

## Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan

### Osa 7: Pilarilaatat

#### Johdanto

Eurokoodien käyttöönotto kantavien rakenteiden suunnittelussa on merkittävin suunnitteluohjeita koskeva muutos kautta aikojen. Koko Eurooppa on siirtymässä vuonna 2010 yhteisiin rakenteiden suunnitteluohjeisiin, jolloin lähes kaikista kansallisista suunnitteluohjeista ja standardeista luovutaan.

Tämä julkaisu on osa opassarjaa ”Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan”. Oppaiden avulla pyritään helpottamaan siirtymistä eurokoodimitoitukseen betonirakenteiden suunnittelussa. Oppaissa on koottu yhteen tyyppilisten betonirakenteiden suunnittelussa tarvittavat avaintiedot ja selitykset.

Tämä julkaisusarja on laadittu alun perin Englannissa, ja sen on julkaissut UK Concrete Centre. European Concrete Platform ([www.europeanconcrete.eu/](http://www.europeanconcrete.eu/)) on hankkinut julkaisu-oikeudet ja luovuttanut ne eurooppalaisten betoni- ja sementtiteollisuusjärjestöjen (BIBM, Cembureau, ERMCO, EFCA) kansallisille jäsenjärjestöille. RTT Betonitoimiala on kääntänyt oppaat suomeksi ja muuttanut ne Suomen kansallisten liitteiden mukaisiksi. Työ on rahoitettu osittain Rakennustuotteiden Laatu -säätiön tuella.



#### Suunnittelu eurokoodin EN 1992 mukaisesti

Tämä opas sisältää pilarilaattojen tarkastelun ja mitoituksen Eurokoodin EN 1992<sup>1</sup> mukaisesti. Eurokoodissa EN 1992 ei ole esitetty kaavoja tai erityisopastusta momenttien ja leikkausvoimien määrittämiseen. Tähän on syynä se, että Euroopassa käytäntönä on ollut antaa periaatesäännöt normeissa ja yksityiskohtainen soveltaminen esitetään muissa tietolähteissä kuten oppikirjoissa.

Tämän opassarjan ensimmäisessä osassa ”Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan. Eurokoodimitoituksen perusteet”<sup>2</sup> on yleiskatsaus eurokoodimitoituksen perusteista ja sanasto.

Kun tämän julkaisun tekstissä on kansallisia parametreja, käytetään Suomen kansallisten liitteiden mukaisia arvoja (<http://www.eurocodes.fi/>). Pilarilaattojen mitoitukseen liittyvien tunnusten luettelo on tämän oppaan lopussa.

#### Analyysi

Seuraavia menetelmiä voidaan käyttää:

- FEM-menetelmä
- myötöviivamenetelmä
- kaistamenetelmä

Kun taivutusmomentit ja leikkausvoimat on määritetty, pilarilaattojen mitoitus tehdään tämän ohjeen mukaisesti.

#### Mitoitusmenettely

Pilarilaattojen yksityiskohtainen mitoitusmenettely on esitetty taulukossa 1, jossa oletetaan, että laatan paksuus on määritetty alustavan suunnittelun yhteydessä. Lisää yksityiskohtaisia ohjeita suunnittelusta käyttöiästä, kuormista, materiaaliominaisuuksista, analyysimenetelmistä, vähimmäisbetonipeitteestä säilyvyyden ja tartunnan kannalta sekä halkeamaleveyden rajoittamisesta on oppaassa ”Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan. Betonirakenteiden suunnittelu-perusteet”<sup>3</sup>.

## Palonkestävyys

Eurokoodin EN 1992 osassa 1-2 ”Rakenteiden palomitoitus”<sup>4</sup> on palonkestävyyden määrittämisen vaihtoehtoina kehittyneet menetelmät, yksinkertaistetut menetelmät tai taulukkomitoitus. Taulukkomitoitus on nopein menetelmä pilarilaattojen vähimmäismittojen ja -betonipeitteiden määrittämiseen. Lisäohjeita eurokoodin EN 1992-1-2 rajoituksista löytyy alan kirjallisuudesta.

Taulukkomitoitus perustuu keskiöetäisyyden  $a$  nimellisarvoihin vähimmäisbetonipeitteen sijasta. Keskiöetäisyys on pääraudoitustangon keskikohdan ja palkin pinnan välinen etäisyys. Se on nimellismitta (ei vähimmäismitta). Suunnittelija varmistaa, että  $a \geq c_{nom} + \Phi_{työtanko} + \Phi_{päätanko}/2$ .

Taulukossa 2 on erityyppisten pilarilaattojen vähimmäismitat.

## Taivutusmitoitus

Kuvassa 1 on esitetty taivutusmitoitusmenettely, jossa taivutuskestävyys määritetään yksinkertaistetulla suorakaiteen muotoiseen jännitysjakamaan perustuvalla kaavalla Eurokoodin EN 1992 mukaisesti.

Taulukko 1 Pilarilaatan mitoitusmenettely

Vaihe	Tehtävä	Lisäohjeita	
		Opasrja ”Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan”	Standardi
1	Määritetään suunniteltu käyttöikä	<i>Betonirakenteiden suunnitteluperusteet</i>	SFS-EN 1990:n kansallinen liite
2	Arvioidaan pilarilaattaan kohdistuvat kuormat	<i>Betonirakenteiden suunnitteluperusteet</i>	SFS-EN 1991 (10 osaa) ja kansalliset liitteet
3	Määritetään kuormayhdistelmät	<i>Eurokoodimitoituksen perusteet</i>	SFS-EN 1990:n kansallinen liite
4	Määritetään kuormituskaaviot	<i>Betonirakenteiden suunnitteluperusteet</i>	SFS-EN 1992–1–1:n kansallinen liite
5	Arvioidaan säilyvyysvaatimukset ja määritetään betonin lujuusluokka	<i>Betonirakenteiden suunnitteluperusteet</i>	SFS-EN 1992–1–1
6	Tarkistetaan betonipeitteen vaatimukset palonkestävyyssajan perusteella	<i>Betonirakenteiden suunnitteluperusteet</i> ja tämän oppaan taulukko 2	SFS-EN 1992–1–2: kohta 5
7	Lasketaan vähimmäisbetonipeite säilyvyys-, tulipalo- ja tartuntavaatimusten kannalta	<i>Betonirakenteiden suunnitteluperusteet</i>	SFS-EN 1992–1–1 kohta 4.4.1
8	Lasketaan määräävät momentit ja leikkausvoimat	<i>Betonirakenteiden suunnitteluperusteet</i>	SFS-EN 1992–1–1 kohta 5
9	Mitoidaan taivutusraudoitus	Ks. tämän oppaan kuva 1	SFS-EN 1992–1–1 kohta 6.1
10	Tarkistetaan taipuma	Ks. tämän oppaan kuva 3	SFS-EN 1992–1–1 kohta 7.4
11	Tarkistetaan lävistyskapasiteetti	Ks. tämän oppaan kohta ”Lävistysmitoitus”	SFS-EN 1992–1–1 kohta 6.4
12	Lasketaan tarvittaessa halkeamaleveys tai tarkistetaan tankojako	<i>Betonirakenteiden suunnitteluperusteet</i>	SFS-EN 1992–1–1 kohta 7.3
13	Tarkistetaan kestävyys pilarista laattaan siirtyvän momentin osalta	—	SFS-EN 1992–1–1 kohta 1.1.2 (5)

Taulukko 2 Raudoitettujen betonilaattojen vähimmäismitat ja keskiöetäisyydet

Standardipalonkestävyys	Vähimmäismitat (mm)	
	Laatan paksuus, $h_s$	Keskiöetäisyys, $a$
REI 60	180	15 <sup>a</sup>
REI 90	200	25
REI 120	200	35
REI 240	200	50

**Huomautukset**

1 Tämä taulukko perustuu eurokoodin EN 1992-1-2 taulukkoon 5.9.

2 Keskiöetäisyys mitataan uloimman raudituskerroksen keskikohdasta.

3 Taulukko on voimassa vain, kun yksityiskohtien suunnitteluohjeet on huomioitu (ks. huomautus 4) ja kun normaalilämpötilamitoituksessa taivutusmomenttien uudelleen jakautuminen on korkeintaan 15 %.

4 Kun standardipalonkestävyys on REI90 tai suurempi, edellytetään, että vähintään 20 % eurokoodin EN 1992-1-1 edellyttämästä yläpinnan kokonaisraudoituksesta välitukien kohdalla kummassakin suunnassa jatkuu koko jännemitan pituudelle.

Tämä rauditus sijoitetaan pilarikaistalle.

5 Standardin mukaisia paloaltistusolosuhteita, joiden mukaiset vaatimukset on täytettävä, on kolme:

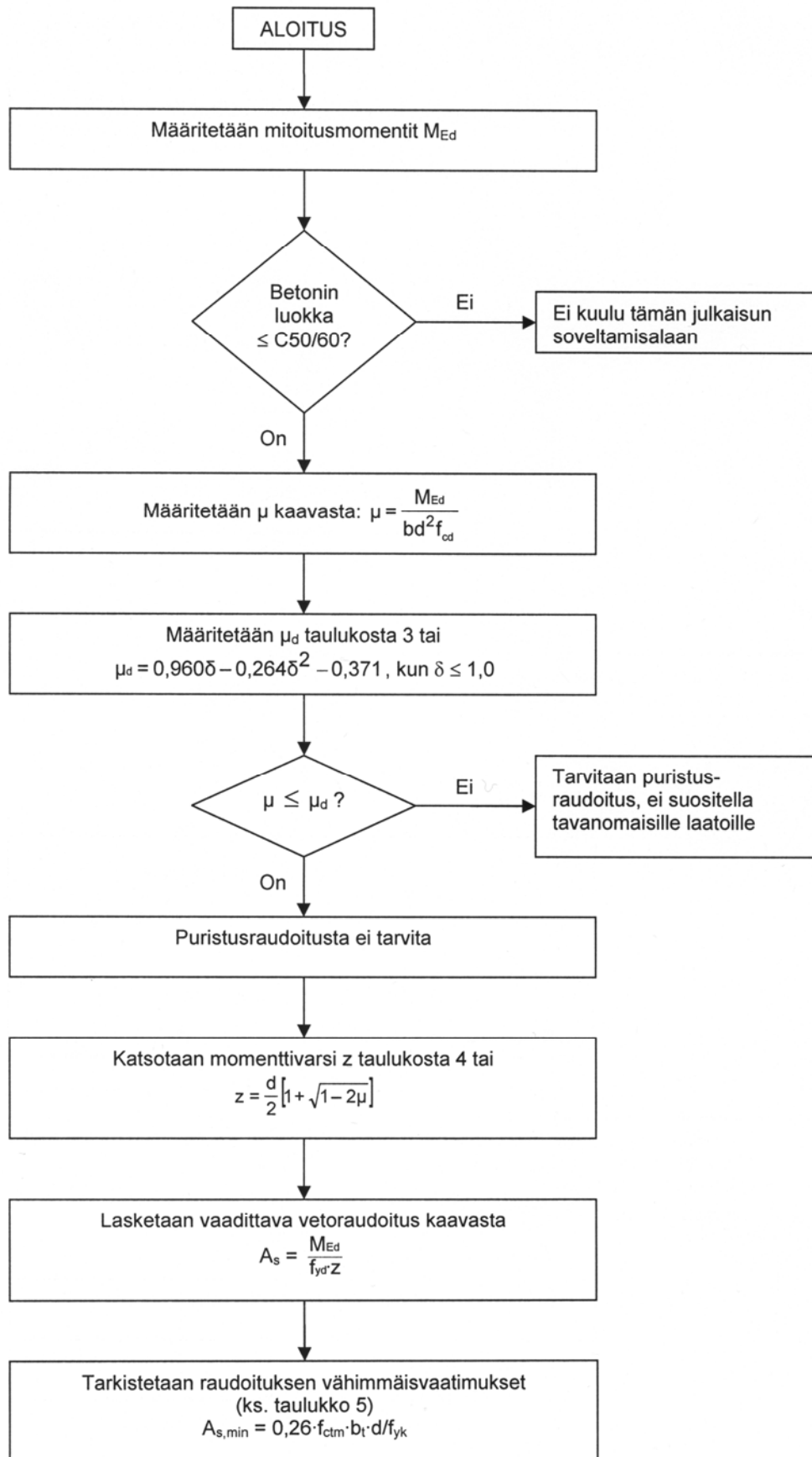
R mekaaninen kestävyys kantavuuden takia

E rakenteen tiiviys

I eristys

**Merkintä**

a Tavallisesti standardin EN 1992-1-1 edellyttämä raudituksen betonipeite on määräävä.



Kuva 1 Taivutusraudoituksen määrittäminen (Suomen kansallisen liitteen mukainen kaava  $\delta$ :lle sekä arvot  $\alpha_{cc} = 0,85$  ja  $\gamma_c = 1,5$ )

Analyysimenetelmästä riippumatta eurokoodin EN 1992-1-1 kohdassa 9.4.1 vaaditaan suunnittelijaa keskitämään rauditus pilarien kohdalle. Eurokoodin EN 1992-1-1 liitteessä I on suosituksia taivutusmomenttien jakamisesta koko laattakentän leveydelle ja keskikaistojen leveyden muuttamisesta eurokoodin EN 1992-1-1 kohtaa 9.4.1 vastaavaksi. Myös kaista-, FEM- tai myötöviivamenetelmää käyttävät suunnittelijat voivat noudattaa liitteen I ohjeita tämän vaatimuksen täyttämiseksi.

Eurokoodissa EN 1992-1-1 esitetään useita laskentamenetelmiä betonin jännitys-muodonmuutos-yhteydelle ja käytettävälle jännitys jakaumalle. Tässä oppaassa käytetään perinteistä yksinkertaistettua suorakaiteen muotoista jännitys jakaumaa (ks. kuva 2).

Eurokoodin EN 1992-1-1 mukaan voidaan suunnitella betonirakenteita enintään luokkaan C90/105. Luokan C50/60 yläpuolella jännitys jakaumaa kuitenkin modifioidaan. Betonin mitoitus perustuu eurokoodeissa lieriölujuuteen kuutiolujuuden sijasta (esim. luokassa C28/35 lieriölujuus on 28 MPa ja kuutiolujuus 35 MPa).

Taulukko 4  $\mu_b$ :n arvot (olettaen suositeltava kaava  $\delta$ :lle ja suositusarvo  $\gamma_c$ :lle)

% uudelleen jakautuminen	$\delta$ (uudelleen jakautumisen suhde)	$\mu_d$
0	1,00	0,324
10	0,90	0,278
15	0,85	0,254
20	0,80	0,228
25	0,75	0,200
30	0,70	0,171

Taulukko 5 z/d yhteen riviin raudoitetuille suorakulmaisille poikkileikkauksille

$\mu$	z/d	$\mu$	z/d
0,07	0,964	0,15	0,919
0,08	0,958	0,16	0,913
0,09	0,953	0,17	0,906
0,10	0,947	0,18	0,900
0,11	0,942	0,19	0,894
0,12	0,932	0,196	0,890
0,13	0,930		
0,14	0,925		

Taulukko 6 Vähimmäisraudoitusmäärä

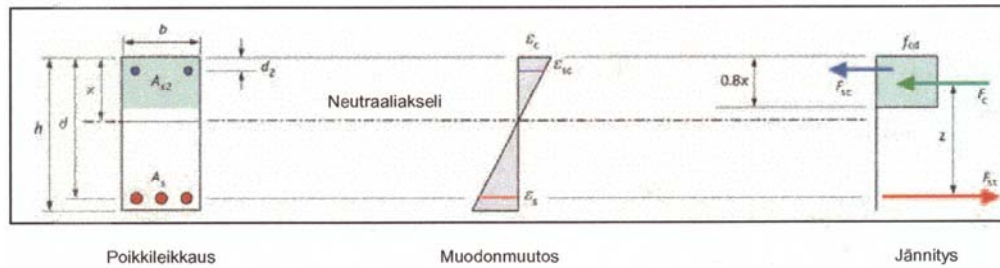
$f_{ck}$	$f_{ctm}$	Vähimmäis-% ( $0,26f_{ctm}/f_{yk}^a$ )
25	2,6	0,13
28	2,8	0,14
30	2,9	0,15
32	3,0	0,16
35	3,2	0,17
40	3,5	0,18
45	3,8	0,20
50	4,1	0,21

**Merkinnät**  
a jossa  $f_{yk} = 500$  MPa.

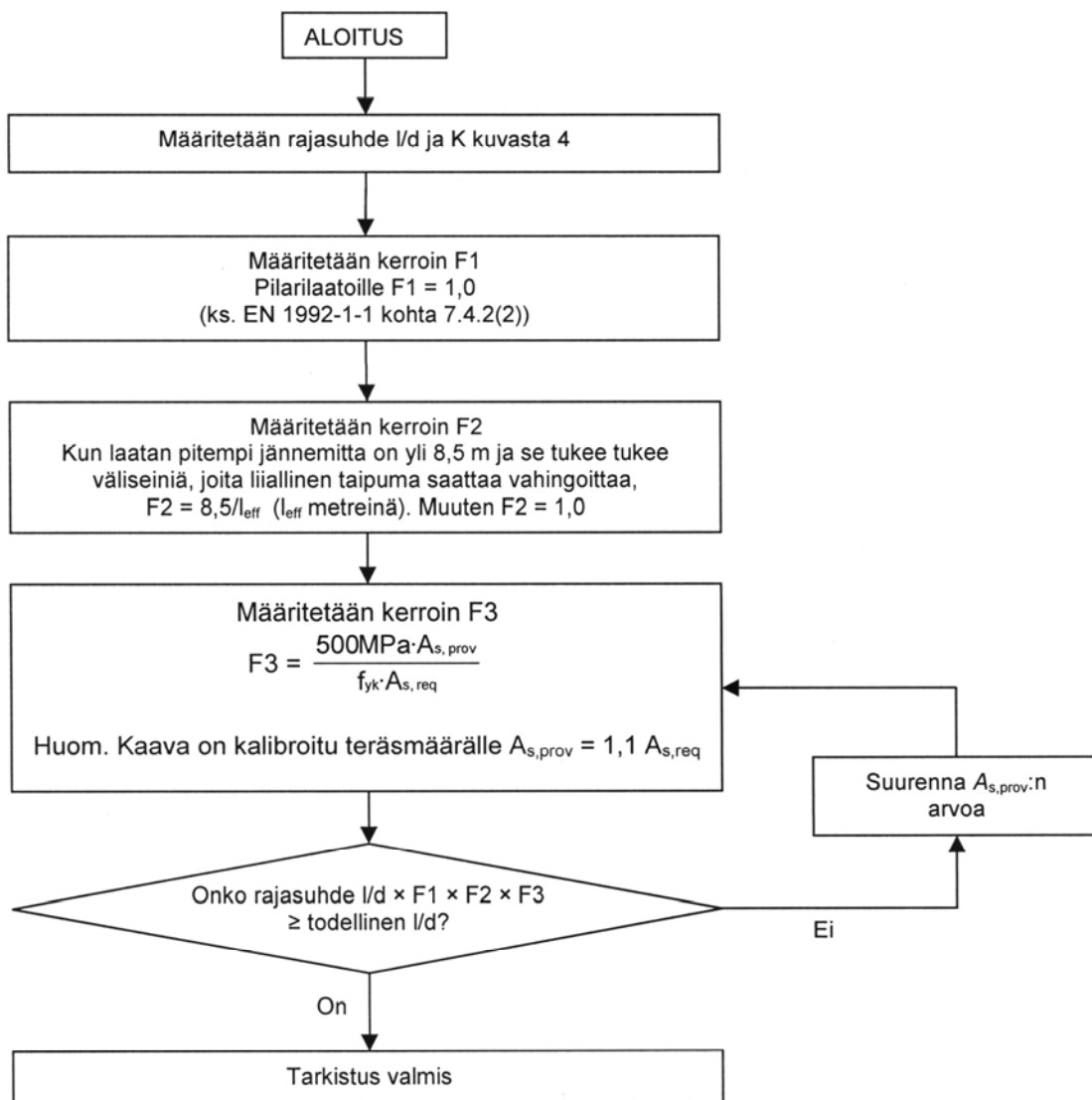
## Taipuma

Eurokoodissa EN 1992 on kaksi vaihtoehtoista menetelmää taipuman tarkistamiseen, joko rajoittamalla jännemitan ja tehollisen korkeuden suhdetta tai arvioimalla taipuma teoreettisesti eurokoodin mukaisilla kaa-voilla. Jälkimmäistä vaihtoehtoa käsitellään yksityiskohtaisesti tämän opassarjan osassa 8 ”Betoni-rakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan: Taipuma”<sup>5</sup>.

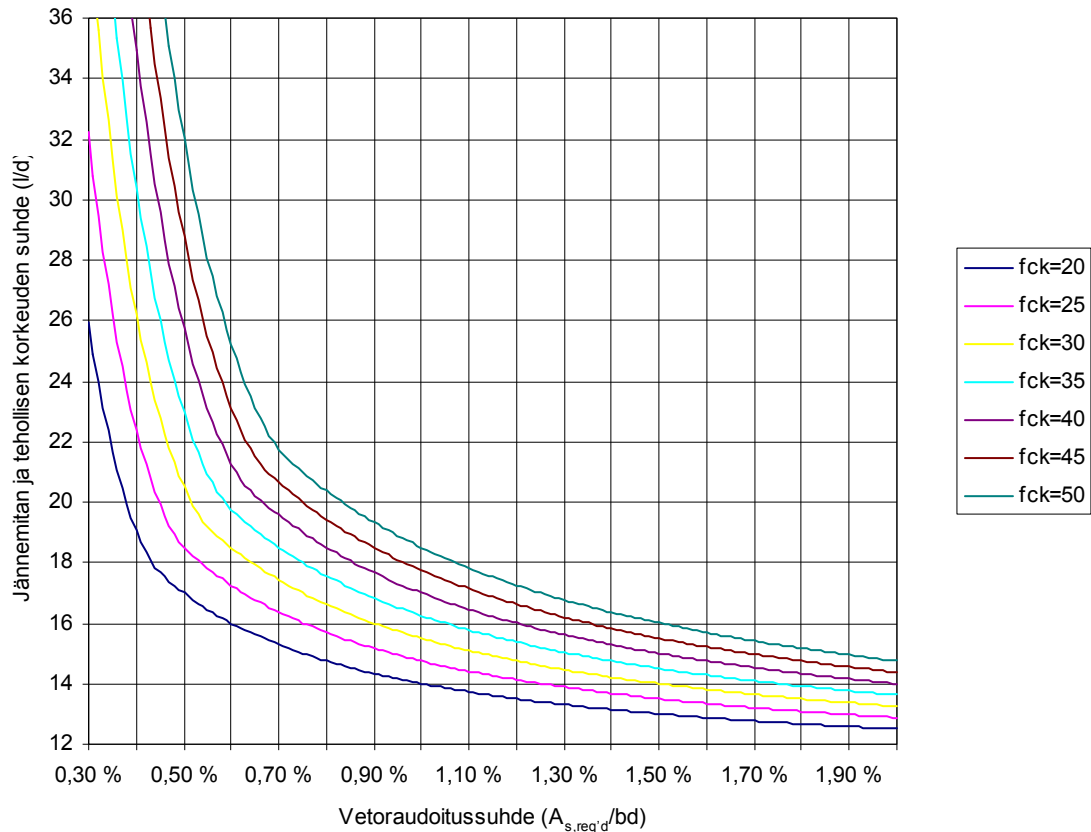
Jännemitan ja tehollisen korkeuden suhteella varmistetaan, että taipuma on korkeintaan jännemitta jaettuna luvulla 250. Tämä menettely on esitetty kuvassa 3. Jännemitan ja tehollisen korkeuden suhdetta voidaan käyttää, kun laattaa ei kuormiteta ennen kuin betoni on saavuttanut riittävän lujuuden työnaikaisten kuormien kantamiseen. Yleensä oletetaan, että betonin varhaisiässä tapahtuva muottien purkamisen ei vaikuta merkittävästi taipumaan sen jälkeen, kun verhoitus ja/tai väliseinät on asennettu<sup>6</sup>.



Kuva 2 Yksinkertaistettu suorakaiteen muotoinen jännitysjauma eurokoodin EN 1992-1-1 mukaisesti, kun betonin lujuusluokka on korkeintaan C50/60.



Kuva 3 Taipuman arviointimenettely



Kuva 4 Pilarilaattojen pidemmän jännemitan ja tehollisen korkeuden rajasuhte

Huomautukset

- 1 Kuvan käyrät on laskettu arvolla  $K=1,0$ . Tätä arvoa käytetään pilarilaattojen tarkastelussa.
- 2 Puristusraudoituksen  $\sigma'$  arvo on 0.
- 3 Käyrät perustuvat seuraaviin kaavoihin:

$$\frac{l}{d} = K \left[ 11 + \frac{1,5\sqrt{f_{ck}\rho_0}}{\rho} + 3,2\sqrt{f_{ck}} \left( \frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{1,5} \right] \quad \text{jos } \rho \leq \rho_0$$

ja

$$\frac{l}{d} = K \left[ 11 + 1,5\sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{(\rho - \rho')} + \frac{\sqrt{f_{ck}}}{12} \sqrt{\frac{\rho'}{\rho_0}} \right] \quad \text{jos } \rho > \rho_0$$

## Lävistysmitoitus

Suomessa lävistysmitoitusta ei tehdä eurokoodissa EN 1992 esitetyllä tavalla. Eurokoodin EN 1992-1-1 Suomen kansallisessa liitteessä on esitetty, että lävistysmitoitus tehdään Suomen rakentamismääräyskokoelman osan B4 "Betonirakenteet, ohjeet" kohdan 2.2.2.7 mukaan. Tämä johtuu kansallisen liitteen mukaan siitä, että eurokoodin lävistysmitoitusten menettelyssä on huomattu ristiriitaisuuksia koetuloksiin verrattuna. Lävistysmitoitus tehdään käyttäen eurokoodien mukaisia kuormia, materiaalien lujuuksia sekä osavarmuuslukuja. Lävistysraudoitusta käytettäessä tulee teräksen lujutena käyttää kuitenkin enintään 300 MPa Suomen rakentamismääräyskokoelman mitoitusten menettelyssä esitetyn rajoituksen mukaisesti. Tässä yhteydessä ei lävistysmitoitusta käsitellä tarkemmin, vaan viitataan Suomen rakentamismääräyskokoelman osaan B4, mistä ohjeet löytyvät.

## Raudoituksen jakovälin ja määrän säännöt

### Pääraudoituksen poikkileikkauksen vähimmäisala

Raudoituksen poikkileikkauksen vähimmäispinta-ala on  $A_{s,min} = 0,26 f_{ctm} b_t d / f_{yk}$ , kuitenkin vähintään  $0,0013 b_t d$  (ks. taulukko 6).

### Raudoituksen vähimmäisjakoväli

Raudoitustankojen vapaan välin tulee olla suurempi kuin

- raudoitustangon halkaisija
- raekoko + 3 mm
- 20 mm

### Pääraudoituksen enimmäisjakoväli

Alle 200 mm paksuisille laatoille seuraavat raudoituksen enimmäisjakovälin säännöt ovat voimassa:

- pääraudoitukselle: 3h, mutta korkeintaan 400 mm
- jakoraudoitukselle: 4,0h, mutta korkeintaan 600 mm

Poikkeuksia ovat pistekuormien tai maksimimomentin kohdat, jolloin seuraavat säännöt ovat voimassa:

- pääraudoitukselle: 2h, mutta korkeintaan 250 mm
- jakoraudoitukselle: 3h, mutta korkeintaan 400 mm

joissa h on laatan korkeus

Vähintään 200 mm paksuisille laatoille pätee yllä esitetyt enimmäisjakovälit ja lisäksi halkeamaleveyden rajoittamiseksi viitataan eurokoodin EN 1992-1-1 kohtaan 7.3.3 tai oppaaseen "Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan. Betonirakenteiden suunnitteluperusteet"<sup>3</sup>.

Lävistysraudoituksen osalta noudatetaan RakMK:n osan B4 ohjeita.

## Valitut tunnuks

Tunnus	Määritelmä	Arvo
$A_c$	Betonin poikkileikkausala	bh
$A_s$	Vetoraudoituksen poikkileikkausala	
$A_{s2}$	Puristusraudoituksen poikkileikkausala	
$A_{s, prov}$	Poikkileikkauksessa olevan vetoraudoituksen pinta-ala	
$A_{s, req}$	Poikkileikkauksessa murtorajatilassa vaadittava vetoraudoituksen pinta-ala	
b	Laatan leveys	
d	Tehollinen korkeus	
$d_2$	Tehollinen korkeus puristusraudoitukseen nähden	



Tunnus	Määritelmä	Arvo
$f_{cd}$	Betonin puristuslujuuden mitoitusarvo	$\alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$
$f_{ck}$	Betonin lieriölujuuden ominaisarvo	
$f_{ctm}$	Betonin keskimääräinen vetolujuus	$0,30 f_{ck}^{2/3}$ lujuusluokille $f_{ck} \leq$ C50/60 (Eurokoodi SFS- EN 1992-1-1, taulukko 3.1)
$h_s$	Laatan paksuus	
$K$	Kerroin, jossa otetaan huomioon erilaiset tuentatavat taipumatarkasteluissa	Ks. kansallinen liite taulukko 7.4N
$l_{eff}$	Rakennesosan tehollinen jännemitta	Ks. SFS- EN 1992-1-1 kohta 5.3.2.2 (1)
$l/d$	Jännemitan ja tehollisen korkeuden rajasuhde	
$M$	Mitoitusmomentti murtorajatilassa	
$x$	Neutraaliakselin etäisyys poikkileikkauksen reunasta	$(d - z)/0,4$
$x_{max}$	Korkeuden raja-arvo neutraaliakseliin nähden	
$z$	Momenttivarsi	
$\alpha_{cc}$	Kerroin, jonka avulla otetaan huomioon puristuslujuuteen vaikuttavat pitkäaikaistekijät ja kuorman vaikuttamistavasta aiheutuvat epäedulliset tekijät	0,85
$\delta$	Uudelleen jakautunut momentti jaettuna kimmoteorian mukaisella taivutusmomentilla	
$\gamma_M$	Materiaaliominaisuuksien osavarmuusluku	1,15 raudoitukselle ( $\gamma_s$ ) 1,5 betonille ( $\gamma_c$ )
$\rho_0$	Raudoitussuhteen vertailuarvo	$\sqrt{f_{ck}} / 1000$
$\rho$	Mitoituskuormista jänteen puoliväliin (ulokkeiden tapauksessa tuelle) aiheutuvan momentin edellyttämä vetoraudoitussuhde	$A_s / bd$
$\rho'$	Mitoituskuormista jänteen puoliväliin (ulokkeiden tapauksessa tuelle) aiheutuvan momentin edellyttämä puristusraudoitussuhde	$A_{s2} / bd$

### Viitteet

- 1 SFS-EN 1992-1-1 Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt
- 2 RTT/betoni, Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan, Eurokoodimitoituksen perusteet.
- 3 RTT/betoni, Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan, Betonirakenteiden suunnitteluperusteet.
- 4 SFS-EN 1992-1-2 Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Yleiset säännöt. Rakenteiden palomitoitus
- 5 RTT/betoni, Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan, Taipuma.
- 6 PALLETT, P. Guide to flat slab formwork and falsework. Construct, 2003.

Alkuperäisen oppaan ovat julkaisseet BCA ja The Concrete Centre in the UK. Julkaisun ovat kirjoittaneet R Moss BSc, PhD, DIC, MICE, MStructE ja O Brooker BEng, CEng, MICE, MStructE. Julkaisun ovat kääntäneet ja sovittaneet suomalaiseen käytäntöön Kari Silvennoinen, Tauno Hietanen, Timo Tikanoja ja Jouni Kalliomäki.

Julkaisija ja copyright: Rakennustuoteteollisuus RTT ry, betonteollisuus -jaosto (seuraavassa RTT/betoni), versio 26.1.2010.

Kaikki oikeudet pidätetään. Tämän julkaisun sisällön tai sen osan kopioiminen, siirtäminen, jakelu tai tallentaminen missä muodossa tahansa on kiellettyä ilman RTT/betonin etukäteistä kirjallista suostumusta.

RTT/betoni katsoo tässä julkaisussa esitettyjen ohjeiden ja tietojen pitävän paikkansa julkaisuajankohtana.

Vaikka RTT/betonin tarkoitus on, että tässä julkaisussa esitetyt ohjeet ja tiedot ovat virheettömiä ja ajan tasalla, kumpaakaan ei voida taata. Jos RTT/betonille ilmoitetaan julkaisussa olevista virheistä, ne korjataan tarkoituksenmukaisella menetelmällä.

Julkaisussa esitetyt mielipiteet ovat osittain alkuperäisen englanninkielisen version kirjoittaneiden esittämiä, eikä RTT/betoni ota vastuuta niistä.

Ohjeet ja tiedot on tarkoitettu päteville henkilöille, jotka pystyvät soveltamaan tässä julkaisussa annettuja ohjeita ja tietoja ja ymmärtämään niihin liittyvät rajoitukset sekä ottamaan vastuun niiden soveltamisesta omassa työssään. RTT/betoni ei ole vastuussa mistään ohjeiden tai tietojen käytön aiheuttamasta suorasta tai epäsuorasta vahingosta.

Lukijoiden tulee ottaa huomioon, että RTT/betonin julkaisuja päivitetään ja varmistaa, että käytetään tämän julkaisun uusinta versiota.