3$

Alapaarteen plastinen taivutusvastus

Vapaavälin suuruuden mitoitusehto

$g_{\text{EHTO}} :=$	"OK" if $g \geq 2 \cdot t_d$ = "OK"
	"HUOMIO" otherwise

Paarteeseen liitettävien uumasauvojen profiileille asetetut ehdot

$b_{1.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $\frac{b_1}{b_0} \geq 0.35$ = "OK"
	"HUOMIO" otherwise

$b_{2.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $\frac{b_1}{t_d} < 35$ = "OK"
	"HUOMIO" otherwise

$b_{3.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $15 < \frac{b_0}{t_0} < 35$ = "OK"
	"HUOMIO" otherwise

$b_{4.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $0.8 < \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_1} < 1.3$ = "OK"
	"HUOMIO" otherwise

$$\beta := \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} = 0.5$$

Paarteen leveyden suhde paarteen kaksinkertaiseen seinämävahvuuteen

$b_{5.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $0.5 \cdot (1 - \beta) \leq \frac{g}{b_0} \leq 1.5 \cdot (1 - \beta)$ = "OK"
	"HUOMIO" otherwise

Liitoksen epäkeskisyyys

$$e_g := \frac{g + h_{d.30}}{2} = 34.732 \cdot \text{mm} \quad e_0 := e_g \cdot \tan(\theta_1) = 60.158 \cdot \text{mm} \quad e := e_0 - \frac{h_0}{2} = 20.158 \cdot \text{mm}$$

Paarteen taivutusmomentin huomioimisehto

$$\epsilon_{\text{EHTO}} := \begin{cases} \text{"EI HUOMIOIDA"} & \text{if } -0.55 \cdot h_0 \leq e \leq 0.25 \cdot h_0 \\ \text{"HUOMIOITAVA!"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$-0.55 \cdot h_0 = -44 \cdot \text{mm}$$

Ehtojen raja-arvot

Iteroi voimaa

$$F_d := 64.5 \cdot \text{kN}$$

$$0.25 \cdot h_0 = 20 \cdot \text{mm} \quad M_{0.Ed} := \left(\frac{g + h_{d.30}}{2} \right) \cdot \sin(\theta_1) \cdot F_d = 1.94 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Alapaarteen pinnan murtuminen

$$\gamma := \frac{b_0}{2 \cdot t_0} = 13.333$$

$$F_0 := \cos(\theta_1) \cdot \frac{F_0}{F_d} \text{ solve, } F_0 \rightarrow 64.5 \cdot \text{kN} \cdot \cos(60.0^\circ) = 32.25 \cdot \text{kN}$$

$$\sigma_{0.Ed} := \begin{cases} \frac{F_0}{A_0} & \text{if } \epsilon_{\text{EHTO}} = \text{"EI HUOMIOIDA"} \\ \frac{F_0}{A_0} + \frac{M_{0.Ed}}{W_{pl.0}} & \text{otherwise} \end{cases} = 111.049 \cdot \text{MPa}$$

$$n := \frac{\sigma_{0.Ed}}{f_{y0}} = 0.291$$

$$\beta_{\text{wv}} := \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} = 0.5$$

$$k_n := 1.3 - \frac{0.4 \cdot n}{\beta} = 1.067$$

Jos paarteen suurin normaalijännitys on vetoa, on $k_n = 1.0$.

Muulloin arvo lasketaan kaavasta.

$$\sigma := 2$$

Sigma on 1 jos paarteessa vetojännitys

$$k_{\text{wv}} := \begin{cases} 1.0 & \text{if } \sigma = 1 \\ k_n & \text{if } k_n \leq 1 \\ 1.0 & \text{otherwise} \end{cases} = 1$$

$$N_{p.Rd} := \frac{8.9 \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \sqrt{\gamma} \cdot \left(\frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4 \cdot b_0} \right)}{\gamma_{M5}} = 64.49 \cdot \text{kN}$$

Paarteen leikkausmyötääminen

$$\alpha := \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4 \cdot g^2}{3 \cdot t_0^2}}}$$

$$A_v := (2 \cdot h_0 + \alpha \cdot b_0) \cdot t_0 = 510.917 \cdot \text{mm}^2$$

$$N_{vi,Rd} := \frac{\frac{f_{y0} \cdot A_v}{\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_i)}}{\gamma_{M5}} = 130.08 \cdot \text{kN}$$

Uumasauvan murtuminen

$$b_{\text{eff}} := \frac{10 \cdot b_1 \cdot t_0^2 \cdot f_{y0}}{b_0 \cdot t_d \cdot f_{y0}} = 15 \cdot \text{mm}$$

$$N_{u,Rd} := \frac{f_y \cdot t_d \cdot (2 \cdot h_1 - 4 \cdot t_d + b_1 + b_{\text{eff}})}{\gamma_{M5}} = 130.995 \cdot \text{kN}$$

Paarteen leikkauslävistyminen

$$b_{\text{ep}} := \frac{10 \cdot t_0 \cdot b_0}{b_0} = 30 \cdot \text{mm}$$

$$N_{N,Rd} := \frac{\frac{f_{y0} \cdot t_0}{\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_i)} \cdot \left(\frac{2 \cdot h_0}{\sin(\theta_i)} + b_1 + b_{\text{ep}} \right)}{\gamma_{M5}} = 194.58 \cdot \text{kN}$$

Mitoittava kuormitus

$$N_{Rd} := \min(N_{p,Rd}, N_{vi,Rd}, N_{N,Rd}, N_{u,Rd}) = 64.5 \cdot \text{kN}$$

Profilitiedot

Diagonaalit 80*80*3 S355J2H

Alapaarre 40*40*3 S355J2H

$$f_y := 355 \cdot \text{MPa}$$

$$f_u := 510 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{y,\text{tod}} := 381.9 \cdot \text{MPa}$$

Paareprofiilin teräksen todellinen myötölujuus

$$f_{y0} := f_{y,\text{tod}}$$

Paarteen materiaalin todellinen ylempi myötölujuus

$$t_0 := 3 \cdot \text{mm}$$

Paarteen seinämäpaksuus

$$t_d := 3 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin seinämävahvuus

$$\theta_i := 60^\circ$$

Diagonaalin i ja paarteen välinen kulma

$$b_1 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 1 leveys

$$b_2 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 2 leveys

$$h_1 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 1 korkeus

$$h_2 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 2 korkeus

$$h_0 := 80 \cdot \text{mm}$$

Alapaarteen korkeus

$$b_0 := 80 \cdot \text{mm}$$

Alapaarteen leveys

$$A_0 := 901 \cdot \text{mm}^2$$

Alapaarteen poikkipinta-ala

$$\gamma_{M5} := 1.0$$

Rakenneputkien ristikkoliitoksen osavarmuusluku

$$g_{\text{ax}} := 15 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalien teoreettinen vapaaväli

$$a_w := 3 \cdot \text{mm}$$

Hitsin a-mitta

$$h_{d,30} := \frac{a_w}{\cos(60 \cdot \text{deg})} + \frac{a_w}{\cos(30 \cdot \text{deg})} + h_1 = 49.464 \cdot \text{mm}$$

Sivumitta, ks. plastisuusteorian mittalyhenteiden havainnekuva.

$$W_{p1.0} := 25780 \cdot \text{mm}^3$$

Alapaarteen plastinen taivutusvastus

Vapaavälin suuruuden mitoitusehto

$g_{\text{EHTO}} :=$	"OK" if $g \geq 2 \cdot t_d$	= "OK"
	"HUOMIO" otherwise	

Paarteeseen liitettävien uumasauvojen profiileille asetetut ehdot

$b_{1.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $\frac{b_1}{b_0} \geq 0.35$	= "OK"
	"HUOMIO" otherwise	

$b_{2.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $\frac{b_1}{t_d} < 35$	= "OK"
	"HUOMIO" otherwise	

$b_{3.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $15 < \frac{b_0}{t_0} < 35$	= "OK"
	"HUOMIO" otherwise	

$b_{4.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $0.8 < \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_1} < 1.3$	= "OK"
	"HUOMIO" otherwise	

$$\beta := \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} = 0.5$$

Paarteen leveyden suhde paarteen kaksinkertaiseen seinämävahvuuteen

$b_{5.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $0.5 \cdot (1 - \beta) \leq \frac{g}{b_0} \leq 1.5 \cdot (1 - \beta)$	= "HUOMIO"
	"HUOMIO" otherwise	

Liitoksen epäkeskisyyys

$$e_g := \frac{g + h_{d,30}}{2} = 32.232 \cdot \text{mm} \quad e_0 := e_g \tan(\theta_i) = 55.828 \cdot \text{mm} \quad e := e_0 - \frac{h_0}{2} = 15.828 \cdot \text{mm}$$

Paarteen taivutusmomentin huomioimisehto

$\epsilon_{\text{EHTO}} :=$	"EI HUOMIOIDA" if $-0.55 \cdot h_0 \leq e \leq 0.25 \cdot h_0$	"EI HUOMIOIDA"
	"HUOMIOITAVA!" otherwise	

$$-0.55 \cdot h_0 = -44 \cdot \text{mm}$$

Ehtojen raja-arvot

Iteroi voimaa

$$F_d := 64.5 \cdot \text{kN}$$

$$0.25 \cdot h_0 = 20 \cdot \text{mm}$$

$$M_{0,Ed} := \left(\frac{g + h_{d,30}}{2} \right) \cdot \sin(\theta_i) \cdot F_d = 1.8 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Alapaarteen pinnan murtuminen

$$\gamma := \frac{b_0}{2 \cdot t_0} = 13.333$$

$$F_0 := \cos(\theta_i) = \frac{F_0}{F_d} \text{ solve, } F_0 \rightarrow 64.5 \cdot \text{kN} \cdot \cos(60.0^\circ) = 32.25 \cdot \text{kN}$$

$$\sigma_{0,Ed} := \begin{cases} \frac{F_0}{A_0} & \text{if } \epsilon_{\text{EHTO}} = \text{"EI HUOMIOIDA"} \\ \frac{F_0}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{pl,0}} & \text{otherwise} \end{cases} = 35.794 \cdot \text{MPa}$$

$$n := \frac{\sigma_{0,Ed}}{f_{y0}} = 0.094$$

$$\beta_{\text{ww}} := \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} = 0.5$$

$$k_n := 1.3 - \frac{0.4n}{\beta} = 1.225$$

Jos paarteen suurin normaaliännitys on vetoa, on $k_n = 1.0$.

Muulloin arvo lasketaan kaavasta.

$$\sigma := 2$$

Sigma on 1 jos paarteessa vetojännitys

$$k_{\text{nw}} := \begin{cases} 1.0 & \text{if } \sigma = 1 \\ k_n & \text{if } k_n \leq 1 \\ 1.0 & \text{otherwise} \end{cases} = 1$$

$$N_{p,Rd} := \frac{8.9 \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \sqrt{\gamma}}{\sin(\theta_i)} \cdot \left(\frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4 \cdot b_0} \right) = 64.49 \cdot \text{kN}$$

γ_{M5}

Paarteen leikkausmyötääminen

$$\alpha := \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4 \cdot g^2}{3 \cdot t_0^2}}}$$

$$A_v := (2 \cdot h_0 + \alpha \cdot b_0) \cdot t_0 = 520.959 \cdot \text{mm}^2$$

$$N_{vi.Rd} := \frac{\frac{f_{y0} \cdot A_v}{\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_i)}}{\gamma_{M5}} = 132.636 \cdot \text{kN}$$

Uumasauvan murtuminen

$$b_{\text{eff}} := \frac{10 \cdot b_1 \cdot t_0^2 \cdot f_{y0}}{b_0 \cdot t_d \cdot f_{y0}} = 15 \cdot \text{mm}$$

$$N_{u.Rd} := \frac{f_y \cdot t_d \cdot (2 \cdot h_1 - 4 \cdot t_d + b_1 + b_{\text{eff}})}{\gamma_{M5}} = 130.995 \cdot \text{kN}$$

Paarteen leikkauslävistyminen

$$b_{\text{ep}} := \frac{10 \cdot t_0 \cdot b_0}{b_0} = 30 \cdot \text{mm}$$

$$N_{N.Rd} := \frac{\frac{f_{y0} \cdot t_0}{\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_i)} \cdot \left(\frac{2 \cdot h_0}{\sin(\theta_i)} + b_1 + b_{\text{ep}} \right)}{\gamma_{M5}} = 194.58 \cdot \text{kN}$$

Mitoittava kuormitus

$$N_{Rd} := \min(N_{p.Rd}, N_{vi.Rd}, N_{N.Rd}, N_{u.Rd}) = 64.5 \cdot \text{kN}$$

Profiilitiedot

Diagonaalit 80*80*3 S355J2H

Alapaarre 40*40*3 S355J2H

$$f_y := 355 \cdot \text{MPa}$$

$$f_u := 510 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{y,\text{tod}} := 381.9 \cdot \text{MPa}$$

Paareprofiilin teräksen todellinen myötölujuus

$$f_{y0} := f_{y,\text{tod}}$$

Paarteen materiaalin todellinen ylempi myötölujuus

$$t_0 := 3 \cdot \text{mm}$$

Paarteen seinämäpaksuus

$$t_d := 3 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin seinämävahvuus

$$\theta_1 := 60^\circ$$

Diagonaalin i ja paarteen välinen kulma

$$b_1 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 1 leveys

$$b_2 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 2 leveys

$$h_1 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 1 korkeus

$$h_2 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 2 korkeus

$$h_0 := 80 \cdot \text{mm}$$

Alapaarteen korkeus

$$b_0 := 80 \cdot \text{mm}$$

Alapaarteen leveys

$$A_0 := 901 \cdot \text{mm}^2$$

Alapaarteen poikkipinta-ala

$$\gamma_{M5} := 1.0$$

Rakenneputkien ristikkoliitoksen osavarmuusluku

$$g_w := 10 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalien teoreettinen vapaaväli

$$a_w := 3 \cdot \text{mm}$$

Hitsin a-mitta

$$h_{d,30} := \frac{a_w}{\cos(60 \cdot \text{deg})} + \frac{a_w}{\cos(30 \cdot \text{deg})} + h_1 = 49.464 \cdot \text{mm}$$

Sivumitta, ks. plastisuusteorian mittalyhenteiden havainnekuva.

$$W_{p1.0} := 25780 \cdot \text{mm}^3$$

Alapaarteen plastinen taivutusvastus

Vapaavälin suuruuden mitoitusehto

$g_{\text{EHTO}} :=$	"OK" if $g \geq 2 \cdot t_d$	= "OK"
	"HUOMIO" otherwise	

Paarteeseen liitettävien uumasauvojen profiileille asetetut ehdot

$b_{1.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $\frac{b_1}{b_0} \geq 0.35$	= "OK"
	"HUOMIO" otherwise	

$b_{2.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $\frac{b_1}{t_d} < 35$	= "OK"
	"HUOMIO" otherwise	

$b_{3.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $15 < \frac{b_0}{t_0} < 35$	= "OK"
	"HUOMIO" otherwise	

$b_{4.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $0.8 < \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_1} < 1.3$	= "OK"
	"HUOMIO" otherwise	

$$\beta := \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} = 0.5$$

Paarteen leveyden suhde paarteen kaksinkertaiseen seinämävahvuuteen

$b_{5.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $0.5 \cdot (1 - \beta) \leq \frac{g}{b_0} \leq 1.5 \cdot (1 - \beta)$	= "HUOMIO"
	"HUOMIO" otherwise	

Liitoksen epäkeskisyyss

$$e_g := \frac{g + h_{d.30}}{2} = 29.732 \cdot \text{mm} \quad e_0 := e_g \cdot \tan(\theta_1) = 51.497 \cdot \text{mm} \quad e := e_0 - \frac{h_0}{2} = 11.497 \cdot \text{mm}$$

Paarteen taivutusmomentin huomioimisehto

$$e_{\text{EHTO}} := \begin{cases} \text{"EI HUOMIOIDA"} & \text{if } -0.55 \cdot h_0 \leq e \leq 0.25 \cdot h_0 \\ \text{"EI HUOMIOIDA"} \\ \text{"HUOMIOITAVA!"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$-0.55 \cdot h_0 = -44 \cdot \text{mm}$$

Ehtojen raja-arvot

Iteroi voimaa

$$F_d := 64.5 \cdot \text{kN}$$

$$0.25 \cdot h_0 = 20 \cdot \text{mm} \quad M_{0.Ed} := \left(\frac{g + h_{d.30}}{2} \right) \cdot \sin(\theta_1) \cdot F_d = 1.661 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Alapaarteen pinnan murtuminen

$$\gamma := \frac{b_0}{2 \cdot t_0} = 13.333$$

$$F_0 := \cos(\theta_1) = \frac{F_0}{F_d} \text{ solve, } F_0 \rightarrow 64.5 \cdot \text{kN} \cdot \cos(60.0^\circ) = 32.25 \cdot \text{kN}$$

$$\sigma_{0.Ed} := \begin{cases} \frac{F_0}{A_0} & \text{if } e_{\text{EHTO}} = \text{"EI HUOMIOIDA"} \\ \frac{F_0}{A_0} + \frac{M_{0.Ed}}{W_{pl.0}} & \text{otherwise} \end{cases} = 35.794 \cdot \text{MPa}$$

$$n := \frac{\sigma_{0.Ed}}{f_{y0}} = 0.094$$

$$\beta_{\text{wv}} := \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} = 0.5$$

$$k_n := 1.3 - \frac{0.4 \cdot n}{\beta} = 1.225$$

Jos paarteen suurin normaalijännitys on vetoa, on $k_n = 1.0$.

Muulloin arvo lasketaan kaavasta.

$$\sigma := 2$$

Sigma on 1 jos paarteessa vetojännitys

$$k_{\text{av}} := \begin{cases} 1.0 & \text{if } \sigma = 1 \\ k_n & \text{if } k_n \leq 1 \\ 1.0 & \text{otherwise} \end{cases} = 1$$

$$N_{p.Rd} := \frac{8.9 \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \sqrt{\gamma} \cdot \left(\frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4 \cdot b_0} \right)}{\gamma_{M5}} = 64.49 \cdot \text{kN}$$

Paarteen leikkausmyötääminen

$$\alpha := \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4 \cdot g^2}{3 \cdot t_0^2}}}$$

$$A_V := (2 \cdot h_0 + \alpha \cdot b_0) \cdot t_0 = 540.35 \cdot \text{mm}^2$$

$$N_{Vi.Rd} := \frac{\frac{f_{y0} \cdot A_V}{\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_i)}}{\gamma_{M5}} = 137.573 \cdot \text{kN}$$

Uumasauvan murtuminen

$$b_{\text{eff}} := \frac{10 \cdot b_1 \cdot t_0^2 \cdot f_{y0}}{b_0 \cdot t_d \cdot f_{y0}} = 15 \cdot \text{mm}$$

$$N_{u.Rd} := \frac{f_y \cdot t_d \cdot (2 \cdot h_1 - 4 \cdot t_d + b_1 + b_{\text{eff}})}{\gamma_{M5}} = 130.995 \cdot \text{kN}$$

Paarteen leikkauslävistyminen

$$b_{\text{ep}} := \frac{10 \cdot t_0 \cdot b_0}{b_0} = 30 \cdot \text{mm}$$

$$N_{N.Rd} := \frac{\frac{f_{y0} \cdot t_0}{\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_i)} \cdot \left(\frac{2 \cdot h_0}{\sin(\theta_i)} + b_1 + b_{\text{ep}} \right)}{\gamma_{M5}} = 194.58 \cdot \text{kN}$$

Mitoittava kuormitus

$$N_{Rd} := \min(N_{p.Rd}, N_{Vi.Rd}, N_{N.Rd}, N_{u.Rd}) = 64.5 \cdot \text{kN}$$

Profilitiedot

Diagonaalit 80*80*3 S355J2H

Alapaarre 40*40*3 S355J2H

$$f_y := 355 \cdot \text{MPa}$$

$$f_u := 510 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{y,\text{tod}} := 381.9 \cdot \text{MPa}$$

Paarreprofiilin teräksen todellinen myötölujuus

$$f_{y0} := f_{y,\text{tod}}$$

Paarteen materiaalin
todellinen ylempi myötölujuus

$$t_0 := 3 \cdot \text{mm}$$

Paarteen seinämäpaksuus

$$t_d := 3 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin seinämävahvuus

$$\theta_i := 60^\circ$$

Diagonaalin i ja paarteen välinen kulma

$$b_1 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 1 leveys

$$b_2 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 2 leveys

$$h_1 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 1 korkeus

$$h_2 := 40 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalin 2 korkeus

$$h_0 := 80 \cdot \text{mm}$$

Alapaarteen korkeus

$$b_0 := 80 \cdot \text{mm}$$

Alapaarteen leveys

$$A_0 := 901 \cdot \text{mm}^2$$

Alapaarteen poikkipinta-ala

$$\gamma_{M5} := 1.0$$

Rakenneputkien ristikkoliitoksen osavarmuusluku

$$g_{\text{av}} := 5 \cdot \text{mm}$$

Diagonaalien teoreettinen vapaaväli

$$a_w := 3 \cdot \text{mm}$$

Hitsin a-mitta

$$h_{d,30} := \frac{a_w}{\cos(60 \cdot \text{deg})} + \frac{a_w}{\cos(30 \cdot \text{deg})} + h_1 = 49.464 \cdot \text{mm}$$

Sivumitta, ks. plastisuusteorian
mittalyhenteiden havainnekuva.

$$W_{p1.0} := 25780 \cdot \text{mm}^3$$

Alapaarteen plastinen taivutusvastus

Vapaavälin suuruuden mitoitusehto

$g_{\text{EHTO}} :=$	"OK" if $g \geq 2 \cdot t_d$	= "HUOMIO"
	"HUOMIO" otherwise	

Paarteeseen liitettävien uumasauvojen profiileille asetetut ehdot

$b_{1.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $\frac{b_1}{b_0} \geq 0.35$	= "OK"
	"HUOMIO" otherwise	

$b_{2.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $\frac{b_1}{t_d} < 35$	= "OK"
	"HUOMIO" otherwise	

$b_{3.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $15 < \frac{b_0}{t_0} < 35$	= "OK"
	"HUOMIO" otherwise	

$b_{4.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $0.8 < \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_1} < 1.3$	= "OK"
	"HUOMIO" otherwise	

$$\beta := \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} = 0.5$$

Paarteen leveyden suhde paarteen kaksinkertaiseen seinämävahvuuteen

$b_{5.\text{EHTO}} :=$	"OK" if $0.5 \cdot (1 - \beta) \leq \frac{g}{b_0} \leq 1.5 \cdot (1 - \beta)$	= "HUOMIO"
	"HUOMIO" otherwise	

Liitoksen epäkeskisyyys

$$e_g := \frac{g + h_{d,30}}{2} = 27.232 \cdot \text{mm} \quad e_0 := e_g \cdot \tan(\theta_i) = 47.167 \cdot \text{mm} \quad e := e_0 - \frac{h_0}{2} = 7.167 \cdot \text{mm}$$

Paarteen taivutusmomentin huomioimisehto

$$e_{\text{EHTO}} := \begin{cases} \text{"EI HUOMIOIDA"} & \text{if } -0.55 \cdot h_0 \leq e \leq 0.25 \cdot h_0 \\ \text{"HUOMIOITAVA!"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"EI HUOMIOIDA"}$$

$$-0.55 \cdot h_0 = -44 \cdot \text{mm}$$

Ehtojen raja-arvot

Iteroi voimaa

$$F_d := 64.5 \cdot \text{kN}$$

$$0.25 \cdot h_0 = 20 \cdot \text{mm}$$

$$M_{0,Ed} := \left(\frac{g + h_{d,30}}{2} \right) \cdot \sin(\theta_i) \cdot F_d = 1.521 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Alapaarteen pinnan murtuminen

$$\gamma := \frac{b_0}{2 \cdot t_0} = 13.333$$

$$F_0 := \cos(\theta_i) = \frac{F_0}{F_d} \text{ solve, } F_0 \rightarrow 64.5 \cdot \text{kN} \cdot \cos(60.0^\circ) = 32.25 \cdot \text{kN}$$

$$\sigma_{0,Ed} := \begin{cases} \frac{F_0}{A_0} & \text{if } e_{\text{EHTO}} = \text{"EI HUOMIOIDA"} \\ \frac{F_0}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{pl,0}} & \text{otherwise} \end{cases} = 35.794 \cdot \text{MPa}$$

$$n := \frac{\sigma_{0,Ed}}{f_{y0}} = 0.094$$

$$\beta_w := \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} = 0.5$$

$$k_n := 1.3 - \frac{0.4 \cdot n}{\beta} = 1.225$$

Jos paarteen suurin normaalijännitys on vetoa, on $k_n = 1.0$.

Muulloin arvo lasketaan kaavasta.

$$\sigma := 2$$

Sigma on 1 jos paarteessa vetojännitys

$$k_{\text{tav}} := \begin{cases} 1.0 & \text{if } \sigma = 1 \\ k_n & \text{if } k_n \leq 1 \\ 1.0 & \text{otherwise} \end{cases} = 1$$

$$N_{p,Rd} := \frac{8.9 \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \sqrt{\gamma} \cdot \left(\frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4 \cdot b_0} \right)}{\gamma_{M5}} = 64.49 \cdot \text{kN}$$

Paarteen leikkausmyötääminen

$$\alpha := \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4 \cdot g^2}{3 \cdot t_0^2}}}$$

$$A_v := (2 \cdot h_0 + \alpha \cdot b_0) \cdot t_0 = 590.66 \cdot \text{mm}^2$$

$$N_{vi.Rd} := \frac{f_{y0} \cdot A_v}{\frac{\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_i)}{\gamma_{M5}}} = 150.382 \cdot \text{kN}$$

Uumasauvan murtuminen

$$b_{\text{eff}} := \frac{10 \cdot b_1 \cdot t_0^2 \cdot f_{y0}}{b_0 \cdot t_d \cdot f_{y0}} = 15 \cdot \text{mm}$$

$$N_{u.Rd} := \frac{f_y \cdot t_d \cdot (2 \cdot h_1 - 4 \cdot t_d + b_1 + b_{\text{eff}})}{\gamma_{M5}} = 130.995 \cdot \text{kN}$$

Paarteen leikkauslävistyminen

$$b_{\text{ep}} := \frac{10 \cdot t_0 \cdot b_0}{b_0} = 30 \cdot \text{mm}$$

$$N_{N.Rd} := \frac{\frac{f_{y0} \cdot t_0}{\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_i)} \cdot \left(\frac{2 \cdot h_0}{\sin(\theta_i)} + b_1 + b_{\text{ep}} \right)}{\gamma_{M5}} = 194.58 \cdot \text{kN}$$

Mitoittava kuormitus

$$N_{Rd} := \min(N_{p.Rd}, N_{vi.Rd}, N_{N.Rd}, N_{u.Rd}) = 64.5 \cdot \text{kN}$$

MYÖTÖVIIVATEORIAN MUKAINEN LUJUUSLASKELMA MATERIAALIN
TODELLISELLA MYÖTÖLUJUUDELLA

Profilitiedot

Diagonaalit 80*80*3 S355J2H

Alapaarre 40*40*3 S355J2H

$$f_y := 355 \cdot \text{MPa}$$

$$f_u := 510 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{y,\text{tod}} := 381 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{y0} := f_{y,\text{tod}}$$

$$A_0 := 901 \cdot \text{mm}^2$$

$$t_d := 3 \cdot \text{mm}$$

$$t_0 := 3 \cdot \text{mm}$$

$$\theta_i := 60^\circ$$

$$b_1 := 40 \cdot \text{mm}$$

$$b_2 := 40 \cdot \text{mm}$$

$$h_1 := 40 \cdot \text{mm}$$

$$h_2 := 40 \cdot \text{mm}$$

$$h_0 := 80 \cdot \text{mm}$$

$$b_0 := 80 \cdot \text{mm}$$

$$g_w := 40 \cdot \text{mm}$$

$$a_w := 3 \cdot \text{mm}$$

Paareprofiilin teräksen todellinen myötölujuus

Paarteen materiaalin
todellinen myötölujuus

Alapaarteen poikkipinta-ala

Diagonaalin seinämävahvuus

Paarteen seinämäpaksuus

Diagonaalin i ja paarteen välinen kulma

Diagonaalin 1 leveys

Diagonaalin 2 leveys

Diagonaalin 1 korkeus

Diagonaalin 2 korkeus

Alapaarteen korkeus

Alapaarteen leveys

Diagonaalien teoreettinen vapaaväli

Hitsin a-mitta

Myötöviiva teoria

Lähtötiedot

$$b := 1 \cdot \text{mm}$$

$$h := 3 \cdot \text{mm}$$

$$\delta_w := 1$$

$$a_k := \frac{a_w}{\cos(60 \cdot \text{deg})} = 6 \cdot \text{mm}$$

$$W_{pl} := \frac{b \cdot h^2}{4} = 2.25 \cdot \text{mm}^3$$

$$M_{py} := f_{y0} \cdot W_{pl} = 857.25 \cdot \text{N} \cdot \text{mm}$$

Tarkastelupinnan leveys

Tarkastelupinnan korkeus

Pystysuuntainens siirtymä enintään

Hitsin kateetti vapaaväliin puolella

Alapaarteen pinnan plastinen taivutusvastus

Profiilin plastinen myötömomentti

Myötönivelten pituudet

$$h_{d,90} := 2 \cdot \frac{a_w}{\cos(45 \text{ deg})} + h_1 = 48.485 \text{ mm}$$

$$h_{d,30} := \frac{a_w}{\cos(60 \text{ deg})} + \frac{a_w}{\cos(30 \text{ deg})} + h_1 = 49.464 \text{ mm}$$

$$b_{0,k} := 74 \text{ mm}$$

$$s_k := \frac{b_0 - h_{d,90}}{2} = 12.757 \text{ mm}$$

$$d := \begin{cases} \left(\frac{e}{2} - a_k \right) & \text{if } \frac{e}{2} - a_k > 0 \text{ mm} \\ 0.1 \text{ mm} & \text{otherwise} \end{cases} = 14 \text{ mm}$$

$$f := \sqrt{c^2 + c^2} = 18.042 \text{ mm}$$

$$l_0 := d + h_{d,30} + f = 81.506 \text{ mm}$$

$$e := \sqrt{d^2 + c^2} = 18.941 \text{ mm}$$

$$a := \sqrt{f^2 + c^2} = 22.096 \text{ mm}$$

Kiertokulmat myötönivelissä

$$\varphi_{20} := \frac{\delta}{c} = 0.078 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{30} := \frac{\delta}{f} = 0.055 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{10} := \frac{\delta}{d} = 0.071 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{12} := \sqrt{\varphi_{20}^2 + \varphi_{10}^2} = 0.106 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{25} := \varphi_{20} = 0.078 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{15} := \frac{\delta}{d} = 0.071 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{23} := \sqrt{\varphi_{20}^2 + \varphi_{30}^2} = 0.096 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{35} := \varphi_{30} = 0.055 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$W_s := M_{py} \cdot 4 \cdot (a \cdot \varphi_{23} + e \cdot \varphi_{12} + h_{d,30} \cdot \varphi_{25} + l_0 \cdot \varphi_{20}) + M_{py} \cdot 2 \cdot (h_{d,90} \cdot \varphi_{35} + h_{d,90} \cdot \varphi_{15}) = 59909.798 \text{ N mm}$$

$$W_u := 4 \cdot q_y \cdot \left(h_{d,30} + \frac{f}{2} + \frac{d}{2} + h_{d,90} + \frac{2 \cdot c}{2} \right) \text{ simplify} \rightarrow 0.5069102303297136 \text{ m} \cdot q_y$$

$$W_s = W_u$$

$$q := \frac{\frac{W_s}{\text{mm}}}{506.9102303297136 \text{ mm}} = 118.186 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Viivakuorma uumasauvan pienahitsin ulkokehällä

$$F_k := \frac{q \cdot (h_{d,30} + h_{d,90}) \cdot 2 \cdot 2}{\sin(\theta_1)} = 53.468 \text{ kN}$$

Uumasauvan voimaresultantti

$$\frac{F}{72 \text{ kN}} = 74.262 \%$$

Myötämiseen vaadittava voima eurokoodi mitoituksen arvosta

Profilitiedot

Diagonaalit 80*80*3 S355J2H

Alapaarre 40*40*3 S355J2H

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

$$f_u := 510 \text{ MPa}$$

$$f_{y.tod} := 381 \text{ MPa}$$

$$f_{y0} := f_{y.tod}$$

$$A_0 := 901 \text{ mm}^2$$

$$t_d := 3 \text{ mm}$$

$$t_0 := 3 \text{ mm}$$

$$\theta_i := 60^\circ$$

$$b_1 := 40 \text{ mm}$$

$$b_2 := 40 \text{ mm}$$

$$h_1 := 40 \text{ mm}$$

$$h_2 := 40 \text{ mm}$$

$$h_0 := 80 \text{ mm}$$

$$b_0 := 80 \text{ mm}$$

$$s_w := 30 \text{ mm}$$

$$a_w := 3 \text{ mm}$$

Myötöviiva teoria

Lähtötiedot

$$b := 1 \text{ mm}$$

$$h := 3 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{va}} := 1$$

$$a_k := \frac{a_w}{\cos(60 \text{ deg})} = 6 \text{ mm}$$

$$W_{pl} := \frac{b \cdot h^2}{4} = 2.25 \text{ mm}^3$$

$$M_{py} := f_{y0} \cdot W_{pl} = 857.25 \text{ N mm}$$

Paareprofiilin teräksen todellinen myötölujuus

Paarteen materiaalin todellinen myötölujuus

Alapaarteen poikkipinta-ala

Diagonaalin seinämävahvuus

Paarteen seinämäpaksuus

Diagonaalin i ja paarteen välinen kulma

Diagonaalin 1 leveys

Diagonaalin 2 leveys

Diagonaalin 1 korkeus

Diagonaalin 2 korkeus

Alapaarteen korkeus

Alapaarteen leveys

Diagonaalien teoreettinen vapaaväli

Hitsin a-mitta

Tarkastelupinnan leveys

Tarkastelupinnan korkeus

Pystysuuntainen siirtymä enintään

Hitsin kateetti vapaavälin puolella

Alapaarteen pinnan plastinen taivutusvastus

Profiilin plastinen myötömomenti

Myötönivelten pituudet

$$h_{d,90} := 2 \cdot \frac{a_w}{\cos(45 \cdot \text{deg})} + h_1 = 48.485 \text{ mm}$$

$$h_{d,30} := \frac{a_w}{\cos(60 \cdot \text{deg})} + \frac{a_w}{\cos(30 \cdot \text{deg})} + h_1 = 49.464 \text{ mm}$$

$$b_{0k} := 74 \text{ mm}$$

$$\delta_w := \frac{b_0 - h_{d,90}}{2} = 12.757 \text{ mm}$$

$$d := \begin{cases} \left(\frac{\delta}{2} - a_k \right) & \text{if } \frac{\delta}{2} - a_k > 0 \text{ mm} \\ 0.1 \text{ mm} & \text{otherwise} \end{cases} = 9 \text{ mm}$$

$$f := \sqrt{c^2 + c^2} = 18.042 \text{ mm}$$

$$l_0 := d + h_{d,30} + f = 76.506 \text{ mm}$$

$$e := \sqrt{d^2 + c^2} = 15.613 \text{ mm}$$

$$a := \sqrt{f^2 + c^2} = 22.096 \text{ mm}$$

Kiertokulmat myötönivelissä

$$\varphi_{20} := \frac{\delta}{c} = 0.078 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{30} := \frac{\delta}{f} = 0.055 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{10} := \frac{\delta}{d} = 0.111 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{12} := \sqrt{\varphi_{20}^2 + \varphi_{10}^2} = 0.136 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{25} := \varphi_{20} = 0.078 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{15} := \frac{\delta}{d} = 0.111 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{23} := \sqrt{\varphi_{20}^2 + \varphi_{30}^2} = 0.096 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{35} := \varphi_{30} = 0.055 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$W_s := M_{py} \cdot 4 \cdot (a \cdot \varphi_{23} + e \cdot \varphi_{12} + h_{d,30} \cdot \varphi_{25} + l_0 \cdot \varphi_{20}) + M_{py} \cdot 2 \cdot (h_{d,90} \cdot \varphi_{35} + h_{d,90} \cdot \varphi_{15}) = 62256.58 \text{ N mm}$$

$$W_u := 4 \cdot q_y \left(h_{d,30} + \frac{f}{2} + \frac{d}{2} + h_{d,90} + \frac{2 \cdot c}{2} \right) \text{ simplify} \rightarrow 0.4969102303297136 \text{ m} \cdot q_y$$

$$W_s = W_u$$

$$q := \frac{\frac{W_s}{\text{mm}}}{506.9102303297136 \text{ mm}} = 122.816 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Viivakuoma uumasauvan pienahitsin ulkokehällä

$$F_w := \frac{q \cdot (h_{d,30} + h_{d,90})^{2 \cdot 2}}{\sin(\theta_1)} = 55.563 \text{ kN}$$

Uumasauvan voimaresultantti

$$\frac{F}{72 \text{ kN}} = 77.171 \cdot \%$$

Myötämiseen vaadittava voima eurokoodi mitoituksen arvosta

Profiilitiedot

Diagonaalit 80*80*3 S355J2H

Alapaarre 40*40*3 S355J2H

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

$$f_u := 510 \text{ MPa}$$

$$f_{y,tod} := 381 \text{ MPa}$$

$$f_{y0} := f_{y,tod}$$

$$A_0 := 901 \text{ mm}^2$$

$$t_d := 3 \text{ mm}$$

$$t_0 := 3 \text{ mm}$$

$$\theta_1 := 60^\circ$$

$$b_1 := 40 \text{ mm}$$

$$b_2 := 40 \text{ mm}$$

$$h_1 := 40 \text{ mm}$$

$$h_2 := 40 \text{ mm}$$

$$h_0 := 80 \text{ mm}$$

$$b_0 := 80 \text{ mm}$$

$$g_{\lambda} := 20 \text{ mm}$$

$$a_w := 3 \text{ mm}$$

Myötöviiva teoria

Lähtötiedot

$$b := 1 \text{ mm}$$

$$h := 3 \text{ mm}$$

$$\delta_{\lambda} := 1$$

$$a_k := \frac{a_w}{\cos(60 \text{ deg})} = 6 \text{ mm}$$

$$W_{pl} := \frac{b \cdot h^2}{4} = 2.25 \text{ mm}^3$$

$$M_{py} := f_{y0} \cdot W_{pl} = 857.25 \text{ N mm}$$

Paareprofiilin teräksen todellinen myötölujuus

Paarteen materiaalin
todellinen myötölujuus

Alapaarteen poikkipinta-ala

Diagonaalin seinämävahvuus

Paarteen seinämäpaksuus

Diagonaalin i ja paarteen välinen kulma

Diagonaalin 1 leveys

Diagonaalin 2 leveys

Diagonaalin 1 korkeus

Diagonaalin 2 korkeus

Alapaarteen korkeus

Alapaarteen leveys

Diagonaalien teoreettinen vapaaväli

Hitsin a-mitta

Tarkastelupinnan leveys

Tarkastelupinnan korkeus

Pystysuuntainen siirtymä enintään

Hitsin kateetti vapaavälin puolella

Alapaarteen pinnan plastinen taivutusvastus

Profiilin plastinen myötömomentti

Myötönivelten pituudet

$$h_{d,90} := 2 \cdot \frac{a_w}{\cos(45 \text{ deg})} + h_1 = 48.485 \text{ mm}$$

$$h_{d,30} := \frac{a_w}{\cos(60 \text{ deg})} + \frac{a_w}{\cos(30 \text{ deg})} + h_1 = 49.464 \text{ mm}$$

$$b_{0k} := 74 \text{ mm}$$

$$c_k := \frac{b_0 - h_{d,90}}{2} = 12.757 \text{ mm}$$

$$d := \begin{cases} \left(\frac{c_k}{2} - a_k \right) & \text{if } \frac{c_k}{2} - a_k > 0 \text{ mm} \\ 0.1 \text{ mm} & \text{otherwise} \end{cases} = 4 \text{ mm}$$

$$f := \sqrt{c^2 + c^2} = 18.042 \text{ mm}$$

$$l_0 := d + h_{d,30} + f = 71.506 \text{ mm}$$

$$e := \sqrt{d^2 + c^2} = 13.37 \text{ mm}$$

$$a := \sqrt{f^2 + c^2} = 22.096 \text{ mm}$$

Kiertokulmat myötönivelissä

$$\varphi_{20} := \frac{\delta}{c} = 0.078 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{30} := \frac{\delta}{f} = 0.055 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{10} := \frac{\delta}{d} = 0.25 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{12} := \sqrt{\varphi_{20}^2 + \varphi_{10}^2} = 0.262 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{25} := \varphi_{20} = 0.078 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{15} := \frac{\delta}{d} = 0.25 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{23} := \sqrt{\varphi_{20}^2 + \varphi_{30}^2} = 0.096 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{35} := \varphi_{30} = 0.055 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$W_s := M_{py} \cdot 4 \cdot (a \cdot \varphi_{23} + e \cdot \varphi_{12} + h_{d,30} \cdot \varphi_{25} + l_0 \cdot \varphi_{20}) + M_{py} \cdot 2 \cdot (h_{d,90} \cdot \varphi_{35} + h_{d,90} \cdot \varphi_{15}) = 77189.97 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$W_u := 4 \cdot q_y \cdot \left(h_{d,30} + \frac{f}{2} + \frac{d}{2} + h_{d,90} + \frac{2 \cdot c}{2} \right) \text{ simplify} \rightarrow 0.4869102303297136 \text{ m} \cdot q_y$$

$$W_s = W_u$$

$$q := \frac{\frac{W_s}{\text{mm}}}{506.9102303297136 \text{ mm}} = 152.275 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Viivakuoma uumasauvan pienahitsin ulkokehällä

$$F_k := \frac{q \cdot (h_{d,30} + h_{d,90}) \cdot 2 \cdot 2}{\sin(\theta_1)} = 68.891 \text{ kN}$$

Uumasauvan voimaresultantti

$$\frac{F}{72 \text{ kN}} = 95.682 \%$$

Myötämiseen vaadittava voima eurokoodin mitoituksen arvosta

Profiilitiedot

Diagonaalit 80*80*3 S355J2H

Alapaarre 40*40*3 S355J2H

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

$$f_u := 510 \text{ MPa}$$

$$f_{y,tod} := 381 \text{ MPa}$$

$$f_{y0} := f_{y,tod}$$

$$A_0 := 901 \text{ mm}^2$$

$$t_d := 3 \text{ mm}$$

$$t_0 := 3 \text{ mm}$$

$$\theta_1 := 60^\circ$$

$$b_1 := 40 \text{ mm}$$

$$b_2 := 40 \text{ mm}$$

$$h_1 := 40 \text{ mm}$$

$$h_2 := 40 \text{ mm}$$

$$h_0 := 80 \text{ mm}$$

$$b_0 := 80 \text{ mm}$$

$$g_w := 15 \text{ mm}$$

$$a_w := 3 \text{ mm}$$

Myötöviiva teoria

Lähtötiedot

$$b := 1 \text{ mm}$$

$$h := 3 \text{ mm}$$

$$\delta_w := 1$$

$$a_k := \frac{a_w}{\cos(60 \text{ deg})} = 6 \text{ mm}$$

$$W_{pl} := \frac{b \cdot h^2}{4} = 2.25 \text{ mm}^3$$

$$M_{py} := f_{y0} \cdot W_{pl} = 857.25 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

Paareprofiilin teräksen todellinen myötölujuus

Paarten materiaalin
todellinen myötölujuus

Alapaarten poikkipinta-ala

Diagonaalin seinämävahvuus

Paarten seinämäpaksuus

Diagonaalin i ja paarten välinen kulma

Diagonaalin 1 leveys

Diagonaalin 2 leveys

Diagonaalin 1 korkeus

Diagonaalin 2 korkeus

Alapaarten korkeus

Alapaarten leveys

Diagonaalien teoreettinen vapaaväli

Hitsin a-mitta

Tarkastelupinnan leveys

Tarkastelupinnan korkeus

Pystysuuntainens siirtymä enintään

Hitsin kateetti vapaavälin puolella

Alapaarten pinnan plastinen taivutusvastus

Profiilin plastinen myötömomentti

Myötönivelten pituudet

$$h_{d,90} := 2 \cdot \frac{a_w}{\cos(45 \text{ deg})} + h_1 = 48.485 \text{ mm}$$

$$h_{d,30} := \frac{a_w}{\cos(60 \text{ deg})} + \frac{a_w}{\cos(30 \text{ deg})} + h_1 = 49.464 \text{ mm}$$

$$b_0 := 74 \text{ mm}$$

$$s_w := \frac{b_0 - h_{d,90}}{2} = 12.757 \text{ mm}$$

$$d := \begin{cases} \left(\frac{g}{2} - a_k \right) & \text{if } \frac{g}{2} - a_k > 0 \text{ mm} \\ 0.1 \text{ mm} & \text{otherwise} \end{cases} = 1.5 \text{ mm}$$

$$f := \sqrt{c^2 + c^2} = 18.042 \text{ mm}$$

$$l_0 := d + h_{d,30} + f = 69.006 \text{ mm}$$

$$e := \sqrt{d^2 + c^2} = 12.845 \text{ mm}$$

$$a := \sqrt{f^2 + c^2} = 22.096 \text{ mm}$$

Kiertokulmat myötönivelissä

$$\varphi_{20} := \frac{\delta}{c} = 0.078 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{30} := \frac{\delta}{f} = 0.055 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{10} := \frac{\delta}{d} = 0.667 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{12} := \sqrt{\varphi_{20}^2 + \varphi_{10}^2} = 0.671 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{25} := \varphi_{20} = 0.078 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{15} := \frac{\delta}{d} = 0.667 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{23} := \sqrt{\varphi_{20}^2 + \varphi_{30}^2} = 0.096 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{35} := \varphi_{30} = 0.055 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$W_s := M_{py} \cdot 4 \cdot (a \cdot \varphi_{23} + e \cdot \varphi_{12} + h_{d,30} \cdot \varphi_{25} + l_0 \cdot \varphi_{20}) + M_{py} \cdot 2 \cdot (h_{d,90} \cdot \varphi_{35} + h_{d,90} \cdot \varphi_{15}) = 128709.79 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$W_u := 4 \cdot q_y \cdot \left(h_{d,30} + \frac{f}{2} + \frac{d}{2} + h_{d,90} + \frac{2 \cdot c}{2} \right) \text{ simplify} \rightarrow 0.4819102303297136 \text{ m} \cdot q_y$$

$$W_s = W_u$$

$$q := \frac{W_s}{506.9102303297136 \text{ mm}} = 253.91 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Viivakuoma uumasauvan pienahitsin ulkokehällä

$$F_w := \frac{q \cdot (h_{d,30} + h_{d,90}) \cdot 2 \cdot 2}{\sin(\theta_i)} = 114.871 \text{ kN}$$

Uumasauvan voimaresultantti

$$\frac{F}{72 \text{ kN}} = 159.543 \%$$

Myötäämiseen vaadittava voima eurokoodi mitoituksen arvosta

Profiilitiedot

Diagonaalit 80*80*3 S355J2H

Alapaarre 40*40*3 S355J2H

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

$$f_u := 510 \text{ MPa}$$

$$f_{y,tod} := 381 \text{ MPa}$$

$$f_{y0} := f_{y,tod}$$

$$A_0 := 901 \text{ mm}^2$$

$$t_d := 3 \text{ mm}$$

$$t_0 := 3 \text{ mm}$$

$$\theta_1 := 60^\circ$$

$$b_1 := 40 \text{ mm}$$

$$b_2 := 40 \text{ mm}$$

$$h_1 := 40 \text{ mm}$$

$$h_2 := 40 \text{ mm}$$

$$h_0 := 80 \text{ mm}$$

$$b_0 := 80 \text{ mm}$$

$$g_w := 10 \text{ mm}$$

$$a_w := 3 \text{ mm}$$

Myötöviiva teoria

Lähtötiedot

$$b := 1 \text{ mm}$$

$$h := 3 \text{ mm}$$

$$\delta_w := 1$$

$$a_k := \frac{a_w}{\cos(60 \text{ deg})} = 6 \text{ mm}$$

$$W_{pl} := \frac{b \cdot h^2}{4} = 2.25 \text{ mm}^3$$

$$M_{py} := f_{y0} \cdot W_{pl} = 857.25 \text{ N mm}$$

Paareprofiilin teräksen todellinen myötölujuus

Paarteen materiaalin todellinen myötölujuus

Alapaarteen poikkipinta-ala

Diagonaalin seinämävahvuus

Paarteen seinämäpaksuus

Diagonaalin i ja paarteen välinen kulma

Diagonaalin 1 leveys

Diagonaalin 2 leveys

Diagonaalin 1 korkeus

Diagonaalin 2 korkeus

Alapaarteen korkeus

Alapaarteen leveys

Diagonaalien teoreettinen vapaaväli

Hitsin a-mitta

Tarkastelupinnan leveys

Tarkastelupinnan korkeus

Pystysuuntainens siirtymä enintään

Hitsin kateetti vapaavälin puolella

Alapaarteen pinnan plastinen taivutusvastus

Profiilin plastinen myötömomentti

Myötönivelten pituudet

$$h_{d,90} := 2 \cdot \frac{a_w}{\cos(45 \text{ deg})} + h_1 = 48.485 \text{ mm}$$

$$h_{d,30} := \frac{a_w}{\cos(60 \text{ deg})} + \frac{a_w}{\cos(30 \text{ deg})} + h_1 = 49.464 \text{ mm}$$

$$b_0 := 74 \text{ mm}$$

$$\delta := \frac{b_0 - h_{d,90}}{2} = 12.757 \text{ mm}$$

$$d := \begin{cases} \left(\frac{g}{2} - a_k \right) & \text{if } \frac{g}{2} - a_k > 0 \text{ mm} \\ 0.1 \text{ mm} & \text{otherwise} \end{cases} = 0.1 \text{ mm}$$

$$f := \sqrt{c^2 + c^2} = 18.042 \text{ mm}$$

$$l_0 := d + h_{d,30} + f = 67.606 \text{ mm}$$

$$e := \sqrt{d^2 + c^2} = 12.758 \text{ mm}$$

$$a := \sqrt{f^2 + c^2} = 22.096 \text{ mm}$$

Kiertokulmat myötönivelissä

$$\varphi_{20} := \frac{\delta}{c} = 0.078 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{30} := \frac{\delta}{f} = 0.055 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{10} := \frac{\delta}{d} = 10 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{12} := \sqrt{\varphi_{20}^2 + \varphi_{10}^2} = 10 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{25} := \varphi_{20} = 0.078 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{15} := \frac{\delta}{d} = 10 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{23} := \sqrt{\varphi_{20}^2 + \varphi_{30}^2} = 0.096 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{35} := \varphi_{30} = 0.055 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$W_s := M_{py} \cdot 4 \cdot (a \cdot \varphi_{23} + e \cdot \varphi_{12} + h_{d,30} \cdot \varphi_{25} + l_0 \cdot \varphi_{20}) + M_{py} \cdot 2 \cdot (h_{d,90} \cdot \varphi_{35} + h_{d,90} \cdot \varphi_{15}) = 1312105.189 \text{ N mm}$$

$$W_u := 4 \cdot q_y \cdot \left(h_{d,30} + \frac{f}{2} + \frac{d}{2} + h_{d,90} + \frac{2 \cdot c}{2} \right) \text{ simplify} \rightarrow 0.4791102303297136 \text{ m} \cdot q_y$$

$$W_s = W_u$$

$$q := \frac{\frac{W_s}{\text{mm}}}{506.9102303297136 \text{ mm}} = 2588.437 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Viivakuorma uumasauvan pienahitsin ulkokehällä

$$F_k := \frac{q \cdot (h_{d,30} + h_{d,90}) \cdot 2 \cdot 2}{\sin(\theta_1)} = 1171.032 \text{ kN}$$

Uumasauvan voimaresultantti

$$\frac{F}{72 \text{ kN}} = 1626.433 \%$$

Myötämiseen vaadittava voima eurokoodi mitoituksen arvosta

Profiilitiedot

Diagonaalit 80*80*3 S355J2H

Alapaarre 40*40*3 S355J2H

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

$$f_{tk} := 510 \text{ MPa}$$

$$f_{y,tod} := 381 \text{ MPa}$$

$$f_{y0} := f_{y,tod}$$

$$A_0 := 901 \text{ mm}^2$$

$$t_d := 3 \text{ mm}$$

$$t_0 := 3 \text{ mm}$$

$$\theta_1 := 60^\circ$$

$$b_1 := 40 \text{ mm}$$

$$b_2 := 40 \text{ mm}$$

$$h_1 := 40 \text{ mm}$$

$$h_2 := 40 \text{ mm}$$

$$h_0 := 80 \text{ mm}$$

$$b_0 := 80 \text{ mm}$$

$$g_{\Delta} := 5 \text{ mm}$$

$$a_w := 3 \text{ mm}$$

Myötöviiva teoria

Lähtötiedot

$$b := 1 \text{ mm}$$

$$h := 3 \text{ mm}$$

$$\delta_{\Delta} := 1$$

$$a_k := \frac{a_w}{\cos(60 \text{ deg})} = 6 \text{ mm}$$

$$W_{pl} := \frac{b \cdot h^2}{4} = 2.25 \text{ mm}^3$$

$$M_{py} := f_{y0} \cdot W_{pl} = 857.25 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

Paarprofiilin teräksen todellinen myötölujuus

Paarteen materiaalin todellinen myötölujuus

Alapaarteen poikkipinta-ala

Diagonaalin seinämävahvuus

Paarteen seinämäpaksuus

Diagonaalin i ja paarteen välinen kulma

Diagonaalin 1 leveys

Diagonaalin 2 leveys

Diagonaalin 1 korkeus

Diagonaalin 2 korkeus

Alapaarteen korkeus

Alapaarteen leveys

Diagonaalien teoreettinen vapaaväli

Hitsin a-mitta

Tarkastelupinnan leveys

Tarkastelupinnan korkeus

Pystysuuntainen siirtymä enintään

Hitsin kateetti vapaavälin puolella

Alapaarteen pinnan plastinen taivutusvastus

Profiilin plastinen myötömomentti

Myötönivelten pituudet

$$h_{d,90} := 2 \cdot \frac{a_w}{\cos(45 \text{ deg})} + h_1 = 48.485 \text{ mm}$$

$$h_{d,30} := \frac{a_w}{\cos(60 \text{ deg})} + \frac{a_w}{\cos(30 \text{ deg})} + h_1 = 49.464 \text{ mm}$$

$$b_{0k} := 74 \text{ mm}$$

$$s_w := \frac{b_0 - h_{d,90}}{2} = 12.757 \text{ mm}$$

$$d := \begin{cases} \left(\frac{e}{2} - a_k \right) & \text{if } \frac{e}{2} - a_k > 0 \text{ mm} \\ 0.1 \text{ mm} & \text{otherwise} \end{cases} = 0.1 \text{ mm}$$

$$f := \sqrt{c^2 + c^2} = 18.042 \text{ mm}$$

$$l_0 := d + h_{d,30} + f = 67.606 \text{ mm}$$

$$e := \sqrt{d^2 + c^2} = 12.758 \text{ mm}$$

$$a := \sqrt{f^2 + c^2} = 22.096 \text{ mm}$$

Kiertokulmat myötönivelissä

$$\varphi_{20} := \frac{\delta}{c} = 0.078 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{30} := \frac{\delta}{f} = 0.055 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{10} := \frac{\delta}{d} = 10 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{12} := \sqrt{\varphi_{20}^2 + \varphi_{10}^2} = 10 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{25} := \varphi_{20} = 0.078 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{15} := \frac{\delta}{d} = 10 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{23} := \sqrt{\varphi_{20}^2 + \varphi_{30}^2} = 0.096 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$\varphi_{35} := \varphi_{30} = 0.055 \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$W_s := M_{py} \cdot 4 \cdot (a \cdot \varphi_{23} + e \cdot \varphi_{12} + h_{d,30} \cdot \varphi_{25} + l_0 \cdot \varphi_{20}) + M_{py} \cdot 2 \cdot (h_{d,90} \cdot \varphi_{35} + h_{d,90} \cdot \varphi_{15}) = 1312105.189 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$W_u := 4 \cdot q_y \cdot \left(h_{d,30} + \frac{f}{2} + \frac{d}{2} + h_{d,90} + \frac{2 \cdot c}{2} \right) \text{ simplify} \rightarrow 0.4791102303297136 \text{ m} \cdot q_y$$

$$W_s = W_u$$

$$q := \frac{\frac{W_s}{\text{mm}}}{506.9102303297136 \text{ mm}} = 2588.437 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Viivakuorma uumasauvan pienahitsin ulkokehällä

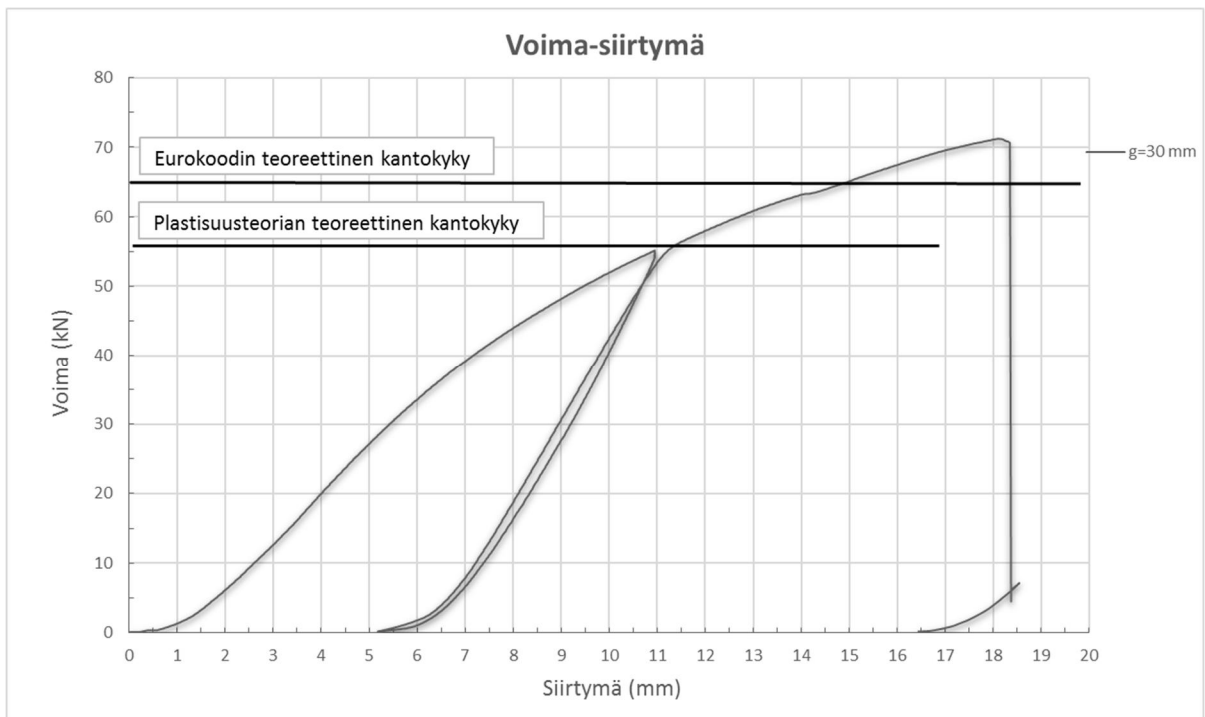
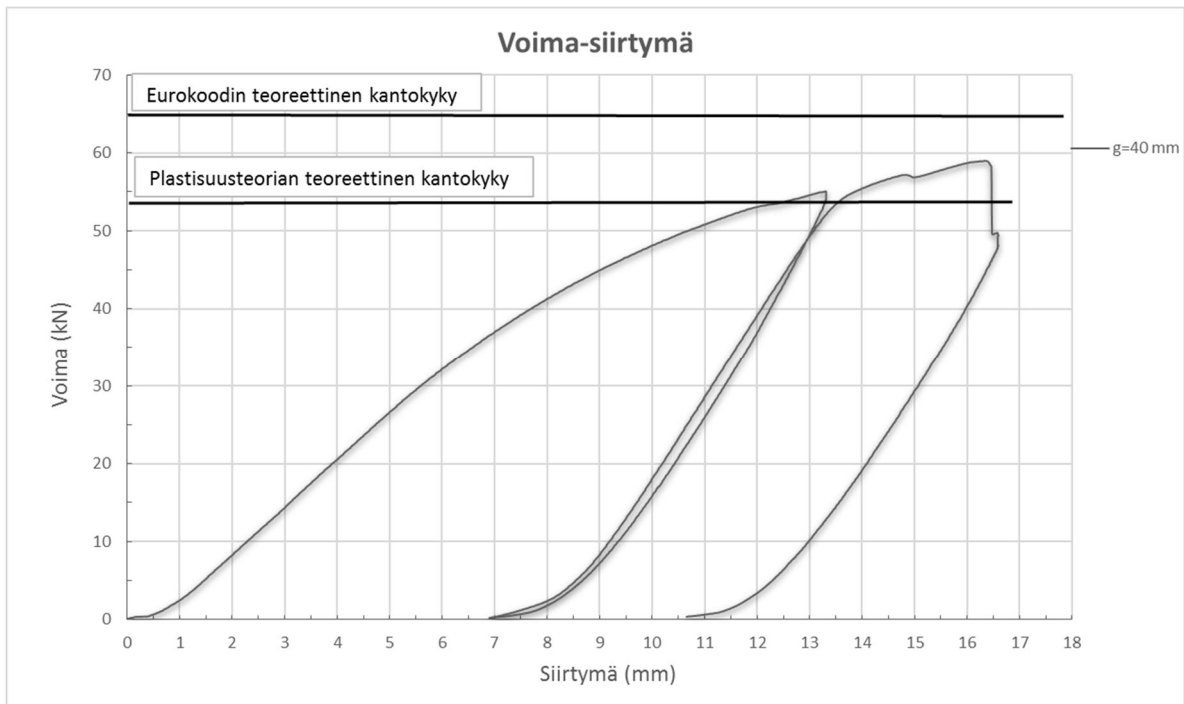
$$F_{\delta_k} := \frac{q \cdot (h_{d,30} + h_{d,90}) \cdot 2 \cdot 2}{\sin(\theta_i)} = 1171.032 \text{ kN}$$

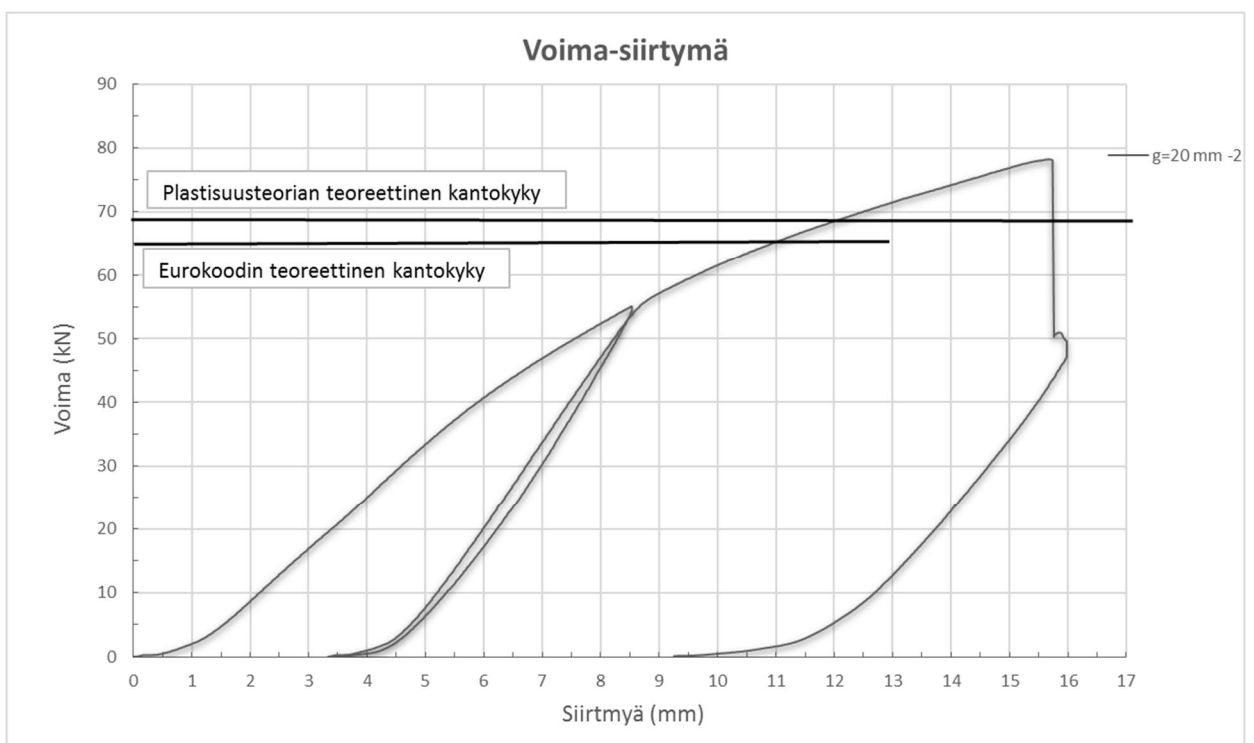
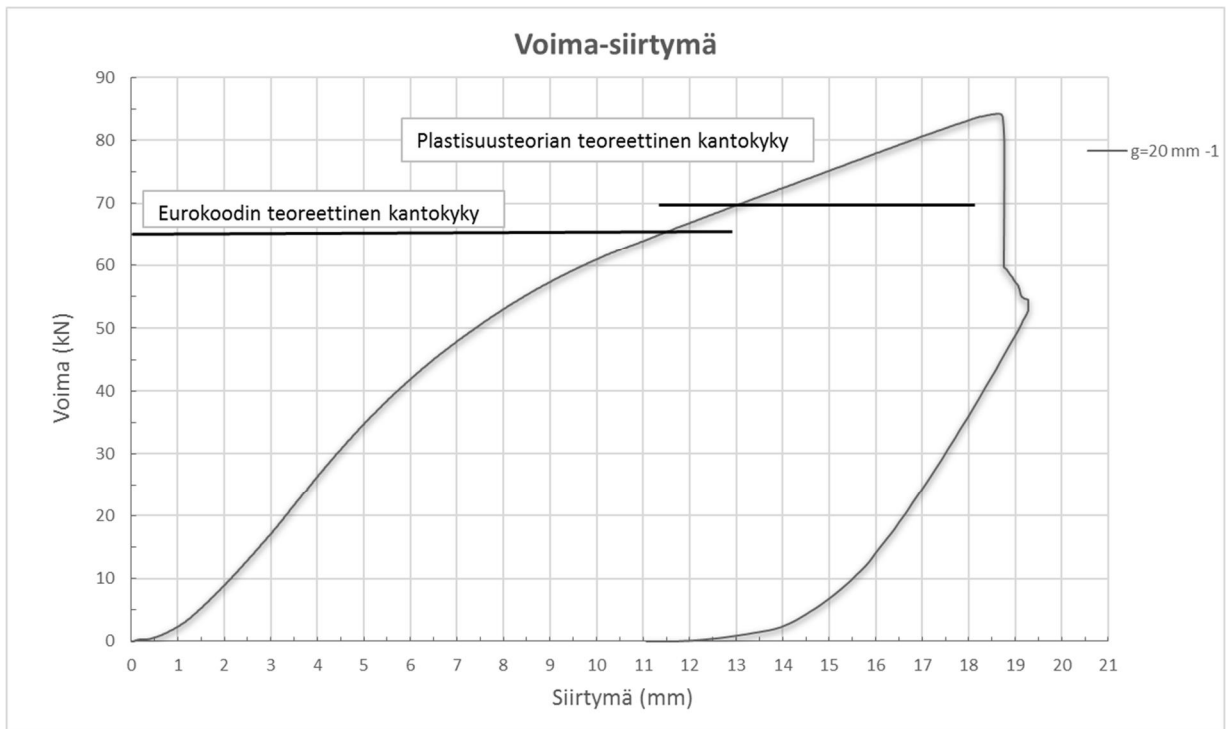
Uumasauvan voimaresultantti

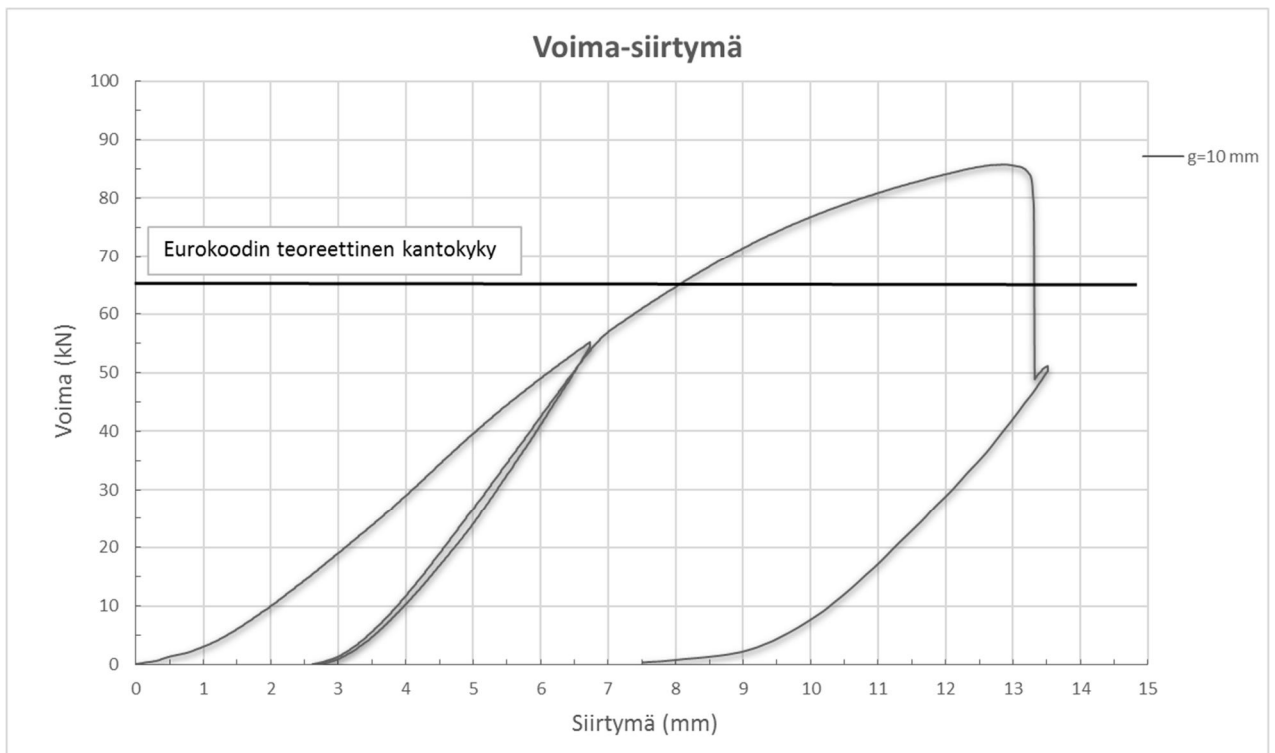
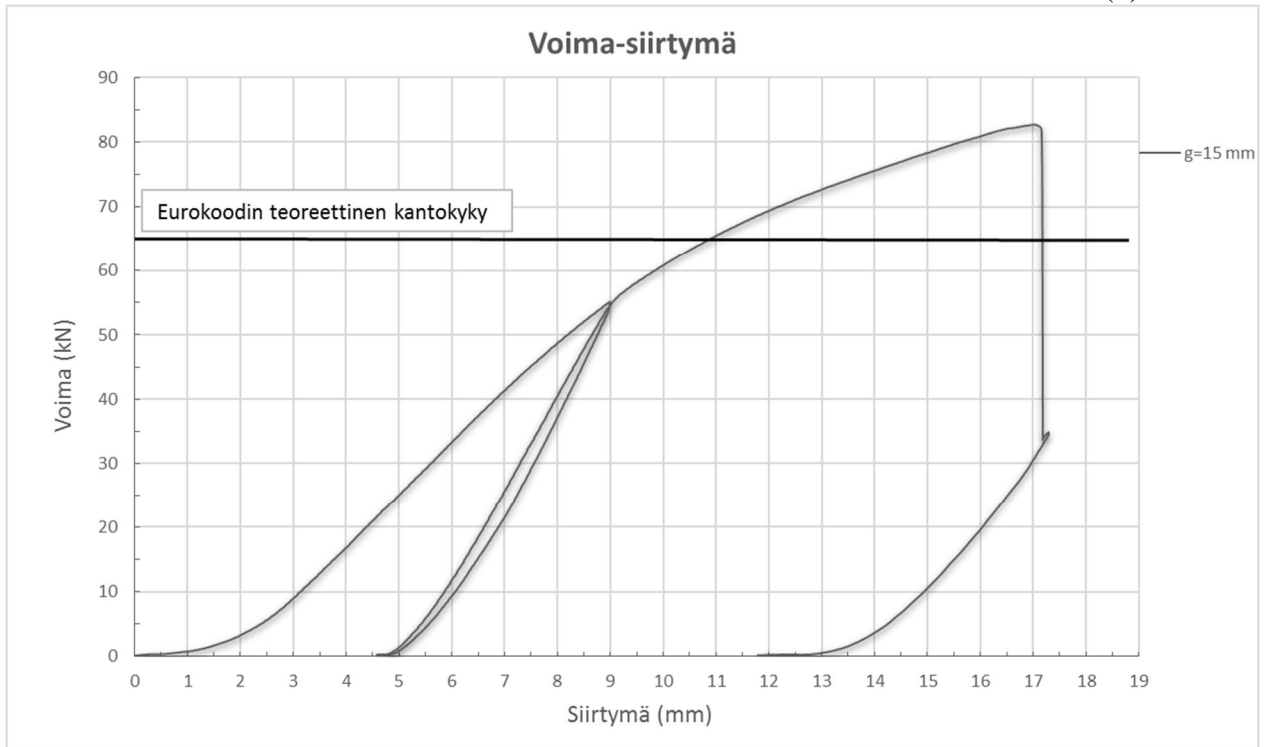
$$\frac{F}{72 \text{ kN}} = 1626.433 \%$$

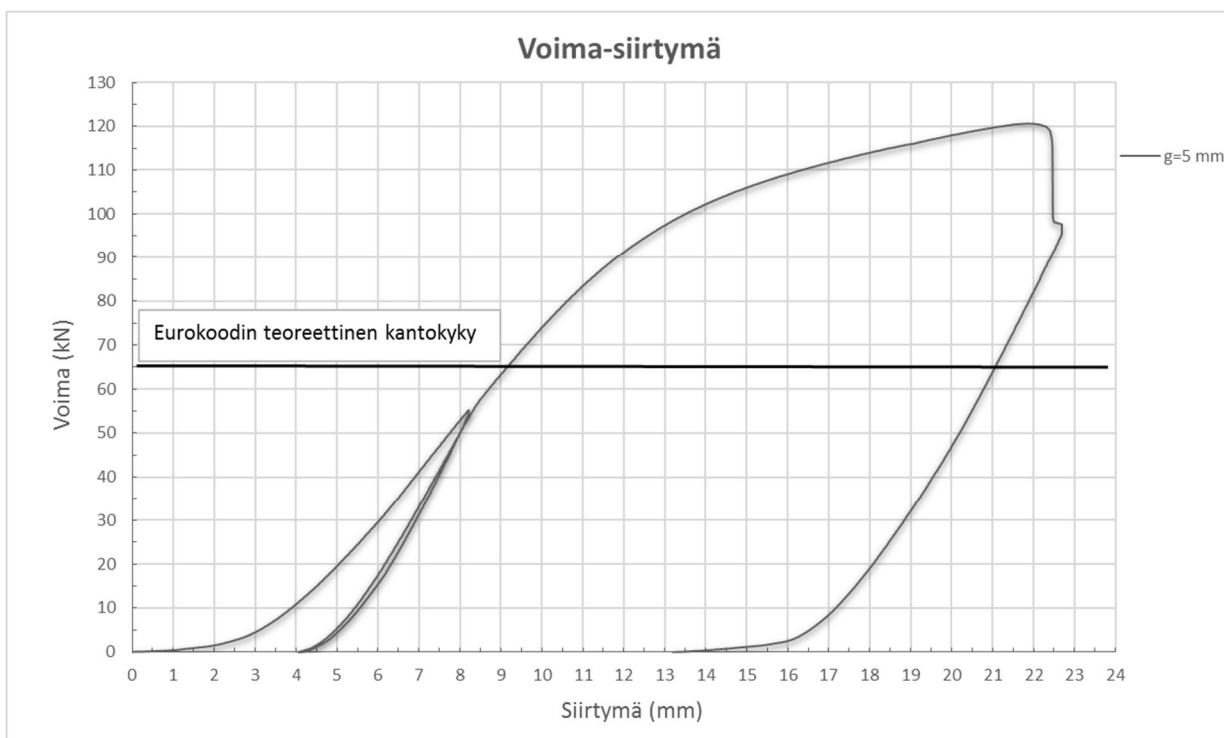
Myötämiseen vaadittava voima eurokoodi mitoituksen arvosta

KOEKAPPALEIDEN VOIMA-SIIRTYMÄKUVAAJAT

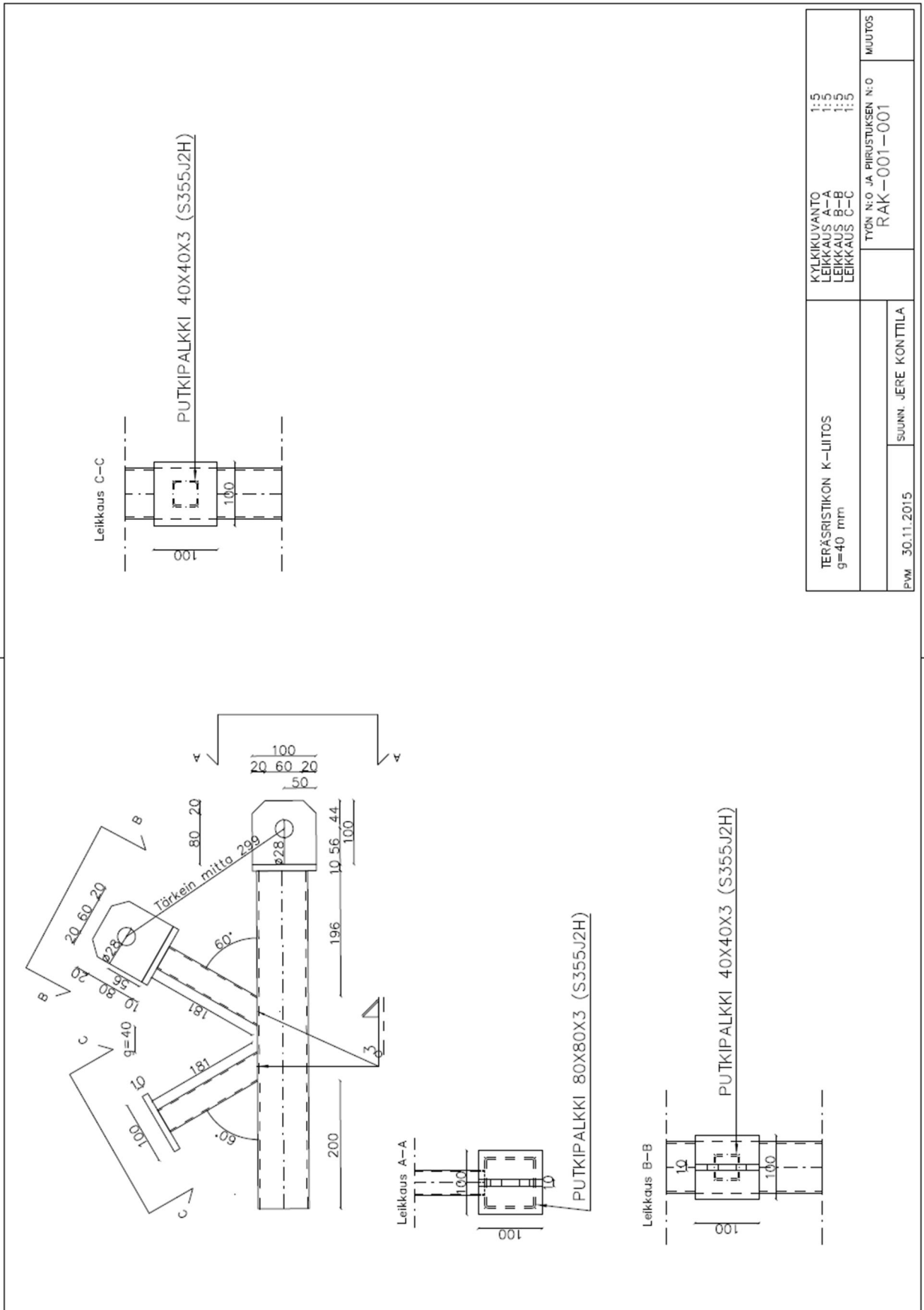


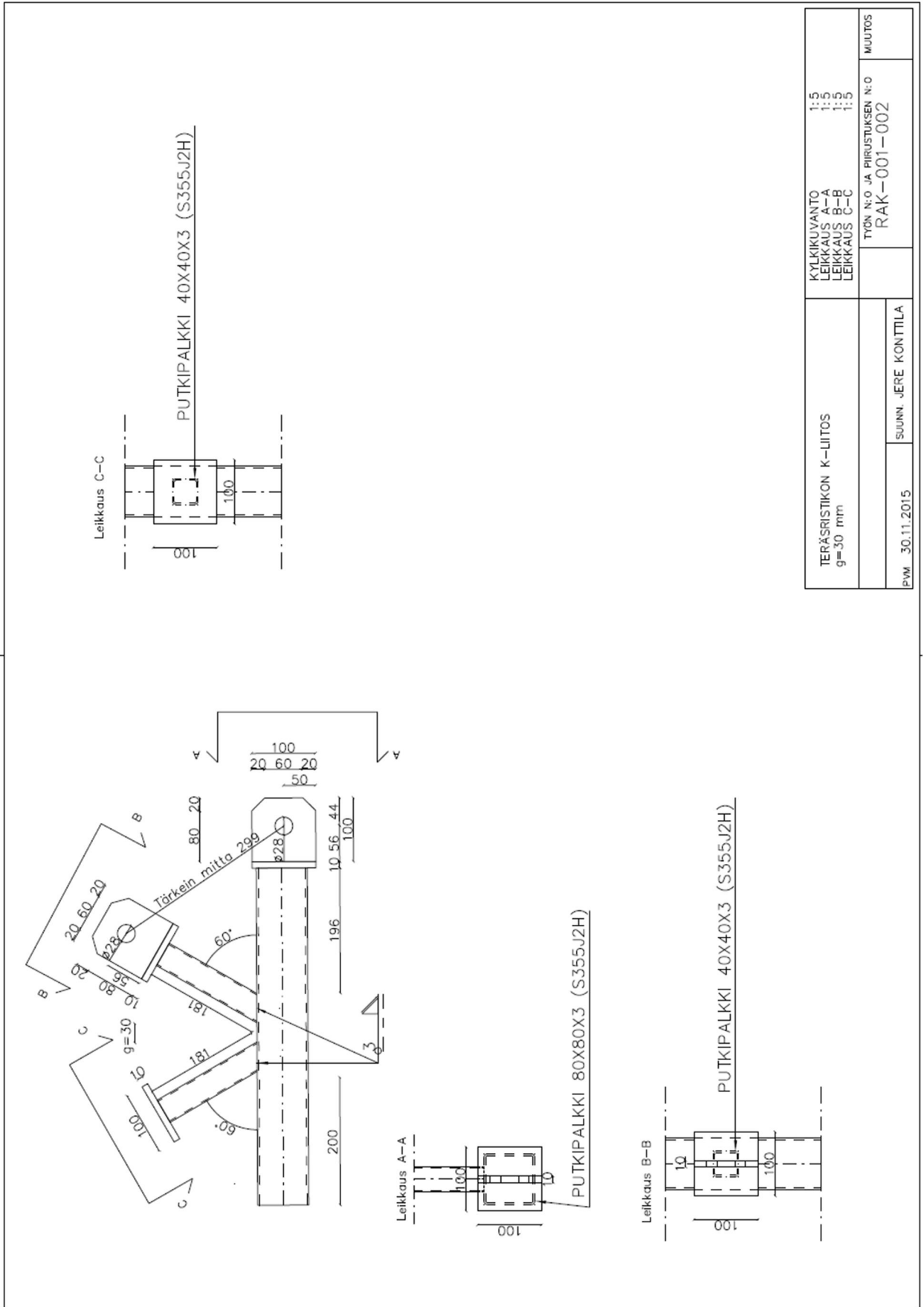


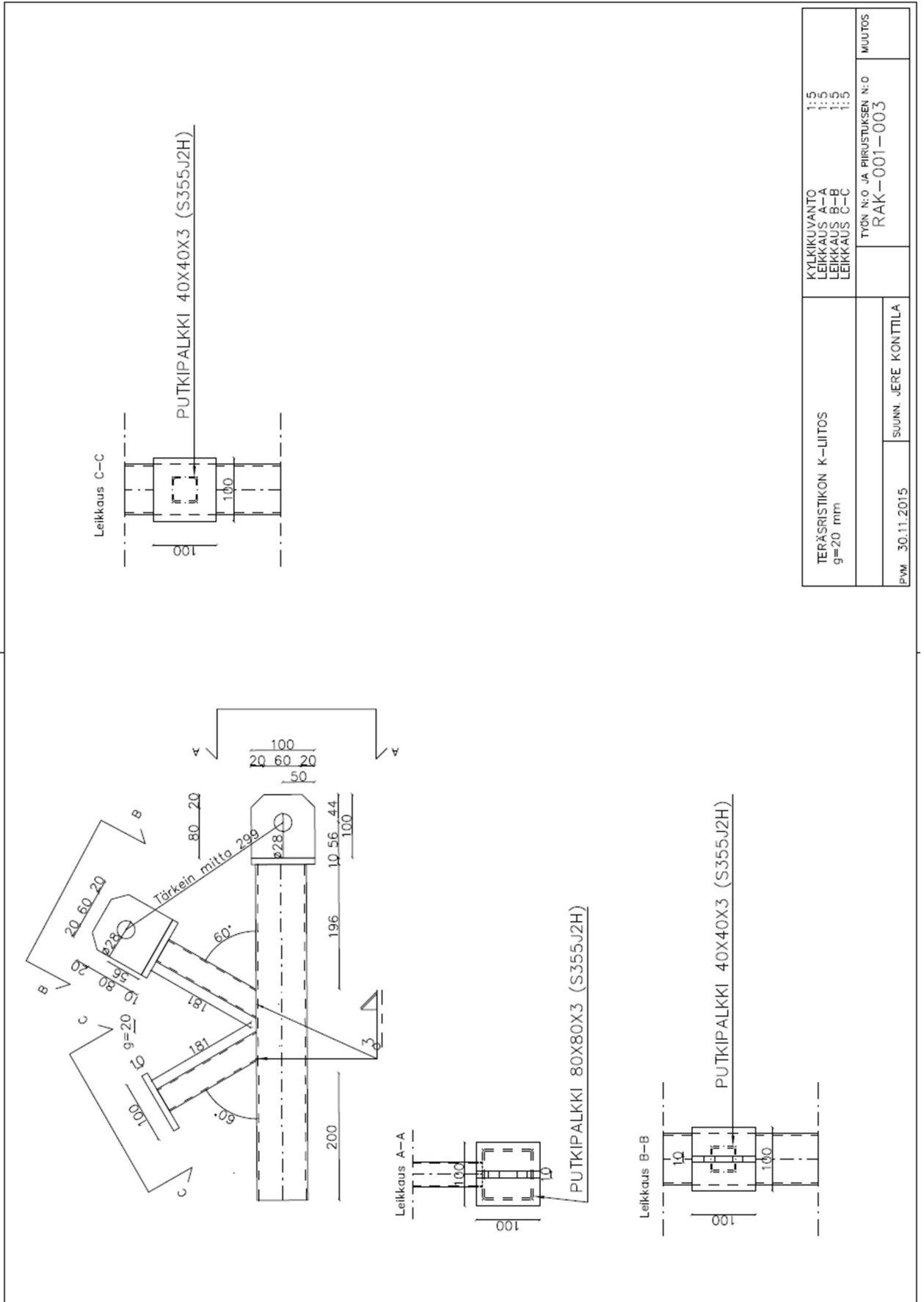




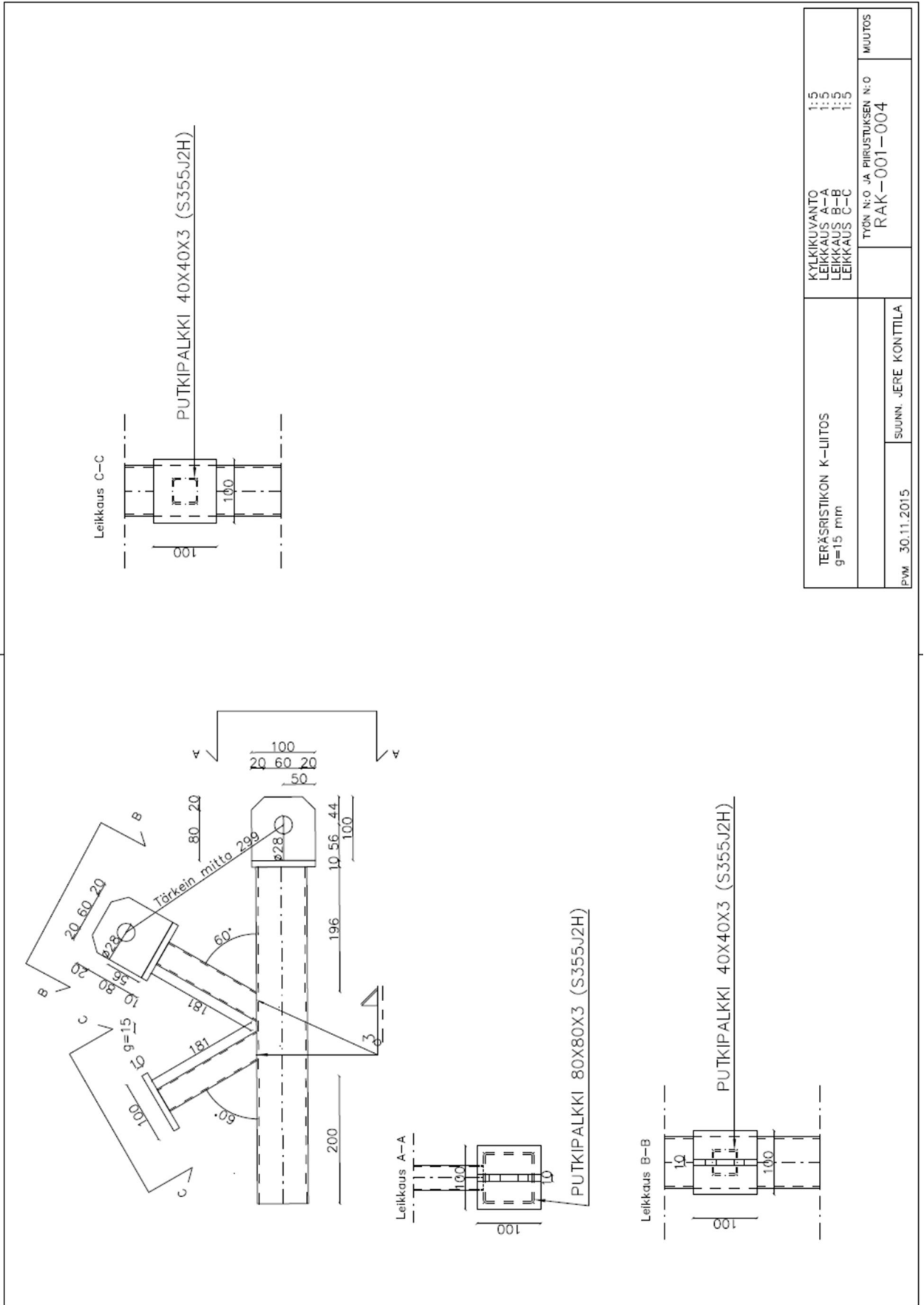
KOEKAPPALEIDEN VALMISTUSPIIRUSTUKSET



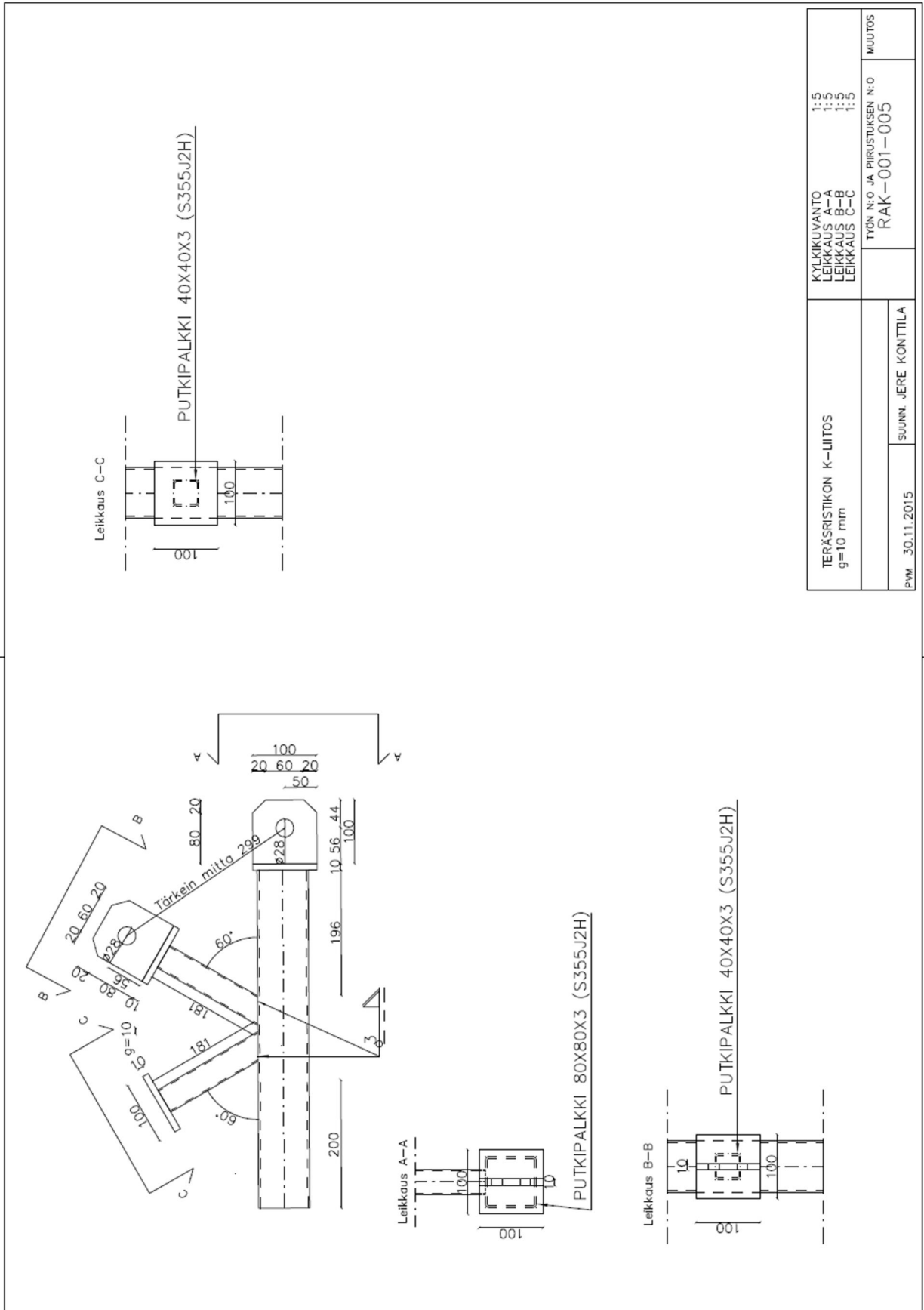




TERÄSRISTIKON K-LIITOS g=20 mm	KYLIKUVANTO	1:5
	LEIKKAUS A-A	1:5
	LEIKKAUS B-B	1:5
	LEIKKAUS C-C	1:5
TYÖN N:O JA PIIRUSTUKSEN N:O		RAK-001-003
SUUNN. JERE KONTTILA		MUUTOS
pvw 30.11.2015		



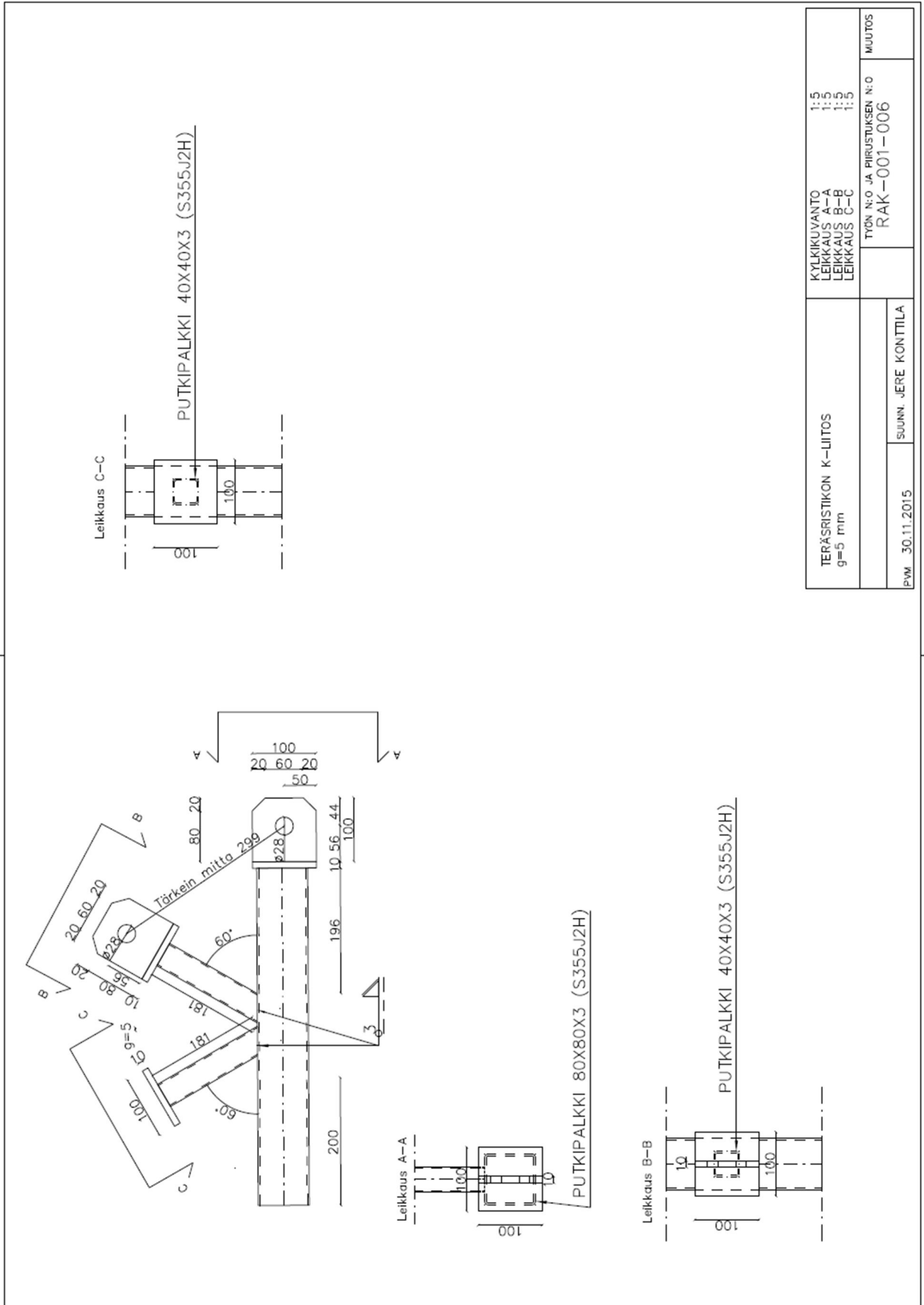
TERÄSRISTIKON K-LIITOS g=15 mm	KYLKIKUVANTO LEIKKAUS A-A LEIKKAUS B-B LEIKKAUS C-C	1:5	TYÖN N:O JA PIIRUSTUKSEN N:O RAK-001-004	MUUTOS
		1:5		
Pvm 30.11.2015	SUUNN. JERE. KONTTILA			



Teräksisen putkiristikon K-liitoksen lujuus

Liite 9

6(6)



TERÄSRISTIKON K-LIITOS g=5 mm		KYLKIKUVANTO 1:5 LEIKKAUS A-A 1:5 LEIKKAUS B-B 1:5 LEIKKAUS C-C 1:5	
pvm. 30.11.2015		TYÖN N:O JA PIIRUSTUKSEN N:O RAK-001-006	
SUUNN. JERE KONTTILA		MUUTOS	