

Onko putkiristikon hitsattu nurkkaliitos nivel vai jäykkä?

Markku Heinisuo, Mikko Salminen

Metallirakentamisen tutkimuskeskus, Tampereen teknillinen yliopisto

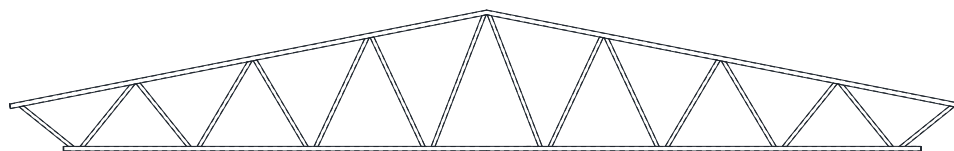
Yhteenveto

Artikkelissa esitetään laskelmia, joiden perusteella päätellään putkiristikon hitsatun nurkkaliitoksen jäykkyys perustuen standardin EN 1993-1-8 kriteereihin. Sauvojen poikkileikkaukset oletetaan neliöiksi. Liitos oletetaan välisliitokseksi. Liitoksen jäykkyys määritetään viimeisten hollantilasten tutkimustulosten mukaan. Tulosten perusteella uumasauvan ja paarteiden liitos ei ole nivel käytännössä koskaan käyttäen standardin kriteereitä. Liitoksen jäykkyyden asettaminen kehälaskentaan ei ole vaikeaa. Tilannetta helpottaa se, että liitosjäykkyys voidaan määrittää ristikon geometrian perusteella, jolloin se voidaan määrittää jo geometriamallissa ja siirtää sieltä laskentaan ilman suunnittelijan lisätyötä ohjelmoimalla säännöt jouston laskentaan vain kerran geometrian mallinnusohjelmaan.

Avainsanat: Teräsputkiristikko, Eurocode, liitosjäykkyys

Johdanto

Tarkastellaan tasoristikkoa, joka on koottu hitsaamalla ylä- ja alapaarteiden väliin uumasauvat. Kaikki sauvat ovat teräsputkia. Tässä oletetaan, että sekä paarteet että uumasauvat ovat neliöputkia. Lisäksi oletetaan, että uumasauvat liittyvät paarteisiin noin 60 asteen kulmissa. Lähdekirjallisuuden mukaan asiaa voi tutkia muillekin tapauksille. Kaikki uumasauvojen ja paarteiden liitokset oletetaan välisliitoksiksi eli ummasauvojen päihin tehdään vain yksi leikkaus. Tämä on yleisin tapa toteuttaa liitokset ainakin Suomessa. Kuvassa 1 on esimerkki tyypillisestä Warren tyypin ristikosta, joita käytetään paljon kattokannattajina.



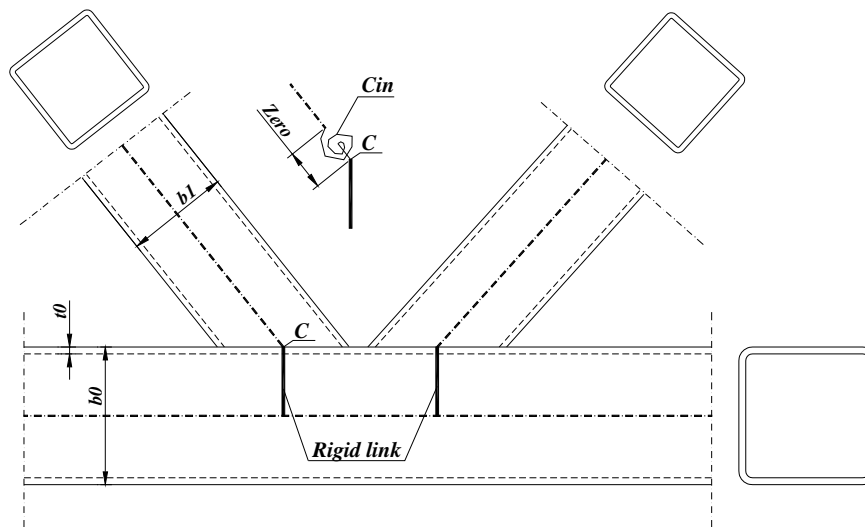
Kuva. 1. Tyypillinen putkiristikko.

Kun tällainen ristikko suunnitellaan, niin lujuuslaskentaa varten on tehtävä analyysimalli. Laskentamalli, jota lähes aina käytetään, muodostetaan sauvaelementeistä. Tasotapauksessa käytetään Bernoulli-Euler sauvaelementtiä, jossa on kolme vapausastetta per solmu. Vääntöä (vääntönurjahdus, kiepahdus) ei tarvitse yleensä ottaa huomioon tasotapauksessa, koska neliöputket ovat väännössä jäykkiä. Ristikon yläpaarre oletetaan puristetuksi ja tuetuksi ristikon sivusuunnassa ja alapaarre otetaan vedetyksi, joten voidaan tarkastella tasoristikkoa. Yleisesti tiedetään, että nurkkien jäykkyys vaikuttaa koko ristikon käyttäytymiseen. Esimerkiksi: Mitä jäykempi ristikko on sitä pienemmät ovat siirtymät.

Standardissa EN 1993-1-8 [1] annetaan ohjeita analyysimallin muodostamiseksi. Ensinnäkin nurkkaliitokset voi olettaa niveliksi. Standardi ei kiellä muun jäykkyyden

käyttämistä mikäli sille löytyy luotettavat perusteet. Standardissa vaaditaan, että yläpaarrelliitoksen mahdollinen epäkeskisyys on otettava huomioon mutta alapaarreen mahdollisia liitosten epäkeskisyyksiä ei välttämättä tarvitse ottaa huomioon.

Putkiristikon laskentamalleja, joissa epäkeskisyys otetaan huomioon, on kehitelty jo pitkään [2]. Hollannissa on äskettäin tutkittu putkiristikon liitosten jäykkyyksiä järeillä kontinuumimalleilla [3]. Työn tulosten perusteella on määritelty putkiristikon välisliitoksen paikallinen laskentamalli ja siihen liittyvä liitoksen kiertymisjäykkyys eri tilanteisiin. Liitoksen siirtymäjäykkyydet on todettu niin suuriksi, että ne voi olettaa äärettömän suuriksi. Kuvassa 2 on esitetty kehitetty liitoksen paikallinen laskentamalli sauvaelementtien käyttöä silmällä pitäen.



Kuva 2. Liitoksen paikallinen laskentamalli.

Ensinnäkin malli on selkeä ja helppo generoida ristikon geometriasta automatisoidussa laskennassa. Uumasauvojen keskiviivojen päät yhdistetään jäykillä sauvoilla (Rigid link) kohtisuoraan paarteiden keskiviivoihin. Oleellista on pisteen C sijainti. Pisteessä C on kiertojousi ja jousen kiertojäykkyys C_{in} on määritelty olettaen piste C kuten kuvassa 2 on esitetty. Järeiden kontinuumimallien antamat tulokset on sovitettu nimenomaan pisteessä C siten, että jousen jäykkyydessä otetaan huomioon paarteiden ja uumasauvan paikalliset muodonmuutokset. Tätä mallia käyttäen liitoksen epäkeskisyys ja jousto tulee otettua huomioon. Kuvassa 2 on esitetty alapaarrelliitos ja samaa voidaan käyttää yläpaarrelliitoksissa.

Kiertojousen jäykkyys C_{in} Kuvan 2 vasemman puoleisen uumasauvan ja paarteiden liitokselle esitetään [3] kahden parametrin avulla:

$$\beta = \frac{b_1}{b_0}$$

$$\gamma = \frac{b_0}{2t_0}$$
(1)

missä

- b_1 on liitettävän uumasauvan leveys (katso Kuva 2),
- b_0 on paarteen leveys
- t_0 on parresauvan seinämän paksuus.

Vastaavasti esitetään Kuvan 2 oikean puoleisen uumasauvan ja paarteen liitoksen kiertojousen jäykkyys. Lähteen [3] mukaan k-liitoksessa (Kuva 2) uumasauvojen liitosten jäykkyyksien vaikutus toisiinsa voidaan jättää ottamatta huomioon.

Lähteessä [4] on tarkasteltu putkiristikon nurjahduspituuksia käyttäen Kuvan 2 paikallisia laskentamalleja liitoksissa. Välyksenä liitoksessa on käytetty standardin minimimittaa eli 2 kertaa liitettävän uumasauvan seinämän paksuus. Tämä vastaa hyvin normaalia 20 mm välystä. Tuloksena on saatu, että standardin EN 1993-1-1 [5] nurjahduspituus $0,9L_{sys0}$, missä L_{sys0} on paarteen systeempituus, on aina varmalla puolella. Lähteessä [4] on esitetty kaava, jolla kerrointa 0.9 voi pienentää tietyissä tapauksissa. Paarteen nurjahduspituuden on todettu olevan riippuva parametrasta β , ei niinkään parametrasta γ . Tuloksena on myös saatu, että standardin nurjahduspituus $0,75L_{sys1}$, missä L_{sys1} on uumasauvan systeempituus, on tietyissä tapauksissa epävarmalla puolella. Lähteessä [4] on annettu kaava, jolla saadaan aina varmalla puolella oleva tulos uumasauvoille. Uumasauvan nurjahduspituuden on todettu olevan riippuva molemmista parametreista β ja γ . Lähteessä [4] on myös esitetty selvästi systeempituudet paarteille ja uumasauvoille.

Seuraavassa käytetään lähteen [4] kiertymäjäykkyyttä ja standardin EN 1993-1-8 [1] kriteereitä uumasauvan ja paarteen liitoksen kiertymisjäykkyyden arviointiin. Standardin kriteerit liitoksen jäykkyydelle ovat:

Liitos on nivel: $\frac{C_{in} \cdot L_{sys1}}{EI} < 0,5$ (2)

Liitos on osittain jäykkä: $0,5 \leq \frac{C_{in} \cdot L_{sys1}}{EI} \leq 8$ (3)

Liitos on jäykkä: $\frac{C_{in} \cdot L_{sys1}}{EI} > 8$ (4)

missä EI on uumasauvan taivutusjäykkyys.

Liitoksen jäykkyys eri profiileilla

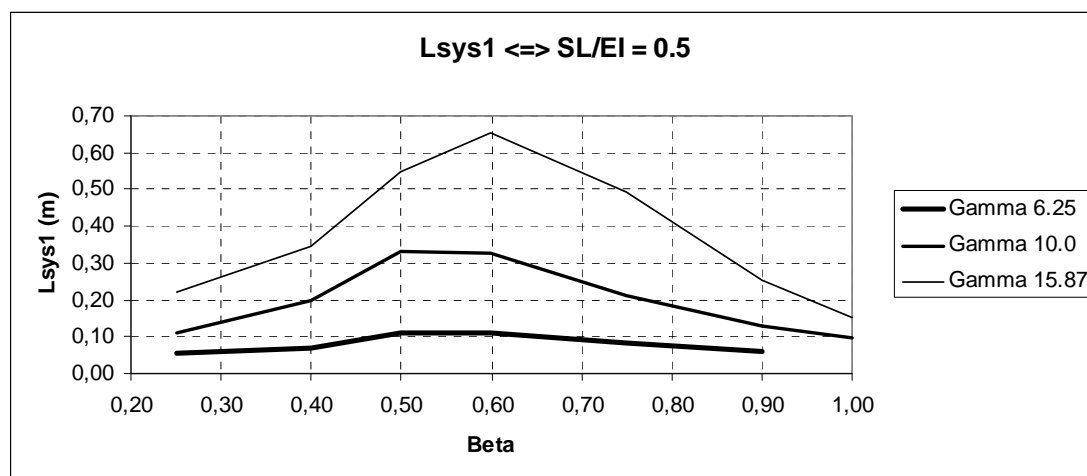
Taulukossa 1 on annettu termin L_{sys1} raja-arvoja erilaisille putkikombinaatioille perustuen kaavoihin (2) ja (4). Putkiksi on oletettu Ruukin kylmämuovattut putket ja hitausmomentit on otettu lähteestä [6]. Kimmomodulina on käytetty arvoa 210000

MPa. Jos uumasauvan pituus on pienempi kuin taulukon arvo $L_{sys1}/(2)$, niin liitos on nivel. Jos uumasauvan pituus on suurempi kuin $L_{sys1}/(4)$, niin liitos on jäykkä. Jos uumasauvan pituus on näiden kahden välissä, niin liitos on osittain jäykkä edellä olevien kriteerien mukaan.

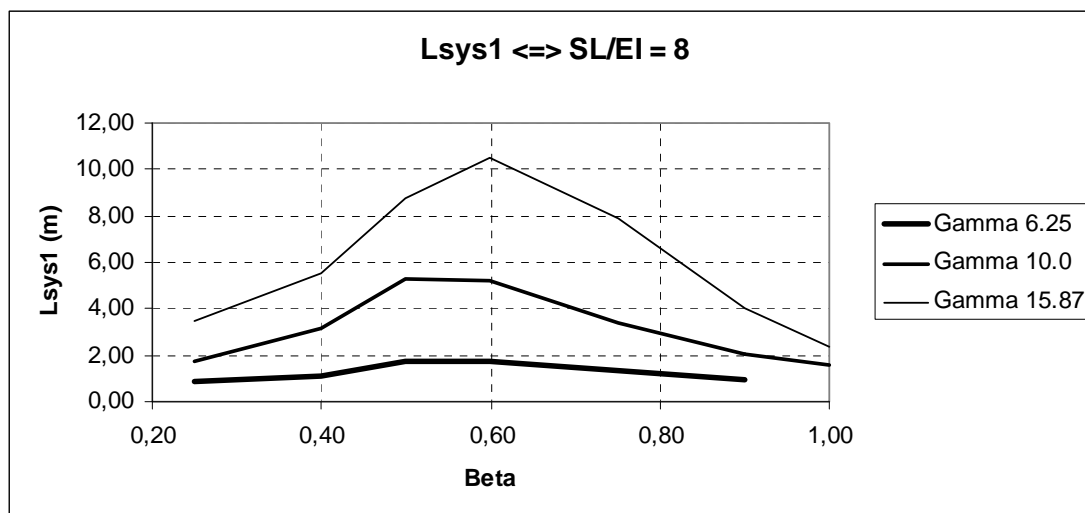
Taulukko 1. Uumasauvojen kriittiset pituudet.

| Paarresauva | Uumasauva | Beta | Gamma | C_{in} (kNm/rad) | EI (kNm ²) | $L_{sys1}/(2)$ (m) | $L_{sys1}/(4)$ (m) |
|--------------|--------------|------|-------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 200x200x16 | 50x50x4 | 0,25 | 6,25 | 1000 | 109 | 0,05 | 0,88 |
| | 80x80x5 | 0,40 | 6,25 | 2000 | 276 | 0,07 | 1,10 |
| | 100x100x6.3 | 0,50 | 6,25 | 3000 | 660 | 0,11 | 1,76 |
| | 120x120x7.1 | 0,60 | 6,25 | 6000 | 1309 | 0,11 | 1,75 |
| | 150x150x8 | 0,75 | 6,25 | 18000 | 2965 | 0,08 | 1,32 |
| | 180x180x10 | 0,90 | 6,25 | 53000 | 6335 | 0,06 | 0,96 |
| 200x200x10 | 50x50x4 | 0,25 | 10,00 | 500 | 109 | 0,11 | 1,75 |
| | 80x80x5 | 0,40 | 10,00 | 700 | 276 | 0,20 | 3,15 |
| | 100x100x6.3 | 0,50 | 10,00 | 1000 | 660 | 0,33 | 5,28 |
| | 120x120x7.1 | 0,60 | 10,00 | 2000 | 1309 | 0,33 | 5,24 |
| | 150x150x8 | 0,75 | 10,00 | 7000 | 2965 | 0,21 | 3,39 |
| | 180x180x10 | 0,90 | 10,00 | 25000 | 6335 | 0,13 | 2,03 |
| 200x200x12.5 | 50x50x4 | 1,00 | 10,00 | 53000 | 10205 | 0,10 | 1,54 |
| | 80x80x5 | 0,40 | 15,87 | 250 | 109 | 0,22 | 3,50 |
| | 100x100x6.3 | 0,50 | 15,87 | 400 | 276 | 0,35 | 5,52 |
| | 120x120x7.1 | 0,60 | 15,87 | 600 | 660 | 0,55 | 8,80 |
| | 150x150x8 | 0,75 | 15,87 | 1000 | 1309 | 0,65 | 10,47 |
| | 180x180x10 | 0,90 | 15,87 | 3000 | 2965 | 0,49 | 7,91 |
| 200x200x6.3 | 180x180x10 | 0,90 | 15,87 | 12500 | 6335 | 0,25 | 4,05 |
| | 200x200x12.5 | 1,00 | 15,87 | 34000 | 10205 | 0,15 | 2,40 |

Tulokset on esitetty kuvaajina kuvissa 3 ja 4.



Kuva 3. Rajapituus nivelliitokselle.



Kuva 4. Rajapituus jäykälle liitokselle.

Putkiristikoiden uumasauvojen pituudet ovat tyypillisesti välillä 1-6 m. Kuvan 3 mukaan liitosta ei voi luokitella niveleksi koskaan tällä välillä. Kuvan 4 mukaan luokittelu riippuu molemmista parametreista pituuden alarajalla kaavan (4) mukaan. Kun parametri γ on pieni (6,25) eli paarre on melko paksuseinäinen, niin liitos voidaan luokitella jäykäksi kun uumasauvan pituus on suurempi kuin 2 m aina. Tarkemmat rajat voidaan lukea kuvista 3 ja 4 tai taulukosta 1.

Suunnittelutilanteessa voidaan suositella lähteen [4] liitosjäykkyyden käyttöä sekä kuvan 2 paikallista laskentamallia, niin mietintää liitoksen jäykkyydestä ei tarvitse tehdä. Nykyisiin laskentaohjelmiin on mahdollista tehdä kuvan 2 mukainen laskentamalli ja antaa uumasauvojen päihin kiertojäykkyydet.

Kirjallisuus

- [1] EN 1993-1-8, Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1-8: Design of joints, CEN, Bryssels, 2005.
- [2] Heinisuo M., Möttönen A., Paloniemi T., Nevalainen P., Automatic design of steel frames in a CAD-system, Proceedings of the 4th Finnish Mechanics days, June 5-6, 1991, Lappenranta, Finland.
- [3] Boel H., Buckling Length Factors of Hollow Section Members in Lattice Girders. MSc thesis, Dept. of Architecture Building and Planning, Eindhoven University of Technology, The Netherlands, 2011.
- [4] Snijder H., Boel H., Hoenderkamp J., Spoorenberg R., Buckling length factors for welded lattice girders. EUROSTEEL 2001, Proceedings of 6th European Conference on Steel and Composite Structures, Eds Dunai L., Ivanyi M., Jarmai K., Kovacs N., Vigh L., August 31-September 2, ECCS, Budabest, 2011. pp. 1881-1886.
- [5] EN 1993-1-1, Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings, CEN, Bryssels, 2005.
- [6] Rautaruukin terästuotteet, Sunnittelijan opas, Rautaruukki, 2000.