

## JÄNNITETTYJEN ONTELOLAATTOJEN CE-MERKINNÄN MUKAINEN SUUNNITTELU EUROKOODIEN MUKAAN

### 5.1. Varmuuskertoimet

- (1) Betonin osavarmuuslukua voidaan CE-merkityillä tuotteilla pienentää arvoon  $\gamma_{c,red1} = 1,35$ . (Kansallinen liite, liite A.2.1(1))
- (2) Jänneteräksen osavarmuuslukua voidaan CE-merkityillä tuotteilla pienentää arvoon  $\gamma_{s,red1} = 1,1$ . (Kansallinen liite, liite A.2.1(1))

### 5.2. Jännevoiman kehittyminen

- (1) Standardin SFS-EN-1168 kohdan 4.2.1.2.2 mukaan ekstruder- ja liukuvalutekniikalla valmistetuille ontelolaatoille saavutetaan "hyvät" tartuntaominaisuudet.
- (2) Tartuntatilaa kuvaavana kertoimena käytetään SFS EN 1992-1-1 kaavassa (8.15) käyttää alapinnan punoksille arvoa  $\eta_1 = 1,0$  ja yläpinnan punoksille  $\eta_2 = 0,7$
- (3) Ontelolaatan katkaisua sahaamalla pidetään nopeana laukaisuna, joten SFS EN 1992-1-1 kaavassa (8.16) päästötappaa kuvaavana kertoimena käytetään arvoa  $\alpha_1 = 1,25$  Jännityksen siirtymämatkan perusarvo (EC2 (8.16))
- (4) ) Laskettaessa tartuntalujuutta  $f_{bpt}$  SFS-EN-1992-1-1 kaavassa (8.15) käytetään betonin vetolujuudelle  $f_{ctd}(t)$  osavarmuuslukua  $\gamma_c = 1,5$ . Kerroin  $\alpha_{ct} = 1,0$ .
- (5) Kun tarkasteltavassa tapauksessa jännevoiman vaikutus on suotuisa, niin jännityksen siirtymämatkalle käytetään ylä-arvoa  $l_{ptd,sup} = 1,2 \cdot l_{pt}$ . Kun jännevoiman vaikutus on tarkasteltavassa tapauksessa epäsuotuisa (esim. laatan pään halkaisujännitykset) käytetään jännityksen siirtymämatkalle ala-arvoa  $l_{ptd,inf} = 0,8 \cdot l_{pt}$ .
- (6) Laskettaessa punoksen ankkurointia käytetään jännityksen siirtymämatkalle ylä-arvoa  $l_{ptd,sup} = 1,2 \cdot l_{pt}$ .
- (7) Esijännityksestä aiheutuva puristusjännitys parantaa ontelolaatan leikkauskestävyyttä, mutta esijännityksestä laatan päähän syntyvät halkaisujännitykset puolestaan heikentävät leikkauskestävyyttä, joten ontelolaatan leikkauskestävyys tulee laskea käyttäen jännityksen siirtymämatkalle sekä ala- että yläarvoa.
- (8) Standardin SFS –EN-1168 kohdan 4.3.3.2.1 a) mukaan lasketun halkaisujännityksen  $\sigma_{sp}$  tulee täyttää ehto  $\sigma_{sp} \leq f_{ctm}(t)$ .

### 5.3 Punoksen ankkurointikapasiteetti

(1) Punoksen murtotilan jännitystä laskettaessa otetaan huomioon leikkausvoiman aiheuttama teräsännityksen lisäys. Punoksen jännitys murtotilassa lasketaan käyttäen kohdan  $x+z \cdot \cot\theta$  murtotilan taivutusmomenttia  $M_{Ed(x+z \cdot \cot\theta)} \leq M_{Edmax}$ .

(2) Punosten ankkurointia ei tarvitse tarkistaa poikkileikkauksissa, joissa betonin reunavetojännitys murtotilan kuormilla ei ylitä betonin vetolujuutta  $f_{ctd}$ .

### 5.4 Jännityshäviöt

(1) Poikkileikkauksen pinta-alaan ei lasketa mukaan onteloita. Poikkileikkauksen piiriin otetaan mukaan vain ne osat, joista haihtumista pääsee tapahtumaan. Näin ollen tiiviisti suljettujen onteloiden piirejä ei tarvitse laskea mukaan rakenteen piiriin.

### 5.5 . Taivutuskestävyys

(1) Jänneteräksen ominaislujuutena käytetään jännepunoksen 0,1-rajaa  $f_{p,0,1k}$ .

(2) Ontelolaatan taivutuskestävyyttä laskettaessa voidaan käyttää jännepunokselle EC2 kuvan 3.10 nousevaa suoraa, jolloin teräksen maksimivenymä rajoitetaan arvoon  $\epsilon_{ud} = 0,02$

### 5.6. Leikkauskestävyys

5.6.1 Alue, joka ei ole murtotilan kuormilla taivutushalkeillut

(1) Tällä alueella betonin reunavetojännitys murtotilan kuormilla ei ylitä betonin vetolujuuden arvoa  $\frac{f_{ctk0,05}}{\gamma_c}$ .

(2) Leikkauskestävyys lasketaan SFS-EN 1992-1-1 kaavan (6.2a) mukaan. Leikkauskestävyys rajoitetaan arvoon, joka aikaansaa onteloiden välisiin kannaksiin betonin vetolujuutta vastaavan päävetojännityksen. Leikkauskestävyyttä laskettaessa otetaan huomioon esijännityksen ja ulkoisen kuormituksen normaali- ja leikkausjännitykset.

(3) Leikkauskestävyyden kannalta mitoittava kohta sijaitsee tuen etureunasta  $35^\circ$ :een kulmassa piirretyllä viivalla. Onteloiden välisten kannasten paksuuden vaihdella laatan korkeussuunnassa, suurin päävetojännitys sijaitsee jollakin korkeudella ko. suoralla. Voidaan olettaa, että suurin päävetojännitys esiintyy pyöreäonteloisilla laatoilla

lähellä kannasten ohuinta kohtaa (yleensä lähellä painopisteakselia) ja ei-pyöreänteloisilla laatoilla lähellä kannaksen tasapaksun osan alareunaa.

(4) Mitoitusehto päävetojännityksen suhteen on

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_{cP} + \sigma_{cM}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_{cP} + \sigma_{cM}}{2}\right)^2 + (\tau_{cP} + \tau_{cV})^2 + (\beta_r \cdot \tau_{vI})^2} \leq f_{ctd}$$

missä

$\sigma_{cP}$  on esijännityksestä aiheutuva normaalijännitys

$$\sigma_{cP} = \frac{-P_{xt}}{A} + \frac{-P_{xt} \cdot e_p}{I} \cdot (y_c - y_{crit}) \quad (\text{puristus negatiivista})$$

$P_{xt}$  on jännevoima hetkellä t tarkasteltavassa tarkasteltavassa kohdassa x (tutkitaan erikseen tapaukset jännevoiman varmuuskertoimella  $\gamma_p=0,9$  ja  $\gamma_p=1,1$ )

$e_p$  on jännevoiman epäkeskisyyden laatan painopisteakselistä lukien (positiivinen painopisteakselin alapuolella);  $e_p=y_c-y_p$

$y_c$  on painopisteen etäisyys laatan alapinnasta

$y_p$  on punoksen etäisyys laatan alapinnasta

$A$  on laattapoikkileikkauksen pinta-ala

$I$  on laattapoikkileikkauksen hitausmomentti

$y_{crit}$  on tarkasteltavan kriittisen kohdan etäisyys laatan alapinnasta

$\sigma_{cM}$  on ulkoisen kuorman taivutusmomentista aiheutuva normaalijännitys

$$\sigma_{cM} = \frac{M_{Edx}}{I} \cdot (y_c - y_{crit}) \quad (\text{veto positiivista})$$

$M_{Edx}$  on ulkoisen kuorman aiheuttama taivutusmomentti kohdassa x

$$\tau_{cV} \quad \text{on leikkausvoimasta aiheutuva leikkausjännitys} \quad \tau_{cV} = \frac{S_{cp}}{I \cdot b_w} \cdot V_{Edx}$$

$S_{cp}$  on tarkasteltavan kohdan yläpuolella olevan laattapoikkileikkauksen staattinen momentti laatan painopisteakselin suhteen

$b_w$  on onteloiden välisten kannasten kokonaisleveys yhdessä laattaelementissä mitoittavassa kohdassa

$V_{Edx}$  on ulkoisen kuorman aiheuttama leikkausvoima kohdassa x

$\beta_r \tau_{vI}$  on palkkiin tuetussa laatasta palkin ja laatan yhteistoiminnasta onteloiden välisiin kannaksiin aiheutuva leikkausjännitys, joka lasketaan betoninormikortin n:o 18 mukaan; seinän päälle tuetussa laatasta  $\tau_{vI}=0$ .

$f_{ctd}$  on betonin vetolujuuden laskenta-arvo

Jännevoiman kehittymismatkalla  $l_{ptd}$  jännevoima kasvaa nolasta maksimiarvoonsa, joten jännevoiman aiheuttaman normaalijännityksen muutos pituusyksikköä kohti aiheuttaa onteloiden välisiin kannaksiin leikkausjännityksen  $\tau_{cP}$ , joka saadaan kaavasta

$$\tau_{cp} = \frac{\frac{dN_{cp}}{dx} - \frac{dP_{2t}}{dx}}{b_w}$$

missä

$\frac{dN_{cp}}{dx}$  on esijännityksestä aiheutuvan kriittisen kohdan yläpuolella olevan jännitysresultantin muutos pituusyksikköä kohden

$$\frac{dN_{cp}}{dx} = - \left( \frac{A_{cp}}{A} - \frac{S_{cp}}{I} \cdot e_p \right) \cdot \frac{dP}{dx} = \left( \frac{A_{cp}}{A} - \frac{S_{cp}}{I} \cdot e_p \right) \cdot \frac{-P_{Edt}}{l_{ptd}}$$

$P_{Edt}$  on jännevoiman arvo hetkellä t jännityksen kehittymismatkan päässä  
 $l_{pt}$  on jännityksen kehittymismatkan perusarvo

$\frac{dP_{2t}}{dx} = \frac{P_{Ed2t}}{l_{ptd2}}$  on kriittisen kohdan yläpuolella olevien jänneterästen jännevoiman muutos pituusyksikköä kohden

$l_{ptd2}$  on kriittisen kohdan yläpuolella olevien jänneterästen jännityksen kehittymismatkan pituus

(5) Pääjännityksen kaavaan perustuen leikkauskestävyys lasketaan kaavasta

$$V_{Rdc} = \frac{I \cdot b_w}{S_{cp}} \cdot \left[ \sqrt{f_{ctd}^2 - f_{ctd} \cdot (\sigma_{cp} + \sigma_{cM}) - (\beta_r \cdot \tau_{vl})^2} - \tau_{cp} \right]$$

(6) Jos jänneteräkset sijaitsevat useassa rivissä, niin

$$\frac{dN_{cp}}{dx} = \frac{A_{cp}}{A} \sum_i \frac{-dP_i}{dx} - \frac{S_{cp}}{I} \cdot \sum_i \frac{-dP_i}{dx} e_{Pi} = \frac{A_{cp}}{A} \cdot \sum_i \frac{-P_{Edit}}{l_{ptdi}} - \frac{S_{cp}}{I} \cdot \sum_i \frac{-P_{Edit}}{l_{ptdi}} \cdot e_{Pi}$$

$$\frac{dP_{Edt}}{dx} = \sum_j \frac{P_{Edjt}}{l_{ptdj}}$$

(7) 500 mm korkealla laatalla leikkauskestävyys kerrotaan luvulla 0,9 ja päävetojännitystä laskettaessa ulkoisen kuorman leikkausvoimasta aiheutuva leikkausjännitys vastaavasti luvulla 1,1.

### 5.6.2. Alue, joka on taivutushalkeillut

(1) Leikkauskapasiteetti lasketaan EN 1992-1-1 kaavasta (6.3), missä kertoimet

$$C_{Rdc} = 0,18 \text{ MPa}$$

$$k_1 = 0,15$$

(2) 500 mm korkealla laatalle leikkauskestävyys kerrotaan luvulla 0,9.

### 5.6.3. Taivutuksen ja leikkauksen yhteisvaikutus

(1) Ontelolaattojen samanaikaisen taivutuksen ja leikkauksen yhteisvaikutus tarkistetaan tarvittaessa kaavalla

$$\left( \frac{V_{xd}}{V_{Rd}} \right)^3 + \left( \frac{M_{xd}}{M_{Rd}} \right)^3 \leq 1$$

## 5.7. Halkeamarajatila

(1) SFS-EN-1992-1-1 kohdan 7.3.2.(2) mukaan halkeamamomenttia laskettaessa voidaan käyttää keskimääräistä vetolujuutta  $f_{ctm} \approx 1,4 \cdot f_{ctk0,05}$

(2) SFS-EN-1992-1-1 kohdassa 7.3.4 tehollista pinta-alaa  $A_{ceff}$  laskettaessa otetaan huomioon ontelot.

(3) Kun ontelolaatan raudoituksena on pelkästään jännepunoksia, voidaan termi  $\rho_{p,eff}$  laskea kaavasta

$$\rho_{p,eff} = \frac{0,6 \cdot A_p}{b \cdot h_f}$$

missä

- $A_p$  on laatan alapinnan (vastaavasti yläpinnan) teräsmäärä
- $b$  on laatan alareunan (vastaavasti yläreunan) leveys
- $h_f$  on onteloiden alapuolisen (vastaavasti yläpuolisen) kannaksen paksuus

(4) Sallittu halkeaman leveys

Sallittu halkeaman leveys määritetään EC2 taulukon 7.1N mukaan ympäristön rasisluokan perusteella.

## Sallittu halkeaman leveys

Ympäristön rasitusluokka	Pitkäaikainen kuormitusyhdistelmä	Tavallinen kuormitusyhdistelmä
X0,XC1	---	0,2 mm
XC2,XC3,XC4,XD1,XS1	vetojännitysrajatila	0,2 mm
XD2XS2,XS3	vetojännitysrajatila	vetojännitysrajatila
XD1,XD2,XS1,XS2,XS3	vetojännitysrajatila	vetojännitysrajatila

**5.8. Taipuma**

(1) Ontelolaataston taipumat rajoitetaan seuraaviin arvoihin:

- taipuma laatastolle tulevasta kuormasta  $L/200$
- jos laatta kantaa helposti halkeilevia rakenteita, kuten tiiliseiniä, taipuma alaspäin ko. rakenteiden asentamisen jälkeen  $L/500$
- kokonaistaipuma tukilinjasta (0-tasosta) alaspäin  $L/250$

(2) Ontelolaatastoon liittyvien muiden rakenteiden kyky sietää laataston taipumia saattaa edellyttää edellä esitettyjä arvoja pienempiä taipumia.

(3) Edellä olevat taipumarajat tarkistetaan tavallisella kuormitusyhdistelmällä.

(4) Taipumaa laskettaessa otetaan myös huomioon laattojen varastoinnin aikainen tilanne kuten laattaelementtien tuenta varastossa.

**5.9. Tahattomat kiinnitysvaikutukset ja negatiivinen momentti**

(1) Ontelolaatan tukeutuessa päistään kantavien seinien väliin, noudatetaan ontelolaatan suunnittelussa standardin SFS-EN 1168 Liitteen E sijasta ontelolaatan suunnittelussa betoninormikorttia n:o XX.

**5.10. Liittolaatta**

(1) Työsauman leikkauskestävyys lasketaan EC2 kohdan 6.2.5 mukaan. Ekstruder ja slipformer-tekniikalla valetun ontelolaatan yläpintaa voidaan SFS-EN 1992-1-1 kohdan 6.2.5(2) mukaan pitää karheana pintana, jolle voidaan käyttää arvoa  $c=0,35$ .

(2) Halkeamattomalla alueella leikkauskestävyys lasketaan kohdan 5.6.1 mukaisesti siten, että leikkausjännitys  $\tau_{cv}$  ja taivutuksesta aiheutuva jännitys lasketaan ottamalla huomioon, että ennen pintabetonin kovettumista tulevat kuormat (ontelolaatan ja pintabetonin paino) kohdistuvat pelkästään ontelolaattaan ja pintabetonin kovettumisen jälkeen tulevat kuormat liittolaatalle.

(3) Leikkausvoimasta aiheutuva leikkausjännitys lasketaan lausekkeesta

$$\tau_{Ed} = \tau_{cV} = \frac{V_{Edg} \cdot S_{hc}}{I_{hc} \cdot b_w} + \frac{V_{Edq} \cdot S_{hc+top}}{I_{hc+top} \cdot b_w}$$

missä

- $V_{Edg}$  on leikkausvoiman laskenta-arvo ennen pintabetonin kovettumista tulevista kuormista (ontelolaatan ja pintabetonin paino)
- $V_{Edq}$  on leikkausvoiman laskenta-arvo pintabetonin kovettumisen jälkeen tulevista kuormista
- $S_{hc}$  on kriittisen kohdan  $y_{crit}$  yläpuolella olevan ontelolaatan osan staattinen momentti ontelolaatan painopisteen  $y_c$  suhteen
- $S_{hc+top}$  on kriittisen kohdan  $y_{crit}$  yläpuolella olevan osan (ontelolaatan yläosa+pintabetoni) staattinen momentti liittolaatan painopisteen  $y_{c,hc+top}$  suhteen
- $I_{hc}$  on ontelolaatan hitausmomentti ontelolaatan painopisteen suhteen
- $I_{hc+top}$  on liittolaatan hitausmomentti liittolaatan painopisteen suhteen
- $b_w$  on ontelolaattapoikkileikkauksen pystykannasten kokonaispaksuus korkeudella  $y_{crit}$ .

(4) Taivutusmomentista aiheutuva normaalijännitys lasketaan lausekkeesta

$$\sigma_{cM} = \frac{M_{Edg}}{I_{hc}} \cdot (y_c - y_{crit}) + \frac{M_{Edq}}{I_{hc+top}} \cdot (y_{c,hc+top} - y_{crit})$$

missä

- $M_{Edg}$  on taivutusmomentin laskenta-arvo ennen pintabetonin kovettumista tulevista kuormista (ontelolaatan ja pintabetonin paino)
- $M_{Edq}$  on taivutusmomentin laskenta-arvo pintabetonin kovettumisen jälkeen tulevista kuormista
- $y_c$  on ontelolaatan painopisteen etäisyys laatan alapinnasta
- $y_{c,hc+top}$  on liittolaatan painopisteen etäisyys rakenteen alapinnasta
- $y_{crit}$  on leikkauskestävyyden kannalta kriittisen kohdan etäisyys laatan alapinnasta

(5) Liittolaatan leikkauslujuus saadaan lausekkeesta

$$\tau_{Rd} = \sqrt{f_{ctd}^2 - f_{ctd} \cdot (\sigma_{cP} + \sigma_{cM}) - (\beta_r \cdot \tau_{vl})^2} - \tau_{cP} \geq \tau_{Ed} = \tau_{cV}$$

Mitoitusehto leikkauskestävyydelle on  $\tau_{Rd} \geq \tau_{Ed}$

### 5.11. Palkkiin tuettu ontelolaatta

(1) Palkkiin tuetun ontelolaatan leikkauskestävyydessä otetaan huomioon palkin ja laatan yhteistoiminnasta aiheutuvat rasiutukset (kohdan 5.6.1 kaavassa esiintyvä termi  $\beta_r \tau_{vl}$ ) betoninormikortin n:o 18 mukaan.

### 5.12. Kololaatta

(1) Täyskorkean ontelopoikkileikkauksen alueella laatta mitoitetaan noudattaen ontelolaattojen mitoitusohjeita.

(2) Kolotun umpilaatan alueella laatta mitoitetaan samojen sääntöjen mukaan. Umpilaatan leikkauskestävyys lasketaan samojen sääntöjen mukaan kuin ontelopoikkileikkauksella, Uuman leveytenä käytetään laatan kokonaisleveyttä. Suurin päävetojännitys esiintyy umpilaatan poikkileikkauksen painopisteakselilla.

(3) Poikkileikkauksen muutoskohdassa tarkistetaan kohdan kestävyys. Muutoskohdassa suositellaan käytettäväksi umpivalua, jonka leveys  $b_p \geq h - h_1$ .

(4) Taipumaa laskettaessa otetaan huomioon kolotun umpilaatan pienempi jäykkyys.

