

---

**Jatkuvien toisesta laipasta tuettujen kylmämuovattujen avopoikkileikkauksisten ohutseinäisten teräsorsien kokeisiin perustuva plastisuusteorian ja kimmoteorian mukainen mitoitus**

---

Yhteyshenkilö: Tarmo Mononen  
Rautaruukki Oy  
PL 860  
00101 HELSINKI  
puh. 09 - 4177 11  
fax. 09 - 4177 6373

---

**Menetelmän kuvaus:**

Tässä Teräsnormikortissa käsitellään jatkuvien toisesta laipasta tuettujen kylmämuovattujen teräksisten kevytorsien kokeisiin perustuvaa plastisuusteorian ja kimmoteorian mukaista mitoitusta.

Yleisessä osassa annetaan ohjeita menetelmien soveltamisesta ja liitteessä annetaan Rannilan valmistamille kevytorsille tuotekohtaiset mitoitusparametrit ja soveltamisohjeet.

Menetelmät pohjautuvat eurooppalaisessa esistandardissa ENV 1993-1-3 annettuihin kokeisiin perustuvan mitoituksen soveltamisohjeisiin.

**Menetelmän rajoitukset:**

Menetelmien käyttö rajataan tuotekohtaisesti vastaamaan tehtyjä kokeita. Plastisuusteorian mukaisessa mitoituksessa vapaan laipan tulee olla puristettu välituella.

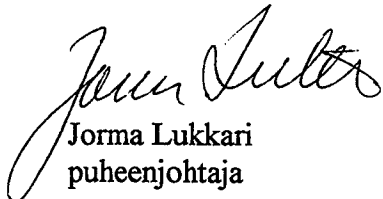
---


Teräsrakenneyhdistyksen Normitoimikunta on käsitellyt Teräsnormikortin. Teräsnormikortin käyttäjällä on vastuu kortin ohjeiden käytöstä.

Tämä Teräsnormikortti on voimassa toistaiseksi.

Helsingissä kesäkuun 4. päivänä 1998

TERÄSRAKENNEYHDISTYS r.y.

  
Jorma Lukkari  
puheenjohtaja

  
Kai Rätty  
toimitusjohtaja

22



## SISÄLTÖ

|      |  |    |
|------|--|----|
| 1.   | JOHDANTO   | 5  |
| 1.1  | Tuotekohtaisten mitoitusparametrien määrittäminen                                | 5  |
| 1.2  | Poikkileikkausarvojen ja kestävyyksien laskeminen                                | 7  |
|      | 1.2.1 Poikkileikkausarvot  | 7  |
|      | 1.2.2 Teräksen varmuusluku $\gamma_{M1}$   | 7  |
|      | 1.2.3 Taivutuskestävyys $M_{C,Rd}$   | 7  |
|      | 1.2.4 Uuman leikkauskestävyys $V_{w,Rd}$   | 7  |
|      | 1.2.5 Tukireaktiokestävyys $R_{w,Rd}$  | 8  |
| 1.3  | Leikkausvoiman ja taivutusmomentin yhteisvaikutus                                | 8  |
| 1.4  | Tukireaktion ja taivutusmomentin yhteisvaikutus                                  | 9  |
| 1.5  | Toleranssit ja laadunvalvonta  | 9  |
| 2.   | PLASTISUUSTEORIAN MUKAINEN MITOITUSMENETELMÄ                                     | 10 |
| 2.1  | Laskentamenetelmien kuvaus   | 10 |
| 2.2  | Laskentamenetelmien rajoitukset  | 11 |
| 2.3  | Painekuormitetun moniaukkoisen kevytorren mitoituksen päävaiheet                 | 12 |
|      | 2.3.1 Uumastaan alusrakenteeseen tuettu moniaukkoinen kevytorsi                  | 12 |
|      | 2.3.2 Laipoistaan alusrakenteeseen tuettu moniaukkoinen kevytorsi                | 12 |
| 2.4  | Imukuormitetun kevytorren mitoituksen päävaiheet                                 | 12 |
|      | 2.4.1 Uumastaan alusrakenteeseen tuettu kevytorsi                                | 12 |
|      | 2.4.2 Laipoistaan alusrakenteeseen tuettu kevytorsi                              | 12 |
| 2.5  | Uumasta tuettujen orsien tukimurron välttäminen                                  | 13 |
| 2.6  | Laipoista tuettujen orsien tukimurron välttäminen                                | 13 |
| 2.7  | Taipuma  | 13 |
| 2.8  | Ideaaliplastinen $(M,\theta)$ -yhteys  | 13 |
|      | 2.8.1 Tausta   | 13 |
|      | 2.8.2 Normaalivoiman kuormittama uumasta tuettu jatkuva kevytorsi                | 14 |
|      | 2.8.3 Normaalivoiman kuormittama uumasta tuettu limitetty kevytorsi              | 15 |
|      | 2.8.4 Normaalivoiman kuormittama uumasta tuettu jatkettu kevytorsi               | 15 |
|      | 2.8.5 Normaalivoiman kuormittama laipoistaan tuettu hattutorsi                   | 15 |
| 2.9  | Ideaaliplastisen mallin mukainen rajakuorman $q_u$                               | 15 |
|      | 2.9.1 Taivutettu jatkuva kevytorsi, jossa ei ole normaalivoimaa                  | 15 |
|      | 2.9.2 Taivutettu ja puristettu moniaukkoinen kevytorsi                           | 16 |
| 2.10 | Jatkuvan rakenteen rajakuorman laskeminen pehmenevän tukinivelen mallia käyttäen | 17 |
| 3.   | KIMMOTEORIAN MUKAINEN MITOITUSMENETELMÄ  | 18 |
| 3.1  | Laskentamenetelmän kuvaus  | 18 |
| 3.2  | Kimmoteorian mukaisen tarkastelun kulku  | 18 |
|      | 3.2.1 Uumastaan alusrakenteeseen kiinnitetty kevytorsi                           | 18 |
|      | 3.2.2 Laipoistaan alusrakenteeseen tuetut kevytorret                             | 18 |
| 3.3  | Uumastaan alusrakenteeseen tuettujen kevytorsien taivutuskestävyys välituella    | 19 |
| 3.4  | Laipoistaan tuettujen kevytorsien taivutuskestävyys välituella                   | 19 |
| 3.5  | Taivutuskestävyys kentässä   | 20 |
|      | 3.5.1 Painekuormitus   | 20 |
|      | 3.5.2 Imukuormitus   | 20 |
| 3.6  | Taipuma  | 27 |

|          |  |    |
|----------|--|----|
| 3.7      | Jännitysten laskeminen välituella vapaan laipan ollessa puristettu                                       | 27 |
|          | 3.7.1 Uumastaan tuetut kevytorret  | 27 |
|          | 3.7.2 Laipoistaan tuetut hattuorret  | 30 |
| 3.8      | Esimerkki kimmoteoriaan perustuvan menetelmän soveltamisesta   | 31 |
| 4        | ULOKKEEN MITOITUS  | 33 |
| 4.1      | Rakenteet  | 33 |
| 4.2      | Murtorajatila  | 33 |
|          | VIITEKIRJALLISUUS  | 34 |
|          | LIITTEET   |    |
| Liite 1. | RANNILA STEEL OY:N VALMISTAMAT KEVYTORRET  | 35 |
| L1.1.1   | Johdanto   | 35 |
|          | L1.1.1.1 Soveltamisalue  | 35 |
|          | L1.1.1.2 Rakennetyypit   | 35 |
|          | L1.1.1.3 Tuenta alusrakenteeseen   | 36 |
|          | L1.1.1.4 Jatkospituus  | 36 |
|          | L1.1.1.5 Hattuorsien lisäprofiili  | 37 |
|          | L1.1.1.6 Orren ja muotolevyn välinen tuenta  | 37 |
|          | L1.1.1.7 Laskentapaksuus   | 37 |
| L1.1.2   | Poikkileikkausarvot  | 38 |
| L1.1.3   | Uumastaan U-profiililla alusrakenteeseen tuettujen kevytorsien leikkausvoiman ja momentin yhteisvaikutus | 38 |
|          | L1.1.3.1 Jatkuvat rakenteet  | 38 |
|          | L1.1.3.2 Tuen yli limittämällä jatkettut orret   | 39 |
|          | L1.1.3.3 Tukikappaleella jatkettut orret   | 39 |
| L1.1.4   | Tukireaktion ja momentin yhteisvaikutus  | 40 |
|          | L1.1.4.1 Jatkuvat hattuorret   | 40 |
|          | L1.1.4.2 Jäykistetyt jatkuvat hattuorret   | 40 |
| L1.2     | PLASTISUUSTEORIAN MUKAINEN MITOITUSMENETELMÄ   | 40 |
|          | L1.2.2 Kokeisiin perustuvan $(M, \theta)$ -yhteyden käyttöön liittyvät rajoitukset                       | 40 |
|          | L1.2.3 Paineuormitetun moniaukkoisen kevytorren tarkastelun kulku  | 41 |
|          | L1.2.3.1 Uumastaan U-profiililla alusrakenteeseen tuettu moniaukkoisen kevytorsin                        | 41 |
|          | L1.2.3.2 Laipoistaan alusrakenteeseen tuettu moniaukkoisen hattuorsin                                    | 41 |
|          | L1.2.5 Uumastaan U-profiililla alusrakenteeseen tuettujen kevytorsien tukimurron välttäminen             | 41 |
|          | L1.2.5.1 Jatkuvan rakenteen välituki   | 41 |
|          | L1.2.5.2 Tuen yli limittämällä jatkettu kevytorsin   | 42 |
|          | L1.2.5.3 Jatkettujen rakenteen välituki  | 42 |
|          | L1.2.6 Hattuorsien tukimurron välttäminen  | 42 |
|          | L1.2.6.1 Jatkuvan rakenteen välituki   | 42 |
|          | L1.2.6.2 Jäykistetyt jatkuvan rakenteen välituki   | 43 |
|          | L1.2.7 Taipuman laskeminen   | 43 |
|          | L1.2.8 Ideaaliplastinen $(M, \theta)$ -yhteys  | 43 |
|          | L1.2.8.2-4 Uumastaan U-profiililla alusrakenteeseen kiinnitetty kevytorret, joissa ei ole normaalivoimaa | 43 |
|          | L1.2.8.5 Laipoistaan alusrakenteeseen tuetut hattuorret, joissa ei ole normaalivoimaa                    | 44 |

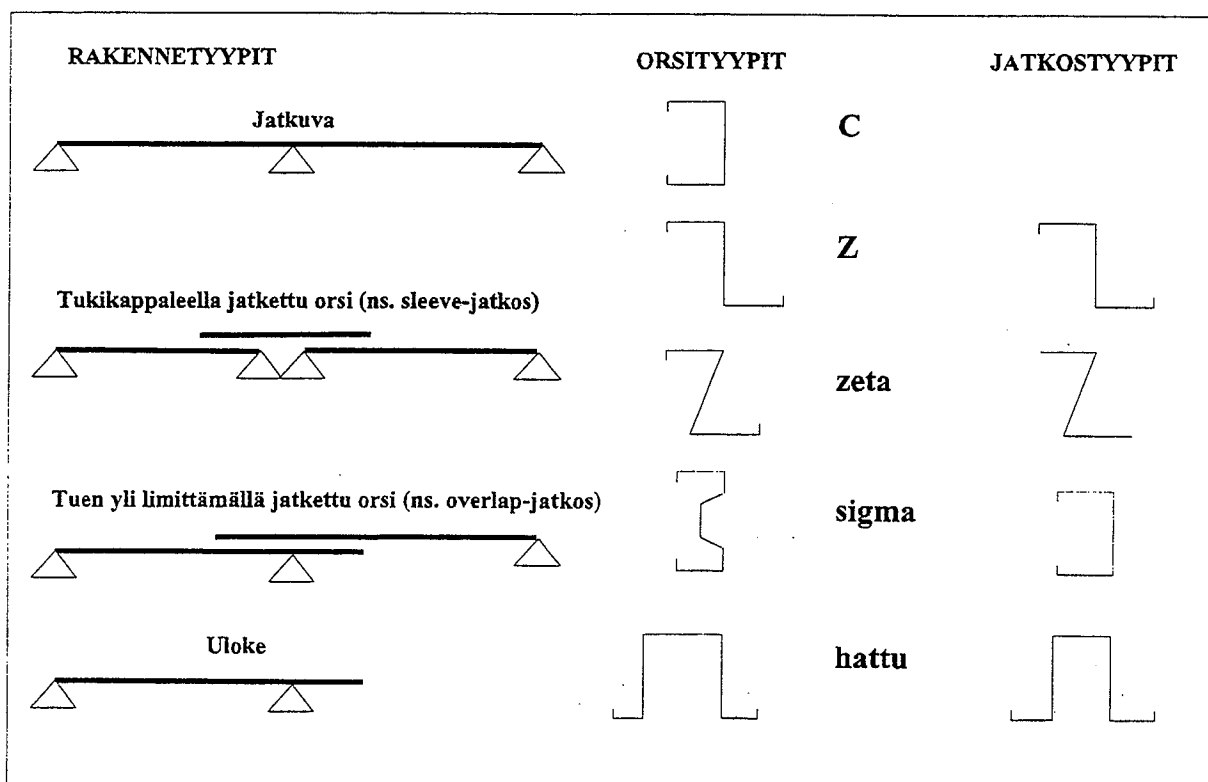
|      |          |   |    |
|------|----------|---|----|
|      | L1.2.8.6 | Ideaaliplastisen mallin $(M, \theta)$ -yhteydet suunnittelua varten   | 44 |
|      | L1.2.9   | Pehmenevän nivelen $(M, \theta)$ -yhteydet suunnittelua varten  | 45 |
|      | L1.2.11  | Esimerkki plastisuusteorian mukaisen menetelmän soveltamisesta  | 46 |
| L1.3 |          | KIMMOTEORIAN MUKAINEN MITOITUSMENETELMÄ   | 47 |
|      | L1.3.3   | Uumastaan tuettujen kevytorsien taivutuskestävyys välituella  | 47 |
|      | L1.3.3.1 | Jatkuvan rakenteen välituki   | 47 |
|      | L1.3.3.2 | Limitetyn rakenteen välituki  | 47 |
|      | L1.3.3.3 | Jatketun rakenteen välituki   | 48 |
|      | L1.3.4   | Laipoistaan tuettujen hattuorsien taivutuskestävyys välituella  | 48 |
| L1.4 |          | ULOKKEEN MITOITUS   | 48 |
|      | L1.4.1   | Rakenteet   | 48 |
|      | L1.4.2   | Murtorajatila   | 49 |
| L1.5 |          | C-, HATTÜ-, ZETA- JA SIGMA-ORSIEN SEKÄ SIGMA- JA ZETA-ORSIEN JATKOSPALOJEN JA HATTUORREN LISÄPROFILIN POIKKILEIKKAUSMITAT | 50 |



# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tuotekohtaisten mitoitusparametrien määrittäminen

Tämä normikortti perustuu Tampereen teknillisen korkeakoulun rakennusstatiiikan laboratoriossa vuosina 1994-1997 tehtyihin kokeisiin ja niiden tuloksista johdettuihin tuloksiin. Lisäksi pienen normaalivoiman, jonka suuruusluokka on 10-15 kN, huomioon ottaminen moniaukkoisten orsien mitoituksessa tehdään VTT:n laskentamenettelyllä (Kolari (1997) ja Kolari, Helenius (1996)). Normikortti koostuu kahdesta osasta: yleisestä ja tuotekohtaisesta osasta. Yleisessä osassa esitetään periaatteet ja laskentamenetelmät, joita käyttäen kevytorsien mitoitus tapahtuu, kun tuotekohtaiset kokeisiin perustuvat mitoitusparametrit ovat olemassa. Kuvan 1 kevytorsien tuotekohtaiset parametrit esitetään liitteessä 1. Rannilan Steel Oy:n valmistamille kevytorsille esitetään liitteessä 1 kuhunkin yleiseen kohtaan liittyvät soveltamisohjeet ja parametrit. Kappaleiden numerointi on tehty siten, että kutakin kohtaa vastaavat tuotekohtaiset ohjeet on varustettu tunnuksella, joka koostuu kappaleen tunnuksesta ja liitteen tunnuksesta. Esimerkiksi tätä kappaletta koskeva tuotekohtainen tieto on kappaleessa L1.1.1.



Kuva 1. Liitteessä 1 esiintyvät orsityypit, poikkileikkausmuodot ja rakennetyypit.

Kokeisiin perustuvia  $(M, \theta)$ -yhteyksiä käytetään moniaukkoisten orsirakenteiden suunnittelussa, mikäli ortta taivuttavasta kuormituksen ansiosta orren tukematon laippa on puristettu välituella ja taivutusmomentin nollakohdan maksimietäisyys välituelta vastaa tehtyjä kokeita. Imukuormitukselle orsi tulee suunnitella käyttäen standardissa CEN ENV 1993-1-3 (1996) olevaa kimmoteorian mukaista mitoitusta siten, että nurjahduspituus lasketaan tässä normikortissa esitetyllä tavalla, ellei kokeiden avulla ole muuta osoitettu.

Kokeita suunniteltaessa tulee ottaa huomioon, että kokeissa käytettävät tuennat ja kiinnitykset vastaavat todellisissa rakenteissa esiintyviä tuentoja ja kiinnityksiä. Tämä merkitsee, että kokeissa käytetty orren tuenta alusrakenteeseen (kiinnikkeet ja tukikappale), orsien jatkospituudet ja orren ja muotolevyn välinen tuenta (muotolevy, kiinnikkeet ja kiinnitysväli) ovat rakenteissa esiintyvien

kiinnitysten alaraja. Kokeelliset mitoitusparametrit ovat tuotekohtaisia ja silloin koekappaleiden ja rakenteiden teräksen tulee olla samaa lajia. Kokeisiin perustuvia mitoitusparametrejä ei voida käyttää muutetuille profiileille vaam mittamuutosten vaikutus parametreihin tarkistetaan kokeiden avulla. Koeohjelman tulee kattaa menetelmän aiottu soveltamisalue: valitun profiiliryhmän korkeimmasta kevytorresta tulee testata ainakin materiaalipaksuudeltaan ohuin ja paksuin, matalimmasta kevytorresta samoin ohuin ja paksuin, sekä muutamia profiilikorkeuden väliarvoja. Koeohjelmassa tulee käyttää sekä korvauspalkkikokeita että täyden mittakaavan kokeita. Mitoitusparametrit, momentin ja leikkausvoiman (uumasta alusrakenteeseen tuetut orret) sekä momentin ja tukireaktion yhteisvaikutusehdot (laipasta alusrakenteeseen tuetut orret) sekä  $(M, \theta)$ -yhteys välituella, määritetään korvauspalkkikokeiden ja täyden mittakaavan kokeiden avulla.

Korvauspalkkikokeessa vapaasti tuettua palkkia kuormitetaan pistekuormalla jännemitan  $s$  keskeltä. Mitta  $s$  vastaa jatkuvan rakenteen välituella momentin nollakohtien välistä matkaa. Koejärjestely esitetään standardin CEN ENV 1993-1-3 (1996) liitteessä A. Korvauspalkkikokeessa jatkospituuden tulee olla sama kuin täyden mittakaavan kokeessa. Korvauspalkkikokella varmistetaan orren kiertymiskyvyn riittävyys välituella, momentin ja leikkausvoiman yhteisvaikutuksesta aiheutuva kestävyys pieneminen ja tukimomentin pienemisnopeus tuella tapahtuvan plastisen kiertymän mukaan.

Täyden mittakaavan kokeessa kuormitetaan kahta rinnakkaista kaksiaukkoista ortta pistekuormilla, joiden vaikutus on sama kuin tasaisella kuormituksella. Rinnakkaisia orsia yhdistää muotolevy. Orsien asennot ovat pituussuuntaisen symmetria-akselin suhteen peilikuvia, jolloin muotolevyn pyrkimys siirtyä vaakasuunnassa on mahdollisimman pieni ja asennot vastaavat muotolevyn tuentaa katon harjalla. Koejärjestely on esitetty rakennusstatiiikan raportissa 21 (Laine (1997)). Täyden mittakaavan kokeilla varmistetaan, että suunnitteluun tarkoitettu  $(M, \theta)$ -yhteys tuottaa koetuloksiin nähden varmalla puolella olevan rajakuorman.

Ulokekokeissa yksinkertaisesti tuettua ortta kuormitetaan ulokkeen päästä pistekuormalla kuvan 9 tapaan. Koerakenteen muodostavat kaksi rinnakkaista ortta ja niitä yhdistävä muotolevy.

Jokaisen koestetun orren todelliset mitat ja materiaaliominaisuudet mitataan. Poikkeamat nimellisistä ominaisuuksista tulevat huomioon otetuksi siten, että eri koetulokset skaalataan yksikkömuotoon jakamalla ne kyseisillä laskennallisilla suureilla. Näin saadaan esimerkiksi taivutusmomentin ja leikkausvoiman yhteisvaikutusehto yleisessä muodossa, jota voidaan käyttää sellaisiin soveltamisalan orsiin, joista ei ole varsinaisia koetuloksia. Sama koskee korvauspalkkikokeen tuloksista laskettua  $(M, \theta)$ -yhteyttä. Standardista CEN ENV 1993-1-3 (1996) poikkeavasti otetaan  $(M, \theta)$ -yhteyden suunnitteluarvojen määrittämisessä huomioon sekä täyden mittakaavan kokeiden että korvauspalkkikokeiden tulokset. Ne kevytorret, joiden käyttäytyminen välituella voidaan kuvata yhden normalisoidun  $(M/M_{C,Rd}, \theta)$ -yhteyden avulla muodostavat mitoituksen ja koetulosten tulkinnan kannalta yhden joukon eli perheen. Koetulosten tulkinta suoritetaan seuraavasti:

- (1) lasketaan kuhunkin perheeseen kuuluvan korvauspalkkikokeen todellisella taivutuskestävyydellä normalisoitu yksikkömomentti-kiertymäyhteys,
- (2) lasketaan normalisoitujen tulosten keskiarvo,
- (3) lasketaan keskiarvoyhteyden mukainen täysmittakaavakokeen murtokuorma käyttäen ko. kappaleen poikkileikkausarvoja,
- (4) pienennetään normalisoitua keskiarvoyhteyden ordinaattoja ykköstä pienemmällä luvulla kertomalla, kunnes kaikkien kokeiden laskennallinen murtokuorma on pienempi kuin ko. murtokuorma



Kokeiden suunnittelussa tulee myös ottaa huomioon, että leikkausvoiman tai tukireaktion vaikutus plastisen nivelen syntyyn ja pehmenemisnopeuteen tulee tutkituksi. Jännemittaa varioimalla saadaan mitoitustilanteiden yhteisvaikutusalue katetuksi. Koetulosten tulkinta on esitetty yksityiskohtaisemmin rakennusstatiiikan raportissa 21 (Laine (1997)).

## 1.2 Poikkileikkausarvojen ja kestävyksien laskeminen

### 1.2.1 Poikkileikkausarvot

Poikkileikkausarvot lasketaan standardin CEN ENV 1993-1-3 (1996) mukaisesti jättämällä tehottomat puristetut osat pois. Poikkileikkauksen tehollinen taivutusvastus  $W_{\text{eff},y}$  ja jäyhyysmomentti  $I_{\text{eff},y}$  lasketaan olettamalla profiilin uumaan suoraviivaisesti muuttuva muodonmuutosjakauma, missä reunajännitys on sama kuin materiaalin myötöraja.

### 1.2.2 Teräksen varmuusluku $\gamma_{M1}$

Varmuusluku  $\gamma_{M1}$  on käyttörajatilassa aina 1.0 riippumatta käytetystä laskentamenetelmästä ja sitä merkitään silloin tunnuksella  $\gamma_{M,ser}$ . Murtorajatilassa materiaalin varmuusluvulle  $\gamma_{M1}$  käytetään arvoa 1.0 ( $\gamma_{M,plast}$ ), kun mitoitus tehdään käyttäen kokeisiin perustuvaa plastisuusteorian mukaista menetelmää, ja vastaavasti käytetään arvoa 1.1, kun mitoitus tehdään käyttäen kimmoteorian mukaista menetelmää.

### 1.2.3 Taivutuskestävyys $M_{C,Rd}$

Poikkileikkauksen taivutuskestävyys lasketaan kaavasta

$$M_{C,Rd} = \frac{W_{\text{eff},y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad (1)$$

missä

$W_{\text{eff},y}$  = poikkileikkauksen tehollinen taivutusvastus olettaen profiilin uumaan kolmionmuotoinen jännitysjaakauma ja antamalla reunajännitykselle arvo 350 N/mm<sup>2</sup>,

$f_y$  = teräksen myötöjännitys,

$\gamma_{M1}$  = 1.0 ( $\gamma_{M,plast}$ ,  $\gamma_{M,ser}$ ) tai 1.1 (kimmoteoriaan perustuva murtorajatilatarkastelu, kts. kohta 1.2.2).

### 1.2.4 Uuman leikkauskestävyys $V_{w,Rd}$

Leikkauskestävyys lasketaan standardin CEN ENV 1993-1-3 (1996) kohdan 5.8 mukaisesti. Jäykisteettömän uuman leikkauskestävyys  $V_{w,Rd}$  on pienempi arvoista (2) ja (3)

$$V_{d,Rd} = (h_w / \sin \phi) \cdot t \cdot f_{bv} / \gamma_{M1} \quad (2)$$

$$V_{pl,Rd} = (h_w / \sin \phi) \cdot t \cdot (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} \quad (3)$$

missä

$h_w$  = uuman korkeus,

$\phi$  = laippojen ja uuman välinen kulma, C-, Z-orsille  $\phi=90^\circ$ ,

$t$  = laskentapaksuus, nimellispaksuus - 0.04 mm,

$\gamma_{M1}$  = 1.0 ( $\gamma_{M,plast}$ ,  $\gamma_{M,ser}$ ) tai 1.1 (kimmoteorian mukainen murtorajatilatarkastelu), kts. kohta 1.2.2,

$\gamma_{M0}$  = 1.0 ( $\gamma_{M,plast}$ ,  $\gamma_{M,ser}$ ) tai 1.1 (kimmoteorian mukainen murtorajatilatarkastelu),

$f_y$  = myötöraja,

$$f_{bv} = 0.48 f_y / \lambda_w,$$

$$\lambda_w = 0.346 \cdot \frac{s_w}{t} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

$s_w$  = uuman pituus (CEN ENV 1993-1-3 (1996)).

### 1.2.5 Tukireaktiokestävyys $R_{w,Rd}$

Tukireaktiokestävyys lasketaan standardin CEN ENV 1993-1-3 (1996) kohdan 5.9 mukaisesti. Hattuorsien tukireaktiokestävyys välituella lasketaan seuraavasta kaavasta

$$R_{w,Rd} = \alpha \cdot t^2 \cdot \sqrt{f_y \cdot E} \cdot \left(1 - 0.1 \cdot \sqrt{\frac{r}{t}}\right) \cdot \left(0.5 + \sqrt{\frac{0.02 \cdot l_a}{t}}\right) \cdot \left(2.4 + \left(\frac{\phi}{90}\right)^2\right) / \gamma_{M1} \quad (4)$$

missä

$$\alpha = 0.115,$$

$t$  = laskentapaksuus,

$r$  = nurkan pyöristyssäde,

$f_y$  = myötöraja, 350 N/mm<sup>2</sup>,

$E$  = kimmokerroin, 210 000 N/mm<sup>2</sup>,

$l_a$  = tehollinen tukileveys,

$\phi$  = laippojen ja uuman välinen kulma, hattuorsille  $\phi = 90^\circ$ ,

$\gamma_{M1}$  = 1.0 ( $\gamma_{M,plast}$ ,  $\gamma_{M,ser}$ ) tai 1.1 (kimmoinen menetelmä, murtorajatila), kts. kohta 1.2.2,

Tehollinen tukileveys  $l_a$  riippuu leikkausvoimien suhteista välituen molemmiin puolin ( $V_{sd,1} > V_{sd,2}$ ). Se määritetään suhteen  $\beta_v$  avulla, kun

$$\beta_v = \frac{|V_{sd,1}| - |V_{sd,2}|}{|V_{sd,1}| + |V_{sd,2}|}$$

Tehollinen tukileveys  $l_a$  on 10 mm, jos  $\beta_v$  suurempi kuin 0.3, ja toisaalta  $l_a$  on yhtä suuri kuin tukileveys  $s_s$ , jos  $\beta_v$  on alle 0.2. Väliarvot (0.2-0.3) interpoloidaan. Jos orressa on tasainen kuormitus ja jänteet ovat samanmittaisia, luku  $\beta_v$  on nolla.

### 1.3 Leikkausvoiman ja taivutusmomentin yhteisvaikutus

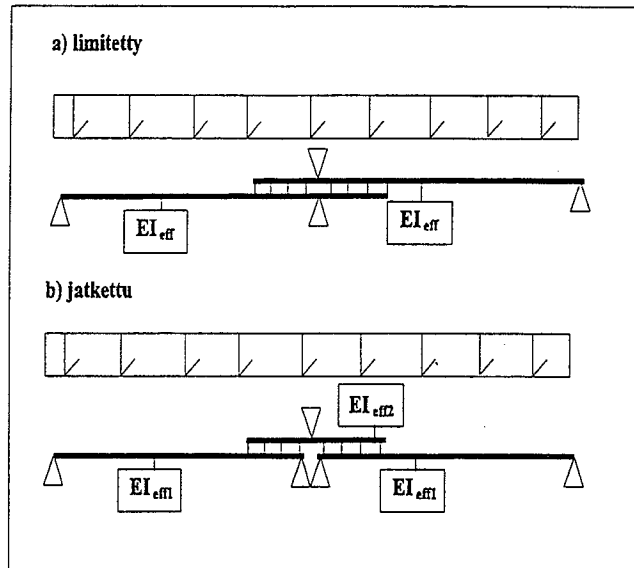
Leikkausvoiman ja taivutusmomentin yhteisvaikutusfunktio (uumasta tuetut kevytorret) tai tukireaktion ja taivutusmomentin yhteisvaikutusfunktio (laipoista alusrakenteeseen tuetut kevytorret) määritetään korvauspalkkikokeiden tuloksista. Lasketaan ensin kullekin kokeelle korvauspalkkikokeen maksimikuormaa vastaava taivutusmomentti ja leikkausvoima tai tukireaktio. Nämä arvot jaetaan vastaavalla todellisella kestävyysarvolla. Saadut tulokset esitetään ( $M/M_{C,Rd}$ ,  $V/V_{w,Rd}$ )-koordinaatistossa yhteisvaikutusfunktiona, joka varmennetaan täysmittakaavakokein. Näissä kokeissa tulee plastisen nivelen syntymistä seurata silmämääräisesti sekä voima-siirtymä yhteyden avulla. Yhteisvaikutusfunktio osoittaa ne momentin ja leikkausvoiman vastinavot, joiden vaikuttaessa syntyy plastinen nivel. Limittämällä jatkettua orren tapauksessa leikkausvoima lasketaan limitetyille orsille erikseen. Tähän käytetään mallia, missä limitysalueella sauvoja yhdistävät jäykät nivelöidyt vertikaalisauvat kuvan 2 tapaan. Välikappaleella jatketuissa orsissa tarkastelut tehdään käyttäen jatkoskappaleen voimasuureita ja kestävyyskäyriä. Käytetään laskeentamallia, missä jatkosalueella sauvoja yhdistävät jäykät nivelöidyt vertikaalisauvat, kts. kuva 2.

Plastisuusteorian mukaisessa mitoituksessa yhteisvaikutusfunktiota käytetään välituen käyttörajatilan ehtojen tarkistuksessa ja kimmoteorian mukaisessa murtorajatilamitoituksessa

välituen kestävyuden tarkistuksessa. Koetulosten mukaisen yhteisvaikutusfunktion avulla lasketaan leikkausvoiman vaikutuksesta alentunut taivutuskestävyys. Tähän liittyvä esimerkki on kohdassa L1.1.3.

#### 1.4 Tukireaktion ja taivutusmomentin yhteisvaikutus

Kevytorsissa, jotka kiinnitetään suoraan laipoistaan tukirakenteeseen, tukireaktion ja taivutusmomentin yhteisvaikutus tutkitaan samoin korvauspalkkikokeiden avulla ja tulokset varmennetaan täysmittakaavakokein. Kohdassa L1.1.4 on esimerkki tukireaktion vaikutuksesta alentuneen taivutuskestävyyden  $M_{C,Rd,R}$  tarkistamisesta.



Kuva 2. Limitetyn ja jatketun orren voimasuureiden laskentamallit.

#### 1.5 Toleranssit ja laadunvalvonta

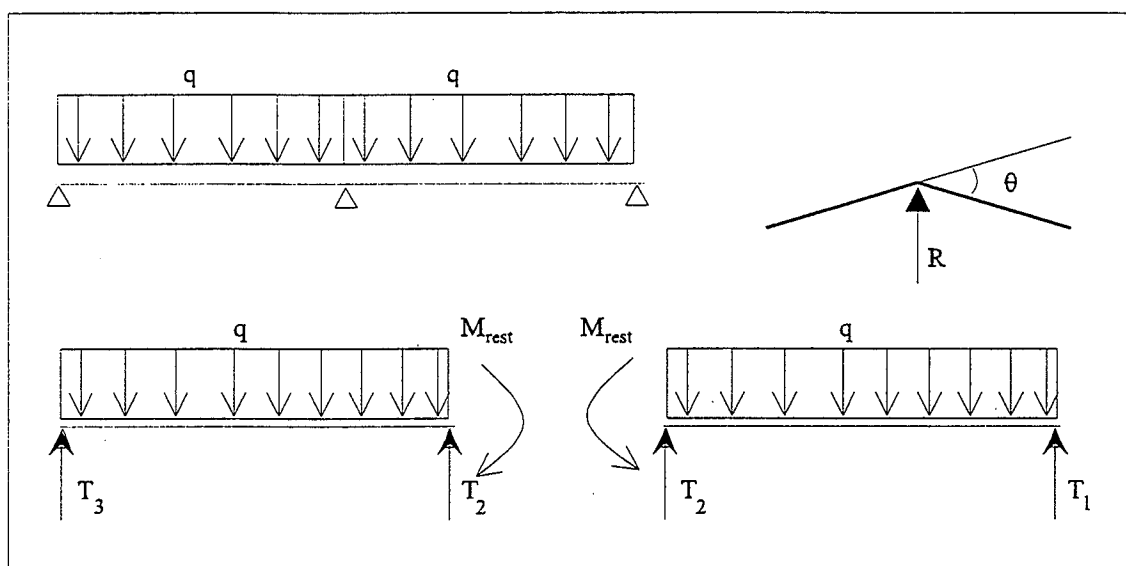
Kylmämuovaamalla valmistettavien muotosauvarakenteiden sallitut mittapoikkeamat ja laadunvalvonnan toimenpiteet ovat joko Suomen rakentamismääräyskokoelman osan B6 mukaisia tai vastaavasti standardien prEN 10162 ja prENV 1090-2 mukaisia.

## 2 PLASTISUUSTEORIAN MUKAINEN MITOITUSMENETELMÄ

### 2.1 Laskentamenetelmien kuvaus

Kokeisiin perustuvaa menetelmää käytetään jatkuvien avopoikkileikkauksisten kevytorsien mitoittamiseen, kun välituella vapaa laippa on puristettu. Tämä ehto ei toteudu, kun ortta kuormittaa vain omapaino ja tuulen imu. Plastisuusteorian mukaisessa mitoituksessa jokaiselle asiaankuuluvalla kuormitusyhdistelmälle tehdään oma tarkastelu. Mitoittavaa yhdistelmää ei ratkaista summaamalla eri tapauksia, kuten kimmoteorian mukaisessa tapauksessa, vaan ratkaisemalla vaihtoehtoyhdistelmiin kuuluvat nivelmekanismien mukaiset rajakuormat.

Tarkastellaan esimerkkinä kaksiaukkoista jatkuvaa ortta, jonka jänteet sekä kuormitus ovat yhtä suuria. Kun kuormat ovat pieniä, rakenne toimii tasajäykkänä jatkuvana palkkina. Kuormituksen kasvaessa ensimmäinen plastinen nivel kehittyy jatkuvalla tuella ja tätä vastaava kuormitus on ensimmäinen kriittinen rasitustila. Kuorman edelleen kasvaessa jatkuvalla tuella kiertymä kasvaa ja momentti pienenee ja voimasuureet jakautuvat uudelleen. Tässä tilanteessa rakenne on edelleen jatkuva mutta niveltävä. Murtorajatila saavutetaan, kun orren positiivinen taivutuskestävyys ylittyy aukoissa.

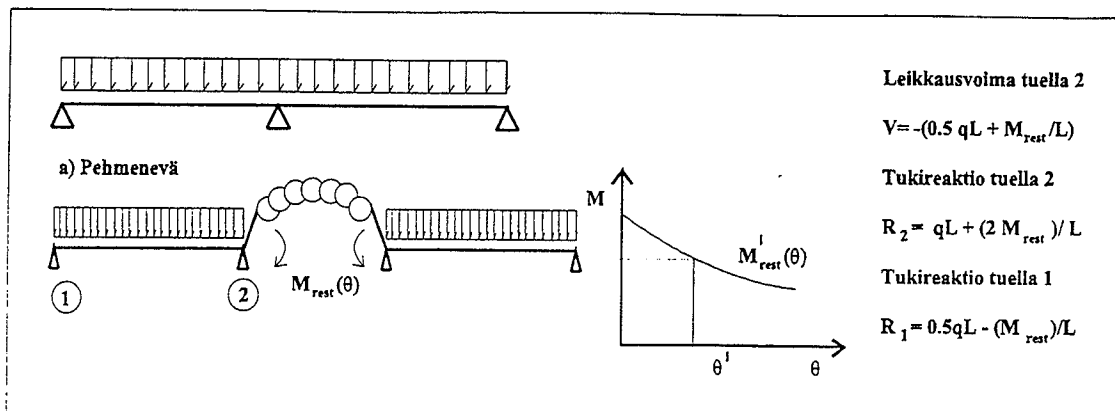


Kuva 3. 2-aukkoisen orren toiminta käyttö- ja murtorajatilassa.

Tukimomentin  $M_{rest}$  ja plastisen kokonaiskiertymän  $\theta$  yhteydeksi voidaan käyttää joko pehmenevää tai ideaaliplastista mallia kuvien 4 ja 5 tapaan. Laskenta käytetään elementtimenetelmää tai kullekin kuormitustapaukselle johdettuja yhtälöitä, jotka perustuvat rakenteen plastiseen tasapainotilanteeseen.

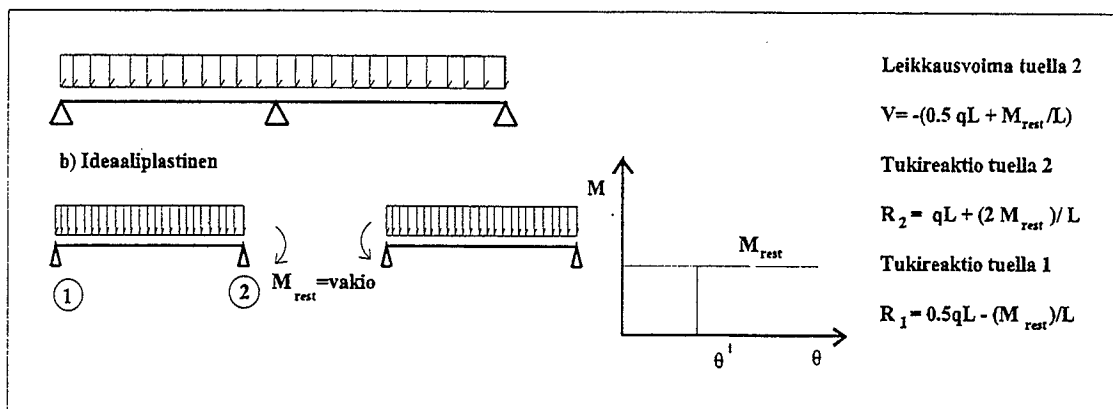
Kun käytetään pehmenevää momentti-kiertymäyhteyttä jatkuvan tuen mallina on kuvan 4 mukainen epälineaarinen kiertymäjousi. Jousen momentti-kiertymäyhteys valitaan rakennetyypin mukaan. Sauvojen tehollinen jäykkyys  $EI_{eff,y}$  on vakio.

Mitoitettaessa kuormitukselle  $q_{sd}$  verrataan maksimimomentin  $M_{max}$  ja orren taivutuskestävyyden  $M_{C,Rd}$  arvoja ja  $M_{max}/M_{C,Rd}$  kuvaa rakenteen käyttöastetta. Samaa kuvaa myös kuormasuhde  $q_{sd}/q_u$ . Pehmenevässä nivelessä ei ole mielekäästä tarkastella momentin käyttöastetta, vaan kiertymän käyttöastetta, joka on suhde  $q_{sd}$ :n ja aiheuttaman kiertymän ja tuotekohtaisen rajakiertymän välillä.



Kuva 4. Esimerkkirakenteen plastisuusteoreettinen laskentamalli, pehmenevä  $(M, \theta)$ -yhteys.

Ideaaliplastisissa mitoitusmenetelmässä tarkistetaan, että kiertymä tuella on asetettua rajakiertymää pienempi ja tukimomentti oletetaan vakioksi tähän rajaan saakka kuvan 5 tapaan. Käytettävä tukimomentti on ko. plastista rajakiertymää vastaava momentti pehmenevässä momentti-kiertymäyhteydessä. Rajakuorma  $q_u$  voidaan silloin ratkaista suoraan suljetuista yhtälöistä.



Kuva 5. Esimerkkirakenteen plastisuusteoreettinen laskentamalli, ideaaliplastinen  $(M, \theta)$ -yhteys.

Ideaaliplastisen menetelmän etu pehmenevään malliin verrattuna on yksinkertaisuus ja mahdollisuus tehdä laskelmat käsin. Pehmenevän malli vaatii aina tietokonepohjaisen ratkaisualgoritmin, jonka toimintaan on kiinnitettävä erityistä huomiota. Kirjallisuudesta löytyy algoritmeja (esim. Thomopoulos, Mistakidis, Koltsakis, Panagiotopoulos (1996)), joille löytyy matemaattinen perustelu.

Orren käyttörajatilamitoitukseen kuuluu kaksi tarkistettavaa asiaa: taipuman rajoittaminen ja jatkuvan tuen plastisten muodonmuutosten välttäminen. Käyttörajatilassa syntyvä momentti saa olla enintään 90 % tuen taivutuskestävyydestä.

Jos plastisuusteorian käyttö ei ole mahdollista kaikissa rakenteen osissa ja kaikilla kuormituksilla, käytetään asianmukaisissa tapauksissa kimmoteorian mukaista tarkastelua.

## 2.2 Laskentamenetelmän rajoitukset

$(M, \theta)$ -yhteyttä voidaan käyttää moniaukkoisen kevytorren suunnittelussa, mikäli orren vapaa laippa on välituella puristettu. Menetelmän rajoitukset määräytyvät tehdyistä kokeista ja ne tulee esittää kunkin tuotteen kohdalla erikseen. Rajoituksena tulee esittää taivutusmomentin nollakohdan etäisyys välituelta sekä muotolevyn ja kiinnitysten antaman tuennan alaraja, kts. kappale L1.2.2.

## 2.3 Painekuormitetun moniaukkoisen kevytorren mitoituksen päävaiheet

### 2.3.1 Uumastaan alusrakenteeseen tuettu moniaukkoisen kevytorsin

Tarkastelun vaiheet jokaisessa kuormitusyhdistelmässä ovat:

- (1) lasketaan käyttörajatilan leikkausvoiman  $V$  ja uuman leikkauskestävyyden  $V_{w,Rd}$  suhde ja sitä vastaava tuotekohtainen leikkausvoiman vaikutuksesta alentunut taivutuskestävyys  $M_{C,Rd,V}$ , (kohta 1.3),
- (2) tarkistetaan, ettei välituella muodostu niveltä käyttörajatilassa (kohta 2.5),
- (3) tarkistetaan taipuman suuruus (kohta 2.7),
- (4) lasketaan  $(M,\theta)$ -yhteys taivutuskestävyyden  $M_{C,Rd,V}$  avulla (kohta 2.8),
- (5) käytetään murtorajatilatarkastelussa q ideaaliplastista mallia (kohta 2.9), lasketaan rajakuorma  $q_{uN}$  ja todetaan, että  $q_{uN} > q_{sd}$ . Lasketaan rajakuormaa vastaava  $\theta$  ja tarkistetaan, että  $\theta < \theta_{max}$  tai tarkistetaan laskentakuormitusta vastaavan momentin ja normaalivoiman yhteisvaikutuksen mitoitusehto kentässä ja että plastinen kiertymä jatkuvalla tuella on sallittua kiertymärajaa pienempi.

### 2.3.2 Laipoistaan alusrakenteeseen tuettu moniaukkoisen kevytorsin

Tarkastelun vaiheet jokaisessa kuormitusyhdistelmässä ovat:

- (1) lasketaan käyttörajatilan tukireaktion  $R$  ja tukireaktiokestävyyden  $R_{w,Rd}$  suhde ja sitä vastaava tukireaktion vaikutuksesta pienentynyt taivutuskestävyys  $M_{C,Rd,R}$  ja tarkistetaan, ettei käyttörajatilassa muodostu plastista niveltä (kohta 2.6),
- (2) tarkistetaan taipuman suuruus (kohta 2.7),
- (3) lasketaan taivutuskestävyyteen  $M_{C,Rd}$  perustuva  $(M,\theta)$ -yhteys. Tukireaktion vaikutusta ei oteta huomioon  $(M,\theta)$ -yhteyden laskennassa, kun kyseessä on jatkuva hattuorsi (kohta 2.8),
- (4) käytetään murtorajatilatarkastelussa ideaaliplastista mallia (kohta 2.9): lasketaan rajakuorma  $q_{uN}$  ja todetaan, että  $q_{uN} > q_{sd}$ . Lasketaan rajakuormaa vastaava  $\theta$  ja tarkistetaan, että  $\theta < \theta_{max}$ .

## 2.4 Imukuormitetun kevytorren mitoituksen päävaiheet

### 2.4.1 Uumastaan alusrakenteeseen tuettu kevytorsin

Kun vapaa laippa on kentässä puristettu, kevytorren tarkastelu suoritetaan seuraavasti:

- (1) tarkistetaan kentässä stabiiliusehto murtorajatilassa (kohta 3.5.2),
- (2) tarkistetaan taivutuskestävyys välituella (kohta 3.3, vapaa laippa on vedetty),
- (3) tarkistetaan taipuman suuruus (kohta 2.7).

### 2.4.2 Laipoistaan alusrakenteeseen tuettu kevytorsin

Kun orren alalaippa on kentässä puristettu, kevytorren tarkastelu suoritetaan seuraavasti:

- (1) tarkistetaan kentässä stabiiliusehdon riittävyys murtorajatilassa (kohta 3.5.2),
- (2) tarkistetaan taivutuskestävyys välituella (kohta 3.4),
- (3) tarkistetaan taipuman suuruus (kohta 2.7).

## 2.5. Uumasta tuettujen orsien tukimurron välttäminen

Mitoituksessa tarkistetaan, ettei käyttörajatilassa orteen synny merkittäviä plastisia muodonmuutoksia välituella. Käyttörajatilassa syntyvä suurin momentti saa olla enintään 90 % leikkausvoiman vaikutuksen huomioon ottavasta taivutuskestävyydestä:

$$\frac{N}{A_{\text{eff}}} + \frac{M}{W_{\text{eff},y}} \leq 0,9 \cdot \frac{M_{C,Rd,V}}{W_{\text{eff},y}} \quad (5)$$

missä

- $N, M$  = käyttörajatilan normaalivoima ja momentti,
- $A_{\text{eff}}$  = poikkileikkauksen tehollinen pinta-ala keskeisessä puristuksessa,
- $W_{\text{eff},y}$  = tehollinen taivutusvastus y-akselin suhteen, kts. kohta 1.2.1,
- $M_{C,Rd,V}$  = leikkausvoiman huomioiva taivutuskestävyys, kts. kohta 1.3.

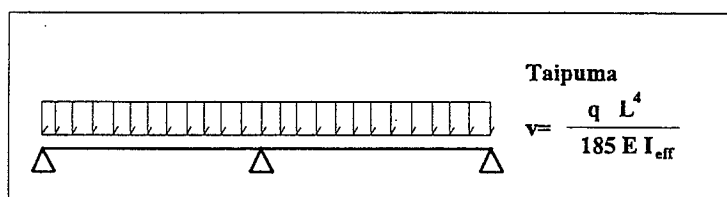
Leikkausvoiman vaikutuksen huomioon ottava taivutuskestävyys  $M_{C,Rd,V}$  lasketaan  $V/V_{w,Rd}$ -suhteen perusteella, missä  $V$  on käyttörajatilan leikkausvoima. Taivutuskestävyys  $M_{C,Rd,V}$  lasketaan kokeisiin perustuvasta yhteisvaikutusfunktioista. Limityksen tai sleeve-jatkoksen vaikutus tulee siten huomioon otetuksi koetulosten mukaisesti. Kohdassa L1.1.3 on esimerkki ja kohdasta L1.2.5 soveltamisohjeita laskemista varten.

## 2.6. Laipoista tuettujen orsien tukimurron välttäminen

Varmuus plastisen nivelen syntymistä vastaan käyttörajatilassa on riittävä, kun puristetun alalaipan jännitys momentista ja normaalivoimasta on enintään 90 % tukireaktion vaikutuksen huomioon ottavasta taivutuskestävyydestä. Kohdassa L1.2.6 on esimerkki yhteisvaikutuksen tarkistamisesta.

## 2.7 Taipuma

Sallittu raja on  $L/180$ , missä  $L$  on jätteen pituus. Taipuma lasketaan olettaen rakenne tasajäykäksi palkiksi, jonka jäyhyysmomentti on kentän  $I_{\text{eff},y}$ . Limityksen ja jatkoksen vaikutusta taipumaan ei oteta huomioon.



Kuva 6. Taipuma esimerkkirakenteessa, kun jännemitat ovat samat ja kuorma on vakio koko rakenteessa.

## 2.8 Ideaaliplastinen $(M, \theta)$ -yhteys

### 2.8.1 Tausta

Kokeissa tarkastellaan taivutettuja rakenteita, joissa ei ole normaalivoimaa. Täyden mittakaavan kokeiden perusteella haetaan orren sellaisella taivutuskestävyydellä  $M_{C,Rd}$  normalisoitu yksikkömometti-kiertymäyhteys, johon perustuva koerakenteen rajakuorma on todellista rajakuormaa pienempi. Ideaaliplastinen  $(M, \theta)$ -yhteys saadaan pehmenevästä yhteydestä ottamalla tästä plastiseksi momentiksi rajakiertymää vastaava momentti. Ideaaliplastisessa mallissa tukimomentti on vakio kiertymän kasvaessa rajakiertymään ja tämän perusteella ratkaistaan rajakuorma, kun murtorajalla momentti kentässä on  $M_{C,Rd}$ . Tukimomentin  $M_{\text{rest}}$  mitoitusarvo

saadaan kertomalla kunkin rakennetyypin koetuloksista määritetty suhde  $M/M_{C,Rd}$  orren taivutuskestävyydellä (kohta L1.2.8).

### 2.8.2 Normaalivoiman kuormittama uumastaan tuettu jatkuva kevytors

Normaalivoima  $N_{Sd}$  pienentää tukimomenttia  $M_{rest}$ . Tämä otetaan huomioon käyttämällä kuvan 7 mukaista jännitysjakaumaa, missä uuman puristettu osa jakautuu normaalivoiman aiheuttamaan osaan  $h_N = N_{Sd}/(t \cdot f_y)$  ja momentin aiheuttamaan osaan  $h_c - h_N$ . Puristetun osan korkeus pysyy vakiona, koska orsi on tuettu. Liittimien tulee sijaita kuvan 7 ”kompaktin” poikkileikkauksen puristusosassa, jos normaalivoima vaikuttaa vain yhdeltä puolelta. Jos  $N_{Sd}$  vaikuttaa tuen molemmilta puolilta, ei kiinnityselimien sijainnilla ole merkitystä. Muotolevy tukee orren ylälaippaa. Mitoitustarkastelussa lasketaan aluksi uuman puristetun osan korkeus  $h_c$  olettaen normaalivoima nolllaksi (kuvassa 7a  $h_N=0$ ). Tässä tapauksessa tukimomentti on

$$M_{rest} = \left( h_c \cdot \left( h_t + \frac{h_c}{2} \right) - \frac{h_t^2}{2} - \frac{c^2}{2} \right) \cdot t \cdot f_y$$

johon sijoittamalla  $h_t = h_c - b - c$ , mistä puristetun uuman korkeus  $h_c$  on

$$h_c = \sqrt{\frac{M_{rest}}{t \cdot f_y} + \frac{(b+c)^2}{2} + \frac{c^2}{2}} \quad (6)$$

$M_{rest}$  on ideaalplastisen mallin mukainen tukimomentti ilman normaalivoiman vaikutusta. Eri orsi- ja jatkostyypeissä  $M_{rest}$  lasketaan tuotekohtaisten ohjeiden mukaan, kuten esimerkiksi kohdassa L1.2.8.6 esitetään.

Oletetaan sitten, että ortta rasittaa myös normaalivoima  $N$ . Normaalivoiman kattava puristetun osan korkeus  $h_N$  on

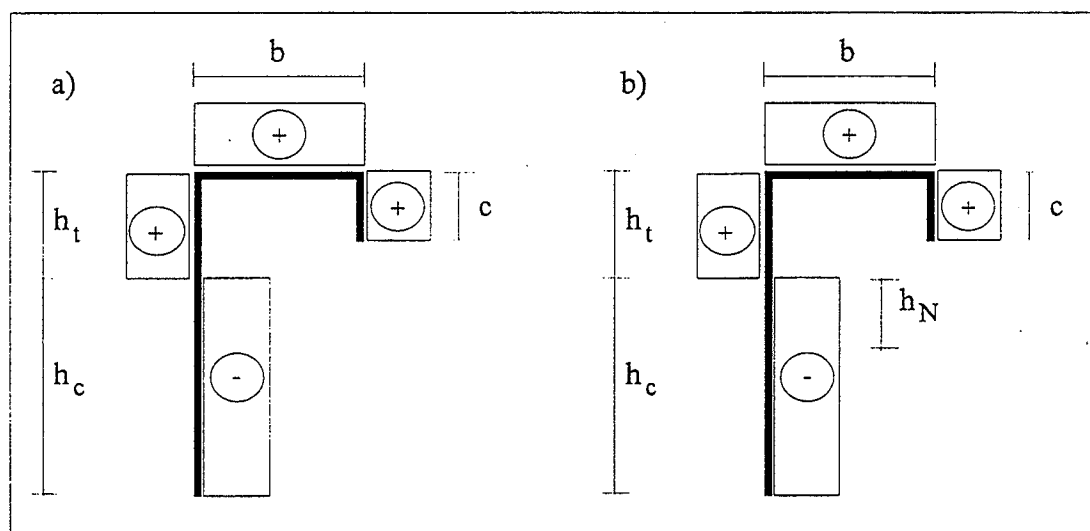
$$h_N = \frac{N_{Sd}}{t \cdot f_y} \quad (7)$$

Uuman vedetyn osan korkeus on silloin

$$h_t = h_c - h_N - b - c \quad (8)$$

ja kuvan 7b mukaista jännitysjakautumaa vastaavaksi tukimomentiksi  $M_{restN}$  saadaan

$$M_{restN} = \left( (h_c - h_N) \cdot \left( h_t + h_N + \frac{h_c - h_N}{2} \right) - \frac{h_t^2}{2} - \frac{c^2}{2} \right) \cdot t \cdot f_y \quad (9)$$



Kuva 7. Kompaktin osan jännitysjakautuma a) tukimomentti ja b) tukimomentti ja normaalivoima.



### 2.8.3 Normaalivoiman kuormittama uumasta tuettu limitetty kevytors

Limitettyjen orsien tapauksessa tarkastellaan välituella kumpaakin ortta erikseen. Voimasuureet lasketaan kuvan 2 mukaisella mallilla. Tarkastelutapa on samanlainen kuin edellisessä kohdassa. Kaavassa (6) oleva tukimomentti  $M_{rest}$  saadaan kertomalla normalisoitu  $(M, \theta)$ -yhteys orren taivutuskestävyydellä  $M_{C,Rd,v}$  (kohta L1.2.8). Laskennassa otetaan huomioon poikkileikkauksen todellinen asento tarkasteltavassa kohdassa. Limityksen takia muotolevyyn tuetut laipat ovat erilevyisiä viereisissä kentissä.

Rajakuormakaavassa (21) esiintyvä tukimomentin vakioarvo saadaan summaamalla limityksessä erikseen lasketut tukimomentit.

### 2.8.4 Normaalivoiman kuormittama uumasta tuettu jatkettu kevytors

Jatkettujen orsien tapauksessa, sleeve, kohdassa 2.8.2 esitetty tarkastelu tehdään käyttäen jatkoskappaleen mittoja, poikkileikkausarvoja, kestävyyskäyriä ja voimasuureita.

### 2.8.5 Normaalivoiman kuormittama laipoistaan tuettu hattuors

Hattuorsien tapauksessa uuman puristetun osan korkeus ilman normaalivoiman vaikutusta on ( $h_t = h_c - b/2$ )

$$h_c = \sqrt{\frac{M_{rest}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{b^2}{8}} \quad (10)$$

missä tukimomentti  $M_{rest}$  on taivutusmomentin arvo ilman normaalivoiman vaikutusta. Normaalivoiman kattavan puristetun osan korkeus on

$$h_N = \frac{N}{2 \cdot t \cdot f_y} \quad (11)$$

ja vedetyn osan korkeus on

$$h_t = h_c - h_N - \frac{b}{2} \quad (12)$$

Jännitysjakautumaa vastaava tukimomentiksi  $M_{restN}$  on

$$M_{restN} = \left( 2 \cdot (h_c - h_N) \cdot \left( h_t + h_N + \frac{h_c - h_N}{2} \right) - h_t^2 \right) \cdot t \cdot f_y \quad (13)$$

## 2.9 Ideaaliplastisen mallin mukainen rajakuorma $q_u$

### 2.9.1 Taivutettu jatkuva kevytors, jossa ei ole normaalivoimaa

#### Vaihtoehto 1

Tasapainoehtoista ratkaistu kenttämomentin maksimiarvo on

$$M_{max} = \frac{(q_{sd} \cdot L^2 - 2 \cdot M_{rest})^2}{8 \cdot q_{sd} \cdot L^2} \quad (14)$$

missä  $q_{sd}$  on tasaisen kuormituksen mitoitusarvo. Tarkistetaan, että tämä maksimi on pienempi kuin kentän taivutuskestävyys, eli

$$\frac{M_{max}}{M_{C,Rd}} \leq 1 \quad (15)$$

Tarkistetaan myös, että mitoituskuormaa vastaava kiertymä tuella on pienempi kuin tuotekohtainen kiertymän raja-arvo. Yleisessä tapauksessa, kun moniaukkoista rakennetta kuormittaa tasaisesti jakautunut kuormitus, plastinen kiertymä välituella on

$$\theta = \left( \frac{L_1^3 \cdot q_1}{24 \cdot E \cdot I_{\text{eff},y}} - \frac{M_{\text{rest}} \cdot L_1}{3 \cdot E \cdot I_{\text{eff},y}} \right) + \left( \frac{L_2^3 \cdot q_2}{24 \cdot E \cdot I_{\text{eff},y}} - \frac{M_{\text{rest}} \cdot L_2}{3 \cdot E \cdot I_{\text{eff},y}} \right) \quad (16)$$

missä  $L_1$  ja  $L_2$  ovat jänteiden pituudet,  $q_1$  ja  $q_2$  ovat näiden jänteiden tasaiset kuormitukset ja  $EI_{\text{eff},y}$  on orren taivutusjäykkyys kentässä. Taivutusjäykkyys oletetaan vakioksi koko jänteessä ja sitä laskettaessa oletetaan orren alalaipan olevan vedetty. Jos esimerkiksi kaksiaukkoisen rakenteen molemmat jänteet ovat yhtä pitkiä,  $L_1=L_2=L$ , ja kuormitus molemmissa kentissä on yhtä suuri  $q_1=q_2=q_{\text{sd}}$ , on mitoituskuormaa  $q_{\text{sd}}$  vastaava kiertymä

$$\theta = \frac{L}{12 \cdot E \cdot I_{\text{eff},y}} \cdot (q_{\text{sd}} \cdot L^2 - 8 \cdot M_{\text{rest}})$$

ja kiertymän tulee olla

$$\theta \leq \theta_{\text{max}} \quad (17)$$

## Vaihtoehto 2

Lasketaan ensin rajakuorma  $q_u$  ja sitä vastaava kiertymä välituella. Plastinen mekanismi muodostuu, kun kenttään syntyy plastinen nivel, jossa momentti  $M_{\text{span}}$  on taivutuskestävyyden  $M_{\text{C,Rd}}$  suuruinen ja rajakuorma on

$$q_u = \frac{2}{L^2} \cdot (M_{\text{rest}} + 2 \cdot M_{\text{span}} + 2 \cdot \sqrt{M_{\text{span}} \cdot M_{\text{rest}} + M_{\text{span}}^2}) \quad (18)$$

missä

$L$  = jänteen pituus,

$M_{\text{rest}}$  = tukimomentti,

$M_{\text{span}}$  = orren taivutuskestävyys  $M_{\text{C,Rd}}$  kentässä (alalaippa vedetty).

Limitettyissä ja jatketuissa orsissa  $M_{\text{span}}$  on yhtä suuri kuin tarkasteltavan jänteen taivutuskestävyys. Tarkistetaan, että rajakuormasta aiheutuva kokonaiskiertymä on pienempi kuin tuotekohtainen maksimikiertymä. Kiertymä lasketaan sijoittamalla rajakuorman  $q_u$  arvo kiertymän lausekkeeseen, esim. kaava (16). Tarkistetaan mitoitusehto

$$q_{\text{sd}} \leq q_u \quad (19)$$

missä  $q_{\text{sd}}$  on kuormituksen mitoitusarvo.

### 2.9.2 Taivutettu ja puristettu moniaukkoinen kevytorssi

Momentin ja normaalivoiman yhteisvaikutus kentässä määrittelee rajakuorman ehdon

$$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{span}}} + \frac{N_{\text{sd}}}{A_{\text{eff}} \cdot f_y} \leq 1 \quad (20)$$

mukaisesti, missä  $A_{\text{eff}}$  on keskimäärin puristetun poikkileikkauksen tehollinen pinta-ala kentässä. On huomattava, että tämä ehto tarkastetaan kentässä, jolloin  $A_{\text{eff}}$  määräytyy kentässä käytetyn profiilin poikkileikkauksimitoista. Normaalivoima  $N_{\text{sd}}$  pienentää tukimomenttia välituella ja tätä vastaava tukimomentti  $M_{\text{restN}}$  lasketaan kaavasta (9) tai (13). Limitettyissä orsissa  $M_{\text{restN}}$  on limitettyjen osien momenttien summa. Jatketuissa orsissa  $M_{\text{restN}}$  on jatkoskappaleen taivutuskestävyyden suuruinen. Plastinen mekanismi muodostuu, kun kenttään syntyy plastinen nivel, jossa momentti on taivutuskestävyyden  $M_{\text{C,Rd}}$  suuruinen ja rajakuorma on

$$q_u = \frac{2}{L^2} \cdot (M_{\text{restN}} + 2 \cdot M_{\text{span}} + 2 \cdot \sqrt{M_{\text{span}} \cdot M_{\text{restN}} + M_{\text{span}}^2}) \quad (21)$$

joka vastaa kaavan (20) vasemman puolen ensimmäistä termiä.

Normaalivoima  $N_{Sd}$  pienentää orren kapasiteettia myös kentässä, jota ei edellisessä kaavassa otettu huomioon. Normaalivoiman  $N_{Sd}$  vaikutuksesta pienentynyt rajakuormaan  $q_{uN}$  on

$$q_{uN} = \left( 1 - \frac{N_{Sd}}{A_{eff} \cdot f_y} \right) \cdot q_u \quad (22)$$

missä  $A_{eff}$  poikkileikkauksen tehollinen pinta-ala kentässä keskeisessä puristuksessa ja  $q_u$  lasketaan kaavasta (21). Orren kantavuus on riittävä, kun

$$q_{Sd} \leq q_{uN} \quad (23)$$

Lisäksi tarkistetaan, että kaavasta (16) tukimomentin arvoa  $M_{restN}$  ja rajakuormaa  $q_{uN}$  käyttäen laskettu kiertymä ei ole sallittua rajakiertymää suurempi.

## 2.10 Jatkuvan rakenteen rajakuorman laskeminen pehmenevän tukinivelen mallia käyttäen

Laskentaan on olemassa omia tietokoneohjelmia, esimerkiksi ORSI. Laskenta näissä perustuu joko elementtimenetelmänä tai maksimimomentin ja kiertymän yhtälöiden iteratiiviseen ratkaisemiseen. Tuntemattomia yhtälöissä ovat tukimomentti  $M_{rest}$ , joka on kiertymän funktio, kokonaiskiertymä  $\theta$  ja rajakuorma  $q_u$ . Kun kaksiaukkoisen rakenteen molempien jänteiden pituus on  $L$  ja molempien kuormitus on  $q$ , silloin rajakuorma  $q_u$ , sitä vastaava kiertymä ja tukimomentti ratkaistaan yhtälöryhmästä

$$M_{max} = \frac{(q_u \cdot L^2 - 2 \cdot M_{rest}(\theta))^2}{8 \cdot q_u \cdot L^2}$$

$$\theta = \frac{L}{12 \cdot E \cdot I_{eff,y}} \cdot (q_u \cdot L^2 - 8 \cdot M_{rest}(\theta))$$

$$M_{rest} = M_{rest}(\theta)$$

missä  $M_{rest}(\theta)$  on kokeiden avulla määritetty välituen  $(M, \theta)$ -yhteys. Rannila Steel Oy:n tuotteiden pehmenevä  $(M, \theta)$ -yhteys saadaan kertomalla liitteessä 1 kunkin orsityypin normalisoitu  $(M/M_{C,Rd}, \theta)$ -yhteys taivutuskestävyydellään käyttäen kappaleessa L1.2.8 esitettyjä sääntöjä.

## 3 KIMMOTEORIAN MUKAINEN MITOITUSMENETELMÄ

### 3.1 Laskentamenetelmän kuvaus

Esitetty kimmoteorian mukainen mitoitusmenetelmä perustuu sekä jatkuvan tuen toimintaa simuloiviin kokeisiin että täyden mittakaavan kokeiden tuloksiin. Kokeiden tuloksista saadaan leikkausvoiman/tukireaktion ja momentin yhteisvaikutusfunktiot, joita käytetään kevytorsien kimmoteoriaan perustuvassa murtorajatilamitoituksessa. Rakenteen staattinen malli on jatkuva tasajäykkä palkki (kuva 2), koska plastisia niveliä ei sallita. Poikkileikkauksen vinoutumisesta aiheutuvat jännitykset jätetään murtorajatilassa huomioon ottamatta. Käyttörajatilassa tarkistetaan orren taipuma ja ettei taivutuksesta ja normaalivoimasta aiheutuva jännitys ylitä arvoa  $0.9 f_y$ , missä  $f_y$  on tarkasteltavan orren myötöraja.

Olkoon normaalivoima aluksi nolla. Kimmoteorian mukainen rajakuorma saavutetaan, kun jatkuvalla tuella muodostuu plastinen nivel, mikä merkitsee, että kimmoteorian mukainen momentti tuella vastaa leikkausvoiman tai tukireaktion vaikutuksesta alentunutta taivutuskestävyyttä. Jos normaalivoima on suurempi kuin nolla, kimmoteorian mukainen rajakuorma pienenee vielä edellisestä. Jatkuvalla tuella leikkausvoiman tai tukireaktion taivutuskestävyyttä pienentävä vaikutus otetaan huomioon tuotekohtaisesti määritettyjä parametrejä käyttäen.

Murtorajatilatarkastelun mukaisesti  $\gamma_{M1}=1.1$ , ja pienentynyt taivutuskestävyys tuella käytetään kokonaan hyväksi rajakuormaa laskettaessa. Käyttörajatilassa materiaalin varmuusluku  $\gamma_{M,ser}$  on 1.0.

Kimmoteoriaan perustuvassa tarkastelussa mitoittava kuormitusyhdistelmä muodostetaan summaamalla osavaikutukset.

Liitoksien rakenteellinen suunnittelu suositellaan tehtäväksi käsikirjan Ohutlevyrakenteiden kiinnitykset 1994 (1994) mukaisesti ja ottaen huomioon tuotekohtaiset ohjeet.

### 3.2 Kimmoteorian mukaisen tarkastelun kulku

#### 3.2.1 Uumastaan alusrakenteeseen kiinnitetty kevytors

Painekuormitusta koskevan tarkastelun kulku on seuraava:

- (1) lasketaan murtorajatilatarkastelussa leikkausvoiman  $V_{sd}$  ja leikkauskestävyyden  $V_{w,Rd}$  suhde välituella käyttäen kuvan 2 palkkimallia, jossa otetaan huomioon limityksen vaikutus voimasuureisiin ja vastaava kestävyys  $M_{C,Rd,V}$ ,
- (2) tarkistetaan, että välituella momentista ja normaalivoimasta aiheutuvat jännitykset ovat murtorajatilassa pienempiä kuin leikkausvoiman vaikutuksen huomioon ottavat jännitykset (kohta 3.3).  $M_{C,Rd,V}$  arvossa käytettävä varmuusluku on  $\gamma_{M1}$
- (3) tarkistetaan, että kentässä mitoituskuormituksesta aiheutuvat jännitykset ovat sallituja rajajännityksiä pienemmät (kohta 3.5.1),
- (4) tarkistetaan käyttörajatilassa taipuman suuruus,
- (5) tarkistetaan, että momentin  $M$  ja normaalivoiman  $N$  aiheuttama suurin jännitys välituella on käyttörajatilassa enintään  $0.9 f_y$ , kun nurjahdusmahdollisuus otetaan huomioon jännityksiä laskettaessa (kohta 3.7).

Imukuormitusta koskevan tarkastelun kulku on samanlainen kuin mitä kohdassa 2.4 esitetään.

#### 3.2.2 Laipoistaan alusrakenteeseen tuetut kevytorret

Painekuormitusta koskevan tarkastelun kulku on seuraava:

- (1) lasketaan murtorajatilatarkastelussa tukireaktion  $R_{Sd}$  ja vastaavan kestävyys  $R_{w,Rd}$  suhde jatkuvalla tuella käyttäen palkkimallia, missä lisäprofiilin vaikutusta voimasuureisiin ei oteta huomioon. Lasketaan kestävyys  $M_{C,Rd,R}$ ,
- (2) tarkistetaan, että välituella murtorajatilan mitoitusmomentista ja -normaalivoimasta aiheutuvat jännitykset ovat pienempiä kuin tukireaktion vaikutuksen huomioon ottava jännitys (kohta 3.4),  $M_{C,Rd,R}$  arvossa käytettävä varmuusluku on  $\gamma_{M1}$ ,
- (3) tarkistetaan, että kentässä murtorajatilan mitoitusmomentista ja -normaalivoimasta aiheutuvat jännitykset ovat sallittuja rajajännityksiä pienemmät (kohta 3.5.1),
- (4) tarkistetaan taipuma (kohta 3.6),
- (5) tarkistetaan, että käyttörajatilan momentista  $M$  ja normaalivoimasta  $N$  aiheutuva suurin jännitys välituella on enintään  $0.9 f_y$ , kun nurjahdusmahdollisuus otetaan huomioon jännityksiä laskettaessa (kohta 3.7).

Imukuormitusta koskeva tarkastelu on samanlainen kuin mitä kohdassa 2.4 esitetään.

### 3.3 Uumastaan alusrakenteeseen tuettujen kevytorsien taivutuskestävyys välituella

Tarkistetaan välituella, että ehto (24) on voimassa:

$$\frac{M_{y,Sd}}{W_{eff,y}} + \frac{N_{Sd}}{A_{eff}} \leq \frac{M_{C,Rd,V}}{W_{eff,y}} \quad (24)$$

missä

$M_{y,Sd}$  = taivutusmomentin arvo murtorajatilassa,

$N_{Sd}$  = normaalivoiman suunnitteluarvo,

$W_{eff,y}$  = orren tehollinen taivutusvastus tarkasteltavassa kohdassa, kts. kohta 1.2,

$A_{eff}$  = poikkileikkauksen tehollinen pinta-ala keskeisessä puristuksessa,

$M_{C,Rd,V}$  = leikkausvoiman huomioon ottava taivutuskestävyys,

$\gamma_{M1}$  = 1.1 ja sitä käytetään taivutuskestävyyttä  $M_{C,Rd,V}$  laskettaessa.

Leikkausvoiman vaikutuksesta pienentyneen taivutuskestävyyden  $M_{C,Rd,V}$  laskenta perustuu tuotekohtaisiin mitoitusparametreihin, kts. esimerkki kappaleesta L1.1.3.

### 3.4 Laipoistaan tuettujen kevytorsien taivutuskestävyys välituella

Tarkastetaan välituella, että ehto (25) on voimassa:

$$\frac{M_{y,Sd}}{W_{eff,y}} + \frac{N_{Sd}}{A_{eff}} \leq \frac{M_{C,Rd,R}}{W_{eff,y}} \quad (25)$$

missä

$M_{y,Sd}$  = taivutusmomentin arvo murtorajatilassa,

$N_{Sd}$  = normaalivoiman suunnitteluarvo,

$W_{eff,y}$  = orren tehollinen taivutusvastus, kts. kohta 1.2,

$A_{eff}$  = poikkileikkauksen tehollinen pinta-ala keskeisessä puristuksessa,

$M_{C,Rd,R}$  = tukireaktion huomioon ottava taivutuskestävyys, kts. kohta 2.6,

$\gamma_{M1}$  = 1.1 ja sitä käytetään taivutuskestävyyttä  $M_{C,Rd,R}$  laskettaessa.

Tukireaktion vaikutuksesta pienentyneen taivutuskestävyyden  $M_{C,Rd,R}$  laskenta perustuu tuotekohtaisiin mitoitusparametreihin, kts. esimerkkiä kappaleesta L1.1.4.

### 3.5 Taivutuskestävyys kentässä

#### 3.5.1 Painekuormitus

Muotolevyyden tuettu orren laippa on kentässä puristettu ja välituella vedetty. Tarkastetaan kentässä, että ehto (26) on voimassa:

$$\frac{M_{y,Sd}}{W_{eff,y}} + \frac{N_{Sd}}{A_{eff}} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad (26)$$

missä tehollinen taivutusvastus  $W_{eff,y}$  on laskettu olettaen orren alalaippa vedetyksi, tehollinen pinta-ala keskisessä puristuksessa  $A_{eff}$  määräytyy kentässä olevan profiilin mukaan ja  $\gamma_{M1}$  on 1.1. Limityksen vaikutus momenttipinnan muotoon otetaan huomioon.

#### 3.5.2 Imukuormitus

##### Puristetun vapaan laipan stabiilisuusehto

Vapaa laippa on kentässä puristettu ja sen stabiilisuus tulee tarkistaa. Se tehdään tarkastelemalla vapaata laippaa joustavalla alustalla olevana taivutettuna ja puristettuna palkkina. Vapaan laipan suurin jännitys aiheutuu taivutuksesta kuormitustasossa, normaalivoimasta ja poikittaisesta taivutuksesta. Kuormitustason voimasuureista aiheutuneita jännityksiä korotetaan nurjahduskertoimella  $\chi$  jakamalla ja stabiilisuuden tarkistuskaava on standardin CEN ENV 1993-1-3 (1996) kohdan 10.1.4.2 kaava 10.7

$$\frac{1}{\chi} \cdot \left( \frac{M_{y,Sd}}{W_{eff,y}} + \frac{N_{Sd}}{A_{eff}} \right) + \frac{M_{fz,Sd}}{W_{fz}} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad (27)$$

missä

$\chi$  = tukemattoman laipan nurjahduskerroin,

$M_{fz,Sd}$  = vapaan laipan poikittainen taivutusmomentti tarkasteltavassa kohdassa, kts. standardi,

$W_{fz}$  = kimmoisella alustalla olevan taivutuspalkin (reunakäänte, tukematon laippa ja osa uumasta, 1/6-osa uuman korkeudesta) bruttopoikkileikkauksen taivutusvastus poikittaiselle kuormitukselle ja

$\gamma_{M1}$  = teräksen varmuusluku 1.1.

Nurjahduskerroin  $\chi$  lasketaan kaavoista

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_{fz} = \frac{L_{fz}}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\frac{A_{fz}}{I_{fz}}}$$

$$\phi = 0.5 \cdot (1 + 0.21 \cdot (\lambda_{fz} - 0.2) + \lambda_{fz}^2)$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_{fz}^2}}$$

missä

$L_{fz}$  = nurjahduspituus,

$A_{fz}$  = kimmoisella alustalla olevan palkin bruttopoikkipinta-ala,

$I_{fz}$  = kimmoisella alustalla olevan palkin jäyhyysmomentti vaakasuunnassa.

Uumastaan alusrakenteeseen kiinnitetyt kevytorret

Nurjahduspituus lasketaan standardissa CEN ENV 1993-1-3 (1996) esitetyllä tavalla tai otetaan taulukoista 1, 2, 3 ja 4 jatkuvien rakenteiden mitoitus varten, kun tukiväli  $L$  on vakio ja tasainen kuormitus  $q$  on jokaisessa jänteessä. Tarkastelun kulku on silloin seuraava:

- (1) lasketaan ensin vapaan laipan jäyhyysmomentti  $I_{fz}$ , jousivakio  $K$  (CEN ENV 1993-1-3 (1996) kohta 10.1.5) ja kerroin  $\gamma$  kaavasta (28),
- (2) lasketaan vapaasti tuetussa rakenteessa jännityssuhde  $S_{rel}$  kentässä kaavasta (29) ja otetaan nurjahduspituussuhde  $L_{fz}/L$  taulukosta 1,
- (3) lasketaan kaksiaukkoisessa rakenteessa kentän jännityssuhde  $S_{rel}$  kaavasta (29) ja otetaan nurjahduspituussuhde  $L_{fz}/L$  taulukosta 2,
- (4) lasketaan kolmiaukkoisessa rakenteessa sekä reunakentän että keskikentän jännityssuhde  $S_{rel}$  sekä reunakentässä että keskiaukossa kaavasta (29) ja otetaan nurjahduspituudet taulukoista 3 ja 4,
- (5) taulukkoarvoja ei tarvitse interpoloida, nurjahduspituussuhde otetaan valisemalla laskettua  $\gamma$ :n arvoa pienemmän vaakarivin ja laskettua  $S_{rel}$ :n arvoa itseisarvoltaan suuremman pystyrivin kohdalta,
- (6) lasketaan  $\lambda_{fz}$  ja  $\chi$  käyttämällä edellisessä kohdassa esitetyn nurjahduspituuden mukaan,
- (7) tarkistetaan vapaan laipan stabiilisuus yhtälöstä (27).

Imukuormitetun rakenteen nurjahduspituus on reunakentässä pidempi kuin keskikentässä.

Kerroin  $\gamma$  on

$$\gamma = \frac{K \cdot L^4}{\pi \cdot E \cdot I_{fz}} \quad (28)$$

Jännityssuhde kentässä on

$$S_{rel} = \frac{W_{eff,y} \cdot |N_{sd}|}{A_{eff} \cdot |M_{y,sd}|} \quad (29)$$

missä  $M_{y,sd}$  on momentin mitoitusarvo kentässä, kun limitysten vaikutus taivutusmomentin arvoon otetaan huomioon.

Muussa tapauksessa, esimerkiksi kun vapaa laippa on tuettu kiepahdusta vastaan, lasketaan nurjahduspituus standardin CEN ENV 1993-1-3 (1996) mukaan.

Nurjahduspituuden ja tukivälin suhde  $L_f/L$  yhdistetyssä puristuksessa ja taivutuksessa.

**Taulukko 1.** Vapaasti tuetun kevytorren nurjahduspituuden ja tukivälin suhde  $L_f/L$  yhdistetyssä puristuksessa ja imukuormituksessa (arvot VTT/Kolari).

|          | $S_{rel} = \frac{\sigma_{x,N}}{\sigma_{xm,M}}$ |       |       |       |       |       |
|----------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\gamma$ | 0.000  | 0.050 | 0.100 | 0.150 | 0.200 | 0.250 |
| 0.0      | 0.694  | 0.711 | 0.725 | 0.739 | 0.751 | 0.762 |
| 0.5      | 0.573  | 0.585 | 0.597 | 0.607 | 0.616 | 0.625 |
| 1.0      | 0.502  | 0.512 | 0.521 | 0.529 | 0.537 | 0.544 |
| 1.5      | 0.454  | 0.462 | 0.470 | 0.477 | 0.484 | 0.490 |
| 2.0      | 0.420  | 0.427 | 0.433 | 0.439 | 0.445 | 0.450 |
| 2.5      | 0.394  | 0.400 | 0.405 | 0.411 | 0.415 | 0.420 |
| 3.0      | 0.374  | 0.379 | 0.384 | 0.388 | 0.392 | 0.396 |
| 3.5      | 0.365  | 0.369 | 0.373 | 0.376 | 0.379 | 0.382 |
| 4.0      | 0.361  | 0.365 | 0.368 | 0.372 | 0.375 | 0.378 |
| 4.5      | 0.357  | 0.361 | 0.364 | 0.367 | 0.371 | 0.373 |
| 5.0      | 0.353  | 0.357 | 0.360 | 0.363 | 0.366 | 0.369 |
| 6.0      | 0.345  | 0.349 | 0.352 | 0.355 | 0.358 | 0.361 |
| 7.0      | 0.338  | 0.342 | 0.345 | 0.348 | 0.351 | 0.353 |
| 8.0      | 0.332  | 0.335 | 0.338 | 0.341 | 0.344 | 0.346 |
| 9.0      | 0.326  | 0.329 | 0.332 | 0.335 | 0.337 | 0.340 |
| 10.0     | 0.320  | 0.323 | 0.326 | 0.329 | 0.331 | 0.333 |
| 12.0     | 0.309  | 0.312 | 0.315 | 0.317 | 0.320 | 0.322 |
| 14.0     | 0.300  | 0.303 | 0.305 | 0.308 | 0.310 | 0.312 |
| 16.0     | 0.292  | 0.294 | 0.296 | 0.299 | 0.301 | 0.303 |
| 18.0     | 0.284  | 0.286 | 0.289 | 0.291 | 0.292 | 0.294 |
| 20.0     | 0.277  | 0.279 | 0.281 | 0.283 | 0.285 | 0.287 |
| 22.5     | 0.270  | 0.272 | 0.273 | 0.275 | 0.277 | 0.278 |
| 25.0     | 0.263  | 0.265 | 0.266 | 0.268 | 0.269 | 0.271 |
| 27.5     | 0.257  | 0.258 | 0.260 | 0.261 | 0.263 | 0.264 |
| 30.0     | 0.251  | 0.253 | 0.254 | 0.255 | 0.256 | 0.258 |
| 32.5     | 0.246  | 0.247 | 0.249 | 0.250 | 0.251 | 0.252 |
| 35.0     | 0.241  | 0.243 | 0.244 | 0.245 | 0.246 | 0.247 |
| 37.5     | 0.237  | 0.238 | 0.239 | 0.240 | 0.241 | 0.242 |
| 40.0     | 0.234  | 0.235 | 0.236 | 0.237 | 0.239 | 0.240 |
| 45.0     | 0.229  | 0.230 | 0.232 | 0.233 | 0.234 | 0.235 |
| 50.0     | 0.225  | 0.226 | 0.227 | 0.229 | 0.230 | 0.231 |
| 55.0     | 0.221  | 0.222 | 0.223 | 0.224 | 0.226 | 0.227 |
| 60.0     | 0.217  | 0.218 | 0.220 | 0.221 | 0.222 | 0.223 |

$\sigma_{x,N}$  on normaalivoiman aiheuttama jännitys ja  $\sigma_{xm,M}$  on momentin aiheuttama jännitys tarkastelukohdassa. Kertoimen  $\gamma$  kanssa samalla vaakarivillä on jännityssuhteen  $S_{rel}$  arvot ja nurjahduspituus suhteen on esitetty jännityssuhteen  $S_{rel}$  mukaan pystysuunnassa  $\gamma$ :n funktiona.



**Taulukko 2.** Kaksiaukkoisen kevytorren nurjahduspituuden ja tukivälin suhde  $L_{fz}/L$  yhdistetyssä puristuksessa ja imukuormituksessa (arvot VTT/Kolari).

|          | $S_{rel} = \frac{\sigma_{x,N}}{\sigma_{xm,M}}$ |       |       |       |       |       |
|----------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\gamma$ | 0.000  | 0.050 | 0.100 | 0.150 | 0.200 | 0.250 |
| 0.0      | 0.471  | 0.487 | 0.503 | 0.519 | 0.534 | 0.549 |
| 0.5      | 0.431  | 0.442 | 0.454 | 0.464 | 0.475 | 0.484 |
| 1.0      | 0.405  | 0.414 | 0.422 | 0.431 | 0.439 | 0.446 |
| 1.5      | 0.385  | 0.393 | 0.401 | 0.407 | 0.414 | 0.420 |
| 2.0      | 0.371  | 0.378 | 0.384 | 0.390 | 0.395 | 0.400 |
| 2.5      | 0.359  | 0.365 | 0.371 | 0.376 | 0.381 | 0.386 |
| 3.0      | 0.349  | 0.355 | 0.360 | 0.365 | 0.370 | 0.374 |
| 3.5      | 0.341  | 0.346 | 0.351 | 0.356 | 0.360 | 0.364 |
| 4.0      | 0.334  | 0.339 | 0.344 | 0.348 | 0.352 | 0.356 |
| 4.5      | 0.328  | 0.333 | 0.337 | 0.341 | 0.345 | 0.349 |
| 5.0      | 0.323  | 0.327 | 0.331 | 0.335 | 0.339 | 0.343 |
| 6.0      | 0.313  | 0.318 | 0.322 | 0.326 | 0.329 | 0.332 |
| 7.0      | 0.306  | 0.310 | 0.314 | 0.317 | 0.321 | 0.324 |
| 8.0      | 0.299  | 0.303 | 0.307 | 0.310 | 0.314 | 0.317 |
| 9.0      | 0.294  | 0.297 | 0.301 | 0.304 | 0.307 | 0.310 |
| 10.0     | 0.289  | 0.292 | 0.296 | 0.299 | 0.302 | 0.305 |
| 12.0     | 0.280  | 0.284 | 0.287 | 0.290 | 0.292 | 0.295 |
| 14.0     | 0.273  | 0.276 | 0.279 | 0.282 | 0.284 | 0.287 |
| 16.0     | 0.267  | 0.270 | 0.273 | 0.275 | 0.278 | 0.280 |
| 18.0     | 0.261  | 0.264 | 0.267 | 0.269 | 0.271 | 0.274 |
| 20.0     | 0.256  | 0.259 | 0.262 | 0.264 | 0.266 | 0.268 |
| 22.5     | 0.251  | 0.253 | 0.256 | 0.258 | 0.260 | 0.262 |
| 25.0     | 0.246  | 0.248 | 0.251 | 0.253 | 0.254 | 0.256 |
| 27.5     | 0.242  | 0.244 | 0.246 | 0.248 | 0.250 | 0.251 |
| 30.0     | 0.238  | 0.240 | 0.242 | 0.243 | 0.245 | 0.247 |
| 32.5     | 0.234  | 0.236 | 0.238 | 0.239 | 0.241 | 0.243 |
| 35.0     | 0.230  | 0.232 | 0.234 | 0.236 | 0.237 | 0.239 |
| 37.5     | 0.227  | 0.229 | 0.231 | 0.233 | 0.234 | 0.235 |
| 40.0     | 0.224  | 0.226 | 0.228 | 0.229 | 0.231 | 0.232 |
| 45.0     | 0.219  | 0.221 | 0.222 | 0.224 | 0.225 | 0.226 |
| 50.0     | 0.214  | 0.216 | 0.218 | 0.219 | 0.220 | 0.221 |
| 55.0     | 0.210  | 0.212 | 0.213 | 0.215 | 0.216 | 0.217 |
| 60.0     | 0.207  | 0.208 | 0.209 | 0.211 | 0.212 | 0.213 |

$\sigma_{x,N}$  on normaalivoiman aiheuttama jännitys ja  $\sigma_{xm,M}$  on momentin aiheuttama jännitys tarkastelukohdassa. Kertoimen  $\gamma$  kanssa samalla vaakarivillä on jännityssuhteen  $S_{rel}$  arvot ja nurjahduspituus suhteen on esitetty jännityssuhteen  $S_{rel}$  mukaan pystysuunnassa  $\gamma$ :n funktiona.

**Taulukko 3.** Kolmiaukkoisen kevytorren nurjahduspituuden ja tukivälin suhde  $L_{fz}/L$  yhdistetyssä puristuksessa ja imukuormituksessa (reunakenttä) (arvot VTT/Kolari).

|          | $S_{rel} = \frac{\sigma_{x,N}}{\sigma_{xm,M}}$ |       |       |       |       |       |
|----------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\gamma$ | 0.000  | 0.050 | 0.100 | 0.150 | 0.200 | 0.250 |
| 0.0      | 0.543  | 0.564 | 0.583 | 0.601 | 0.618 | 0.634 |
| 0.5      | 0.473  | 0.487 | 0.500 | 0.512 | 0.524 | 0.535 |
| 1.0      | 0.433  | 0.443 | 0.452 | 0.461 | 0.470 | 0.478 |
| 1.5      | 0.406  | 0.414 | 0.421 | 0.428 | 0.435 | 0.441 |
| 2.0      | 0.387  | 0.393 | 0.399 | 0.405 | 0.410 | 0.415 |
| 2.5      | 0.372  | 0.378 | 0.383 | 0.388 | 0.393 | 0.397 |
| 3.0      | 0.361  | 0.366 | 0.371 | 0.375 | 0.379 | 0.383 |
| 3.5      | 0.352  | 0.356 | 0.361 | 0.365 | 0.369 | 0.372 |
| 4.0      | 0.344  | 0.349 | 0.353 | 0.357 | 0.361 | 0.364 |
| 4.5      | 0.338  | 0.342 | 0.346 | 0.350 | 0.354 | 0.357 |
| 5.0      | 0.332  | 0.337 | 0.341 | 0.344 | 0.348 | 0.351 |
| 6.0      | 0.323  | 0.327 | 0.331 | 0.335 | 0.338 | 0.341 |
| 7.0      | 0.316  | 0.320 | 0.324 | 0.327 | 0.330 | 0.333 |
| 8.0      | 0.309  | 0.313 | 0.317 | 0.320 | 0.323 | 0.326 |
| 9.0      | 0.304  | 0.307 | 0.311 | 0.314 | 0.317 | 0.320 |
| 10.0     | 0.299  | 0.302 | 0.305 | 0.309 | 0.311 | 0.314 |
| 12.0     | 0.290  | 0.293 | 0.296 | 0.299 | 0.301 | 0.304 |
| 14.0     | 0.282  | 0.285 | 0.288 | 0.290 | 0.293 | 0.295 |
| 16.0     | 0.275  | 0.278 | 0.280 | 0.283 | 0.285 | 0.287 |
| 18.0     | 0.269  | 0.272 | 0.274 | 0.276 | 0.278 | 0.280 |
| 20.0     | 0.264  | 0.266 | 0.268 | 0.270 | 0.272 | 0.274 |
| 22.5     | 0.257  | 0.260 | 0.262 | 0.264 | 0.266 | 0.267 |
| 25.0     | 0.252  | 0.254 | 0.256 | 0.258 | 0.260 | 0.261 |
| 27.5     | 0.247  | 0.249 | 0.251 | 0.253 | 0.254 | 0.256 |
| 30.0     | 0.243  | 0.245 | 0.246 | 0.248 | 0.249 | 0.251 |
| 32.5     | 0.239  | 0.241 | 0.242 | 0.244 | 0.245 | 0.246 |
| 35.0     | 0.235  | 0.237 | 0.238 | 0.240 | 0.241 | 0.242 |
| 37.5     | 0.232  | 0.233 | 0.235 | 0.236 | 0.238 | 0.239 |
| 40.0     | 0.229  | 0.230 | 0.232 | 0.233 | 0.234 | 0.236 |
| 45.0     | 0.223  | 0.225 | 0.226 | 0.227 | 0.228 | 0.230 |
| 50.0     | 0.218  | 0.220 | 0.221 | 0.222 | 0.223 | 0.225 |
| 55.0     | 0.214  | 0.215 | 0.217 | 0.218 | 0.219 | 0.220 |
| 60.0     | 0.210  | 0.212 | 0.213 | 0.214 | 0.215 | 0.216 |

$\sigma_{x,N}$  on normaalivoiman aiheuttama jännitys ja  $\sigma_{xm,M}$  on momentin aiheuttama jännitys tarkastelukohdassa. Kertoimen  $\gamma$  kanssa samalla vaakarivillä on jännityssuhteen  $S_{rel}$  arvot ja nurjahduspituus suhteen on esitetty jännityssuhteen  $S_{rel}$  mukaan pystysuunnassa  $\gamma$ :n funktiona.

**Taulukko 4.** Kolmiaukkoisen kevytorren nurjahduspituuden ja tukivälin suhde  $L_{fz}/L$  yhdistetyssä puristuksessa ja imukuormituksessa (keskiaukko) (arvot VTT/Kolari).

|          | $S_{rel} = \frac{\sigma_{x,N}}{\sigma_{xm,M}}$ |       |       |       |       |       |
|----------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\gamma$ | 0.000  | 0.050 | 0.100 | 0.150 | 0.200 | 0.250 |
| 0.0      | 0.234  | 0.240 | 0.246 | 0.251 | 0.257 | 0.263 |
| 0.5      | 0.232  | 0.238 | 0.243 | 0.248 | 0.253 | 0.258 |
| 1.0      | 0.230  | 0.236 | 0.241 | 0.246 | 0.250 | 0.255 |
| 1.5      | 0.228  | 0.234 | 0.238 | 0.243 | 0.248 | 0.252 |
| 2.0      | 0.227  | 0.232 | 0.236 | 0.241 | 0.245 | 0.250 |
| 2.5      | 0.225  | 0.230 | 0.234 | 0.239 | 0.243 | 0.247 |
| 3.0      | 0.224  | 0.228 | 0.233 | 0.237 | 0.241 | 0.245 |
| 3.5      | 0.222  | 0.227 | 0.231 | 0.235 | 0.239 | 0.243 |
| 4.0      | 0.221  | 0.225 | 0.229 | 0.233 | 0.237 | 0.240 |
| 4.5      | 0.219  | 0.224 | 0.228 | 0.231 | 0.235 | 0.239 |
| 5.0      | 0.218  | 0.222 | 0.226 | 0.230 | 0.233 | 0.237 |
| 6.0      | 0.216  | 0.220 | 0.223 | 0.227 | 0.230 | 0.233 |
| 7.0      | 0.214  | 0.217 | 0.221 | 0.224 | 0.227 | 0.230 |
| 8.0      | 0.212  | 0.215 | 0.218 | 0.222 | 0.225 | 0.228 |
| 9.0      | 0.210  | 0.213 | 0.216 | 0.219 | 0.222 | 0.225 |
| 10.0     | 0.208  | 0.211 | 0.214 | 0.217 | 0.220 | 0.223 |
| 12.0     | 0.205  | 0.208 | 0.211 | 0.213 | 0.216 | 0.218 |
| 14.0     | 0.202  | 0.205 | 0.207 | 0.210 | 0.212 | 0.215 |
| 16.0     | 0.199  | 0.202 | 0.204 | 0.207 | 0.209 | 0.211 |
| 18.0     | 0.197  | 0.199 | 0.202 | 0.204 | 0.206 | 0.208 |
| 20.0     | 0.194  | 0.197 | 0.199 | 0.202 | 0.204 | 0.206 |
| 22.5     | 0.192  | 0.194 | 0.197 | 0.199 | 0.201 | 0.203 |
| 25.0     | 0.189  | 0.192 | 0.194 | 0.196 | 0.198 | 0.200 |
| 27.5     | 0.187  | 0.190 | 0.192 | 0.194 | 0.196 | 0.198 |
| 30.0     | 0.185  | 0.188 | 0.190 | 0.192 | 0.193 | 0.195 |
| 32.5     | 0.184  | 0.186 | 0.188 | 0.190 | 0.191 | 0.193 |
| 35.0     | 0.182  | 0.184 | 0.186 | 0.188 | 0.190 | 0.191 |
| 37.5     | 0.180  | 0.182 | 0.184 | 0.186 | 0.188 | 0.189 |
| 40.0     | 0.179  | 0.181 | 0.183 | 0.184 | 0.186 | 0.188 |
| 45.0     | 0.176  | 0.178 | 0.180 | 0.181 | 0.183 | 0.185 |
| 50.0     | 0.174  | 0.175 | 0.177 | 0.179 | 0.180 | 0.182 |
| 55.0     | 0.171  | 0.173 | 0.175 | 0.176 | 0.178 | 0.179 |
| 60.0     | 0.169  | 0.171 | 0.173 | 0.174 | 0.176 | 0.177 |

$\sigma_{x,N}$  on normaalivoiman aiheuttama jännitys ja  $\sigma_{xm,M}$  on momentin aiheuttama jännitys tarkastelukohdassa. Kertoimen  $\gamma$  kanssa samalla vaakarivillä on jännityssuhteen  $S_{rel}$  arvot ja nurjahduspituus suhteen on esitetty jännityssuhteen  $S_{rel}$  mukaan pystysuunnassa  $\gamma$ :n funktiona.

### Laipoistaan alusrakenteeseen tuetut hattuorret

Vapaa laippa on kentässä puristettu ja sen stabiilisuus tarkistetaan ehdosta (27). Luku  $\gamma$  lasketaan kuten uumasta tuetuissa kevytorsissa käyttäen poikkileikkauksena hattuorren symmetriapuolikasta (kuva 8):

- (1) lasketaan  $k_h$ -kerroin ja jousivakio  $K$  kaavoista (30) ja (31),
- (2) lasketaan joustavalla alustalla olevan palkin jäyhyysmomentti  $I_{fz}$ , luku  $\gamma$  ja nurjahduskerroin  $\chi$ .

Vapaan laipan stabiilisuusehtoa käytettäessä poikkileikkausarvot  $W_{eff,y}$ ,  $A_{eff}$  ovat koko poikkileikkaukselle, mutta  $W_{fz}$  on puristuslaipan poikittaisen taivutuksen taivutusvastus ja poikittainen momentti lasketaan käyttäen kaavan (30) mukaista  $k_h$ -kerrointa. Kaavassa esitetty kerroin vastaa standardissa CEN ENV 1993-1-3 (1996) imukuormite-tuille Z-orsille esitettyä kerrointa, kun kuorman  $q$  oletetaan vaikuttavan samalla linjalla kuin missä orren vääntökeskiö sijaitsee ja koska muotolevyyn tuetun laipan leveys on likimain kaksinkertainen verrattuna alalaippojen leveyteen. hattuorsien  $k_h$ -kerroin on imukuormituksen tapauksessa

$$k_h = \frac{b^2 \cdot H \cdot t}{4 \cdot I_u} \quad (30)$$

missä

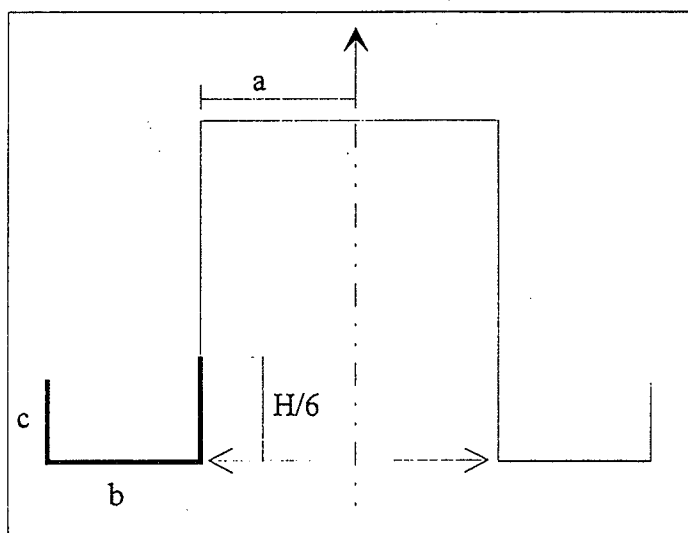
- $b$  = tukemattoman alalaipan leveys,
- $H$  = uuman korkeus,
- $t$  = laskentapaksuus,
- $I_u$  = bruttopoikkileikkauksen jäyhyysmomentti.

Jousivakio  $K$  lasketaan standardin CEN ENV 1993-1-3 (1996) mukaisesti

$$\frac{1}{K} = \frac{4 \cdot (1 - \nu^2) \cdot H^2 \cdot (H + a)}{E \cdot t^3} + \frac{H^2}{C_D} \quad (31)$$

missä

- $\nu, E$  = 0,3, 210 000 N/mm<sup>2</sup>,
- $H$  = uuman korkeus,
- $a$  = puolet tuetun laipan leveydestä (ruuvi laipan keskellä),
- $C_D$  = rotaatiojousivakio, joka kuvaa orren ja muotolevyn välisen liitoksen joustoa, arvo lasketaan CEN ENV 1993-1-3 (1996) taulukosta 10.3.



Kuva 8. Imukuormitettu hattuorri.

### 3.6 Taipuma

Sallittu raja on  $L/180$ , missä  $L$  on jänteen pituus. Taipuma lasketaan olettaen rakenne tasajäykäksi palkiksi, jonka jäyhyysmomentti on kentän  $I_{eff,y}$ . Limityksen tai jatkoksen vaikutusta taipumaan ei oteta huomioon.

### 3.7 Jännitysten laskeminen välituella vapaan laipan ollessa puristettu

#### 3.7.1 Uumastaan tuetut kevytorret

Tarkastelu tehdään käyttörajatilassa. Nurjahduspituus lasketaan standardissa CEN ENV 1993-1-3 (1996) esitetyllä tavalla tai otetaan tämän kappaleen taulukoista, kun tukiväli  $L$  on vakio ja tasainen kuormitus  $q$  on jokaisessa jänteessä. Tarkastelun kulku on silloin seuraava:

- (1) lasketaan ensin vapaan laipan jäyhyysmomentti  $I_{fz}$ , jousivakio  $K$  (CEN ENV 1993-1-3 (1996) kohta 10.1.5) ja kerroin  $\gamma$  kaavasta (28),
- (2) lasketaan kaksiaukkoisessa rakenteessa kentän jännityssuhde  $S_{rel}$  kaavasta (32) ja otetaan nurjahduspituussuhde  $L_{fz}/L$  taulukosta 5,
- (3) lasketaan kolmiaukkoisessa rakenteessa sekä reunakentän että keskikentän jännityssuhde  $S_{rel}$  sekä reunakentässä että keskiaukossa kaavasta (32) ja otetaan nurjahduspituudet taulukoista 6 ja 7,
- (4) taulukkoarvoja ei tarvitse interpoloida, nurjahduspituussuhde otetaan valisemalla laskettua  $\gamma$ :n arvoa pienemmän vaakarivin ja laskettua  $S_{rel}$ :n arvoa itseisarvoltaan suuremman pystyrivin kohdalta,
- (5) lasketaan  $\lambda_{fz}$  ja  $\chi$  käyttämällä edellisessä kohdassa esitetyn nurjahduspituuden mukaan,
- (6) tarkistetaan vapaan laipan jännitykset yhtälöstä (33).

Painekuormituksen tapauksessa nurjahduspituus on pidempi keskiaukossa.

Jännityssuhde välituella käyttörajatilassa

$$S_{rel} = \frac{W_{eff,y} \cdot |N|}{A_{eff} \cdot |M_y|} \quad (32)$$

Tarkistus tehdään soveltaen standardin CEN ENV 1993-1-3 (1996) kohdan 10.1.4.2 kaavaa (10.7) eli poikittaisen taivutuksen osuus on jätetty pois jännitystarkastelusta

$$\frac{1}{\chi} \cdot \left( \frac{M_y}{W_{eff,y}} + \frac{N}{A_{eff}} \right) \leq \frac{f_y}{\gamma_{M,ser}} \quad (33)$$

missä

- $\chi$  = nurjahduserroin tukemattomalle laipalle,  
 $M_y, N$  = taivutusmomentti ja normaalivoima tarkasteltavassa kohdassa,  
 $\gamma_{M,ser}$  = varmuuserroin käyttörajatilassa, 1.0.

Nurjahduspituuden ja tukivälin suhde  $L_f/L$  yhdistetyssä puristuksessa ja taivutuksessa.

**Taulukko 5.** Kaksiaukkoisen kevytorren nurjahduspituuden ja tukivälin suhde  $L_f/L$  yhdistetyssä puristuksessa ja painekuormituksessa (arvot VTT/Kolari).

|          | $S_{rel} = \frac{\sigma_{x,N}}{\sigma_{xm,M}}$ |       |       |       |       |       |
|----------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\gamma$ | 0.000  | 0.050 | 0.100 | 0.150 | 0.200 | 0.250 |
| 0.0      | 0.414  | 0.440 | 0.465 | 0.489 | 0.512 | 0.534 |
| 0.5      | 0.373  | 0.391 | 0.408 | 0.425 | 0.440 | 0.455 |
| 1.0      | 0.347  | 0.361 | 0.374 | 0.387 | 0.399 | 0.410 |
| 1.5      | 0.329  | 0.340 | 0.351 | 0.361 | 0.371 | 0.380 |
| 2.0      | 0.315  | 0.324 | 0.334 | 0.343 | 0.351 | 0.359 |
| 2.5      | 0.303  | 0.312 | 0.320 | 0.328 | 0.335 | 0.342 |
| 3.0      | 0.294  | 0.302 | 0.309 | 0.316 | 0.323 | 0.329 |
| 3.5      | 0.286  | 0.294 | 0.300 | 0.307 | 0.313 | 0.318 |
| 4.0      | 0.279  | 0.286 | 0.293 | 0.298 | 0.304 | 0.309 |
| 4.5      | 0.274  | 0.280 | 0.286 | 0.291 | 0.297 | 0.301 |
| 5.0      | 0.268  | 0.274 | 0.280 | 0.285 | 0.290 | 0.295 |
| 6.0      | 0.259  | 0.265 | 0.270 | 0.275 | 0.279 | 0.284 |
| 7.0      | 0.252  | 0.257 | 0.262 | 0.266 | 0.271 | 0.275 |
| 8.0      | 0.246  | 0.251 | 0.255 | 0.259 | 0.263 | 0.267 |
| 9.0      | 0.240  | 0.245 | 0.249 | 0.253 | 0.257 | 0.261 |
| 10.0     | 0.236  | 0.240 | 0.244 | 0.248 | 0.252 | 0.255 |
| 12.0     | 0.228  | 0.232 | 0.236 | 0.239 | 0.243 | 0.246 |
| 14.0     | 0.221  | 0.225 | 0.229 | 0.232 | 0.235 | 0.239 |
| 16.0     | 0.216  | 0.219 | 0.223 | 0.226 | 0.229 | 0.232 |
| 18.0     | 0.211  | 0.215 | 0.218 | 0.221 | 0.224 | 0.227 |
| 20.0     | 0.207  | 0.210 | 0.214 | 0.217 | 0.219 | 0.222 |
| 22.5     | 0.202  | 0.206 | 0.209 | 0.212 | 0.214 | 0.217 |
| 25.0     | 0.198  | 0.201 | 0.205 | 0.207 | 0.210 | 0.213 |
| 27.5     | 0.195  | 0.198 | 0.201 | 0.204 | 0.206 | 0.209 |
| 30.0     | 0.192  | 0.195 | 0.197 | 0.200 | 0.203 | 0.205 |
| 32.5     | 0.189  | 0.192 | 0.194 | 0.197 | 0.200 | 0.202 |
| 35.0     | 0.186  | 0.189 | 0.192 | 0.194 | 0.197 | 0.199 |
| 37.5     | 0.184  | 0.186 | 0.189 | 0.192 | 0.194 | 0.196 |
| 40.0     | 0.181  | 0.184 | 0.187 | 0.189 | 0.192 | 0.194 |
| 45.0     | 0.177  | 0.180 | 0.183 | 0.185 | 0.187 | 0.189 |
| 50.0     | 0.174  | 0.176 | 0.179 | 0.181 | 0.183 | 0.185 |
| 55.0     | 0.171  | 0.173 | 0.176 | 0.178 | 0.180 | 0.182 |
| 60.0     | 0.168  | 0.170 | 0.173 | 0.175 | 0.177 | 0.179 |

$\sigma_{x,N}$  on normaalivoiman aiheuttama jännitys ja  $\sigma_{xm,M}$  on momentin aiheuttama jännitys tarkastelukohdassa. Kertoimen  $\gamma$  kanssa samalla vaakarivillä on jännityssuhteen  $S_{rel}$  arvot ja nurjahduspituus suhteen on esitetty jännityssuhteen  $S_{rel}$  mukaan pystysuunnassa  $\gamma$ :n funktiona.

**Taulukko 6.** Kolmiaukkoisen kevytorren nurjahduspituuden ja tukivälin suhde  $L_{fz}/L$  yhdistetyssä puristuksessa ja painekuormituksessa (reunakenttä) (arvot VTT/Kolari).

|          | $S_{rel} = \frac{\sigma_{x,N}}{\sigma_{xm,M}}$ |       |       |       |       |       |
|----------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\gamma$ | 0.000  | 0.050 | 0.100 | 0.150 | 0.200 | 0.250 |
| 0.0      | 0.352  | 0.376 | 0.399 | 0.423 | 0.446 | 0.469 |
| 0.5      | 0.327  | 0.344 | 0.361 | 0.377 | 0.393 | 0.409 |
| 1.0      | 0.309  | 0.323 | 0.336 | 0.349 | 0.362 | 0.374 |
| 1.5      | 0.296  | 0.308 | 0.319 | 0.330 | 0.340 | 0.350 |
| 2.0      | 0.285  | 0.296 | 0.305 | 0.315 | 0.324 | 0.332 |
| 2.5      | 0.277  | 0.286 | 0.295 | 0.303 | 0.311 | 0.318 |
| 3.0      | 0.269  | 0.278 | 0.286 | 0.293 | 0.300 | 0.307 |
| 3.5      | 0.263  | 0.271 | 0.278 | 0.285 | 0.292 | 0.298 |
| 4.0      | 0.258  | 0.265 | 0.272 | 0.278 | 0.284 | 0.290 |
| 4.5      | 0.253  | 0.260 | 0.266 | 0.272 | 0.278 | 0.283 |
| 5.0      | 0.248  | 0.255 | 0.261 | 0.267 | 0.272 | 0.277 |
| 6.0      | 0.241  | 0.247 | 0.252 | 0.258 | 0.263 | 0.267 |
| 7.0      | 0.235  | 0.240 | 0.245 | 0.250 | 0.255 | 0.259 |
| 8.0      | 0.229  | 0.234 | 0.239 | 0.244 | 0.248 | 0.252 |
| 9.0      | 0.225  | 0.229 | 0.234 | 0.238 | 0.242 | 0.246 |
| 10.0     | 0.220  | 0.225 | 0.229 | 0.234 | 0.237 | 0.241 |
| 12.0     | 0.213  | 0.218 | 0.222 | 0.226 | 0.229 | 0.233 |
| 14.0     | 0.207  | 0.212 | 0.215 | 0.219 | 0.222 | 0.226 |
| 16.0     | 0.202  | 0.206 | 0.210 | 0.214 | 0.217 | 0.220 |
| 18.0     | 0.198  | 0.202 | 0.205 | 0.209 | 0.212 | 0.215 |
| 20.0     | 0.194  | 0.198 | 0.201 | 0.205 | 0.208 | 0.211 |
| 22.5     | 0.190  | 0.194 | 0.197 | 0.200 | 0.203 | 0.206 |
| 25.0     | 0.187  | 0.190 | 0.193 | 0.196 | 0.199 | 0.202 |
| 27.5     | 0.183  | 0.187 | 0.190 | 0.193 | 0.195 | 0.198 |
| 30.0     | 0.181  | 0.184 | 0.187 | 0.190 | 0.192 | 0.195 |
| 32.5     | 0.178  | 0.181 | 0.184 | 0.187 | 0.189 | 0.192 |
| 35.0     | 0.176  | 0.179 | 0.181 | 0.184 | 0.187 | 0.189 |
| 37.5     | 0.173  | 0.176 | 0.179 | 0.182 | 0.184 | 0.187 |
| 40.0     | 0.171  | 0.174 | 0.177 | 0.180 | 0.182 | 0.184 |
| 45.0     | 0.168  | 0.170 | 0.173 | 0.176 | 0.178 | 0.180 |
| 50.0     | 0.164  | 0.167 | 0.170 | 0.172 | 0.174 | 0.177 |
| 55.0     | 0.162  | 0.164 | 0.167 | 0.169 | 0.171 | 0.173 |
| 60.0     | 0.159  | 0.162 | 0.164 | 0.166 | 0.168 | 0.170 |

$\sigma_{x,N}$  on normaalivoiman aiheuttama jännitys ja  $\sigma_{xm,M}$  on momentin aiheuttama jännitys tarkastelukohdassa. Kertoimen  $\gamma$  kanssa samalla vaakarivillä on jännityssuhteen  $S_{rel}$  arvot ja nurjahduspituus suhteen on esitetty jännityssuhteen  $S_{rel}$  mukaan pystysuunnassa  $\gamma$ :n funktiona.

**Taulukko 7.** Kolmiaukkoisen kevytorren nurjahduspituuden ja tukivälin suhde  $L_{tz}/L$  yhdistetyssä puristuksessa ja painekuormituksessa (keskiaukko) (arvot VTT/Kolari).

|          | $S_{rel} = \frac{\sigma_{x,N}}{\sigma_{xL,M}}$ |       |       |       |       |       |
|----------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\gamma$ | 0.000  | 0.050 | 0.100 | 0.150 | 0.200 | 0.250 |
| 0.0      | 0.669  | 0.702 | 0.733 | 0.762 | 0.790 | 0.816 |
| 0.5      | 0.554  | 0.581 | 0.606 | 0.630 | 0.653 | 0.674 |
| 1.0      | 0.487  | 0.509 | 0.531 | 0.551 | 0.571 | 0.590 |
| 1.5      | 0.442  | 0.461 | 0.480 | 0.498 | 0.516 | 0.532 |
| 2.0      | 0.409  | 0.426 | 0.443 | 0.459 | 0.475 | 0.490 |
| 2.5      | 0.383  | 0.399 | 0.415 | 0.429 | 0.444 | 0.458 |
| 3.0      | 0.363  | 0.378 | 0.392 | 0.406 | 0.419 | 0.432 |
| 3.5      | 0.347  | 0.360 | 0.374 | 0.386 | 0.399 | 0.411 |
| 4.0      | 0.333  | 0.346 | 0.358 | 0.370 | 0.382 | 0.393 |
| 4.5      | 0.321  | 0.333 | 0.345 | 0.356 | 0.367 | 0.378 |
| 5.0      | 0.311  | 0.323 | 0.334 | 0.344 | 0.355 | 0.365 |
| 6.0      | 0.294  | 0.305 | 0.315 | 0.325 | 0.335 | 0.344 |
| 7.0      | 0.281  | 0.291 | 0.301 | 0.310 | 0.319 | 0.327 |
| 8.0      | 0.270  | 0.280 | 0.289 | 0.298 | 0.306 | 0.314 |
| 9.0      | 0.262  | 0.270 | 0.279 | 0.287 | 0.296 | 0.304 |
| 10.0     | 0.254  | 0.263 | 0.271 | 0.279 | 0.287 | 0.295 |
| 12.0     | 0.242  | 0.250 | 0.258 | 0.266 | 0.273 | 0.280 |
| 14.0     | 0.232  | 0.240 | 0.248 | 0.255 | 0.263 | 0.270 |
| 16.0     | 0.225  | 0.233 | 0.240 | 0.247 | 0.255 | 0.262 |
| 18.0     | 0.219  | 0.226 | 0.234 | 0.241 | 0.248 | 0.255 |
| 20.0     | 0.213  | 0.221 | 0.228 | 0.235 | 0.242 | 0.249 |
| 22.5     | 0.208  | 0.215 | 0.222 | 0.229 | 0.237 | 0.243 |
| 25.0     | 0.203  | 0.210 | 0.218 | 0.225 | 0.232 | 0.238 |
| 27.5     | 0.199  | 0.206 | 0.213 | 0.220 | 0.227 | 0.234 |
| 30.0     | 0.195  | 0.203 | 0.210 | 0.217 | 0.224 | 0.230 |
| 32.5     | 0.192  | 0.199 | 0.206 | 0.213 | 0.220 | 0.227 |
| 35.0     | 0.189  | 0.196 | 0.203 | 0.210 | 0.217 | 0.224 |
| 37.5     | 0.187  | 0.194 | 0.201 | 0.208 | 0.214 | 0.221 |
| 40.0     | 0.184  | 0.191 | 0.198 | 0.205 | 0.212 | 0.219 |
| 45.0     | 0.180  | 0.187 | 0.194 | 0.201 | 0.207 | 0.214 |
| 50.0     | 0.176  | 0.183 | 0.190 | 0.197 | 0.203 | 0.210 |
| 55.0     | 0.173  | 0.180 | 0.187 | 0.193 | 0.200 | 0.206 |
| 60.0     | 0.170  | 0.177 | 0.183 | 0.190 | 0.196 | 0.203 |

$\sigma_{x,N}$  on normaalivoiman aiheuttama jännitys ja  $\sigma_{xM,M}$  on momentin aiheuttama jännitys tarkastelukohdassa. Kertoimen  $\gamma$  kanssa samalla vaakarivillä on jännityssuhteen  $S_{rel}$  arvot ja nurjahduspituus suhteen on esitetty jännityssuhteen  $S_{rel}$  mukaan pystysuunnassa  $\gamma$ :n funktiona.

### 3.7.2 Laipoistaan tuetut hattuorret

Jännitykset lasketaan käyttörajatilassa. Nurjahduspituus lasketaan joko standardissa CEN ENV 1993-1-3 (1996) esitetyllä tavalla tai nurjahduspituus lasketaan edellä esitetyistä taulukoista, kun



tukiväli  $L$  on vakio ja kaikissa aukoissa on tasainen kuormitus  $q$ . Luku  $\gamma$  lasketaan kaavasta (28) kuten edellä on esitetty uumastaan tuetujen kevytorsien tapauksessa niin, että

- (1) poikkileikkauksena tarkastellaan hattuorren symmetriapuolikasta (kuva 8),
- (2) lasketaan  $k_h$ -kerroin kaavasta (30) ja kuorman oletetaan vaikuttavan koko laipan leveydeltä, jolloin resultantti on tuetun laipan keskilinjalla
- (3) jousivakio  $K$  lasketaan kaavasta (34),
- (4) lasketaan kimmoisalla alustalla olevan palkin jäyhyysmomentti  $I_{fz}$ , kerroin  $\gamma$  kaavasta (28),
- (5) lasketaan nurjahduskerroin  $\chi$  ja tarkistetaan nurjahtamattomuus yhtälön (33) ehtoa käyttäen.

Jousivakio  $K$  lasketaan standardissa CEN ENV 1993-1-3 (1996) esitetyllä tavalla

$$\frac{1}{K} = \frac{4 \cdot (1 - \nu^2) \cdot H^2 \cdot (H + 2 \cdot B)}{E \cdot t^3} + \frac{H^2}{C_D} \quad (34)$$

missä

$$\nu = 0.3,$$

$$H = \text{uuman korkeus},$$

$$B = \text{tuetun laipan leveys (ruuvi laipan keskellä),}$$

$$E = 210\,000 \text{ N/mm}^2,$$

$$C_D = \text{rotaatiojousivakio, joka kuvaa orren ja muotolevyn välisen liitoksen joustoa, arvo lasketaan CEN ENV 1993-1-3 (1996) taulukosta 10.3.}$$

### 3.8 Esimerkki kimmoteoriaan perustuvan menetelmän soveltamisesta

Tarkastellaan samaa tapausta kuin kohdan L1.2.11 esimerkissä ( $q = 3.5 \text{ kN/m}$ ;  $q_{sd} = 5.25 \text{ kN/m}$ ,  $N_{sd} = 10 \text{ kN}$ ,  $L = 4.5 \text{ m}$ , profiili Z250/2) Materiaalin varmuusluku  $\gamma_{M1}$  on 1.1.

Murtorajatilan leikkausvoiman ja vastaavan kestävyiden suhde on

$$\frac{V_{sd}}{V_{w,Rd}} = \frac{0.625 \cdot 5.25 \cdot 4.5}{37.7} = 0.39 < 0.5$$

joten leikkausvoiman vaikutus ei pienennä taivutuskestävyyttä ja orren taivutuskestävyys  $M_{C,Rd,v}$  välituella on  $13.9 \text{ kNm}$  ( $15.3/1.1$ ). Normaalivoiman ollessa nolla tuelle ei saa muodostua plastista niveltä. Murtorajatilan mitoitusmomentti on

$$M_{y,Sd} = \frac{q_{sd} \cdot L^2}{8} = \frac{5.25 \cdot 4.5^2}{8} = 13.3 \text{ kNm}$$

joka on pienempi kuin kestävyys  $M_{C,Rd,v}$ .

Tarkastellaan normaalivoiman vaikutusta kestävyteen. Myöskään normaalivoiman vaikuttaessa ei niveltä saa muodostua. Tätä varten tarkistetaan välituella, että seuraava ehto on voimassa:

$$\frac{M_{y,Sd}}{W_{eff,y}} + \frac{N_{sd}}{A_{eff}} \leq \frac{M_{C,Rd,v}}{\gamma_{M1} \cdot W_{eff,y}}$$

$$\frac{13300000}{43740} + \frac{10000}{412} \leq \frac{13900000}{43740}$$

$304 + 24 \leq 318$  ei ole tosi ja on valittava vahvempi profiili. Z250/2.5 toteuttaa ehdon. Lisäksi kentässä tämä profiili täyttää ehdon

$$\frac{M_{y,Sd}}{W_{eff,y}} + \frac{N_{sd}}{A_{eff}} \leq \frac{M_{C,Rd,v}}{\gamma_{M1} \cdot W_{eff,y}}$$

$$\frac{7480000}{44571} + \frac{10000}{412} \leq \frac{14180000}{44571}$$

$$168 + 24 \leq 318 \text{ on tosi.}$$

Tarkastellaan välituen jännityksiä käyttörajatilassa. Oletetaan, että Rannila45/0.7 on tuettu joka toisen poimun pohjasta, jolloin  $C_{100}$  on 2000 Nmm/mm (CEN ENV 1993-1-3 taulukko 10.3). Orren asennon perusteella jousivakioksi  $K$  on 0.00753 N/mm<sup>2</sup> ja vapaan laipan jäyhyysmomentti  $I_{fz}$  132400 mm<sup>2</sup>. Luku  $\gamma$  on silloin 35.3 ja jännityssuhde  $S_{rel}$  on 0.08 ( $N=6.67$  kN,  $M=8.9$  kNm,  $A_{eff}=412$  mm<sup>2</sup> ja  $W_{eff,y}$  43740 mm<sup>3</sup>). Taulukosta 5  $L_{fz}/L = 0.192$  ( $\gamma=35$  ja  $S_{rel}=0.01$ ) ja nurjahduskerroin  $\chi$  on 0.924. Jännityksien hyväksyttävyysehto on

$$\frac{1}{\chi} \left( \frac{M_y}{W_{eff,y}} + \frac{N}{A_{eff}} \right) \leq 0.9 \cdot f_y$$

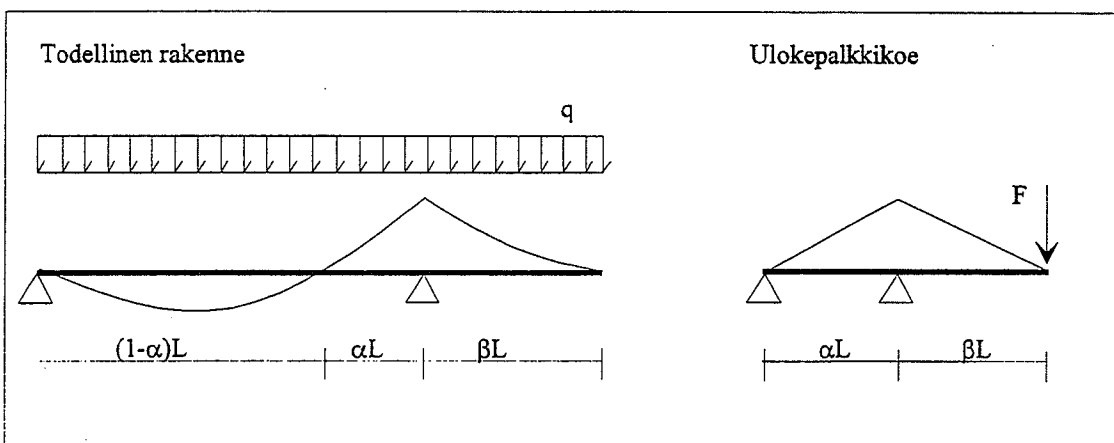
$$\frac{1}{0.924} \cdot (203.5 + 16.2) \leq 315 \text{ mikä on tosi.}$$

## 4 Ulokkeen mitoitus

### 4.1 Rakenteet

Kun kevytorssi toimii ulokkeena, esimerkiksi räystäällä, käytetään kokeisiin perustuvia tuotekohtaisia mitoitus tietoja.

Rakenteellisesti erotetaan kaksi tapausta: ulokkeen poikkileikkauksen vinoutuminen on joko estetty tai se voi tapahtua vapaasti. Vinoutuminen estetään yhdistämällä orsien tukemattomat laipat toisiinsa, esimerkiksi symmetrisellä L-profiililla, ja estämällä tämän siirtyminen muotolevyn suunnassa. Profiilin tulee olla jatkuva ja ne sidotaan harjalla toisiinsa tai vinoutumisen estävän profiilin tuenta järjestetään muutoin. Mitoitusarvojen soveltuvuusrajat määräytyvät kokeiden perusteella ja ne tulee esittää tuotekohtaisten kestävyysarvojen yhteydessä, kts. kohta L1.4.1.



Kuva 9. Ulokepalkkikoe.

### 4.2 Murtorajatila

Plastisen nivelen muodostumista ulokkeen tuelle ei sallita. Sitä varten tarkistetaan jännitykset uumastaan alusrakenteeseen kiinnitetyissä orsissa leikkausvoiman ja momentin yhteisvaikutus huomioon ottaen tai laipoistaan alusrakenteeseen kiinnitetyissä orsissa tukireaktion ja momentin yhteisvaikutus huomioon ottaen. Materiaalin varmuuslukuna  $\gamma_{M1}$  käytetään arvoa 1.1. Kohdassa L1.4.2 on esimerkki tuotekohtaisista parametreista.

## Viitekirjallisuus

- Anon., Ohutlevyrakenteiden kiinnitykset 1994, Teräsrakenneyhdistys, Helsinki, 1994
- Baehre, R., Tragfähigkeitsuntersuchungen an Kaltprofilpfetten, Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine (Amtliche Materialprüfungsanstalt), Karlsruhe, 1990
- CEN ENV 1993-1-3: General rules, Supplementary rules for cold formed thin walled thin gauge members and sheeting, CEN/TC250/SC3 (1996-04-24), 1996
- Heinisuo, M., Tuomala, M., Laine, M., Design approach of RR-purlins and its validation by tests, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennusstatiiikka, tutkimusraportti RST/51, Tampere, 1995
- Kolari, K., Helenius, A., Orsirakenteiden plastisuusteoreettinen tutkimus II, osaprojekti. Normaaliivoiman vaikutus mitoituksessa, VTT Rakennustekniikka tutkimusselostus R5SU00826, Espoo, 1996
- Kolari, K., Vapaan laipan stabiilius - yksiaukkoinen imukuormitettu rakenne - kolmiaukkoinen rakenteen keskiaukko, VTT Rakennustekniikka tutkimusselostus R6SU00901, Espoo, 1997
- Laine, M., Tuomala, M., Design approach of SFZ-purlins and its validation by tests, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennusstatiiikka, tutkimusraportti RST/52, Tampere, 1996
- Laine, M., Tuomala, M., Simplified design approach for RR-purlins, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennusstatiiikka, tutkimusraportti RST/53, Tampere, 1996
- Laine, M., Design approach of Hat-purlins and its validation by tests, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennusstatiiikka, tutkimusraportti RST/56, Tampere, 1997
- Laine, M., Double span test with unsymmetric loading and cantilever tests on RRZ-purlin, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennusstatiiikka, tutkimusraportti RST/57, Tampere, 1997
- Laine, M., Design of Steel Purlins Assisted by Testing, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennusstatiiikka, Raportti 21 (UDK 624.014.2), 69 s. + liitteet 20 s., Tampere, 1997
- prEN 10162 Cold rolled steel sections- Technical delivery conditions- Dimensional and cross-sectional tolerances
- prENV 1090-2 Execution of steel structures- Part 2: Supplementary rules for cold formed thin gauge members and sheeting
- Thomopoulos, K.T., Mistakidis, E.S., Koltsakis, E.K., Panagiotopoulos, P.D., Softening behaviour of continuous thin walled steel beams. Two numerical methods, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 36, No 1, s. 1-13, 1996

## LIITTEET

### Liite 1. Rannila Steel Oy:n valmistamat kevytorret

#### L1.1.1 Johdanto

##### L1.1.1.1 Soveltamisalue

Tätä normikorttia voidaan soveltaa jatkuvien, jatkettujen ja limitettyjen, kuva 1, kylmämuovattujen avopoikkileikkauksisten ohutseinäisten ( $t = 1.0 \dots 3.5$  mm) C-, Z-, zeta-, hattu- (Omega) ja sigma-orsien mitoituksessa, kun orsi on jatkuvasti tuettu ylälaipastaan muotolevyllä. Profiilit valmistetaan standardin EN 10147 mukaisesta ohutlevyrakenneteräksestä,  $f_y = 350$  N/mm<sup>2</sup> ja  $f_u = 420$  N/mm<sup>2</sup>.

Taulukossa 8 on esitetty tarkasteltavien orsien maksimi- ja minimiarvot sekä profiilin korkeudelle H että nimellispaksuudelle t. Taulukon 8 rajaamien kevytorsien osalta mitoitus voidaan tehdä kokeisiin perustuvalla plastisuusteorian mukaisella menetelmällä lukuunottamatta sigma-orsia, joille plastisia mitoitusparametrejä ei ole määritelty. Taulukossa 8 esitettyjen ääriarvojen lisäksi mikä tahansa materiaalipaksuus, joka on esitettyjen materiaalipaksuuksien välissä, on hyväksyttävä.

**Taulukko 8.** Tutkittujen kevytorsien profiilikorkeuden H ja nimellispaksuuden t minimi- ja maksimiarvot.

| Profiili | Profiilin korkeus [mm] | Materiaalipaksuus [mm] |
|----------|------------------------|------------------------|
| C tai Z  | 100-350                | 1.0-3.5                |
| sigma    | 150-300                | 1.5-3.0                |
| zeta     | 180-240                | 2.0-3.0                |
| hattu    | 100-250                | 1.0-2.5                |

##### L1.1.1.2 Rakennetyypit

Eri rakennetyypit esitellään kuvassa 1. Kunkin poikkileikkausmuodon osalta käytettävissä olevat rakennetyypit eritellään taulukossa 9.

**Taulukko 9.** Kevytorsien välituen rakennetyypit ( $t_{\text{sleeve}} =$  jatkoskappaleen nimellispaksuus,  $t =$  jatkettavien orsien nimellispaksuus).

| Orsityyppi | Jatkuva |       | Limitetty | Jatkettu                |                         |
|------------|---------|-------|-----------|-------------------------|-------------------------|
|            | Jatk.   | Jäyk. |           | $t = t_{\text{sleeve}}$ | $t < t_{\text{sleeve}}$ |
| C          | *       |       |           |                         |                         |
| Z          | *       |       | *         | *                       | *                       |
| zeta       | *       |       |           |                         | *                       |
| sigma      | *       |       |           |                         | *                       |
| hattu      | *       | *     |           |                         |                         |

(M,θ)-yhteys on määritetty jatkettulle Z-profiilille tapauksille  $t = t_{\text{sleeve}}$  ja  $t < t_{\text{sleeve}}$ , missä  $t_{\text{sleeve}}$  on jatkoskappaleen nimellispaksuus ja t on jatkettavien orsien nimellispaksuus. Tapaukselle  $t < t_{\text{sleeve}}$  jatkoskappaleen nimellispaksuus on 0.5 mm enemmän kuin jatkettavien orsien nimellispaksuus. Jatketavien ja limitettyjen orsien nimellispaksuus on välituella sama. Hattutorren lisäprofiilin nimellispaksuus on sama kuin välituella jatkuvan orren nimellispaksuus. Liitosten rakenteellinen suunnittelu tehdään käsikirjan Ohutlevyrakenteiden kiinnitykset 1994 (1994) mukaisesti sekä ottaen huomioon kappale L1.1 kokonaisuudessaan.

Välituen ja päätytuen tukireaktioiden erotuksen vaikutusta kehärakenteelle tulee vähentää porrastamalla vierekkäisten orsien päättymiskohdat siten, että vierekkäisille kehille tuleva tukireaktio olisi mahdollisimman tasainen.

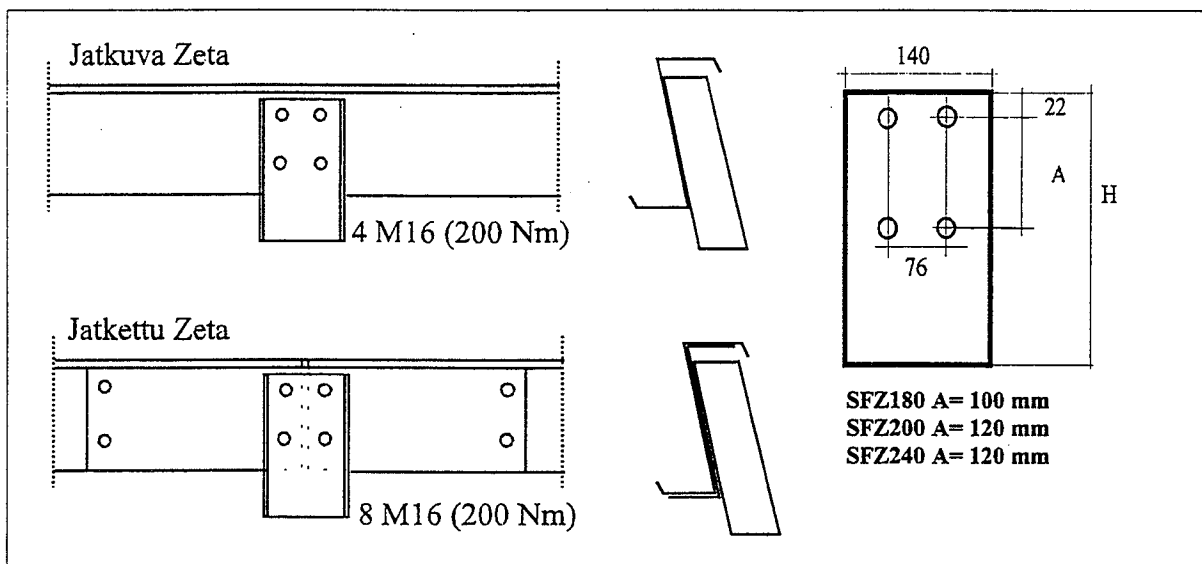
#### L1.1.1.3 Tuenta alusrakenteeseen

C-, Z- ja sigma-orsien osalta suositellaan käytettäväksi orren ja U-profiilin sekä orsien välisissä liitoksissa 6.3 mm poraruuvia (kierteittävä/porautuva), kun orren paksuus on enintään 2 mm. Muutoin käytetään kuusioruuvia M16 tai sigma-profiileille kuusioruuvia M12 (lujuusluokka 8.8), mikäli kuusioruuvi M16 ei ole työteknisistä syistä mahdollinen, katso kuva 11. Zeta-orsien osalta käytetään ainoastaan M16 kuusioruuveja. Hattutorren osalta kiinnittimien valinta tapahtuu alusrakenteen perusteella eli tapahtuuko kiinnitys putkiprofiiliin tai vastaavaan umpinaiseen poikkileikkaukseen vaiko I-profiiliin tai vastaavaan avonaiseen profiiliin.

C-, Z-, zeta- ja sigma-orret tuetaan uumastaan alusrakenteisiin käyttäen taulukon 10 mukaisia U-profiileita. U-profiili mitoitetaan tukireaktiolle ja kiinnittimet leikkaukselle. Esimerkki kiinnityksestä on esitetty kuvissa 10 ja 11. Hattutorret kiinnitetään laipoistaan suoraan alusrakenteeseen, kuva 12.

**Taulukko 10.** U-profiilit uumastaan tuetuille profiileille.

| Orsityyppi  | Profiilin korkeus enintään [mm] | U-profiili |
|-------------|---------------------------------|------------|
| C, Z, sigma | 200                             | U- 80*40*4 |
|             | 300                             | U-120*60*4 |
|             | 350                             | U-160*60*6 |
| zeta        | 240                             | U-140*60*4 |



*Kuva 10.* Periaatekuva zeta-orsien kiinnittämisestä U-profiiliin sekä sleeve-jatkoksesta.

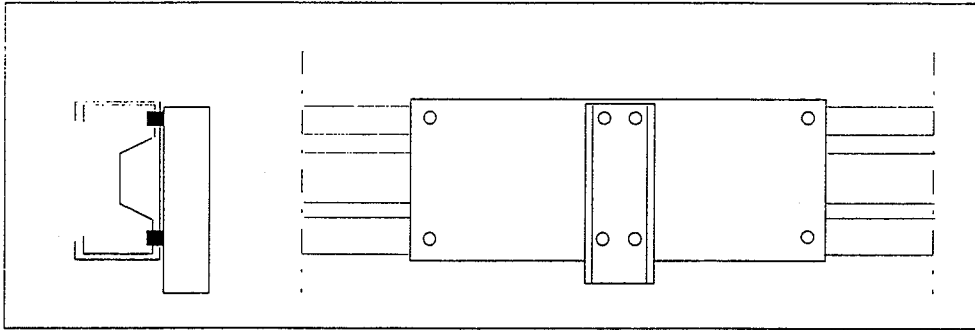
#### L1.1.1.4 Jatkospituus

Minimipituudet jatkoksille on esitetty taulukossa 11 eri orsityypeille. Jatkospituuksien minimiarvot määräytyvät kokeissa käytettyjen lityspituuksien perusteella. Jatkospituudella tarkoitetaan jatkoskappaleen pituutta. Kun kyseessä on uumastaan alusrakenteeseen tuettu orsi, C, Z, sigma tai zeta, orret kiinnitetään uumistaan lityksen päässä toisiinsa, kuvat 10 ja 11. Poraruuvien/kuusio-

ruuvien välinen etäisyys on jatkospituus miinus kaksi kertaa reunaetäisyys. Sigma-orren jatkos tehdään C-profiilla, kuva 11. C- ja sigma-profiilien välinen kiinnitys tuella ja limityksen päässä tehdään sigma-orren uuman ylä- ja alaosista, kuva 11. Zeta-orsien jatkoskappale sijoitetaan jatkettavien orsien ja U-profiilin väliin ("alapuolelle"), kuva 10.

**Taulukko 11.** Jatkoksien minimipituudet eri orsityypeille.

| Orsityyppi  | Jatkospituus (L= jänne)            |
|-------------|------------------------------------|
| C, Z, sigma | 0.28L (0.14L tuen molemmin puolin) |
| zeta        | 0.24L                              |



*Kuva 11.* Periaatekuva sleeve-jasketun sigma-profiilin kiinnittämistä U-profiiliin.

#### L1.1.1.5 Hattuorsien lisäprofiili

Lisäprofiilin poikkileikkausmuoto on valittu siten, että se mahtuu hattuorren sisäpuolelle, kuva 12. Hattuorta ja lisäprofiilia ei kiinnitetä toisiinsa kuin ainoastaan siinä kohtaa, missä orret kiinnitetään laippojensa läpi alusrakenteeseen. Välituen yli jatkuva profiili kantaa taivutusmomentin. Tukireaktiokestävyyden välituella muodostavat hattuorsi ja lisäprofiili yhdessä. Siihen kohtaan, missä jatkuva hattuorsi päättyy, asetetaan myös lisäprofiili, kuva 12. Kiinnitys tehdään jälleen ainoastaan laipoista, jolloin ko. kohta toimii nivelenä. Lisäprofiilin pituuden  $l$  on oltava vähintään yhtä suuri kuin suurin seuraavien kaavojen avulla saatu arvo, missä  $s_s$  on tukileveys ja  $H$  on profiilin korkeus:

$$l = 3 \cdot s_s$$

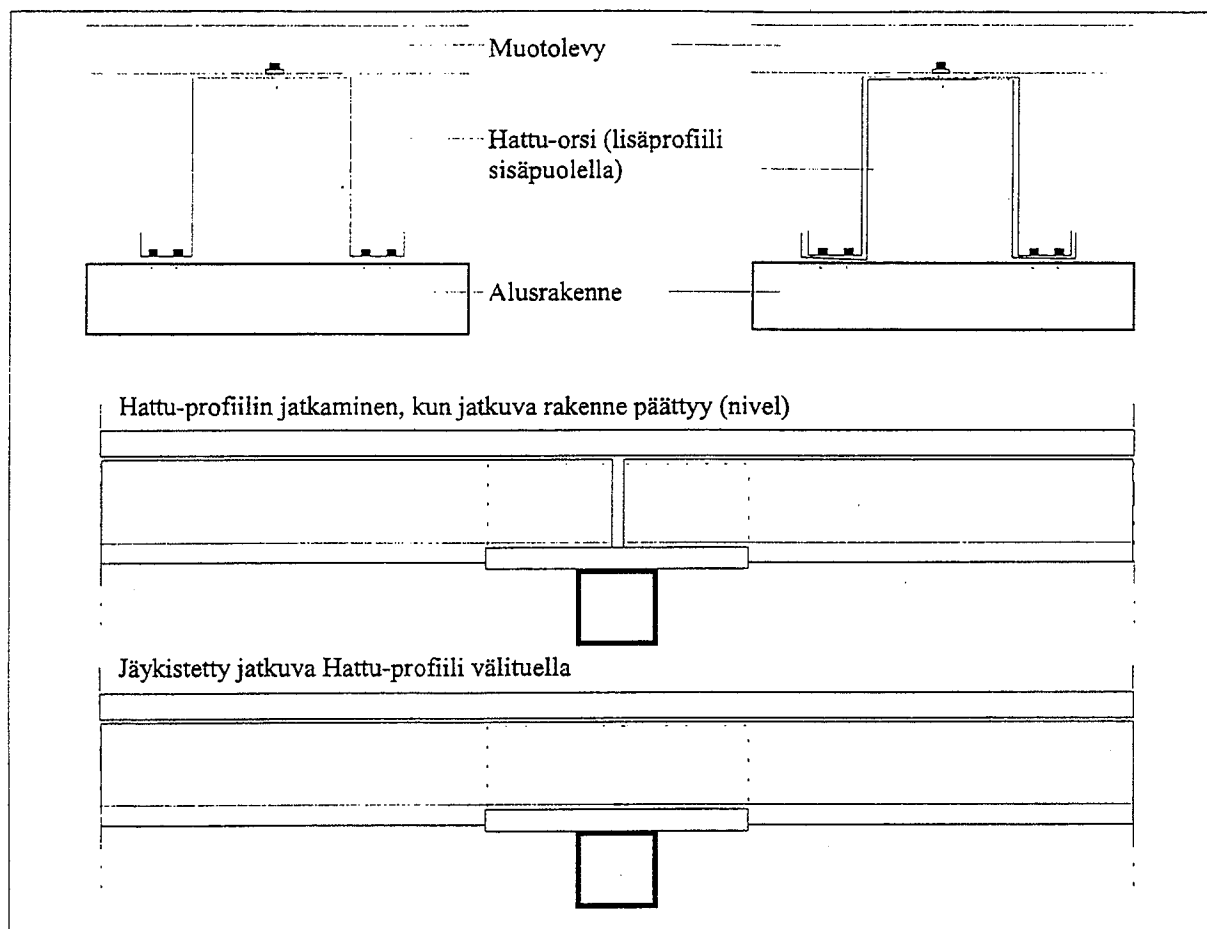
$$l = 2 \cdot H$$

#### L1.1.1.6 Orren ja muotolevyn välinen tuenta

Muotolevy kiinnitetään orteen käyttäen 5.5 mm poraruuveja, joissa on ulkotiloissa EPDM-tiivisteellinen aluslevy, jonka halkaisija on 16 mm. Kokeisiin perustuvassa plastisuusteorian mukaisessa mitoituksessa muotolevyn tulee olla Rannila45/0.7 tai jäykkyysominaisuuksiltaan vähintään vastaava. Ruuviväli orren ja muotolevyn välisessä liitoksessa on enintään 300 mm ja muotolevyt on kiinnitettävä toisiinsa vähintään 400 mm välein.

#### L1.1.1.7 Laskentapaksuus

Orsien laskentapaksuus on euronormin CEN ENV 1993-1-3 (1996) mukainen eli nimellispaksuudes-ta vähennetään sinkkikerrosten paksuus (sinkkikerros 0.02 mm molemmin puolin levyä). Esim. kun nimellispaksuus  $t = 2.0$ , silloin laskentapaksuus on 1.96 mm.



Kuva 12. Periaatekuva hattuorren kiinnittämisestä alusrakenteeseen.

### L1.1.2 Poikkileikkausarvot

C-, Z-, sigma- ja hattuorret ovat epäsymmetrisiä eli laippojen leveydet poikkeavat toisistaan, jolloin taivutusvastuksen suuruus riippuu siitä, kumpi laipoista on puristettu (kestävyydet välituella ja kentässä poikkeavat toisistaan). Hattuorsien osalta kestävyyksien ero on merkittävä. Mitoituksessa tarkasteltavassa kohdassa otetaan huomioon orren asento ja rasitustila.

Poikkileikkausarvoina käytetään valmistajan takaamia arvoja tai ne voidaan laskea tapauskohtaisesti valmistajan levytyksessä olevilla ohjelmilla: PROFBEAM tai ORSI, joista jälkimmäisellä voidaan tehdä koko kevytorsien mitoitus.

### L1.1.3 Uumastaan U-profililla alusrakenteeseen tuettujen kevytorsien leikkausvoiman ja momentin yhteisvaikutus

#### L1.1.3.1 Jatkuvat rakenteet

Yhteisvaikutusehdon reunakäyrällä tarkasteltavassa kohdassa syntyy plastinen nivel.

Leikkausvoiman ja momentin yhteisvaikutusfunktio on kuvan 13 mukainen, eli jos leikkausvoima  $V_{Sd}$  on alle puolet uuman leikkauskestävyydestä, silloin leikkausvoima ei vaikuta plastisen nivelen laukeamiseen. Mikäli leikkausvoima  $V_{Sd}$  on yhtä suuri kuin uuman leikkauskestävyys  $V_{w,Rd}$ , silloin uuman ei katsota osallistuvan momentin kantamiseen, vaan orren taivutuskestävyys on yhtä suuri kuin laippojen tehollinen taivutuskestävyys  $M_{f,Rd}$ . Leikkausvoiman vaikutuksesta pienentynyt taivutuskestävyys  $M_{C,Rd,V}$  lasketaan kaavoista

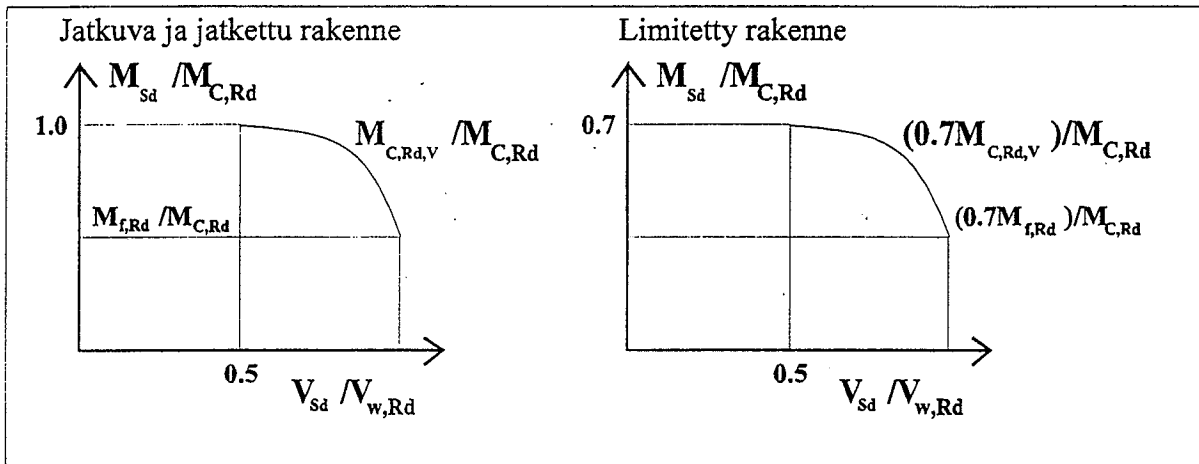
$$M_{C,Rd,V} = M_{C,Rd}, \text{ kun } V_{Sd}/V_{w,Rd} < 0.5 \quad (35)$$



$$M_{C,Rd,v} = M_{f,Rd} + (M_{C,Rd} - M_{f,Rd}) \cdot \left[ 1 - \left( \frac{2 \cdot V_{Sd}}{V_{w,Rd}} - 1 \right)^2 \right], \quad 0.5 < V_{Sd}/V_{w,Rd} < 1.0 \quad (36)$$

missä

- $V_{Sd}$  = tarkasteltavan kriteerin mukainen leikkausvoiman arvo ko. kohdassa,  
 $M_{f,Rd}$  = laippojen tehollinen taivutuskestävyys,  
 $M_{C,Rd}$  = poikkileikkauksen tehollinen taivutuskestävyys,  
 $V_{w,Rd}$  = uuman leikkauskestävyys.



Kuva 13. Taivutusmomentin ja leikkausvoiman yhteisvaikutusehto uumastaan tuetuille teräsorsille.

Kaavojen (35) ja (36) mukaista yhteisvaikutusfunktioita käytetään kokeisiin perustuvassa plastisuusteorian mukaisessa mitoituksessa käyttörajatilan tarkistuksessa välituella, jolloin tarkastelu tehdään käyttötilassa leikkausvoiman  $V$  ja uuman leikkauskestävyyden  $V_{w,Rd}$  suhteen avulla, kts. kohta L1.2.5, ja kimmoteorian mukaisessa mitoituksessa orren kestävyys tarkistuksessa välituella murtorajatilassa, kts. kohdat 3.3 ja L1.3.3.

#### L1.1.3.2 Tuen yli limittämällä jatkettut orret

Limittämällä jatkettun orren, overlap, taivutuskestävyys  $M_{C,Rd}$  tai vastaavasti leikkausvoiman vaikutuksesta pienentynyt taivutuskestävyys  $M_{C,Rd,v}$ , kuva 13, on kokeiden perusteella 70 % limitettyjen orsien taivutuskestävyyksien summasta, kun oletetaan, että limitettyjen orsien leikkauskestävyys  $V_{w,Rd}$  on limitettyjen osien leikkauskestävyyksien summa.

Lasketaan leikkausvoiman arvo limitetyille orsille erikseen kuvan 2 a) mukaisella laskentamallilla, missä limitysalueella palkkeja yhdistävät jäykät nivelöidyt vertikaalisauvat. Leikkausvoiman huomioon ottavan taivutuskestävyyden  $M_{C,Rd,v}$  arvo lasketaan orsille erikseen kertomalla kaavojen (35) ja (36) avulla saatu kestävyys luvulla 0.7. Leikkauskestävyytenä  $V_{w,Rd}$  käytetään tarkasteltavan orren kestävyyttä.

#### L1.1.3.3 Tukikappaleella jatkettut orret

Tukikappaleella jatkettun orren voimasuureiden ja kestävyysien vertailu tehdään käyttäen jatkoskappaleen voimasuureita ja kestävyysiksi  $M_{C,Rd}$ ,  $M_{C,Rd,v}$  ja  $V_{w,Rd}$ . Lasketaan leikkausvoiman arvo jatkettulle orrelle kuvan 2 b) mukaisella laskentamallilla, missä jatkosalueella palkkeja yhdistävät jäykät nivelöidyt vertikaalisauvat. Jatkoskappaleen taivutuskestävyyden  $M_{C,Rd,v}$  arvo lasketaan kaavoista (35) ja (36).

## L1.1.4 Tukireaktion ja momentin yhteisvaikutus

### L1.1.4.1 Jatkuvat hattuorret

Samoin kuin uumastaan tuettujen kevytorsien tapauksessa myös hattuorsien tapauksessa yhteisvaikutusfunktioita käytetään kokeisiin perustuvassa plastisuusteorian ja kimmoteorian mukaisissa mitoituksissa: plastisuusteorian mukaisessa mitoituksessa tarkistetaan jatkuvan rakenteen välituella, ettei plastinen nivel laukea käyttötilan kuormista, kts. kohta L1.2.6, ja kimmoteoriaan perustuvassa mitoituksessa tarkistetaan, ettei plastista niveltä synny jatkuvan rakenteen välituella murtorajatilan kuormilla, kts. kohdat 3.4 ja L1.3.4. Laipoistaan tuettujen teräsorsien toiminta poikkeaa uumasta tuetuista orsista siinä, että välituella orret on mitoittettava momentin ja tukireaktion yhteisvaikutukselle. Uumajäykisteettömien hattuorsien tukireaktiokestävyys välituella on suhteellisen alhainen. Kokeiden perusteella jatkuvien hattuorsien momentin ja tukireaktion yhteisvaikutusfunktiot ovat seuraavia:

$$R_{Sd} \leq R_{w,Rd} \quad (37)$$

$$M_{Sd} \leq M_{C,Rd} \quad (38)$$

$$\frac{M_{Sd}}{M_{C,Rd}} + \frac{R_{Sd}}{R_{w,Rd}} \leq 1,45 \quad (39)$$

missä  $R_{Sd}$  on tarkasteltavan kriteerin mukainen tukireaktio,  $M_{C,Rd}$  on orren taivutuskestävyys, kts. kohta 1.2.3, ja  $R_{w,Rd}$  on tukireaktiokestävyys, kts. kohta 1.2.5, tarkasteltavalla tuella.

### L1.1.4.2 Jäykistetyt jatkuvat hattuorret

Lisäprofiilin vaikutusta ei oteta huomioon taipuman ja voimasuureiden laskennassa. Kokeiden perusteella jäykistettyjen jatkuvien hattuorsien momentin ja tukireaktion yhteisvaikutusfunktiot ovat seuraavia:

$$R_{Sd} \leq R_{w,Rd} \quad (40)$$

$$M_{Sd} \leq M_{C,Rd} \quad (41)$$

$$\frac{M_{Sd}}{M_{C,Rd}} + \frac{R_{Sd}}{R_{w,Rd}} \leq 1,75 \quad (42)$$

missä  $R_{Sd}$  on tarkasteltavan kriteerin mukainen tukireaktio,  $M_{C,Rd}$  on orren taivutuskestävyys, kts. kohta 1.2.3, ja  $R_{w,Rd}$  on jatkuvan orren ja lisäprofiilin yhteenlaskettu tukireaktiokestävyys, kts. kohta 1.2.5, tarkasteltavalla tuella.

## L1.2 Plastisuusteorian mukainen mitoitusmenetelmä

### L1.2.2 Kokeisiin perustuvan $(M,\theta)$ -yhteyden käyttöön liittyvät rajoitukset

Mitoitettavan orren on oltava on taulukossa 1 ilmoitettujen poikkileikkausmittojen mukainen ja materiaalin myötölujuus on  $350 \text{ N/mm}^2$ . Orsien ylälaipat yhdistävä muotolevy on Rannila45/0.7 tai jäykkyyssominaisuuksiltaan vähintään vastaava (myötölujuus  $320 \text{ N/mm}^2$ ). Muotolevy kiinnitetään orsiin kohdan L1.1.1.6 mukaisesti. Jatkospituuden on oltava vähintään kohtien L1.1.1.4 ja L1.1.1.5 mukainen. Orret tuetaan uumastaan taulukon 10 mukaisilla U-profiileilla, lukuunottamatta hattuorsia, jotka kiinnitetään laipoistaan suoraan alusrakenteeseen. Kuormitukset lasketaan ottaen huomioon katon kaltevuus. Muotolevy on tuettava esimerkiksi katon harjalta muotolevyn suuntaisille kuormituksille.

Taivutusmomentin nollakohta saa olla enintään etäisyydellä  $0,35L$  välituelta ja välituella orren muotolevyyn tukemattoman laipan tulee olla puristettu. Nollakohtaehdon toteutuminen tarkastetaan

palkkimallilla, joka ottaa huomioon limityksen vaikutuksen sisäisten voimien laskennassa. Taivutusmomentin nollakohdan etäisyysehto tarkoittaa sitä, että esimerkiksi kuormitustilanteessa, missä lumikuormasta 50 % on kiinteää ja 50 % on muuttuvaa kuormitusta, 2-aukkoisen rakenne voidaan suunnitella käyttäen kokeisiin perustuvia  $(M, \theta)$ -yhteyksiä. Mitoitus tehdään jokaiselle kuormitusyhdistelylle erikseen.

### L1.2.3 Paine kuormitetun moniaukkoisen kevytorren tarkastelun kulku

#### L1.2.3.1 Uumastaan alusrakenteeseen tuettu moniaukkoisen kevytorren

Tarkastelun vaiheet jokaisessa kuormitusyhdistelmässä ovat:

- (1) lasketaan käyttörajatilan leikkausvoiman  $V$  ja uuman leikkauskestävyyden  $V_{w,Rd}$  suhde ja sitä vastaava tuotekohtainen leikkausvoiman vaikutuksesta alentunut taivutuskestävyys  $M_{C,Rd,V}$ , (kohta L1.1.3),
- (2) tarkistetaan, ettei välituella muodostu niveltä käyttörajatilassa (kohta L1.2.5),
- (3) tarkistetaan taipuman suuruus (kohta 2.7),
- (4) lasketaan  $(M, \theta)$ -yhteys taivutuskestävyyden  $M_{C,Rd,V}$  avulla (kohta L1.2.8),
- (5) käytetään murtorajatilatarkastelussa q ideaaliplastista mallia (kohta L1.2.9), lasketaan rajakuorma  $q_{uN}$  ja todetaan, että  $q_{uN} > q_{sd}$ . Lasketaan rajakuormaa vastaava  $\theta$  ja tarkistetaan, että  $\theta < \theta_{max}$  tai tarkistetaan laskentakuormitusta vastaavan momentin ja normaalivoiman yhteisvaikutuksen mitoitusehto kentässä ja että plastinen kiertymä jatkuvalla tuella on sallittua kiertymärajaa pienempi.

#### L1.2.3.2 Laipoistaan alusrakenteeseen tuettu moniaukkoisen kevytorren

Tarkastelun vaiheet jokaisessa kuormitusyhdistelmässä ovat:

- (1) lasketaan käyttörajatilan tukireaktion  $R$  ja tukireaktiokestävyyden  $R_{w,Rd}$  suhde ja sitä vastaava tukireaktion vaikutuksesta pienentynyt taivutuskestävyys  $M_{C,Rd,R}$  ja tarkistetaan, ettei käyttörajatilassa muodostu plastista niveltä (kohta L1.2.6),
- (2) tarkistetaan taipuman suuruus (kohta 2.7),
- (3) lasketaan taivutuskestävyyteen  $M_{C,Rd}$  perustuva  $(M, \theta)$ -yhteys. Tukireaktion vaikutusta ei oteta huomioon  $(M, \theta)$ -yhteyden laskennassa, kun kyseessä on jatkuva hattuorsi (kohta L1.2.8),
- (4) käytetään murtorajatilatarkastelussa ideaaliplastista mallia (kohta L1.2.9): lasketaan rajakuorma  $q_{uN}$  ja todetaan, että  $q_{uN} > q_{sd}$ . Lasketaan rajakuormaa vastaava  $\theta$  ja tarkistetaan, että  $\theta < \theta_{max}$ .

### L1.2.5 Uumasta tuettujen orsien tukimurron välttäminen

#### L1.2.5.1 Jatkuvan rakenteen välituki

Mitoituksessa tarkistetaan, ettei käyttörajatilassa orteen synny merkittäviä plastisia muodonmuutoksia välituella. Yhdistetystä leikkausvoima- ja taivutuskestävyydestä saadaan käyttää käyttörajatilassa 90 %. Varmuus käyttötilassa plastisen nivelen laukeamisen suhteen tarkistetaan, että puristetun alalaidan jännitys momentista ja normaalivoimasta on korkeintaan 90 % orren yhdistetystä leikkaus- ja momenttikestävyydestä

$$\frac{N}{A_{eff}} + \frac{M}{W_{eff,y}} \leq 0.9 \cdot \frac{M_{C,Rd,V}}{W_{eff,y}} \quad (43)$$

missä

$N, M$  = käyttörajatilan normaalivoima ja momentti,

$A_{\text{eff}}$  = poikkileikkauksen tehollinen pinta-ala keskeisessä puristuksessa,  
 $W_{\text{eff,y}}$  = tehollinen taivutusvastus y-akselin suhteen, kts. kohta 1.2.1,  
 $M_{\text{C,Rd,V}}$  = leikkausvoiman huomioiva taivutuskestävyys, kts. kohta L1.1.3.

Leikkausvoiman huomioiva taivutuskestävyys  $M_{\text{C,Rd,V}}$  lasketaan kaavoista (35) tai (36) käyttörajatilassa lasketun  $V/V_{\text{w,Rd}}$ -suhteen perusteella. Normaalisissa mitoitusolosuhteissa käyttörajatilassa leikkausvoiman  $V$  ja leikkauskestävyyden  $V_{\text{w,Rd}}$  suhde on alle 0.5, jolloin taivutuskestävyyden pienennystä ei tarvita.

#### L1.2.5.2 Limittämällä tuen yli jatkettu kevytorssi

Koska käyttörajatilassa välituella ei sallita plastista niveltä, jatkettujen ja limitettyjen orsien voimasuureet tulee laskea siten, että limityksen vaikutus voimasuureisiin tulee huomioiduksi, kuva 2.

Limitetylle orrelle  $M_{\text{C,Rd,V}}$  saadaan tarkastelemalla kumpaakin ortta erikseen. Tarkistetaan, että puristetun alalaipan jännitys käyttörajatilan momentista ja normaalivoimasta on korkeintaan 90 % orren leikkausvoiman huomioivasta jännityksestä

$$\frac{N}{A_{\text{eff}}} + \frac{M}{W_{\text{eff,y}}} \leq 0.9 \cdot \frac{0.7 \cdot M_{\text{C,Rd,V}}}{W_{\text{eff,y}}} \quad (44)$$

missä

$N, M$  = tarkasteltavan orren voimasuureet,  
 $A_{\text{eff}}$  = tarkasteltavan poikkileikkauksen tehollinen pinta-ala keskeisessä puristuksessa,  
 $W_{\text{eff,y}}$  = tarkasteltavan poikkileikkauksen tehollinen taivutusvastus,  
 $M_{\text{C,Rd,V}}$  = tarkasteltavan poikkileikkauksen taivutuskestävyys kaavoista (35) tai (36) käyttörajatilan kuormituksesta.

#### L1.2.5.3 Jatketun rakenteen välituki

Jatkettujen orsien tapauksessa tarkistetaan ehto (43) käyttäen laskennassa jatkoskappaleen voimasuureita ja poikkileikkausarvoja. Jatkoskappaleen taivutuskestävyys  $M_{\text{C,Rd,V}}$  saadaan tarkastelemalla orsia erikseen.

### L1.2.6 Hattuorsien tukimurron välttäminen

#### L1.2.6.1 Jatkuvan rakenteen välituki

Ehto tukimurrolle tarkistetaan käyttörajatilassa. Lasketaan tukireaktion  $R$  ja tukireaktiokestävyyden suhde, jonka pitää olla pienempi kuin yksi. Tämän jälkeen tukireaktion vaikutuksesta pienentynyt taivutuskestävyys  $M_{\text{C,Rd,R}}$  lasketaan ehdoista (45) ja (46). Taivutuskestävyys  $M_{\text{C,Rd,R}}$  on jatkuvalla hattuurille pienin seuraavista ehdoista saatava arvo

$$M_{\text{C,Rd,R}} \leq M_{\text{C,Rd}} \quad (45)$$

$$M_{\text{C,Rd,R}} = \left( 1.45 - \frac{R}{R_{\text{w,Rd}}} \right) \cdot M_{\text{C,Rd}} \quad (46)$$

Varmuus käyttötilassa plastisen nivelen laukeamisen suhteen tarkistetaan siten, että puristetun alalaipan jännitys momentista ja normaalivoimasta on korkeintaan 90 % orren yhdistetystä tukireaktio- ja momenttikestävyydestä

$$\frac{N}{A_{\text{eff}}} + \frac{M}{W_{\text{eff,y}}} \leq 0.9 \cdot \frac{M_{\text{C,Rd,R}}}{W_{\text{eff,y}}} \quad (47)$$

missä

- $N, M$  = käyttörajatilan normaalivoima ja momentti,  
 $A_{\text{eff}}$  = poikkileikkauksen tehollinen pinta-ala keskeisessä puristuksessa (jatkuvan orsi),  
 $W_{\text{eff},y}$  = jatkuvan orren tehollinen taivutusvastus  $y$ -akselin suhteen,  
 $M_{C,Rd,R}$  = rakennetyypin mukainen tukireaktion huomioiva taivutuskestävyys.

#### L1.2.6.2 Jäykistetyin jatkuvan rakenteen välituki

Jäykistetyin hattuorren tukireaktiokestävyys  $R_{w,Rd}$  on jatkuvan orren ja lisäprofiilin tukireaktiokestävyyksien summa. Jäykistetyin jatkuvan hattuorren tapauksessa ehto (46) korvataan kokeiden perusteella seuraavalla lausekkeella

$$M_{C,Rd,R} = \left( 1.75 - \frac{R}{R_{w,Rd}} \right) \cdot M_{C,Rd} \quad (48)$$

missä  $R_{w,Rd}$  on jatkuvan orren ja lisäprofiilin yhteenlaskettu tukireaktiokestävyys. Jolloin ehdon (47) tarkistuksessa käytetään pienintä kaavoista (45) ja (48) saatua kestävyysarvoa.

#### L1.2.7 Taipuman laskeminen

Limitetylle tai jatketuille orrelle limityksen vaikutusta taipumaan ei oteta huomioon. Kuvassa 6 on esitetty esimerkki taipuman lausekkeesta. Lisäprofiilin vaikutusta hattuorren taipumaan ei oteta huomioon.

#### L1.2.8 Ideaaliplastinen $(M, \theta)$ -yhteys

##### L1.2.8.2-4 Uumastaan U-profiililla alusrakenteeseen kiinnitetyt kevytorret, joissa ei ole normaalivoimaa

Kun käyttörajatilassa leikkausvoima  $V$  välituella on alle puolet leikkauskestävyydestä  $V_{w,Rd}$

- jatkuvan orren  $(M, \theta)$ -yhteys, tukimomentti  $M_{\text{rest}}$  on vakio, saadaan kertomalla taulukossa annettu yhteys mitoittavan orren taivutuskestävyydellä  $M_{C,Rd}$ ,  $\gamma_{M1}=1.0$ ,
- tuen yli limittämällä jatketu orren  $(M, \theta)$ -yhteys saadaan kertomalla taulukossa 12 annettu yhteys orsien taivutuskestävyyksien summalla,  $\gamma_{M1}=1.0$ ,
- tukikappaleella jatketu orren,  $(M, \theta)$ -yhteys saadaan kertomalla taulukossa 12 annettu yhteys jatkoskappaleen taivutuskestävyydellä  $M_{C,Rd}$ ,  $\gamma_{M1}=1.0$ .

Kun käyttörajatilan kuormituksella palkkiteorian mukaisella laskentamallilla leikkausvoima  $V$  välituella on yli puolet leikkauskestävyydestä  $V_{w,Rd}$

- jatkuvan orren  $(M, \theta)$ -yhteys saadaan kertomalla annettu yhteys mitoittavan orren leikkausvoiman huomioon ottavalla taivutuskestävyydellä  $M_{C,Rd,V}$ ,  $\gamma_{M1}=1.0$ ,
- tuen yli limittämällä jatketu orren  $(M, \theta)$ -yhteys saadaan kertomalla annettu yhteys orsien leikkausvoiman vaikutuksesta pienentyneiden taivutuskestävyyksien summalla,  $\gamma_{M1}=1.0$ ,
- tukikappaleella jatketu orren  $(M, \theta)$ -yhteys saadaan kertomalla annettu yhteys jatkoskappaleen taivutuskestävyydellä  $M_{C,Rd,V}$ ,  $\gamma_{M1}=1.0$ .

Orren taivutuskestävyys kentässä lasketaan olettamalla orren alapinta vedetyksi ja vastaavasti tuella oletetaan orren ylälaipan olevan vedetty. Palkkiteorian mukaisella laskentamallilla tarkoitetaan sitä, ettei välituella ole epälineaarista joustua, ja limityksen vaikutus voimasuureisiin on otettu huomioon, kuva 2.

### L12.8.5 Laipoistaan alusrakenteeseen tuetut hattuorret, joissa ei ole normaalivoimaa

Hattuorsien tapauksessa lisäprofiili ei kannata normaalivoimaa, joten normaalivoiman aiheuttama vähennys lasketaan jatkuvan orren poikkileikkausmitoilla.  $(M, \theta)$ -yhteys saadaan kertomalla taulukossa 12 annettu yhteys molemmissa rakennetyypeissä, jatkuva ja jäykistetty jatkuva, jatkuvan orren taivutuskestävyydellä  $M_{C,Rd}$  riippumatta tukireaktion määrästä. Huomaa, että jäykistetyn jatkuvan hattuorren osalta normalisoituja  $(M/M_{C,Rd}; \theta)$ -yhteyksiä on esitetty taulukossa 12 kaksi, kussakin mitoitusilanteessa käytettävä yhteys valitaan käyttötilan kuormituksella lasketun tukireaktion ja tukireaktiokestävyyden (jatkuva orsi + lisäprofiili) suhteen avulla. Esimerkiksi, jos mitoittavalle rakenteelle tukireaktion ja jatkuvan hattuorren ja lisäprofiilin yhteenlasketun tukireaktiokestävyyden suhde on 0.28, mitoituksessa käytetään silloin taulukon 12 alinta riviä. Orren taivutuskestävyys kentässä lasketaan olettamalla orren alapinta vedetyksi ja vastaavasti tuella oletetaan orren yläpinnan olevan vedettyä.

### L1.2.8.6 Ideaaliplastisen mallin $(M, \theta)$ -yhteydet suunnittelua varten

**Taulukko 12.**  $(M_{rest}/M_{C,Rd})$ -suhde ja plastisen kiertymän yläraja.

|   | 2.0° | 3.0° | 3.5° | 4.0° |
|---|------|------|------|------|
| Jatkuva C                               |      | 0.23 |      |      |
| Jatkuva Z                               |      | 0.28 |      |      |
| Limitetty Z                             |      | 0.31 |      |      |
| Jatkettu Z, $t < t_{sleeve}$            | 0.53 |      |      |      |
| Jatkettu Z, $t = t_{sleeve}$            |      | 0.61 |      | 0.55 |
| Jatkuva zeta,<br>H= 180 tai 200 mm      |      | 0.54 |      |      |
| Jatkuva zeta,<br>H= 240 mm              |      | 0.40 |      | 0.35 |
| Jatkettu zeta                           |      | 0.95 |      | 0.78 |
| Jatkuva hattu                           |      | 0.17 |      |      |
| Jäykistetty hattu<br>$R/R_{W,Rd} > 0.3$ |      |      | 0.52 |      |
| Jäykistetty hattu<br>$R/R_{W,Rd} < 0.3$ |      |      | 0.66 |      |

### Uumastaan U-profiiliin tuetut kevytorret

Tukimomentin vakioarvo saadaan kertomalla taulukon 12 ilmoittama suhdeluku mitoittavan orren taivutuskestävyydellä ottaen huomioon leikkausvoiman vaikutus seuraavasti:

- laske leikkausvoiman ja leikkauskestävyyden suhde käyttörajatilassa,
- määritä suhdelukua vastaava orren taivutuskestävyys  $M_{C,Rd,v}$ ,
- jatketulle orrelle, sleeve, käytetään laskennassa jatkoskappaleen kestävyyskäsiä,
- limitetylle orrelle, overlap, käytetään suhdeluvun kertojana  $(M, \theta)$ -yhteyden laskennassa limitettyjen orsien kestävyyskäsiä summaa,  $M_{C,Rd,1} + M_{C,Rd,2}$ , mutta yhteisvaikutusehtoa laskettaessa täytyy muistaa, että kestävyyskäsiä summasta saadaan käyttää vain 70 %.

### Laipastaan tuetut hattuorret

Tukimomentin vakioarvo saadaan kertomalla taulukon 12 ilmoittama suhdeluku mitoitettavan jatkuvan orren taivutuskestävyydellä ottaen huomioon tukireaktion vaikutus seuraavasti:

- laske tukireaktion ja tukireaktiokestävyyden suhde käyttörajatilassa,
- määritä suhdelukua vastaava orren taivutuskestävyys  $M_{C,Rd,R}$
- jäykistetyn jatkuvan tapauksessa tukireaktiokestävyys on lisäprofiilin ja jatkuvan orren kestävyyksien summa, mutta lisäprofiili ei lisää hattuorren taivutuskestävyyttä.

#### L1.2.9 Pehmeenevän mallin ( $M, \theta$ )-yhteydet suunnittelua varten

**Taulukko 13.** Suunnitteluarvot ( $M/M_{C,Rd}$ ,  $\theta$ )-yhteydelle C- ja Z-orsille.

| Kiertymä [°] | Jatkuva C | Jatkuva Z | Limitetty Z | Jatkettu Z<br>$t < t_{sleeve}$ | Jatkettu Z<br>$t = t_{sleeve}$ |
|--------------|-----------|-----------|-------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 0.0          | 0.3750    | 0.4500    | 0.6500      | 0.9000                         | 0.7000                         |
| 0.5          |           |           | 0.5402      | 0.7199                         |                                |
| 1.0          | 0.2899    | 0.3479    | 0.4399      | 0.6364                         | 0.6801                         |
| 1.5          | 0.2799    | 0.3359    | 0.3935      | 0.5656                         |                                |
| 2.0          | 0.2663    | 0.3196    | 0.3543      | 0.5301                         | 0.6601                         |
| 2.5          | 0.2514    | 0.3016    | 0.3274      |                                | 0.6388                         |
| 3.0          | 0.2344    | 0.2813    | 0.3128      |                                | 0.6103                         |
| 4.0          |           |           |             |                                | 0.5507                         |

**Taulukko 14.** Suunnitteluarvot ( $M/M_{C,Rd}$ ,  $\theta$ )-yhteydelle zeta-orsille.

| Kiertymä [°] | Jatkuva zeta<br>H=180 tai 200 mm | Jatkuva zeta<br>H=240 mm | Jatkettu zeta |
|--------------|----------------------------------|--------------------------|---------------|
| 0.0          | 0.8728                           | 0.7886                   | 1.0478        |
| 0.5          | 0.8198                           | 0.6899                   | 1.0381        |
| 1.0          | 0.7487                           | 0.6189                   | 1.0288        |
| 1.5          | 0.6775                           | 0.5514                   | 1.0169        |
| 2.0          | 0.6322                           | 0.4855                   | 1.0029        |
| 2.5          | 0.5900                           | 0.4369                   | 0.9860        |
| 3.0          | 0.5414                           | 0.4033                   | 0.9570        |
| 3.5          | 0.5217                           | 0.3706                   | 0.8895        |
| 4.0          |                                  | 0.3552                   | 0.7841        |

**Taulukko 15.** Suunnitteluarvot ( $M/M_{C,Rd}$ ,  $\theta$ )-yhteydelle hattuersille.

| Kiertymä [°] | Jatkuva hattu | Jäykistetty hattu<br>$R/R_{W,Rd} > 0.3$ | Jäykistetty hattu<br>$R/R_{W,Rd} < 0.3$ |
|--------------|---------------|---|---|
| 0.0          | 0.2609        | 1.0030                                  | 1.2538                                  |
| 0.5          | 0.2388        | 0.9314                                  | 1.1642                                  |
| 1.0          | 0.2139        | 0.8856                                  | 1.1069                                  |
| 1.5          | 0.1951        | 0.7946                                  | 0.9932                                  |
| 2.0          | 0.1818        | 0.7134                                  | 0.8917                                  |
| 2.5          | 0.1764        | 0.6435                                  | 0.8044                                  |
| 3.0          | 0.1683        | 0.5706                                  | 0.7133                                  |
| 3.5          | 0.1683        | 0.5252                                  | 0.6565                                  |

### L1.2.11 Esimerkki plastisuusteorian mukaisen menetelmän soveltamisesta

#### Lähtötiedot

Tarkastellaan kaksiaukkoista Z-orrtta Z250/2.0, joka on kiinnitetty ylälaipastaan plastisen mitoitusmenetelmän käytön asettamien vaatimusten mukaisesti. Molempien jänteiden pituus on 4.5 m. Kuormitus  $q$  on 3.5 kN/m, joka on kokonaan muuttuvaa kuormitusta ( $q_{sd}=5.25$  kN/m). Rakennetta kuormittaa myös normaalivoima  $N_{sd}$ , jonka arvo on 10 kN ( $N=6.67$  kN). Ylälaipan leveys on 63 mm, alalaipan leveys on 71 mm ja reunakäänteen leveys on 21.5 mm. Uuman leikkauskestävyys  $V_{w,Rd}$  on 41.5 kN. Poikkileikkauksen tehollinen pinta-ala keskeisessä puristuksessa  $A_{eff}=412$  mm<sup>2</sup>. Poikkileikkauksen taivutuskestävyydet ovat seuraavat: 15.3 kNm (välituella, alalaippa puristettu,  $W_{eff,y}=43740$  mm<sup>3</sup>) ja 15.6 kNm (kentässä, alalaippa vedetty,  $I_{eff,y}=6369000$  mm<sup>4</sup>).

#### Leikkausvoiman ja leikkauskestävyyden suhde käyttörajatilassa

$$\frac{V}{V_{w,Rd}} = \frac{0.625 \cdot q \cdot L}{V_{w,Rd}} = \frac{0.625 \cdot 3.5 \cdot 4.5}{41.5} = 0.24 < 0.5$$

Eli leikkausvoima ei aiheuta taivutuskestävyyden pienentämistä. Taivutuskestävyys  $M_{C,Rd,V}$  on siten 15.3 kNm.

#### Tukimurron välttäminen

Momentti käyttörajatilassa

$$M = \frac{q \cdot L^2}{8} = \frac{3.5 \cdot 4.5^2}{8} = 8.9 \text{ kNm}$$

Yhteisvaikutus

$$\frac{N}{A_{eff}} + \frac{M}{W_{eff,y}} = \frac{6667}{412} + \frac{8900000}{43740} \leq 0.9 \cdot \frac{M_{C,Rd,V}}{W_{eff,y}}$$

$$16 + 203 = 219 \leq 315 \text{ (OK)}$$

#### Taipuma [mm]

$$v = \frac{q \cdot L^4}{185 \cdot E \cdot I_{eff,y}} = \frac{3.5 \cdot 4500^4}{185 \cdot 210000 \cdot 6369000} = 6 = \frac{L}{750} \text{ (OK)}$$

#### (M,θ)-yhteys ( $\theta_{max}=3^\circ$ )

Taulukon 12 perusteella jatkuvan Z-orren tapauksessa taivutuskestävyyden yksikköesitykselle tulee käyttää arvoa 0.28, jolloin  $M_{rest}=4.3$  kNm ( $0.28 \cdot M_{C,Rd,V}$ ).

#### Rajakuorman laskeminen

Lasketaan puristetun osan  $h_c$  korkeus ilman normaalivoiman vaikutusta eli

$$h_c = \sqrt{\frac{M_{rest}}{t \cdot f_y} + \frac{(b+c)^2}{2} + \frac{c^2}{2}} = \sqrt{\frac{4300000}{1.96 \cdot 350} + \frac{(63+21.5)^2}{2} + \frac{21.5^2}{2}} = 100.3 \text{ mm}$$

Puristetun osan korkeus normaalivoimasta  $h_N$



$$h_N = \frac{N_{Sd}}{t \cdot f_y} = \frac{10000}{1.96 \cdot 350} = 14.6 \text{ mm}$$

Vedetyn uuman osan korkeus

$$h_t = h_c - h_N - b - c = 100.3 - 14.6 - 63 - 21.5 = 1.2 \text{ mm}$$

Tukimomentille saadaan

$$M_{restN} = \left( (h_c - h_N) \cdot \left( h_t + h_N + \frac{h_c - h_N}{2} \right) - \frac{h_t^2}{2} - \frac{c^2}{2} \right) \cdot t \cdot f_y$$

$$M_{restN} = \left( (100.3 - 14.6) \cdot \left( 1.2 + 14.6 + \frac{100.3 - 14.6}{2} \right) - \frac{1.2^2}{2} - \frac{21.5^2}{2} \right) \cdot 1.96 \cdot 350 = 3.3 \text{ kNm}$$

Tukimomentin  $M_{restN}$  avulla lasketaan rajakuorma aluksi siten, ettei kentän kestävyiden osalta normaalivoiman vaikutusta oteta huomioon

$$q_u = \frac{2}{L^2} \cdot (M_{restN} + 2 \cdot M_{span} + 2 \sqrt{M_{span} \cdot M_{restN} + M_{span}^2})$$

$$q_u = \frac{2}{4.5^2} \cdot (3.3 + 2 \cdot 15.6 + 2 \sqrt{3.3 \cdot 15.6 + 15.6^2}) = 6.80 \text{ kN/m}$$

Normaalivoiman vaikutus yhteisvaikutusehtoon kentässä

$$q_{uN} = \left( 1 - \frac{N_{Sd}}{A_{eff} \cdot f_y} \right) \cdot q_u = \left( 1 - \frac{10000}{412 \cdot 350} \right) \cdot 6.80 = 6.33 \text{ kN/m} > 5.25 \text{ kN/m (OK)}$$

Kiertymän tarkastaminen

$$\theta = \frac{L}{12 \cdot E \cdot I_{eff,y}} \cdot (q_{Sd} \cdot L^2 - 8 \cdot M_{rest}(\theta)) = \frac{4500}{12 \cdot 210000 \cdot 6369000} \cdot (5.25 \cdot 4500^2 - 8 \cdot 4300000) = 1.2^\circ$$

## L1.3 Kimmoteorian mukainen mitoitusmenetelmä

### L1.3.3 Uumastaan alusrakenteeseen tuettujen kevytorsien taivutuskestävyys välituella

#### L1.3.3.1 Jatkuvan rakenteen välituki

Tarkastetaan välituella ehto

$$\frac{M_{y,Sd}}{W_{eff,y}} + \frac{N_{Sd}}{A_{eff}} \leq \frac{M_{C,Rd,V}}{W_{eff,y}} \quad (49)$$

missä

$M_{y,Sd}$  = taivutusmomentin arvo murtorajatilassa,

$N_{Sd}$  = normaalivoiman suunnitteluarvo,

$W_{eff,y}$  = orren tehollinen taivutusvastus tarkasteltavassa kohdassa, reunajännitys  $350 \text{ N/mm}^2$ , kts. kohta 1.2,

$A_{eff}$  = poikkileikkauksen tehollinen pinta-ala keskeisessä puristuksessa,

$M_{C,Rd,V}$  = leikkausvoiman huomioon otettava taivutuskestävyys, kts. kohta 1.3,

$\gamma_{M1}$  = 1.1, materiaalin varmuusluku sisältyy taivutuskestävyyden  $M_{C,Rd,V}$  arvoon.

#### L1.3.3.2 Limitetyt rakenteen välituki

Lasketaan voimasuureet orsille erikseen, kuva 2. Kokeiden perusteella limitettyjen orsien taivutuskestävyys välituella on 70 % limitettyjen orsien taivutuskestävyyksien summasta.

Tarkastetaan välituella ehto

$$\frac{M_{y,Sd}}{W_{eff,y,i}} + \frac{N_{Sd}}{A_{eff,i}} \leq \frac{0.7 \cdot M_{C,Rd,i}}{W_{eff,y,i}} \quad (50)$$

missä i saa arvot 1 ja 2 tarkasteltavien orsien mukaisesti. Ehdon (50) voimasuureet ja kestävyysarvot ovat tarkasteltavan orren arvoja. Kestävyyden arvoissa otetaan orren todellinen asento huomioon ja materiaalin varmuusluku on 1.1. Ehdon (50) täytyy toteutua kummallekin orrelle.

### L1.3.3.3 Jatketun rakenteen välituki

Lasketaan voimasuureet orsille erikseen, kuva 2. Tarkastetaan ehto (49). Otetaan huomioon, että jatketun orren taivutuskestävyys välituella on yhtä suuri kuin jatkoskappaleen leikkausvoiman huomioon ottava taivutuskestävyys ja vastaavasti poikkileikkauksen tehollinen pinta-ala on yhtä suuri kuin jatkoskappaleen tehollinen pinta-ala.

### L1.3.4 Laipoistaan tuettujen hattuarsien taivutuskestävyys välituella

Laskettaessa tukireaktion huomioon ottavaa taivutuskestävyyttä  $M_{C,Rd,R}$  otetaan tarkasteltava rakennetyyppi huomioon yhteisvaikutusehdon valinnalla. Ehdossa (25) poikkileikkausarvot ovat aina jatkuvan orren arvoja. Jäykistetyin jatkuvan hattuarsien osalta lisäprofiili ei vaikuta momenttipinnan muotoon. Momentti  $M_{y,Ed}$  ja normaalivoima  $N_{Ed}$  kuormittavat vain jatkuvaan orraan eli lisäprofiili vaikuttaa mitoituseseen vain yhteisvaikutusehdon kautta.

## L1.4 Ulokkeen mitoitus

### L1.4.1 Rakenteet

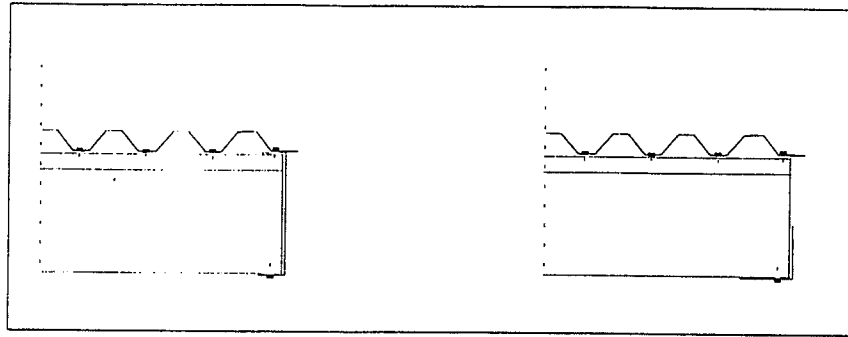
Ulokkeen mitoitusohjeet perustuvat Z-orrella tehtyihin ulokekokeisiin, kuva 9. Kappale L1.4 kattaa C-, Z-, zeta-, sigma- ja hattuarsien mitoittamisen ulokkeena, kun ne on jatkuvasti tuettu ylälaipastaan muotolevyllä. Orsien minimi- ja maksimimitat on esitetty taulukossa 10. Hattursi voi olla päätytuella joko jäykistetty tai jäykisteetön. Mitoitusehdot ovat voimassa sekä imu- että painekuormitukselle. Liitosten rakenteellinen suunnittelu suositellaan tehtäväksi käsikirjan Ohutlevyrakenteiden kiinnitykset 1994 (1994) mukaisesti ottaen huomioon tämän normikortin kohta L1.1. Orsien poikkileikkausarvot lasketaan kohdassa 1.2 esitettyjen ohjeiden mukaisesti.

TTKK:ssa tehdyissä kokeissa tukemattomat laipat yhdistettiin orren korkuisella U-profiililla (laipan leveys 45 mm), joka kiinnitettiin orren ylä- ja alalaippaan yhdellä  $\phi 5.5$  mm poraruuvilla, kts. kuva 14. Ulkonäköseikat puoltavat U-profiilin käyttöä rakenteen päädyssä. Annetut mitoitusohjeet pätevät mikäli

- ulokkeen pituus  $\beta L$  on enintään 0.2L, kuva 9,
- taivutusmomentin nollakohdan etäisyys  $\alpha L$  päätytuelta on enintään 0.5L
- vapaat laipat yhdistävän profiilin tulee olla vähintään taulukon 16 mukainen.

**Taulukko 16.** Vapaat laipat yhdistävän profiilin ohjeelliset minimimitat.

| Orren korkeus [mm] | L-profiilin mitat [mm] | L-profiilin paksuus [mm] |
|--------------------|------------------------|--------------------------|
| enintään 150       | 45*45                  | 1.5                      |
| enintään 200       | 70*70                  | 1.5                      |
| enintään 300       | 70*70                  | 2.0                      |
| enintään 350       | 70*70                  | 2.5                      |



Kuva 14. Vapaan laipan sivusiirtymisen estäminen U- ja L-profiililla.

### L1.4.2 Murtorajatila

#### Poikkileikkauksen vinoutuminen estetty ulokkeen päässä

Tarkista, kun orsi on uumastaan kiinnitetty U-profiiliin, että seuraava ehto on voimassa päätytuella

$$\frac{N_{Sd}}{A_{eff}} + \frac{M_{y,Sd}}{W_{eff,y}} \leq \frac{M_{C,Rd,V}}{W_{eff,y}} \quad (51)$$

missä

$N_{Sd}$  = normaalivoiman suunnitteluarvo,

$M_{y,Sd}$  = momentin suunnitteluarvo päätytuella,

$A_{eff}$  = poikkileikkauksen tehollinen pinta-ala keskeisessä puristuksessa,

$W_{eff,y}$  = poikkileikkauksen tehollinen taivutusvastus taivutukselle y-akselin suhteen,

$M_{C,Rd,V}$  = poikkileikkauksen leikkausvoiman huomioon ottava taivutuskestävyys,  $\gamma_{M1} = 1.1$ .

Hattuorsien tapauksessa tarkista päätytuella ehto

$$\frac{N_{Sd}}{A_{eff}} + \frac{M_{y,Sd}}{W_{eff,y}} \leq \frac{M_{C,Rd,R}}{W_{eff,y}} \quad (52)$$

missä  $M_{C,Rd,R}$  on poikkileikkauksen tukireaktion huomioon ottava taivutuskestävyys kun materiaalin varmuusluvulle  $\gamma_{M1}$  käytetään arvoa 1.1.

#### Poikkileikkauksen vinoutuminen vapaa ulokkeen päässä

Poikkileikkauksen tukireaktion tai leikkausvoiman huomioon ottavasta taivutuskestävyydestä saadaan käyttää 2/3-osaa. Materiaalin varmuusluvulle  $\gamma_{M1}$  käytetään arvoa 1.1. Tarkista seuraavat ehdot: uumasta kiinnitettyt profiilit ehto (53) ja hattuorret ehto (54)

$$\frac{N_{Sd}}{A_{eff}} + \frac{M_{y,Sd}}{W_{eff,y}} \leq \frac{2 \cdot M_{C,Rd,V}}{3 \cdot W_{eff,y}} \quad (53)$$

$$\frac{N_{Sd}}{A_{eff}} + \frac{M_{y,Sd}}{W_{eff,y}} \leq \frac{2 \cdot M_{C,Rd,R}}{3 \cdot W_{eff,y}} \quad (54)$$

Ehdoissa (53) ja (54) materiaalin varmuusluku otetaan huomioon taivutuskestävyyden  $M_{C,Rd,V}$  tai  $M_{C,Rd,R}$  laskennassa

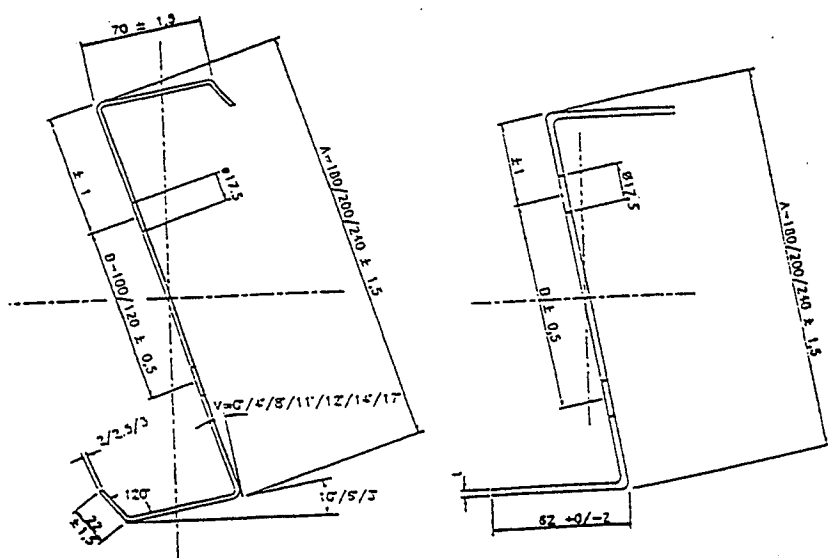
L1.5 C-, hattu-, Z-, zeta- ja sigma-orsien sekä sigma- ja zeta-orsien jatkospalojen ja hattuorren lisäprofiilin poikkileikkausmitat.

Taulukko 17. Zeta-orren poikkileikkausmitat, kts. kuva 15.

|      | Kattokaltevuus<br>[aste] | Uumankaltevuus<br>[aste] | B [mm] | C [mm] | t [mm]              |
|------|--------------------------|--------------------------|--------|--------|---------------------|
| Z180 | 3                        | -                        | 70     | 22     | 2.0, 2.5 tai<br>3.0 |
|      | 6                        | 17                       |        |        |                     |
|      | 10                       | 14                       |        |        |                     |
| Z200 | 3                        | 17                       | 70     | 22     | 2.0, 2.5 tai<br>3.0 |
|      | 6                        | 14                       |        |        |                     |
|      | 10                       | 11                       |        |        |                     |
| Z240 | 3                        | 12                       | 70     | 22     | 2.0, 2.5 tai<br>3.0 |
|      | 6                        | 8                        |        |        |                     |
|      | 10                       | 4                        |        |        |                     |

Taulukko 18. Zeta-orren jatkospalan poikkileikkausmitat, jatkospalan oltava 0.5 mm paksumpi kuin jatkettava orsi, jotta plastista menetelmää voidaan käyttää, kts. kuva 15.

|      | Kattokaltevuus<br>[aste] | Uumankaltevuus<br>[aste] | B [mm] | C [mm] | t [mm]              |
|------|--------------------------|--------------------------|--------|--------|---------------------|
| Z180 | 3                        | -                        | 62     | -      | 2.5, 3.0 tai<br>3.5 |
|      | 6                        | 17                       |        |        |                     |
|      | 10                       | 14                       |        |        |                     |
| Z200 | 3                        | 17                       | 62     | -      | 2.5, 3.0 tai<br>3.5 |
|      | 6                        | 14                       |        |        |                     |
|      | 10                       | 11                       |        |        |                     |
| Z240 | 3                        | 12                       | 62     | -      | 2.5, 3.0 tai<br>3.5 |
|      | 6                        | 8                        |        |        |                     |
|      | 10                       | 4                        |        |        |                     |



Kuva 15. Zeta-orsi ja zeta-orren jatkoskappale.

Taulukko 19. Hattutorren poikkileikkausmitat (ulkomitat).

| Korkeus H<br>[mm] | Laipan leveys A<br>[mm] | Laipan leveys B<br>[mm] | C<br>[mm] | t<br>[mm]            |
|-------------------|-------------------------|-------------------------|-----------|----------------------|
| 100               | 100                     | 40                      | 20        | 1.0, 1.2<br>1.5, 2.0 |
| 125               | 100                     | 40                      | 20        | 1.0, 1.2<br>1.5, 2.0 |
| 150               | 100                     | 40                      | 20        | 1.0, 1.2<br>1.5, 2.0 |
| 200               | 120                     | 50                      | 20        | 1.5, 2.0, 2.5        |
| 250               | 120                     | 50                      | 20        | 1.5, 2.0, 2.5        |

Taulukko 20. Z- ja C-orren poikkileikkausmitat (ulkomitat).

| Tyyppi         | H [mm] | A [mm] | B [mm] | C [mm] | t [mm]               |
|----------------|--------|--------|--------|--------|----------------------|
| Z100<br>C100   | 100    | 47.0   | 41.0   | 18.0   | 1.0, 1.2<br>1.5, 2.0 |
| Z120<br>C120   | 120    | 47.0   | 41.0   | 18.0   | 1.0, 1.2<br>1.5, 2.0 |
| Z150<br>C150   | 150    | 47.0   | 41.0   | 18.0   | 1.0, 1.2<br>1.5, 2.0 |
| Z200A<br>C200A | 200    | 48.0   | 42.0   | 18.0   | 1.5, 2.0<br>2.5      |
| Z200B<br>C200B | 200    | 72.0   | 64.0   | 21.5   | 1.5, 2.0<br>2.5      |
| Z250<br>C250   | 250    | 73.0   | 65.0   | 21.5   | 2.0, 2.5<br>3.0      |
| Z300<br>C300   | 300    | 82.0   | 74.0   | 26.0   | 2.0, 2.5<br>3.0      |
| Z350<br>C350   | 350    | 82.0   | 74.0   | 30.0   | 1.5, 2.0<br>2.5, 3.0 |

Hattutorren lisäprofiilin poikkileikkausmitat lasketaan seuraavista kaavoista:

$$A_j = A - 2 \cdot t - 3$$

$$B_j = B + 2 \cdot t + 2$$

$$H_j = 0.98 \cdot H$$

missä

A = hattutorren leveän laipan leveys [mm],

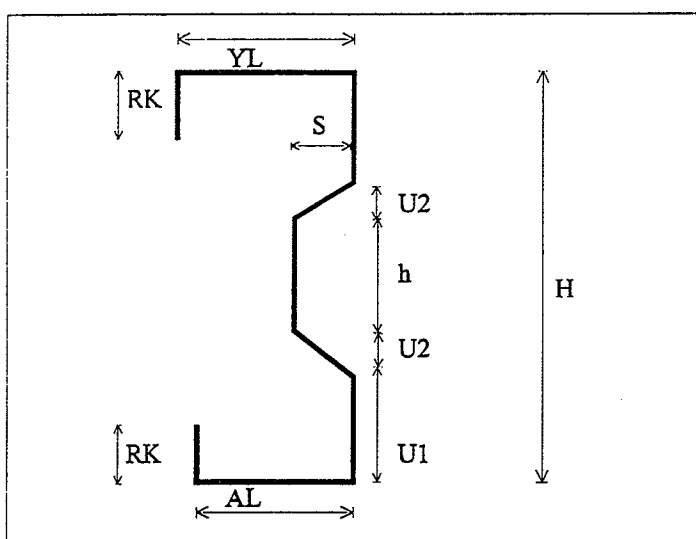
B = hattutorren kapean laipan leveys [mm],

H = hattutorren korkeus [mm],

t = laskentapaksuus [mm].

**Taulukko 21.** Sigma-orren poikkileikkausmitat, kaikkien osalta materiaalipaksuus voi olla 1.5, 2.0, 2.5 tai 3.0 mm, kts. kuva 16.

| H [mm] | AL   | U1   | U2   | U3   | S    | h     | YL   | RK   |
|--------|------|------|------|------|------|-------|------|------|
| 150    | 64.0 | 34.5 | 17.5 | 38.5 | 31.0 | 42.0  | 72.0 | 20.0 |
| 175    | 64.0 | 47.0 | 17.5 | 51.0 | 31.0 | 42.0  | 72.0 | 20.0 |
| 200    | 64.0 | 47.0 | 17.5 | 51.0 | 31.0 | 67.0  | 72.0 | 20.0 |
| 250    | 70.0 | 59.5 | 19.0 | 63.5 | 33.0 | 89.0  | 80.0 | 25.0 |
| 300    | 70.0 | 59.5 | 19.0 | 63.5 | 33.0 | 139.0 | 80.0 | 25.0 |
| 350    | 70.0 | 59.5 | 19.0 | 63.5 | 33.0 | 189.0 | 80.0 | 25.0 |
| 400    | 70.0 | 59.5 | 19.0 | 63.5 | 33.0 | 239.0 | 80.0 | 25.0 |



*Kuva 16.* Sigma-orren poikkileikkausmittojen tunnukset (mitta S on uuman ulkopinnasta sisäänpokatun uuman osan ulkopintaan).

Sigma-orren jatkospalan poikkileikkausmitat lasketaan seuraavista kaavoista, [mm]:

$$H_j = 1.02 \cdot H + 2 \cdot t$$

$$B_j = B + 2 \cdot t + 2$$

missä

H = sigma-orren korkeus [mm],

t = nimellispaksuus [mm],

B = sigma-orren laipan leveys [mm].

Jatkospalana käytetyn C-profiilin reunakäänteen pituuden tulee olla sama kuin sigma-orren reunakäänteen pituus.