

Betoniteollisuus ry, Elementtisuunnittelu 2013

BETONIRAKENTEIDEN SUUNNITTELUN OPPIKIRJA By 211

Osan 1 esittely
Palkin laskenta

Pekka Nykyri, TkL, yliopettaja
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TAVOITTEET

- ❑ Opetukseen soveltuva kirja
 - ◆ riittävän yksinkertainen => selkeä
 - ◆ johdonmukainen
 - ◆ havainnollinen
- ❑ Vaativuusluokan A teoratiedon kattava
- ❑ Eurokoodin suunnittelusääntöjen mukainen
 - ◆ tärkeimmät suunnittelusäännöt esillä
 - ◆ pelkistystä, mutta ei omia "virityksiä"
- ❑ Korvaa kirjasarjan by 202, 203
 - ◆ käytetään soveltaen by 203 :n rakennetta
- ❑ Oheismateriaali
 - ◆ toimitetaan sähköistä oheismateriaali

HAASTEET

□ Selkeys / Tarkkuus

- ◆ EC:n säännöt paikoin hyvin monimutkaisia
-> vaikea esittää selkeästi kohtuullisessa tilassa

□ Laajuus

- ◆ ei mahdu by 203:n raameihin (270 s.)
- ◆ vaativuusluokan A sisältö ?

□ Oheismateriaalin julkaisu/toimitus

- ◆ laskuesimerkit
- ◆ lohkokaaaviot
- ◆ sähköinen materiaali

TOTEUTUS

- Julkaistaan kahdessa osassa
 - ◆ 1. osa: perusteet , palkkien suunnittelu
 - ◆ 2. osa: laatat, pilarit, seinät, perustukset
- 1. Osa,
 - ◆ perusteet, palkin suunnittelu
 - ◆ n. 250 sivua
 - ◆ 24 laskuesimerkkiä
 - ◆ 6 laskuprosessikaaviota
- 2. Osa,
 - ◆ julkaistaan tämän vuoden (2013) lopussa
 - ◆ n. 150 sivua

SISÄLTÖ (Osa 1)

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO

- 1.1 Kirjan tarkoitus
- 1.2 Betoni rakennusmateriaalina
- 1.3 Rakenteiden suunnittelu
- 1.4 Merkinnät ja koordinaatisto

2. SUUNNITTELUPERUSTEET

- 2.1 Rajatilamitoitus
- 2.2 Osavarmuuslukumenetelmä
- 2.3 Luotettavuuden hallinta
- 2.4 Toteutusluokan valinta
- 2.5 Kuormat ja kuormayhdistelmät

3. MATERIAALIOMINAISUUDET

- 3.1 Kovettunut betoni
- 3.2 Betoniteräksiset
- 3.3 Raudoitettu betoni

4. RAKENNUSRUNKO

- 4.1 Runkotyyppejä
- 4.2 Runkojen toimintatavat
- 4.3 Rakenneosat
- 4.4 Liitokset

5. TERÄSBETONIPALKIT

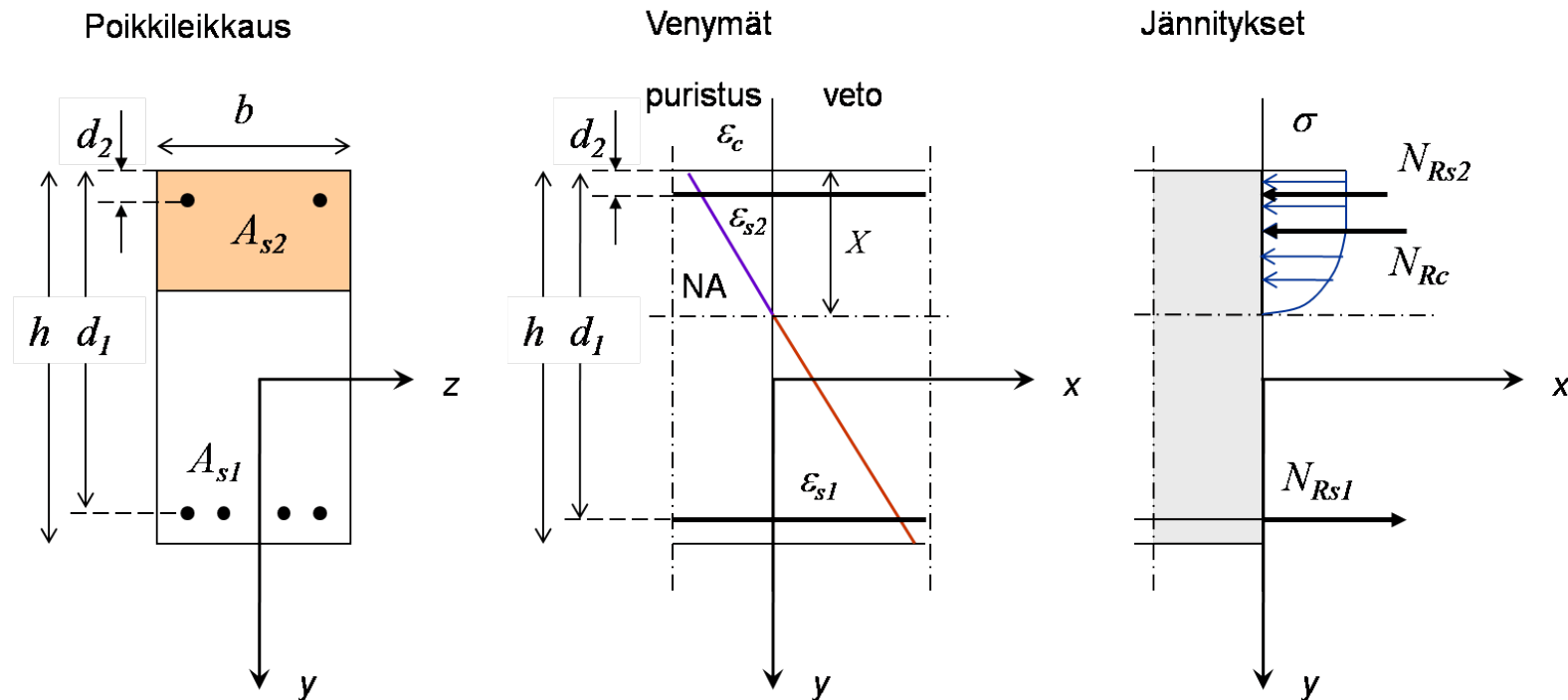
- 5.1 Palkkien mitat
- 5.2 Voimasuureiden määrittäminen
- 5.3 Teräsbetonipalkin rakenteellinen toiminta
- 5.4 Mitoituksen kulku
- 5.5 Taivutusmitoitus
- 5.6 Leikkausmitoitus
- 5.7 Ankkurointimitoitus
- 5.8 Vääntömitoitus
- 5.9 Palkin raudoituksen suunnittelu
- 5.10 Palkkien mitoitus käyttörajatilassa

LÄHTEET

LIITTEET

Merkinnät, koordinaatisto (luku 1.4)

- ◆ Eurokoodin mukainen
- ◆ Sopusointu mekaniikan opetuksen kanssa
- ◆ Yhtenäinen, looginen



Kuva 4/1.4. Poikkileikkauksen venymäjakauman ja jännitysjakauman esittäminen.

Toteutusluokan valinta (luku 2.2) (koskee paikallavalurakenteita)

- Seuraamusluokka / toleranssiluokka / toteutusluokka / mat.osavarmuus

Seuraamus-luokka	Toleranssi-luokka	Materiaali osavarmuus	Toteutus-luokka	Betoni-luokat
CC1	1	perus	1	$\leq C20/25$
	1	perus	2	$\leq C50/60$
	1	perus	3	$\leq C90/105$
	2	pienennetty	3	$\leq C90/105$
CC2	1	perus	2	$\leq C50/60$
	1	perus	3	$\leq C90/105$
	2	pienennetty	3	$\leq C90/105$
CC3	1	perus	3	$\leq C90/105$
	2	pienennetty	3	$\leq C90/105$

Materiaaliosavarmuuslukujen perusarvot ovat:

- betonille $\gamma_c = 1,50$
- raudoitukselle $\gamma_s = 1,15$

Pienennetyt arvot ovat:

- betonille $\gamma_c = 1,35$
- raudoitukselle $\gamma_s = 1,10$

Kuormat, kuormien yhdistely (luku 2.5)

MRT

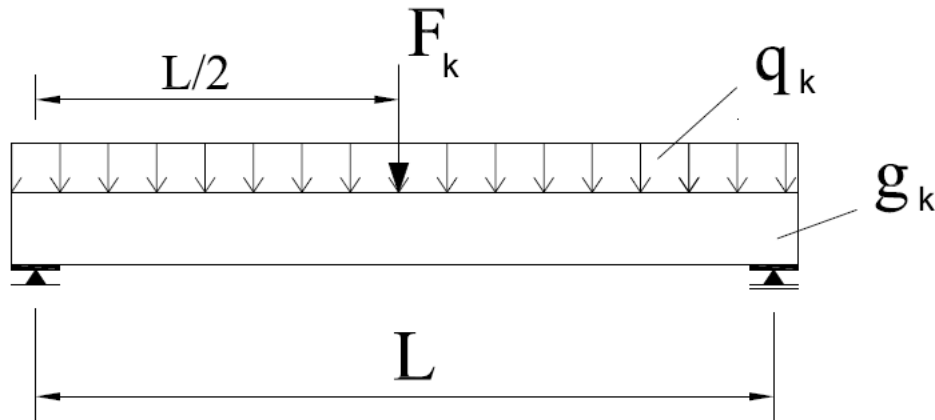
Kuormitus-yhdistelmä	Kuormien kertoimet		
	Pysyvä	1. muuttuva	Muut muuttuvat
EQU	$1,10K_{FI}$ tai 0,90	$1,5K_{FI}$	$1,5K_{FI} \psi_0$
STR 1	$1,15K_{FI}$ tai 0,90	$1,5K_{FI}$	$1,5K_{FI} \psi_0$
STR 2	$1,35K_{FI}$	0	0

KRT

Kuormitus-yhdistelmä	Kuormien kertoimet		
	Pysyvä	1. muuttuva	Muut muuttuvat
Ominaisyhdistelmä	1,0	1,0	ψ_0
Tavallinen yhdistelmä	1,0	ψ_1	ψ_2
Pitkäaikainen yhdistelmä	1,0	ψ_2	ψ_2

Laskuesimerkki, kuormitusyhdistelmät

Esimerkki 5/2



⇒ määräävän kuormitustapauksen valinta voimasuureen perusteella ja erikseen taivutusmomentille ja leikkausvoimalle

Laske palkin kuormituksen mitoitusarvot MRT:ssa ja KRT:ssa, kun ominaiskuormat ovat:

- rakenteen painon aiheuttama ominaiskuorma $g_k = 12 \text{ kN/m}$
- hyötykuorman aiheuttama ominaiskuorma $q_k = 15 \text{ kN/m}$
- rakenteen painon aiheuttama pistekuorma palkin keskelle $F_k = 50 \text{ kN}$

Palkin jännemitta

Seuraamusluokaksi valitaan CC2, jolloin kuormakerroin

$$L = 6 \text{ m}$$

$$K_{FI} = 1,0$$

RATKAISU MRT

Murtorajatilan kuormitusyhdistely tehdään kestävyysajan rajatilassa (STR). Rajatiloja on kaksi STR 1 ja STR 2, joista valitaan määräävä kullekin voimasuureelle.

Leikkausvoima tuella

Kestävyysajan rajatila, kuormitusyhdistelmä 1 (STR 1)

$$V_{Ed1} := 1.15 \cdot K_{FI} \cdot \left(g_k \cdot \frac{L}{2} + F_k \cdot \frac{1}{2} \right) + 1.5 \cdot K_{FI} \cdot q_k \cdot \frac{L}{2} = 137.7 \cdot \text{kN}$$

Kestävyysajan rajatila, kuormitusyhdistelmä 2 (STR 2)

$$V_{Ed2} := 1.35 \cdot K_{FI} \cdot \left(g_k \cdot \frac{L}{2} + F_k \cdot \frac{1}{2} \right) = 82.3 \cdot \text{kN}$$

Määräävä kuormitusyhdistelmä:

$$V_{Ed} := \max(V_{Ed1}, V_{Ed2}) = 137.65 \cdot \text{kN}$$

STR 1

Taivutusmomentti

Kestävyyden rajatila, kuormitusyhdistelmä 1 (STR 1)

$$M_{Ed1} := 1.15 \cdot K_{FI} \cdot \left(g_k \cdot \frac{L^2}{8} + F_k \cdot \frac{L}{4} \right) + 1.5 \cdot K_{FI} \cdot q_k \cdot \frac{L^2}{8} = 249.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Kestävyyden rajatila, kuormitusyhdistelmä 2 (STR 2)

$$M_{Ed2} := 1.35 \cdot K_{FI} \cdot \left(g_k \cdot \frac{L^2}{8} + F_k \cdot \frac{L}{4} \right) = 174.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Määrävä kuormitusyhdistelmä:

$$M_{Ed} := \max(M_{Ed1}, M_{Ed2}) = 249.6 \text{ m} \cdot \text{kN}$$

STR 1

RATKAISU (KRT)

Lasketaan palkin maksimimomentin arvot KRT:n eri kuormitusyhdistelmillä:

- ominaiskuormien yhdistelmällä
- tavallisten kuormien yhdistelmällä
- pitkäaikaisten kuormien yhdistelmä

$$M_{gk} := g_k \cdot \frac{L^2}{8} = 54 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{Fk} := F_k \cdot \frac{L}{4} = 75 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{qk} := q_k \cdot \frac{L^2}{8} = 67.5 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Ominaiskuormien yhdistelmä

$$M_{Ek} := g_k \cdot \frac{L^2}{8} + F_k \cdot \frac{L}{4} + q_k \cdot \frac{L^2}{8} = 196.5 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Tavallisten kuormien yhdistelmä

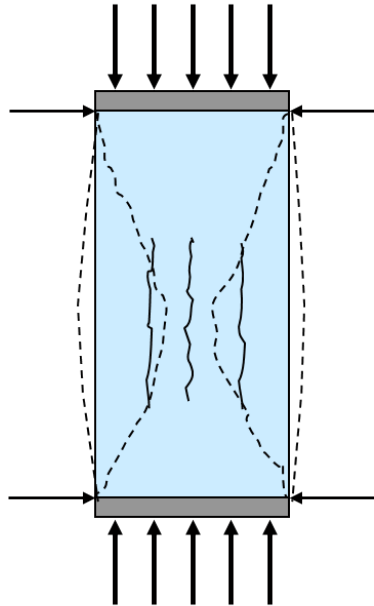
$$M_{Ef} := g_k \cdot \frac{L^2}{8} + F_k \cdot \frac{L}{4} + \psi_1 \cdot q_k \cdot \frac{L^2}{8} = 162.8 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Pitkäaikaisten kuormien yhdistelmä

$$M_{EQp} := g_k \cdot \frac{L^2}{8} + F_k \cdot \frac{L}{4} + \psi_2 \cdot q_k \cdot \frac{L^2}{8} = 149.3 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

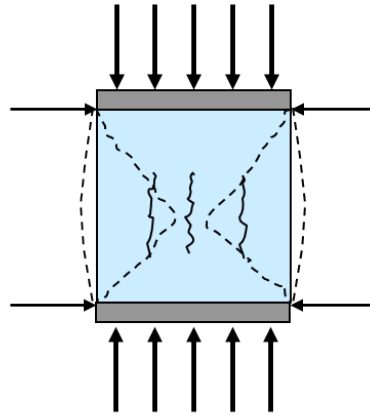
Materiaaliominaisuudet (luku 3.1)

Lieriö koekappale



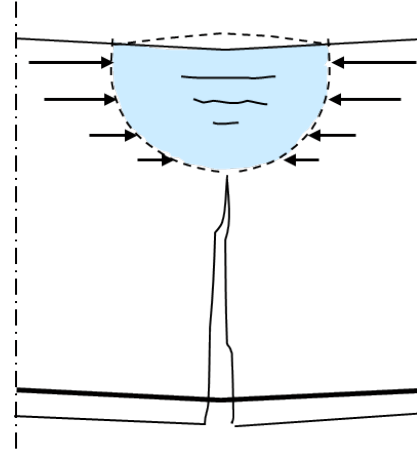
$$f_c$$

Kuutio koekappale



$$f_{c,cube} \approx \frac{f_c}{0,85}$$

Rakenne
taivutusrasituksessa



$$f_{c,rakenne} \approx \alpha_{cc} f_c$$

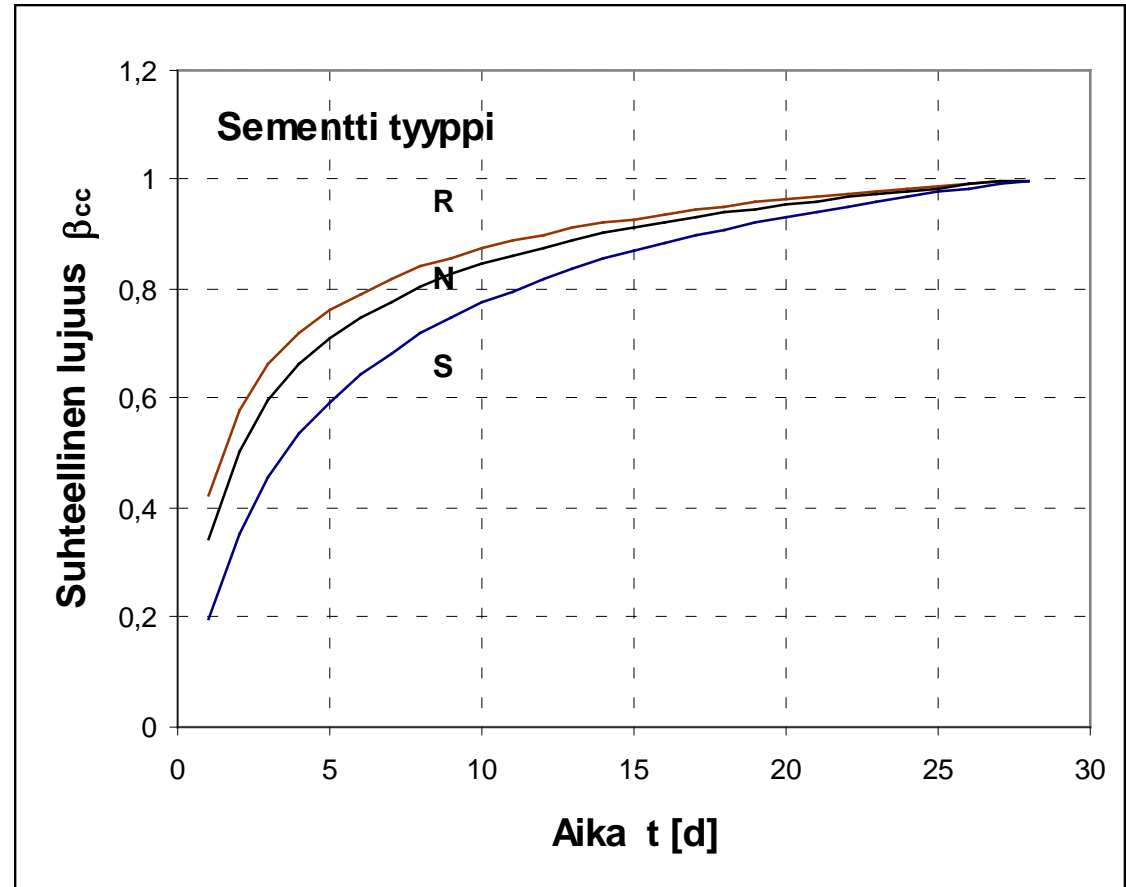
Kuva 2/3.1 Koekappaleen vaikutus
betonin puristuslujuuteen.

Materiaaliominaisuudet, betonin lujuudenkehitys (luku 3.1)

- ◆ laskukaavoja havainnollistetaan EXCEL-käyrästä

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) f_{cm}$$

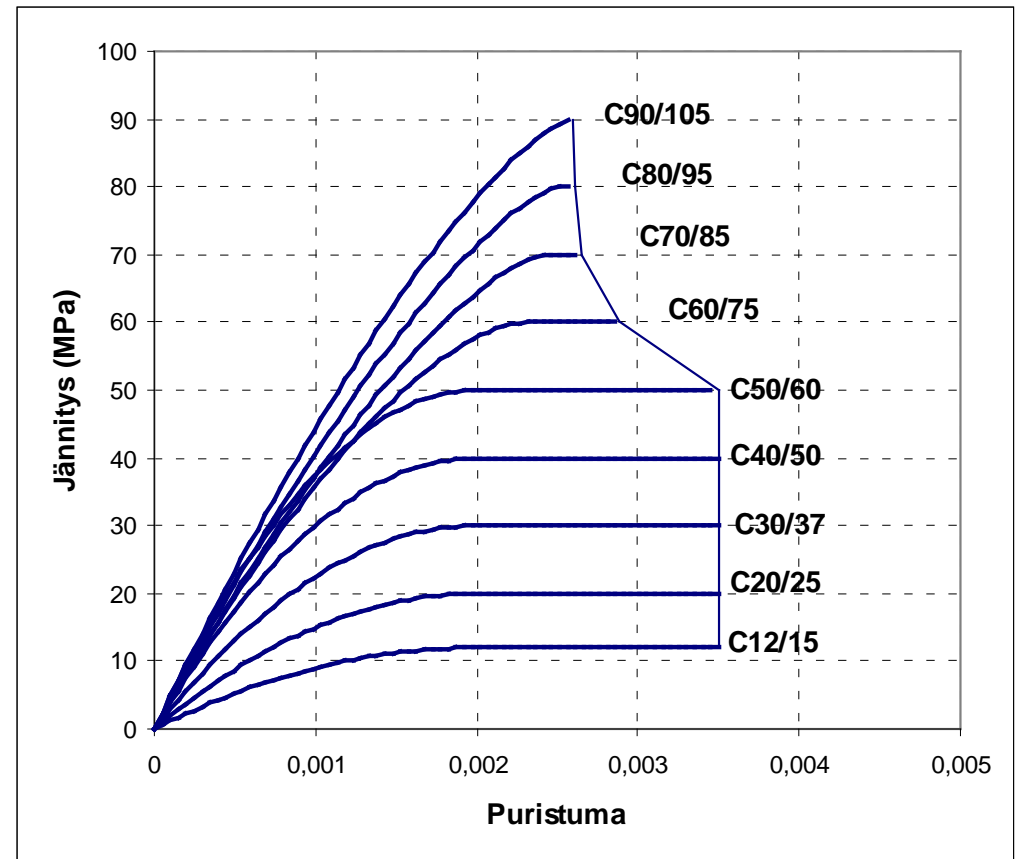
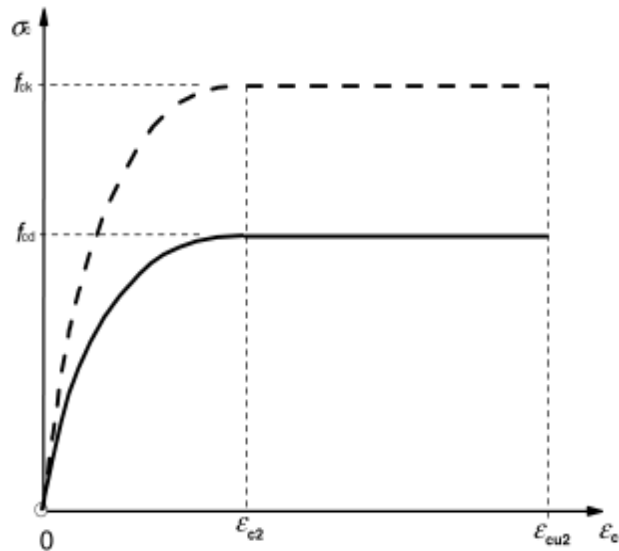
$$\beta_{cc}(t) = \exp \left\{ s \left[1 - \sqrt{\frac{28}{t}} \right] \right\}$$



Kuva 4/3 Betonin lujuuden kehitys kaavan (10/3) mukaan..

Materiaaliominaisuudet (luku 3.1), jännitys venymä riippuvuus

$$\sigma_c = f_{cd} \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right)^n \right] \quad \text{kun } 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2}$$
$$\sigma_c = f_{cd} \quad \text{kun } \varepsilon_{c2} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu2}$$



□ Käyttöikä, rasitusluokat, betonipeite (luku 3.3.2)

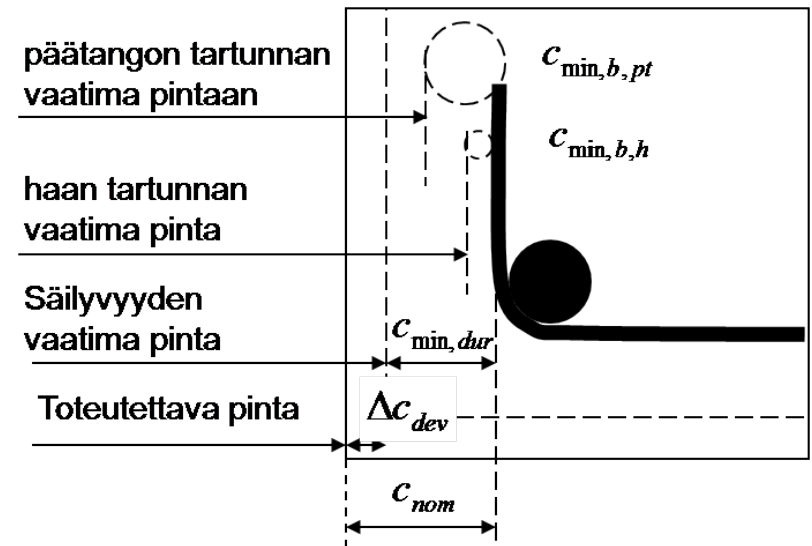
- ◆ peruskäsitteet ja mitoitusaulukot

□ Palokestävyys (luku 3.3.3)

- ◆ peruskäsitteet , mitoitusaulukot ja esimerkkejä

□ Betonipeitteen valinta (luku 3.3.4)

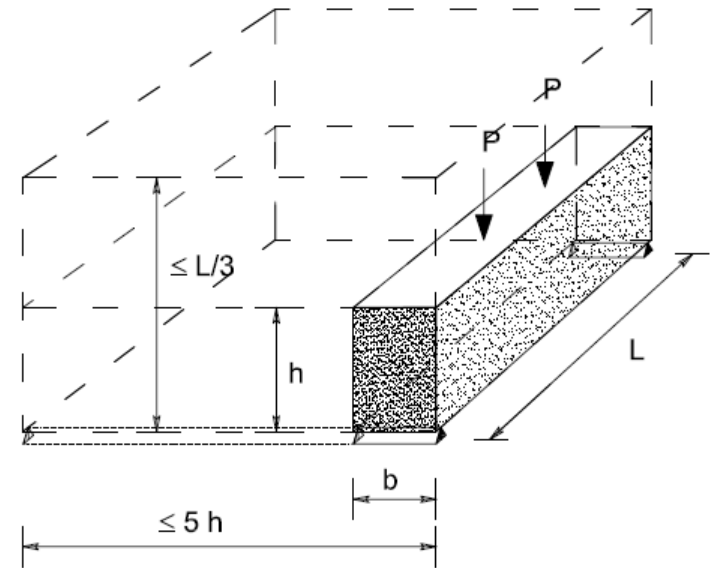
- ◆ säilyvyyden, tartunnan ja palonkestävyyden yhdistäminen



Kuva 26/3. Tartunnan vaatima betonipeitteen määrittäminen haan pintaan.

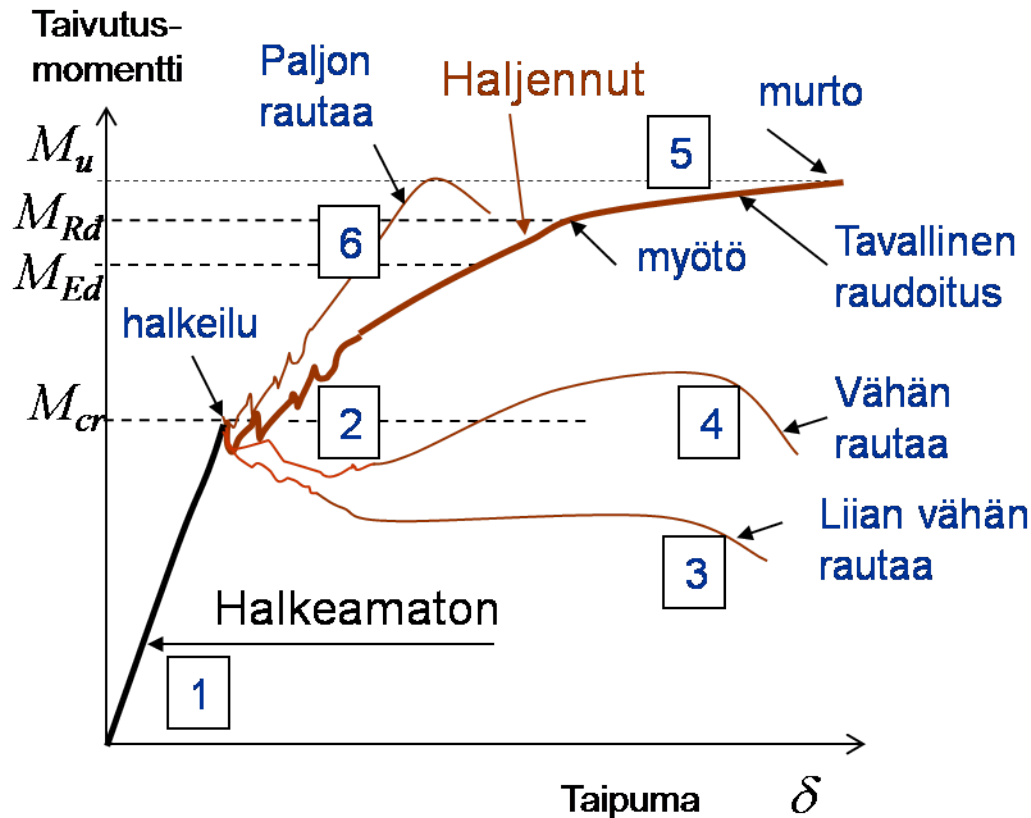
TERÄSBETONIPALKIT (luku 5)

- ◆ Pääluke n.170 s.
- Palkien mitat (luku 5.1)
 - ◆ Rajat EC 2:n mukaisesti
 - ◆ Poikkileikkausmitat, jännemitat
- Voimasuureiden määrittäminen (luku 5.2)
 - ◆ Staattisesti määrätyt rakenteet
 - ◆ Staattisesti määräämättömät rakenteet

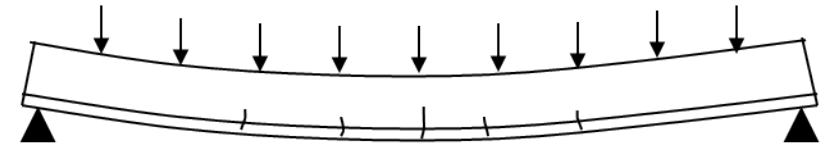


Teräsbetonipalkin rakenteellinen toiminta (luku 5.3)

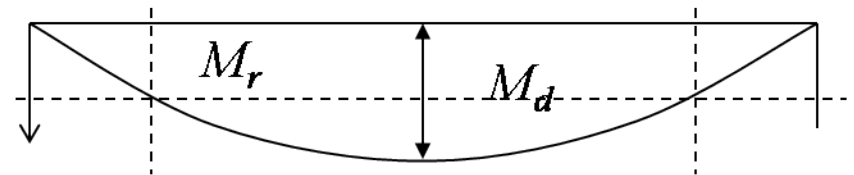
- Palkin käyttäytyminen kuormitettuna, rauditusmäärän vaikutus



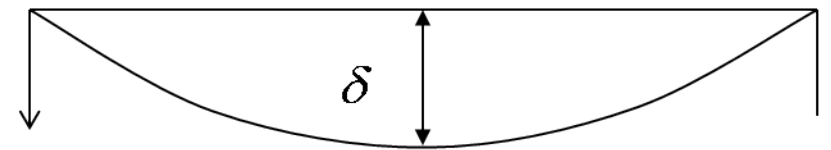
Halkeilun jakautuminen



Taivutusmomentin jakautuminen



Taipuma



Teräsbetonipalkin rakenteellinen toiminta (luku 5.3)

- ◆ Palkin käyttäytyminen kuormitettuna, raudoitusmäärän vaikutus, kuvia kuormitetuista palkeista

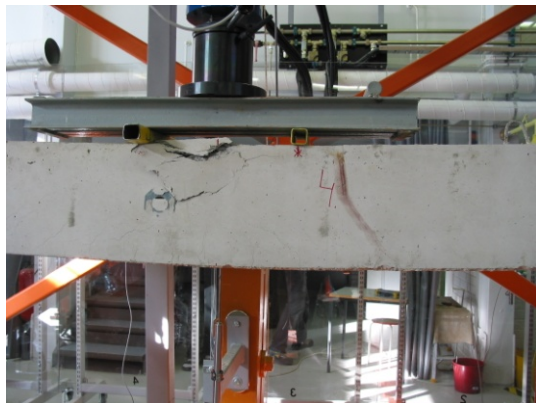
a) vähimmäisraudoitettu



c) tasapainorautoitettu



d) ylirautoitettu

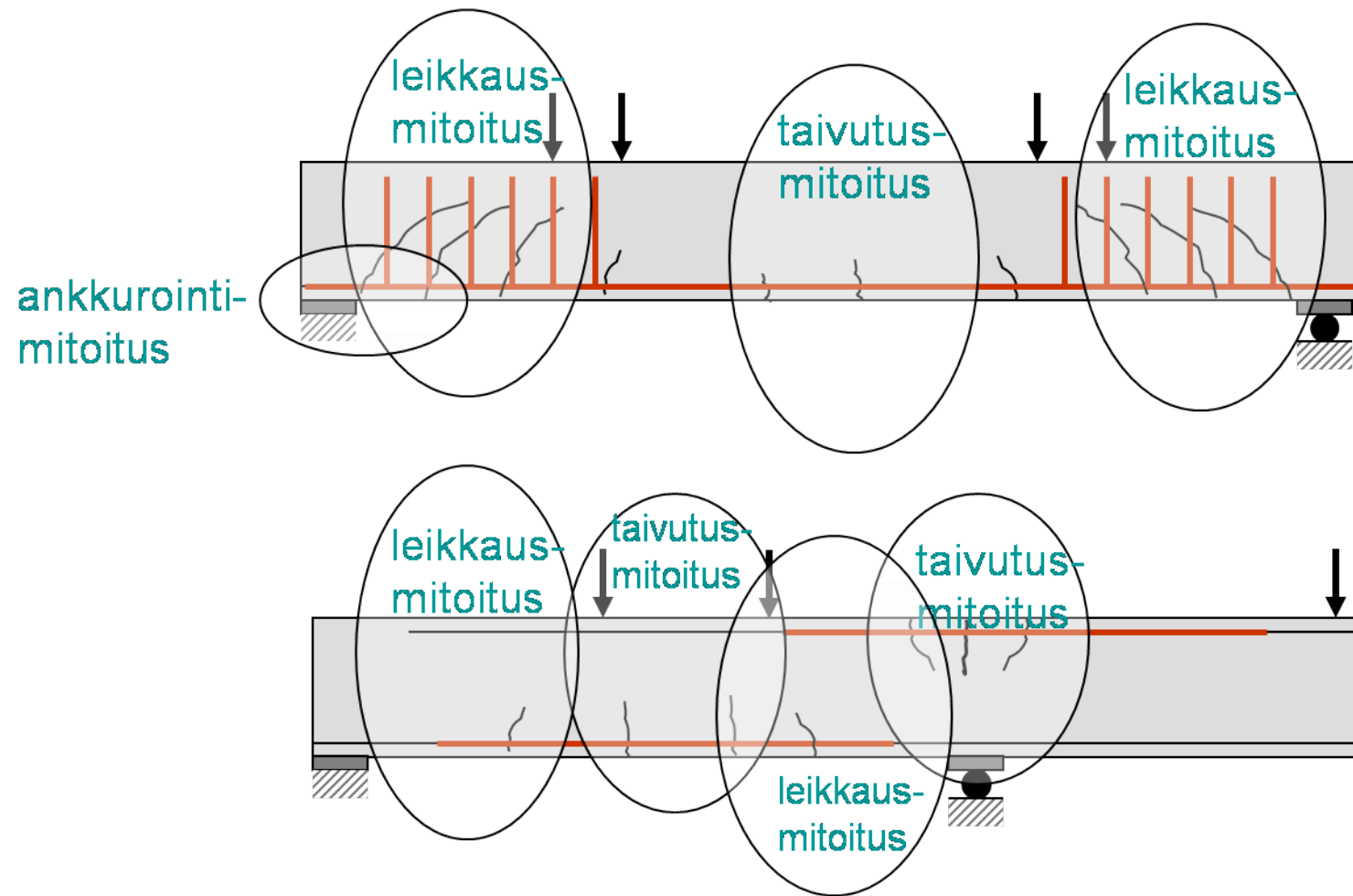


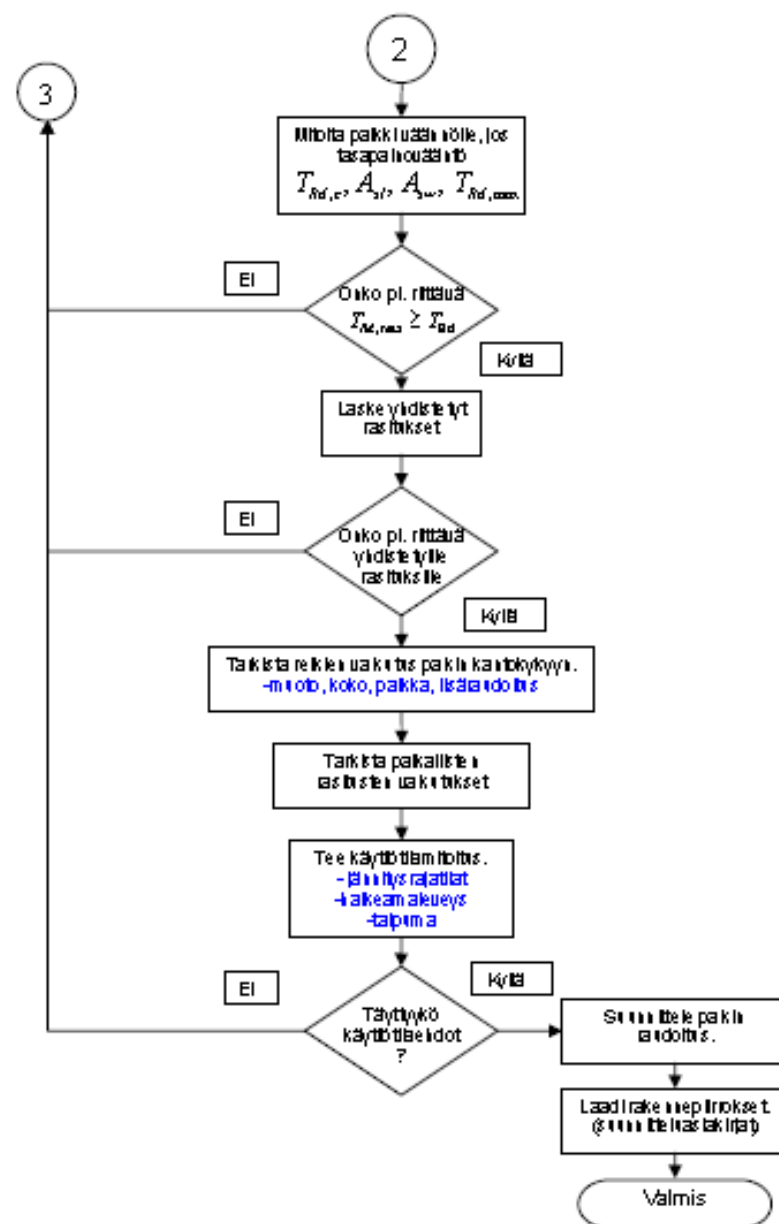
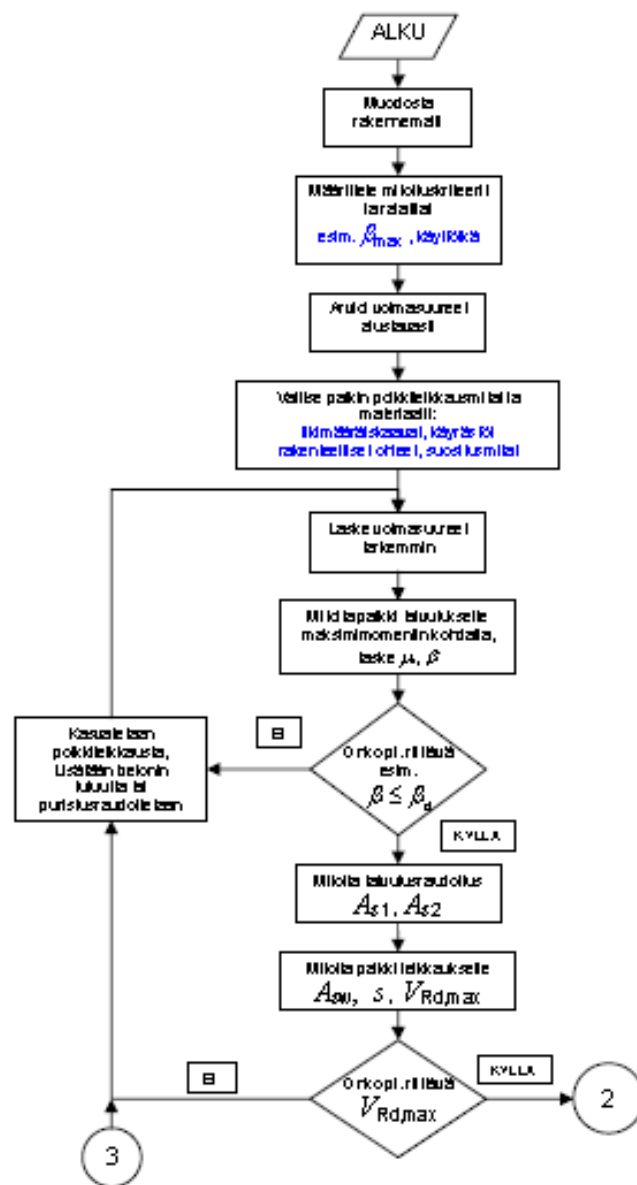
e) puristusraudoitettu



Teräsbetonipalkit, mitoituksen kulku (luku 5.4)

- ♦ Mitoitustehtävät tekstinä, lohkokaaaviona, havainnekuvana





Mitoitus eri raskituksille murtorajatilassa (MRT)

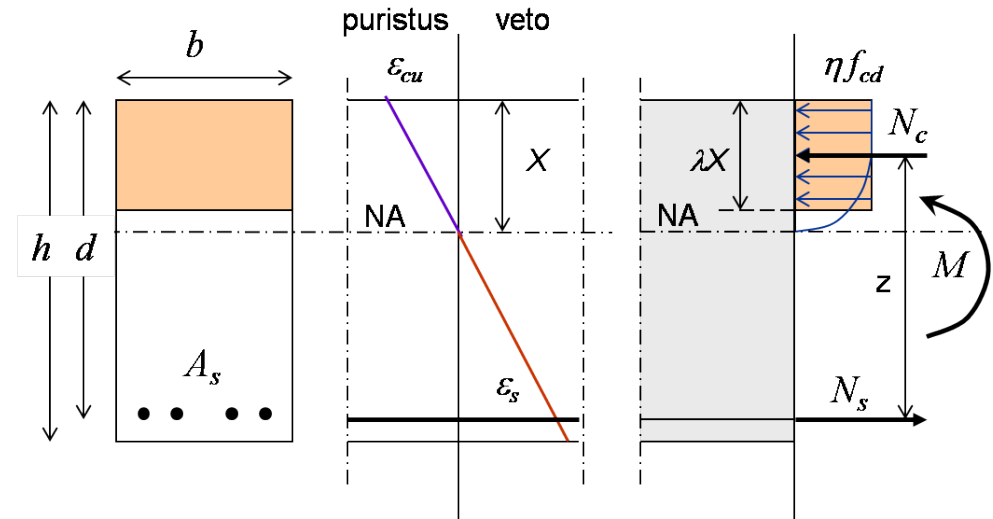
- ◆ Taivutus, leikkaus, vääntö, ankkurointi
- ◆ Käsittelytapa:
 - ◆ Ilmiö
 - ◆ toimintamalli
 - ◆ laskentamalli / normikaava
 - ◆ laskentamallin muuttujien havainnollistaminen kuvalla (Excel grafiikka)
 - ◆ laskuprosessi tekstinä + kaavat
 - ◆ tehtävätyypi: mitoitus tehtävä / kestävyys laskenta (analyysit.)
 - ◆ laskuesimerkki
 - ◆ laskuprosessikaavio (liitteissä)

Taivutusmitoitus (Luku 5.5)

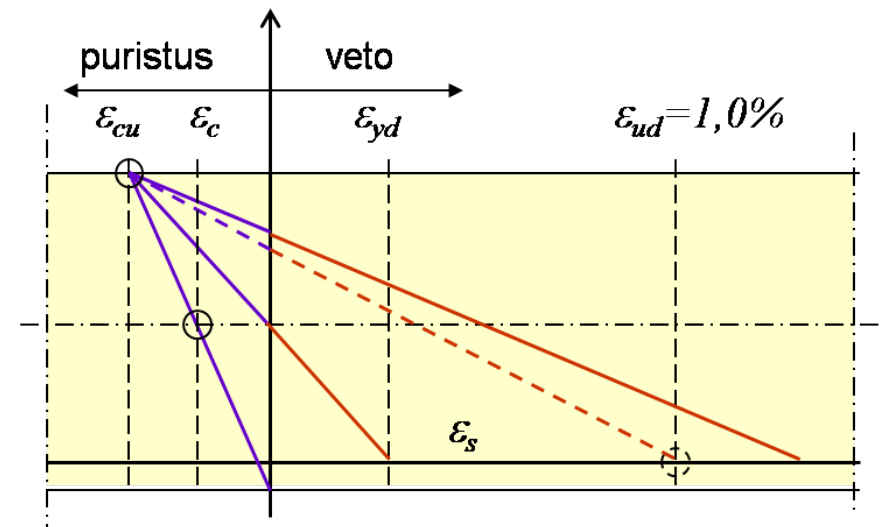
◆ Perusoletukset

$$\lambda = \min \begin{cases} 0,80 - \frac{f_{ck} - 50}{400} \\ 0,80 \end{cases}$$

$$\eta = \min \begin{cases} 1,0 - \frac{f_{ck} - 50}{200} \\ 1,0 \end{cases}$$

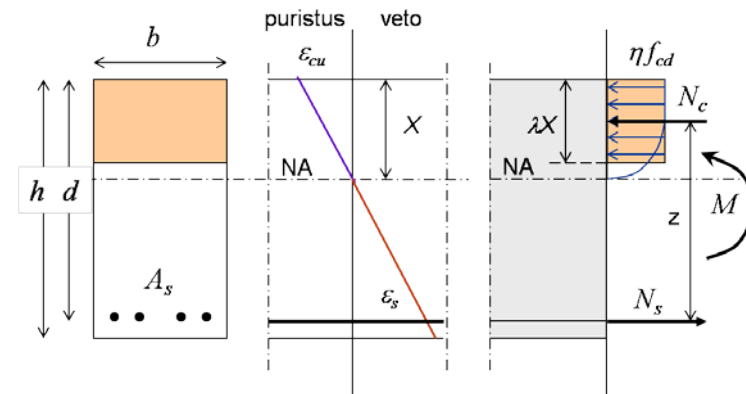


◆ Venymät rajatilassa

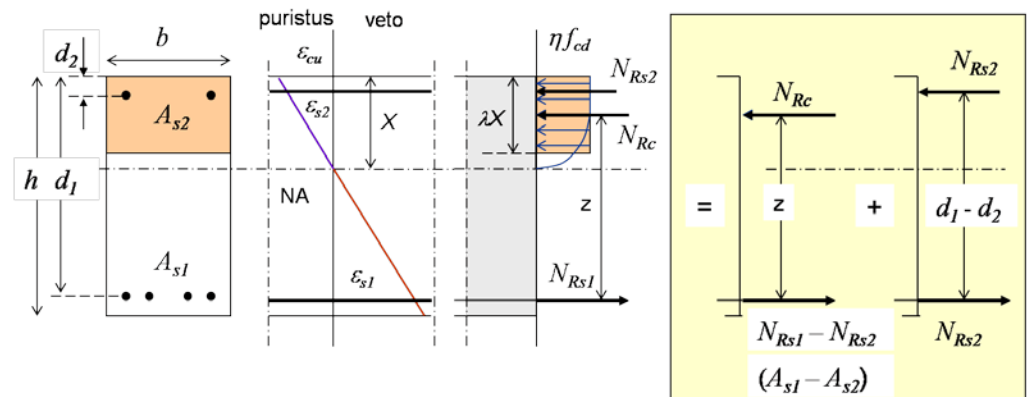


Taivutusmitoitus

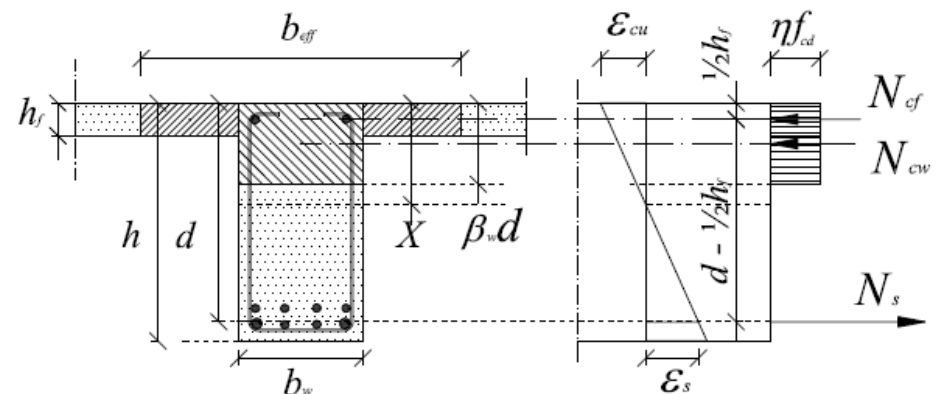
◆ Vetorausdoitettu pl



◆ Puristusraudoitettu pl



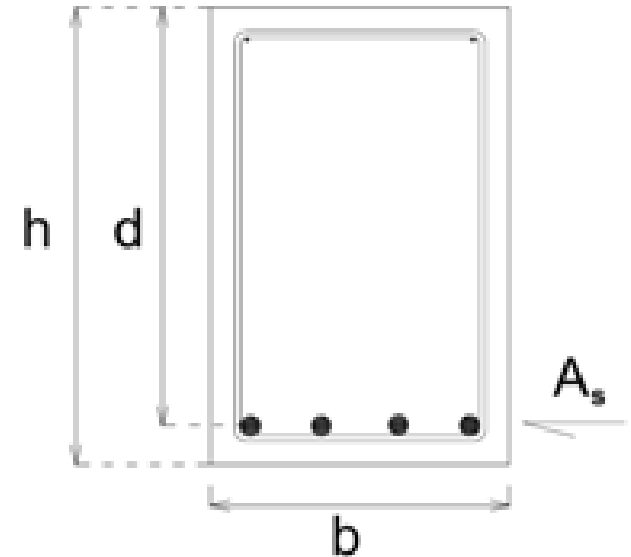
◆ Laattapalkki (T- pl)



LASKUESIMERKKI. Taivutusmitoitus

Mitoita teräsbetonipoikkileikkauksen vetorausoitusta seuraavilla lähtöarvoilla:

- poikkileikkauksen leveys $b = 380\text{mm}$
- poikkileikkauksen korkeus $h = 580\text{mm}$
- betonipeite $c_{\text{nom}} = 30\text{mm}$
- hakatangon paksuus $\phi_h = 8\text{mm}$
- betonin lujuusluokka C30/37 $\Rightarrow f_{\text{ck}} = 30\text{MPa}$
- raudoitus B500B
- mittapoikkeamaluokka 1, normaali työnsuorituksen ja tarkastuksen taso \Leftrightarrow toteutusluokka 2
- mitoitusmomentti $M_{\text{Ed}} = 250\text{kN}\cdot\text{m}$



Lähtöarvoja

Materiaaliosavarmuusluvut:

$$\gamma_c = 1.5 \quad \gamma_s = 1.15$$

Lujuudet:

Lujuusluokka < C50/60

$$\Rightarrow \lambda = 0.8 \quad \eta = 1.0$$

$$\varepsilon_{cu} = -0.0035$$

$$\alpha_{cc} = 0.85$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 17 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{yk} = 500 \text{MPa}$$

$$E_s = 200000 \text{MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 435 \cdot \text{MPa}$$

Poikkileikkaussuureet:

Arvioidaan tankopaksaus

$$\phi = 20\text{mm}$$

Tehollinen korkeus:

$$d = h - 1.1 \cdot \phi = h - \frac{1.1 \cdot \phi}{2} - c_{\text{nom}} = 530 \cdot \text{mm}$$

Mitoitusperusteet:

Asetetaan taivutusmurtorajatilan murtumisen ehdoksi raudoituksen myötääminen (mitoitusarvojen perusteella)

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = 0.0022$$

Raudoitus saavuttaa tämän venymän/lujuuden, jos puristusvyöhykkeen suhteellinen korkeus $\beta < \beta_{bd}$

$$\beta_{bd} = \lambda \cdot \frac{-\varepsilon_{cu}}{-\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd}} = 0.493$$

Mitoitus

Suhteellinen momentti

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd}} = 0.138$$

Puritusvyöhykkeen suhteellinen korkeus

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu} = 0.149$$

$$\text{Myötääkö_raudoitus} = \text{if}(\beta \leq \beta_{bd}, \text{"KYLLÄ"}, \text{"EI"}) = \text{"KYLLÄ"}$$

$$\omega = \beta = 0.149$$

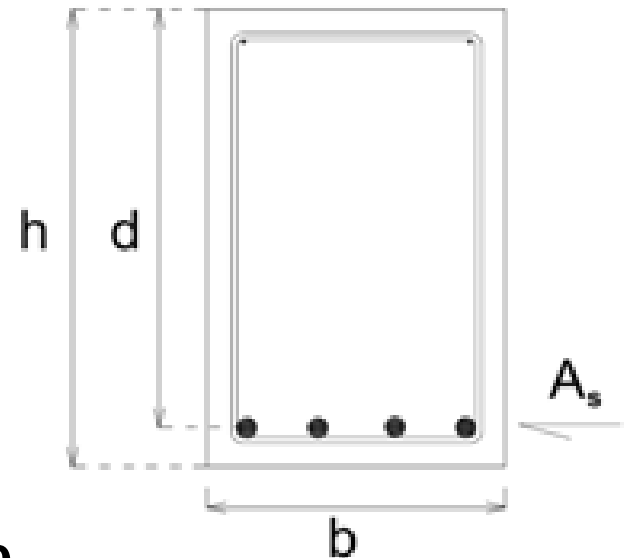
Vaadittu raudoituspinta-ala

$$A_{s,vaad} = \omega \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 1171.6 \cdot \text{mm}^2$$

Valitaan raudoitustangot

$$\phi = 20\text{mm}$$

$$n = 4 \quad A_{stot} = n \cdot \frac{\phi^2}{4} \cdot \pi = 1256.6 \cdot \text{mm}^2$$

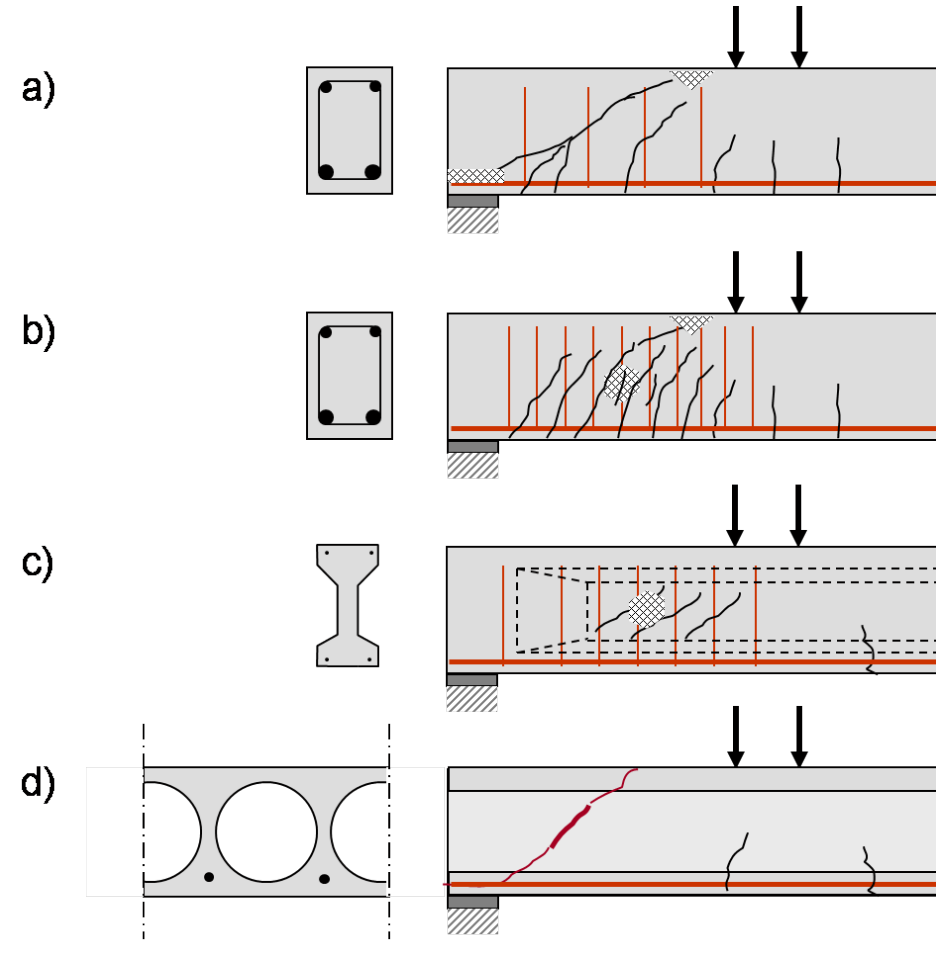


Leikkausmitoitus (Luku 5.6)

◆ Ilmiö / leikkausmurtotavat

Taulukko 1/5.6 Leikkaushalkeamien kulku ja leikkausmurtotavat

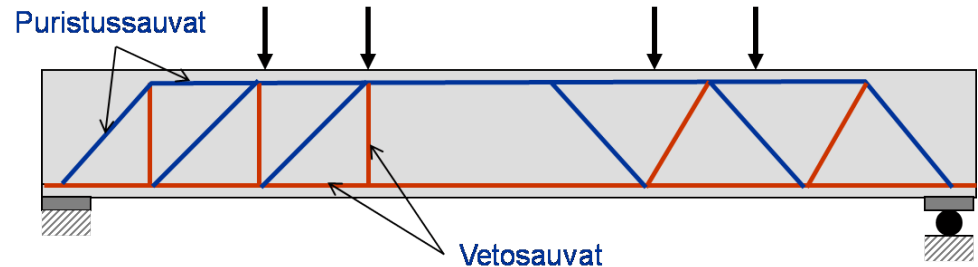
Tapaus	Rakenne/raudoitus	Halkeamat	Murtotapa
a	Leikkausraudoitusta vähän tai ei lainkaan	vinoja leveä päähalkema	puristusvyöhykkeen murto ankkurointimurto (leikkaus- tai vetusmurto)
b	Leikkausraudoitusta paljon tiheässä	pystyjä kapeita tiheässä	puristusvyöhykkeen murto uuman puristumurto
c	I-poikkileikkaus	leikkaushalkeama alkaa uumasta	uuman puristumurto
d	Ontelolaatta, ei leikkausraudoitusta	leikkaushalkeama alkaa uumasta	hauras leikkausmurtuma (leikkaus-vetomurto)



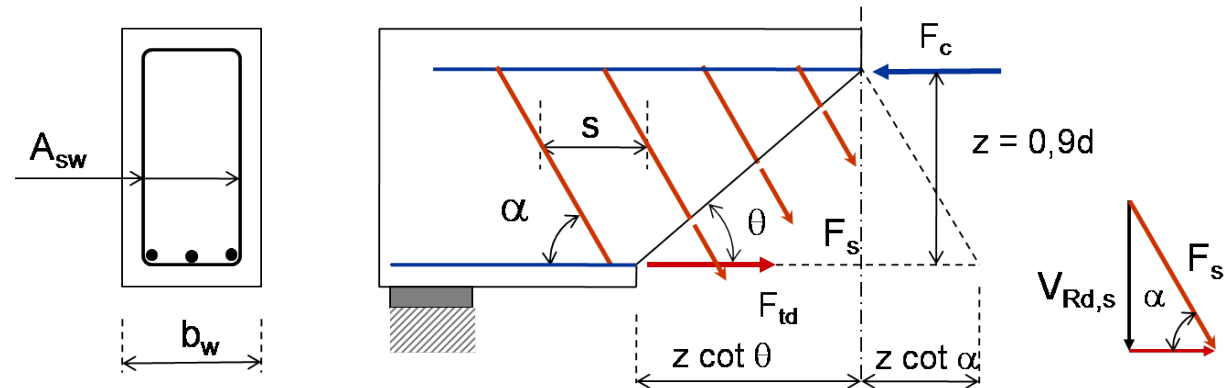
Leikkausmitoitus

Ristikkomenetelmä

- ◆ yleinen toimintamalli



- ◆ raudoituksen toimintamalli



- ◆ leikkausraudoituksen mitoituskaava

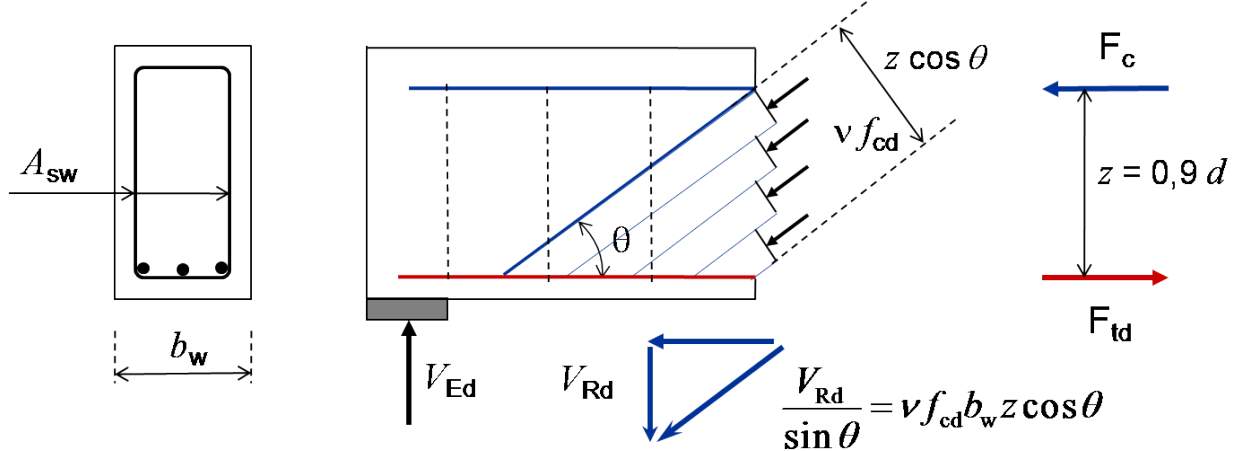
$$V_{Rd,s} = f_{ywd} \frac{A_{sw}}{s} z (\cot \theta + \cot \alpha) \sin \alpha \geq V_{Ed}$$

Leikkausmitoitus

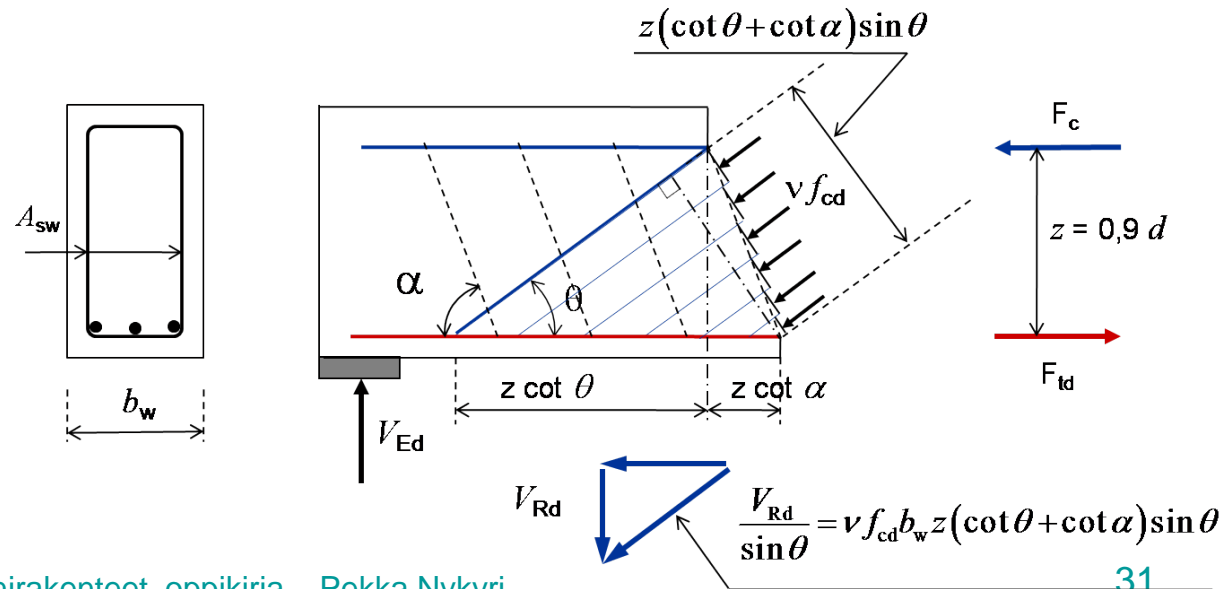
Ristikkomenetelmä

- ♦ puristussauvojen toimintamalli
- ♦ mitoituskaavat

$$V_{Rd,max} = \frac{v f_{cd} b_w z}{\tan \theta + \cot \theta}$$



$$V_{Rd,max} = v f_{cd} b_w z \frac{\cot \theta + \cot \alpha}{1 + \cot^2 \theta}$$



Leikkausmitoitus

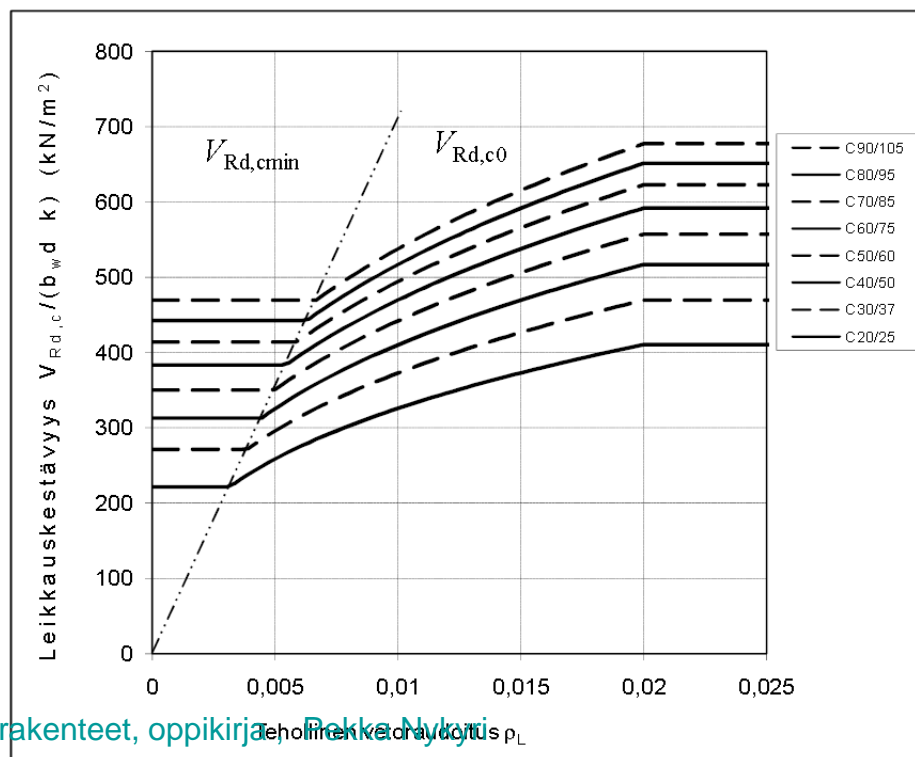
Leikkausraudoittamaton rakenne

- ♦ mitoituskaavat

$$V_{Rd,c0} = \frac{0,18}{\gamma_c} b_w d k \left(100 \rho_L \frac{f_{ck}}{MPa} \right)^{1/3} MPa$$

$$V_{Rd,cmin} = 0,035 b_w d k^{3/2} \sqrt{\frac{f_{ck}}{MPa}} MPa$$

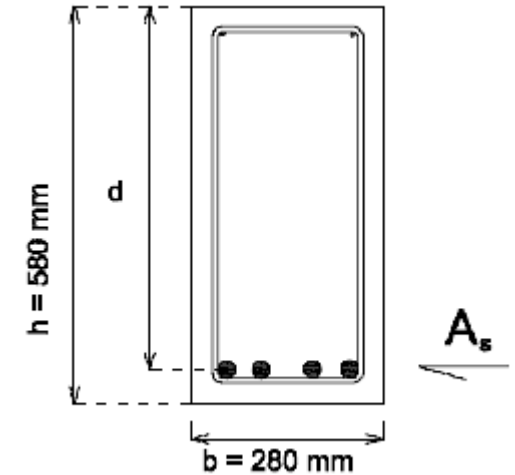
- ♦ kaavojen havainnollistaminen, apukäyrästä (kuva 10/5.6)



LASKUESIMERKKI. Leikkausmitoitus

Mitoita teräsbetonipalkki leikkaukselle seuraavilla lähtöarvoilla:

- poikkileikkauksen leveys $b := 280\text{mm}$
- poikkileikkauksen korkeus $h := 580\text{mm}$
- suojabetonikerros $c_{nom} := 30\text{mm}$
- pääraudoitus 4T20 $\phi := 20\text{mm}$
 $n_s := 4$
- hakatangon paksuus $\phi_h := 8\text{mm}$
- betonin lujuusluokka C30/37 => $f_{ck} := 30\text{MPa}$
- raudoitus B500B
- mittapoikkeamaluokka 1, normaali työnsuorituksen ja tarkastuksen taso
<=> toteutusluokka 2
- Leikkausrasituksen mitoitusarvo $V_{Ed} := 400\text{kN}$



Leikkausmitoitus (6.2)

$$V_{Ed} = 400 \cdot kN$$

Merkinnät:

$$b_w := b$$

Leikkausraudoituksen antama leikkauskestävyys (6.2.3)

$$V_{Rd.s} := \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot(\theta) + \cot(\alpha)) \cdot \sin(\alpha)$$

Pystyhaat $\alpha := 90deg$

$$\cot(\alpha) = 0 \quad \sin(\alpha) = 1$$

Mitoitusehto:

$$V_{Rd.s} \geq V_{Ed}$$

Valitaan puristussauvan kaltevuus:

$$\theta := 21.8deg \quad \cot(\theta) = 2.5$$

Valitaan hakatangon paksuus ja leikkeisyys:

$$\phi_h := 8mm \quad n_h := 2$$

Leikkausraudoitusken pinta-ala

$$A_{sw} := n_h \cdot \pi \cdot \left(\frac{\phi_h}{2} \right)^2 = 101 mm^2$$

$$z := 0.9d = 477mm$$

$$f_{ywd} := f_{yd}$$

Hakavälin maksimi

$$s := \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot(\theta) + \cot(\alpha)) \cdot \sin(\alpha) = 130.4 \cdot mm$$

Jos puristussauvan
kaltevuutta muutetaan

$$\theta = 45deg \quad \cot(\theta) = 1$$

$$s = 46.3mm$$

Leikkauskestävyyden maksimi (6.2.3)

$$V_{Rd.max} := \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_l \cdot f_{cd} \cdot \frac{\cot(\theta) + \cot(\alpha)}{1 + \cot(\theta)^2} \blacksquare$$

$$v_l := 0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250 \text{ MPa}} \right) \quad v_l = 0.53$$

$$\alpha_{cw} := 1 \quad \text{jännittämättömissä rakenteissa}$$

$$V_{Rd.max} := \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_l \cdot f_{cd} \cdot \frac{\cot(\theta) + \cot(\alpha)}{1 + \cot(\theta)^2} = 414 \cdot \text{kN}$$

Onko kestävyys riittävä?

$$V_{Rd.max} \geq V_{Ed} = 1 \quad \text{ON! Ok}$$

Jos puristussauvan
kaltevuutta muutetaan

$$\theta = 45 \text{ deg} \quad \cot(\theta) = 1$$

$$V_{Rd.max} = 600 \text{ kN}$$

Tarkistetaan vähimmäisleikkausraudoitusala (6.2)

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq 0.08 \cdot b_w \cdot \sin(\alpha) \cdot \left(\sqrt{\frac{f_{ck}}{MPa}} \cdot \frac{MPa}{f_{yk}} \right) \blacksquare$$

Hakavälin maksimi valitulla T8 tangolla:

$$s_{max.1} := \frac{A_{sw}}{0.08 \cdot b_w \cdot \sin(\alpha)} \cdot \sqrt{\frac{MPa}{f_{ck}}} \cdot \frac{f_{yk}}{MPa} = 410 \cdot mm$$

$$s_{max.2} := 0.75 \cdot d \cdot (1 + \cot(\alpha)) = 398 \cdot mm$$

$$s_{tot} := \min(s, s_{max.1}, s_{max.2}) = 130 \cdot mm$$

Valitaan leikkausraudoitus

2-leikkeinen T8k130

Leikkausraudoittamaton palkki

Laske leikkausraudoittamattoman teräsbetonipalkin leikkauskestävyys. Palkin mitat ja materiaalit samat kuin edellisessä tehtävässä, mutta kestävyys lasketaan leikkausraudoittamattomana. Oletetaan tässä, että pääraudoituksen(4T20) mitoituslujuudesta on ankkuroitu tuelle 30% .

Raudoitusala

Vetorausala

$$A_s := n_s \cdot \pi \cdot \left(\frac{\phi}{2} \right)^2 = 1257 \cdot \text{mm}^2$$

josta ankkuroitu tuelle (= tehollinen raudoitusala)

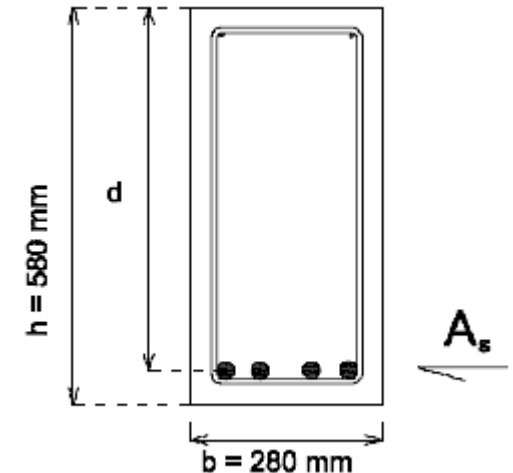
$$A_{sL} := A_s \cdot 0.3 = 377 \cdot \text{mm}^2$$

Suhteellinen tehollinen raudoitusala

$$\rho_L := \frac{A_{sL}}{b_w \cdot d} = 0.00254$$

Korkeustekijä

$$k := 1 + \sqrt{\frac{200 \text{ mm}}{d}} = 1.61$$



Leikkauskestävyyden perusarvo

$$V_{Rd.c0} := \frac{0.18}{\gamma_c} \cdot b_w \cdot d \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_L \cdot \frac{f_{ck}}{MPa} \right)^{\frac{1}{3}} MPa = 56.6 \cdot kN$$

Leikkauskestävyyden vähimmäisarvo

$$V_{Rd.c.min} := 0.035 \cdot b_w \cdot d \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{f_{ck}}{MPa} \right)^{\frac{1}{2}} MPa = 58.4 \cdot kN$$

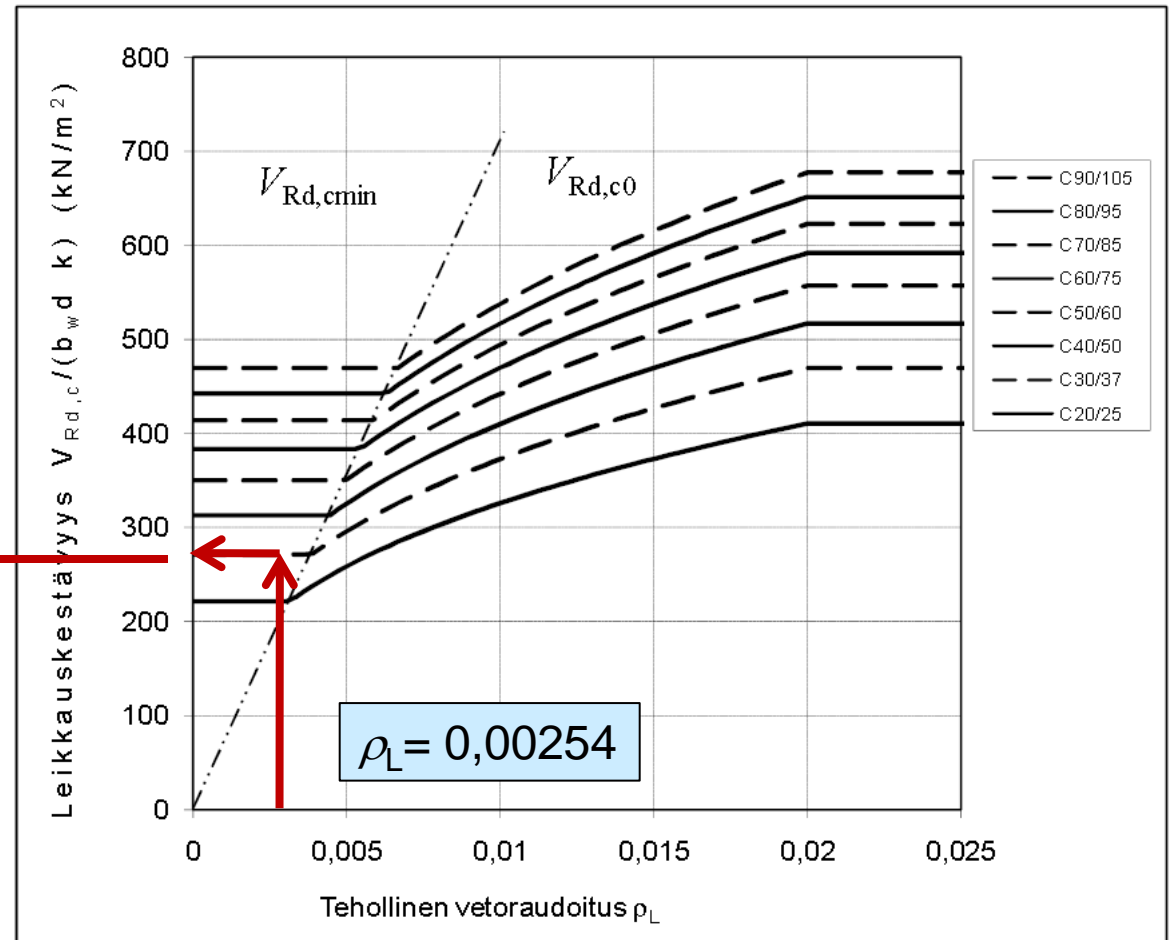
Leikkauskestävyys

$$V_{Rd.c} := \max(V_{Rd.c0}, V_{Rd.c.min}) = 58.4 \cdot kN$$

Apukäyrästäön käyttö

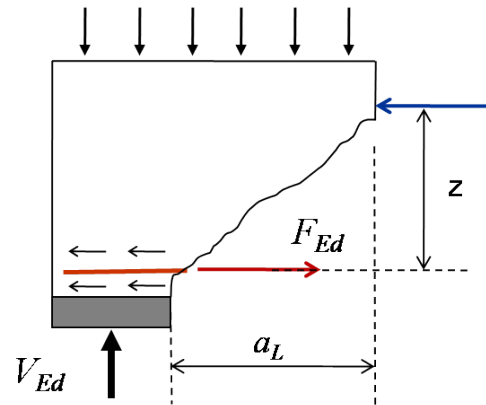
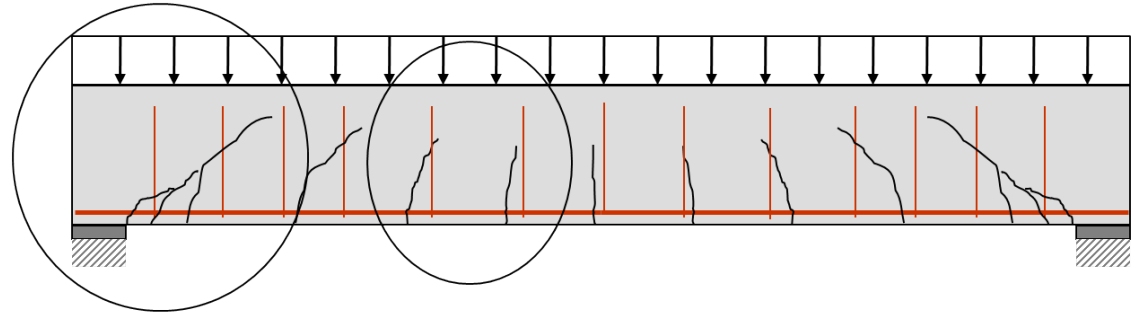
$$V_{Rdc} := 250 \cdot \frac{kN}{m^2} b_w \cdot d \cdot k = 59.9 kN$$

250 kN/m²

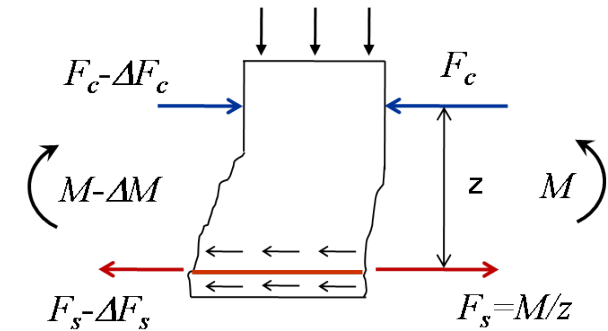


Ankkurointimitoitus (Luku 5.7)

◆ toimintamalli



ankkurointi tuelle



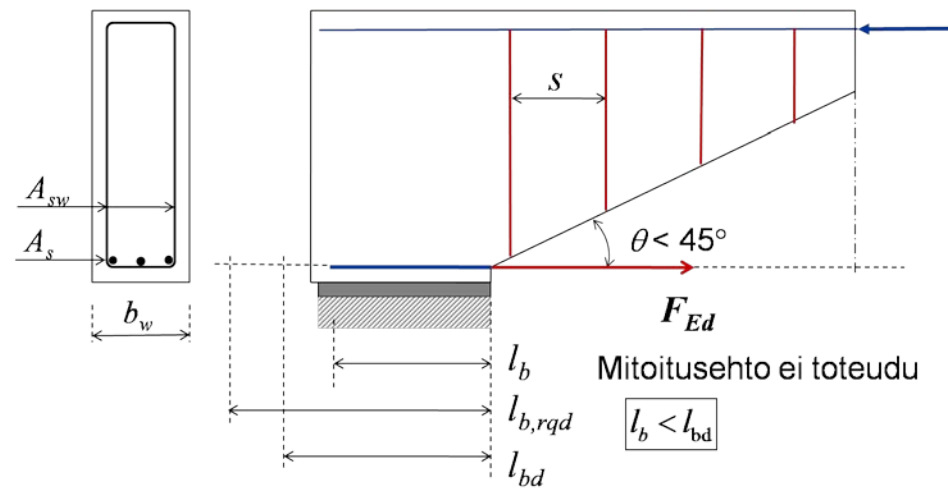
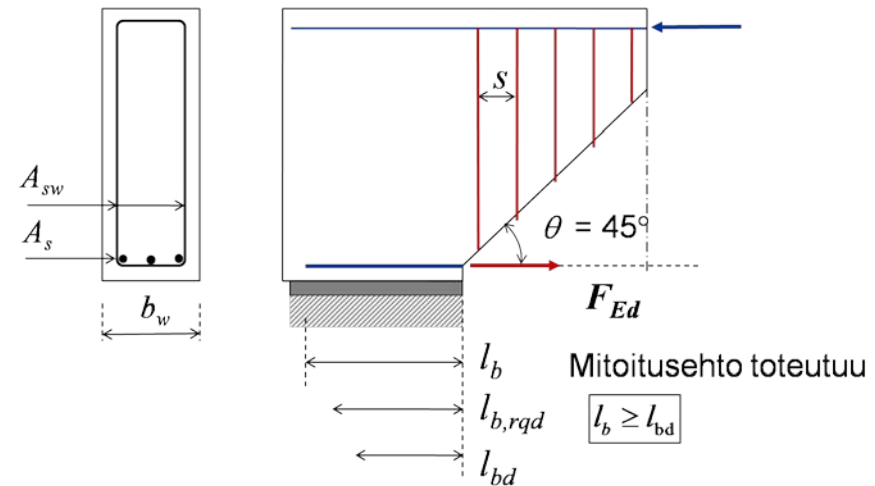
tartuntajännityksiä
halkeamavälillä

◆ ankkuroitavan voiman laskenta

$$F_{Ed} = V_{Ed} \frac{a_L}{z} = 0,5 V_{Ed} (\cot \theta - \cot \alpha)$$

Ankkurointimitoitus

- ◆ Ankkurointi- ja leikkausmitoituksen yhteys
- ◆ Puristussauvan kaltevuuden vaikutus



Ankkurointimitoitus, mitoituksen kulku

- Lasketaan tuelle ankkuroitava voima

$$F_{\text{Ed}} = 0,5 V_{\text{Ed}} (\cot \theta - \cot \alpha)$$

- Lasketaan raudoituksen jännitys

$$\sigma_{\text{sd}} = \frac{F_{\text{Ed}}}{A_{\text{s}}}$$

- Lasketaan ankkurointipituuden perusarvo

$$l_{\text{b.rqd}} = \frac{\phi}{4} \frac{\sigma_{\text{sd}}}{f_{\text{bd}}}$$

- Lasketaan ankkurointipituuden mitoitusarvo

$$l_{\text{bd}} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{\text{b.rqd}}$$

- Tarkistetaan ankkurointipituuden vähimmäisarvo

$$l_{\text{bd}} \geq l_{\text{b.min}}$$

- Määritetään toteutuva ankkurointipituus

$$l_{\text{b}} = L_{\text{T}} - c_{\text{nom}}$$

- Tarkistetaan mitoitusyhtälö

$$l_{\text{b}} \geq l_{\text{bd}}$$

Ankkurointimitoitus, laskuesimerkki

Sama palkki ja kuormitus kuin leikkausesimerkissä.

Tukileveys: $L_T = 250 \text{ mm}$

Tuelle ankkuroitava voima

$$F_{Ed} := 0.5 \cdot V_{Ed} \cdot (\cot(\theta) - \cot(\alpha)) = 500 \cdot \text{kN}$$

Raudoituksen jännitys

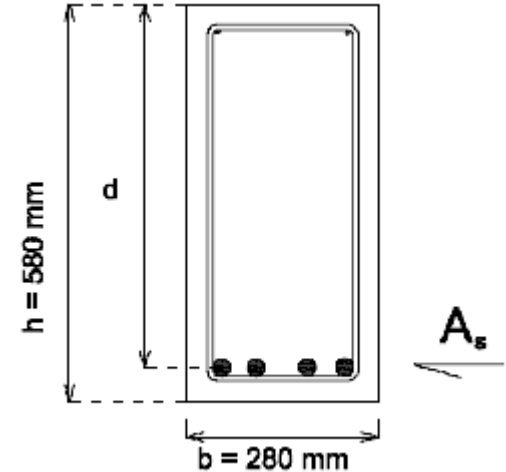
$$\sigma_{sd} := \frac{F_{Ed}}{A_s} = 398 \cdot \text{MPa}$$

Tartuntalujuus

$$\eta_1 := 1.0 \quad \Leftrightarrow \text{hyvät tartuntaolosuhteet; alapinnan rauditus}$$

$$\eta_2 := 1.0 \quad \Leftrightarrow \text{tankopaksuus ei ylitä 32 mm:ä}$$

$$f_{bd} := 2.25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 3.04 \cdot \text{MPa}$$



Ankkurointimitoitus, laskuesimerkki

Ankkurointipituuden perusarvo:

$$L_{b.rqd} := \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = 654 \cdot mm$$

Toteutuva ankkurointipituus

$$L_b := L_T - c_{nom} = 220 \cdot mm$$

Mitoitusehto:

$$L_b \geq L_{b.rqd} = 0$$

<=> Ankkurointipituus ei ole riittävä, ero suuri
=> a-kertoimien vaikutus ei riitä
=> Muutetaan puristussauvan kaltevuutta
=> kasvatetaan kulmaa
=> Vaatii myös leikkausraudoituksen lisäämisen

Ankkurointimitoitus, laskuesimerkki

Valitaan puristussauvan kaltevuus:

$$\theta := 45deg \quad \cot(\theta) = 1$$

Valitaan hakatangon paksuus ja leikkeisyys:

$$\phi_h := 10mm \quad n_h := 2$$

Leikkausraudoituksen pinta-ala

$$A_{sw} := n_h \cdot \pi \cdot \left(\frac{\phi_h}{2} \right)^2 \quad A_{sw} = 101 \cdot mm^2$$

Hakavälin maksimi

$$s := \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot(\theta) + \cot(\alpha)) \cdot \sin(\alpha) = 81.5 \cdot mm$$

Vaatii leikkausraudoituksen **T10 K80**

Ankkurointimitoitus, laskuesimerkki

Lasketaan ankkurointi uudelleen

Tuelle ankkuroitava voima

$$F_{Ed} := 0.5 \cdot V_{Ed} \cdot (\cot(\theta) - \cot(\alpha)) = 200 \cdot kN$$

Raudoituksen jännitys

$$\sigma_{sd} := \frac{F_{Ed}}{A_s} = 159 \cdot MPa$$

Ankkurointipituuden perusarvo:

$$L_{b.rqd} := \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = 262 \cdot mm$$

Mitoitusehto:

$$L_b \geq L_{b.rqd} = 0$$

<=> Ankkurointipituus ei ole vieläkaan aivan riittävä,
=> pienennetään vaatimusta a-kertoimilla

Ankkurointimitoitus, laskuesimerkki

Pienennetään ankkurointipituutta kertoimella α_5

Puristusjännitys raudoituksen tasossa

$$p := \frac{V_{Ed}}{b \cdot L_T} = 6 \cdot \text{MPa}$$

$$\alpha_5 := 1.0 - 0.04 \cdot p \cdot \left(\frac{1}{\text{MPa}} \right) = 0.77 \quad \Leftrightarrow \text{tämä pienentää vaatimusta}$$

Vaaditun ankkurointipituuden mitoitusarvo

$$L_{bd} := \alpha_5 \cdot L_{b.rqd} = 202 \cdot \text{mm}$$

Mitoitusehto:

$$L_b \geq L_{bd} = 1$$

\Leftrightarrow Nyt mitoitusehto toteutuu

Tarkistetaan vielä ankkurointipituuden vähimmäisarvo

$$L_{b.min} := \max(0.3 \cdot L_{b.rqd}, 10 \cdot \phi, 100 \text{mm}) = 200 \cdot \text{mm}$$

Toteutuva ankkurointipituus L_b

21.11.2013 $L_b = 220 \cdot \text{mm}$

\Leftrightarrow on riittävä, mitoitus ok

Ankkurointimitoitus

Taulukko 1/5.7. Ankkurointipituuden pienennyskertoimien arvot

Vaikuttava tekijä	Ankkurointityyppi	Kerroin	Rajat
Tankojen muoto α_1	Suora	$\alpha_1 = 1,0$	-
	Muu	$\alpha_1 = 0,7$	$c_d \geq 3\phi$
		$\alpha_1 = 1,0$	$c_d < 3\phi$
Betonipeite α_2	Suora	$\alpha_2 = 1,0 - 0,15 \left(\frac{c_d - \phi}{\phi} \right)$	$0,7 \leq \alpha_2 < 0,1$
	Muu	$\alpha_2 = 1,0 - 0,15 \left(\frac{c_d - 3\phi}{\phi} \right)$	$0,7 \leq \alpha_2 < 0,1$
Poikittainen rauditus ei hitsattu 1) α_3	Kaikki	$\alpha_3 = 1,0 - K\lambda$	$0,7 \leq \alpha_3 < 0,1$
Poikittainen rauditus hitsattu α_4	Kaikki	$\alpha_4 = 0,7$	-
Poikittaispaine α_5	Kaikki	$\alpha_5 = 1,0 - 0,04p \left(\frac{1}{MPa} \right)$	$0,7 \leq \alpha_5 < 0,1$

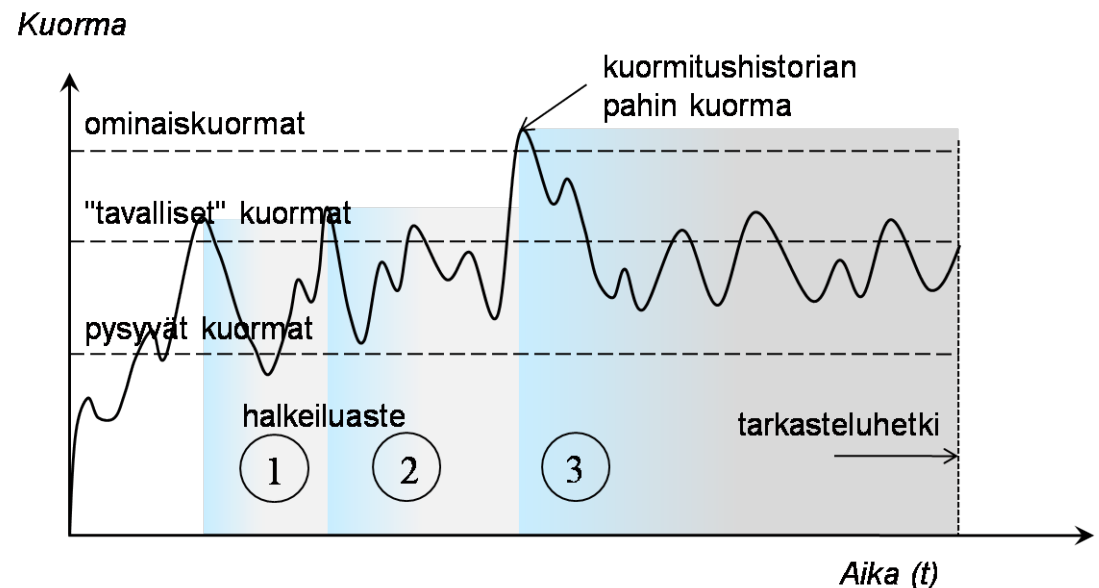
Mitoitus käyttörajatilassa (KRT) (Luku 5.10)

◆ Rajatilat

- ◆ Jännitysraja,ta,
- ◆ halkeamaleveyden r.t. ja
- ◆ taipuma r.t.

◆ Jännitysten laskenta halkeamattomassa ja haljenneessa tilassa

◆ Kuormitushistoria



Mitoitus käyttörajatilassa (KRT)

- ♦ Jännitysrajatila
(sulkeissa EC 2:n suositusarvot)

Suure	Kuorma		
	<i>Ominaiskuormat</i>	<i>Pitkäaikaiset kuormat</i>	<i>Pakkomuodonmuutokset</i>
Betonin puristusjännitys	$0,6 f_{ck}$	$0,45 f_{ck}$	-
Raudoituksen vetojännitys	$0,6 f_{yk}$ ($0,8 f_{yk}$)	-	$0,8 f_{yk}$ ($1,0 f_{yk}$)

Mitoitus käyttörajatilassa (KRT)

◆ Jännitysten laskenta

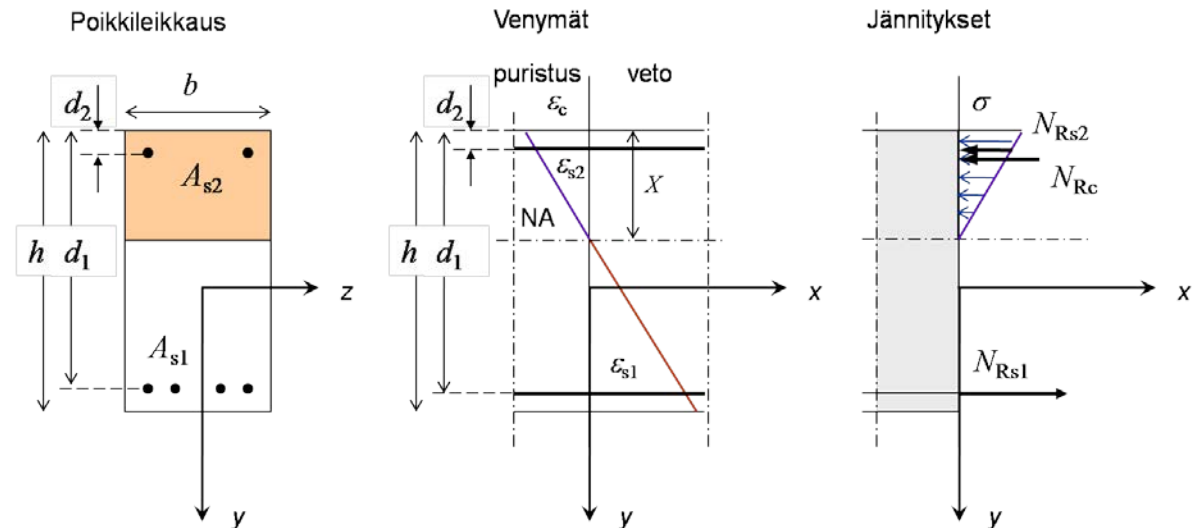
- ◆ Halkeamaton tila
- ◆ Haljennut tila

$$X_{II} = \frac{1}{b} \left\{ \left[\left(\alpha_e A_{s1} + (\alpha_e - 1) A_{s2} \right)^2 + 2b \left(\alpha_e d_1 A_{s1} + (\alpha_e - 1) d_1 A_{s2} \right) \right]^{0,5} - \left(\alpha_e A_{s1} + (\alpha_e - 1) A_{s2} \right) \right\}$$

$$I_{II} = \frac{b X_{II}^3}{3} + \alpha_e A_{s1} (d_1 - X_{II})^2 + (\alpha_e - 1) A_{s2} (d_2 - X_{II})^2$$

$$\sigma_c = M_{Ed} \frac{X_{II}}{I_{II}}$$

$$\sigma_{s1,2} = \alpha_e \frac{M_{Ed}}{I_{II}} (d_{1,2} - X_{II})$$



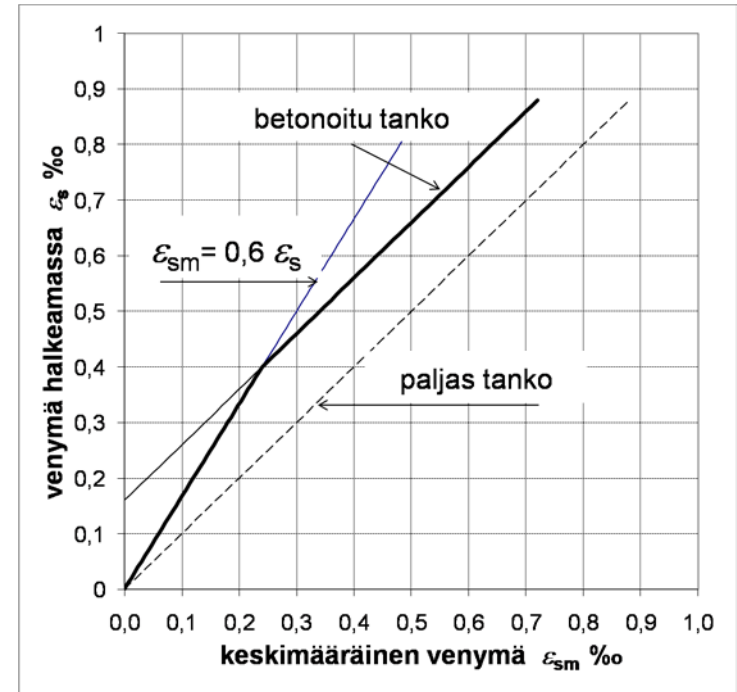
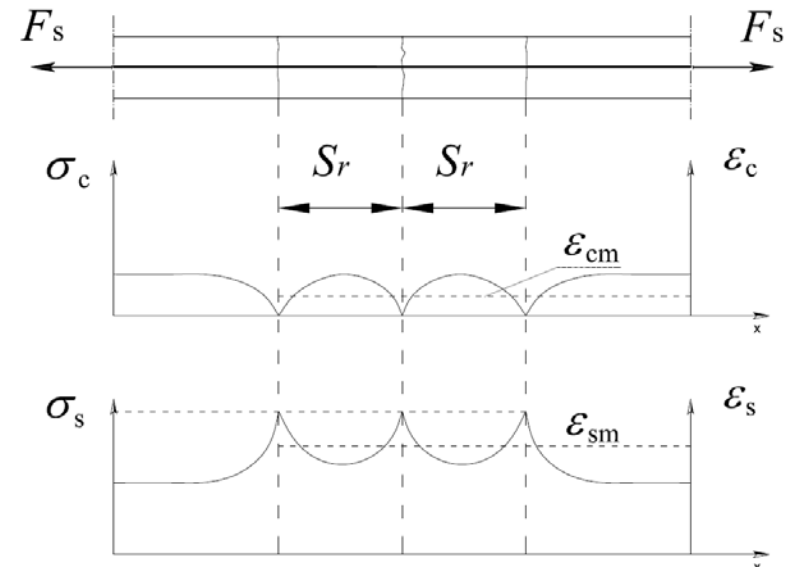
Mitoitus käyttörajaatilassa (KRT)

- ◆ Halkeilumekanismi
- ◆ Laskentamalli
- ◆ Tarkkalaskenta
- ◆ Taulukkomitoitus

$$w_k = S_{r,\max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

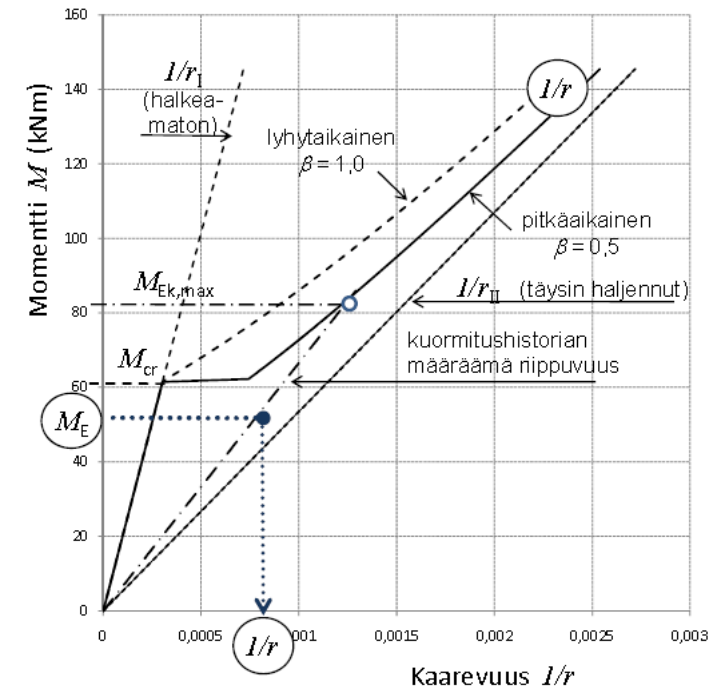
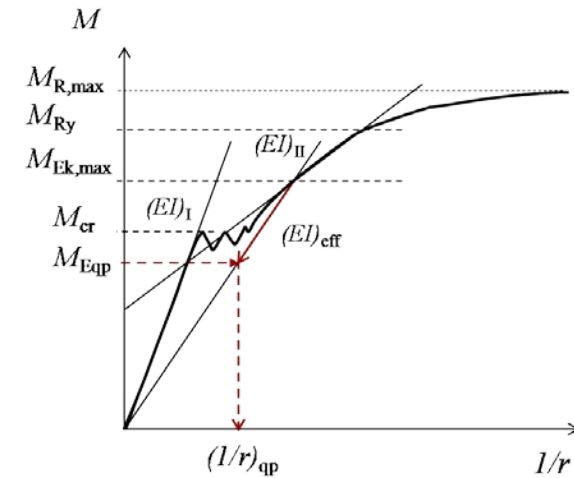
$$S_{r,\max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \frac{\phi}{\rho_{p,\text{eff}}}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,\text{eff}}}{\rho_{p,\text{eff}}} (1 + \alpha_e \rho_{p,\text{eff}})}{E_s}$$



Mitoitus käyttörajaatilassa (KRT)

- ◆ Taipuman laskenta
- ◆ Palkin käyttäytyminen taivutusrasituksessa
- ◆ Laskentamalli
- ◆ Tarkkalaskenta
- ◆ Taipuman rajoittaminen mittojen perusteella (taulukkomitoitus)
- ◆ kutistuman aiheuttamasta taipumasta ohje



Mitoitus käyttörajaatilassa (KRT)

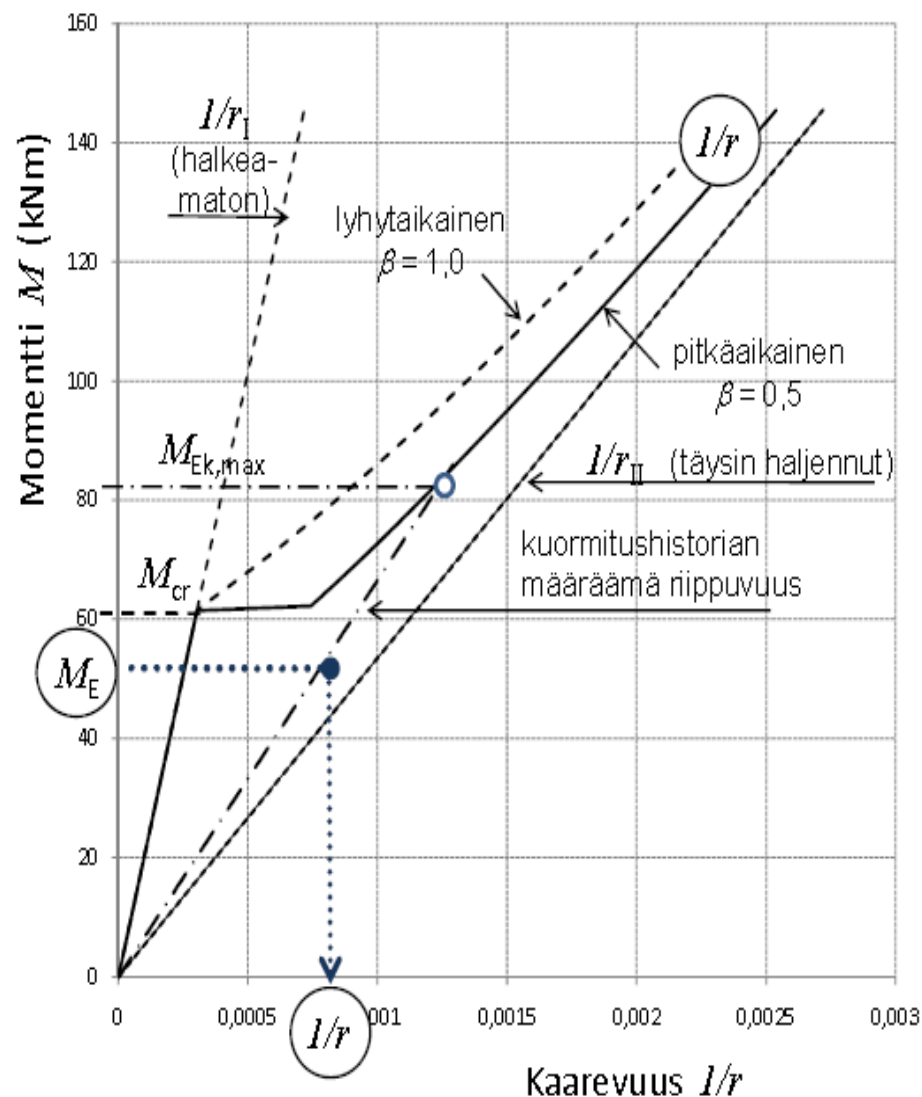
◆ Tarkka laskenta

$$a = a_M + a_{cs} \qquad \frac{1}{r} = \zeta \frac{1}{r_{II}} + (1 - \zeta) \frac{1}{r_I}$$

$$a_M = K L^2 \frac{1}{r} \qquad \frac{1}{r_I} = \frac{M_E}{E_{c,eff} I_I}$$

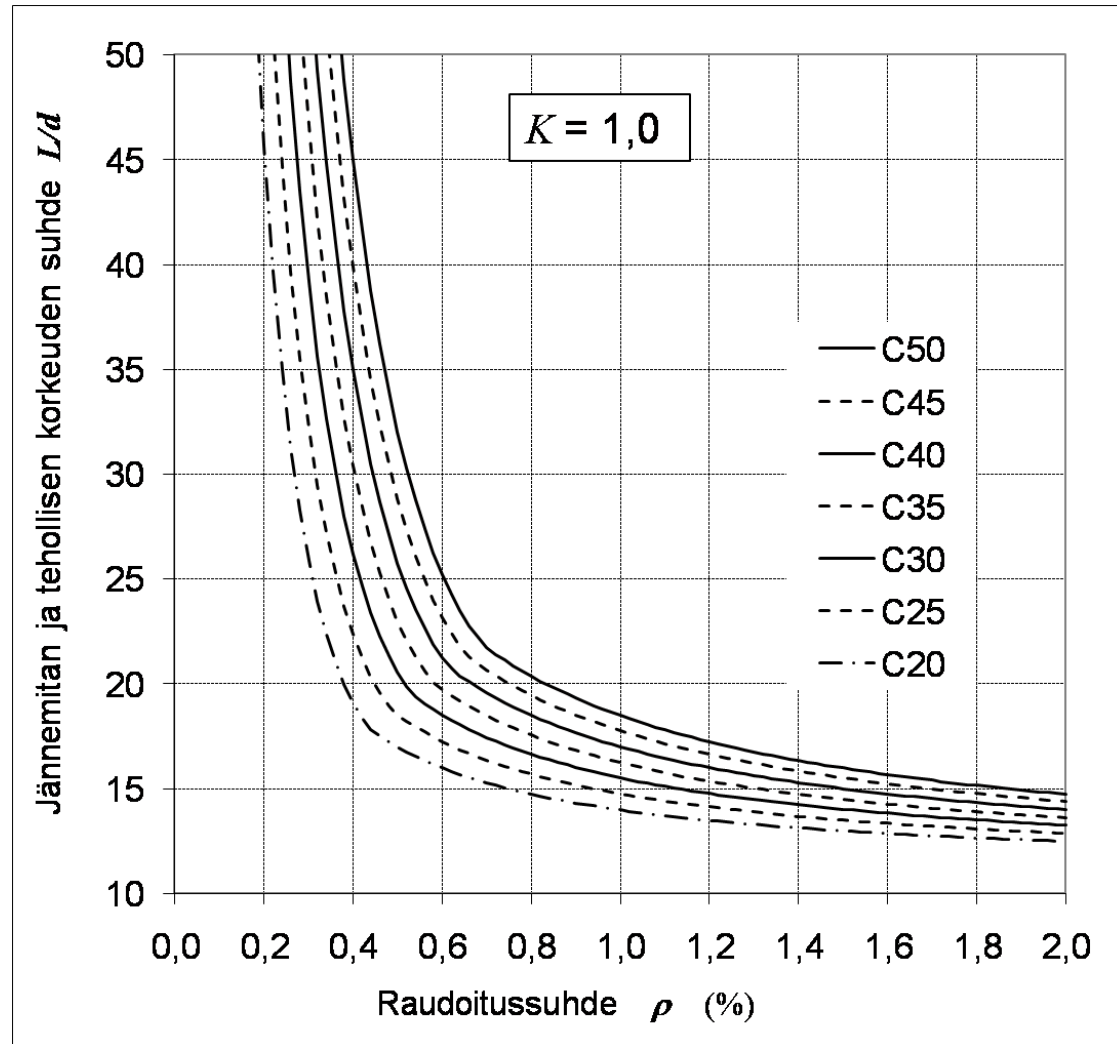
$$a_{cs} = K_{cs} L^2 \frac{1}{r_{cs}} \qquad \frac{1}{r_{cs}} = \varepsilon_{cs} \alpha_e \frac{S}{I}$$

$$\zeta = 1 - \beta \left(\frac{M_{cr}}{M_{Ek,max}} \right)^2$$



Mitoitus käyttörajaatilassa (KRT)

- ◆ Taipuman rajoittaminen mittojen perusteella (taulukkomitoitus)

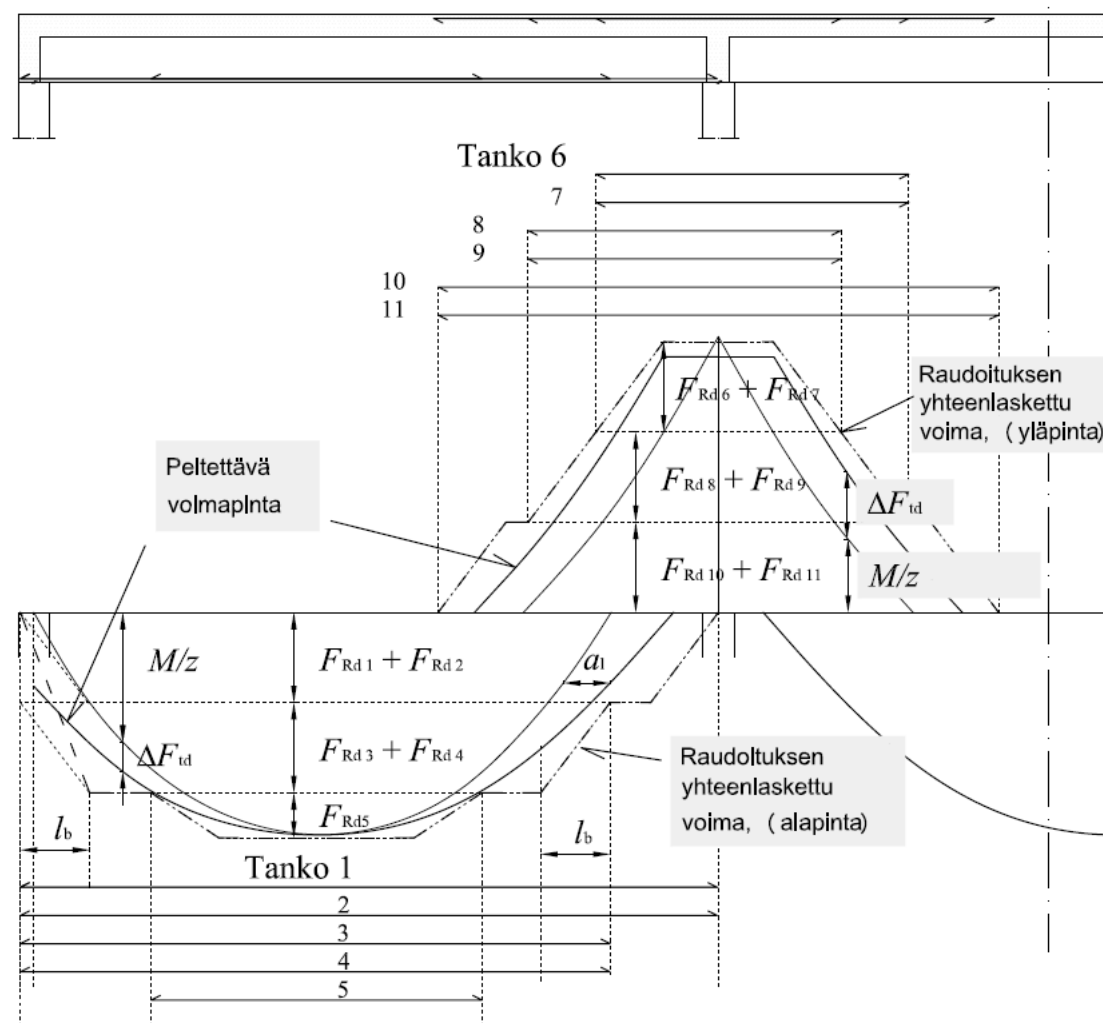


Raudoituksen suunnittelu (Luku 5.9)

- ◆ Raudoituksen sijoittaminen poikkileikkaukseen
- ◆ Taivutusraudoituksen katkaisupituudet
- ◆ Leikkausraudoituksen jako palkin pituusakselilla
- ◆ Raudoituksen taivutukset
- ◆ Jatkokset
- ◆ Niputus jne

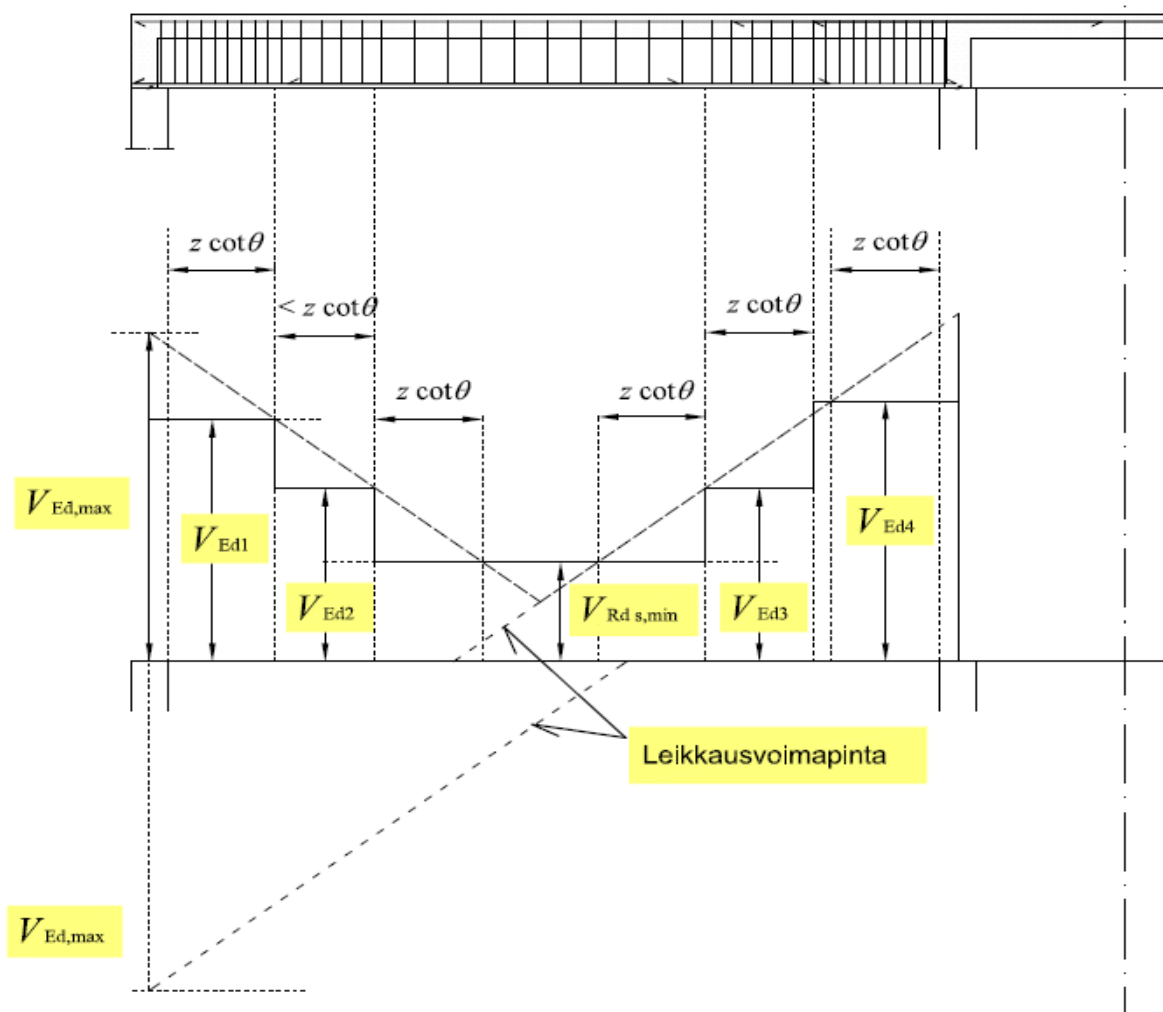
Raudoituksen suunnittelu (Luku 5.9)

◆ Taivutusraudoituksen katkaisupituudet



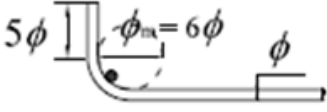
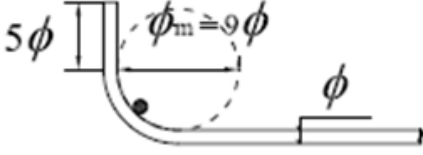
Raudoituksen suunnittelu (Luku 5.9)

◆ Leikausraudoituksen jako



Raudoituksen suunnittelu (Luku 5.9)

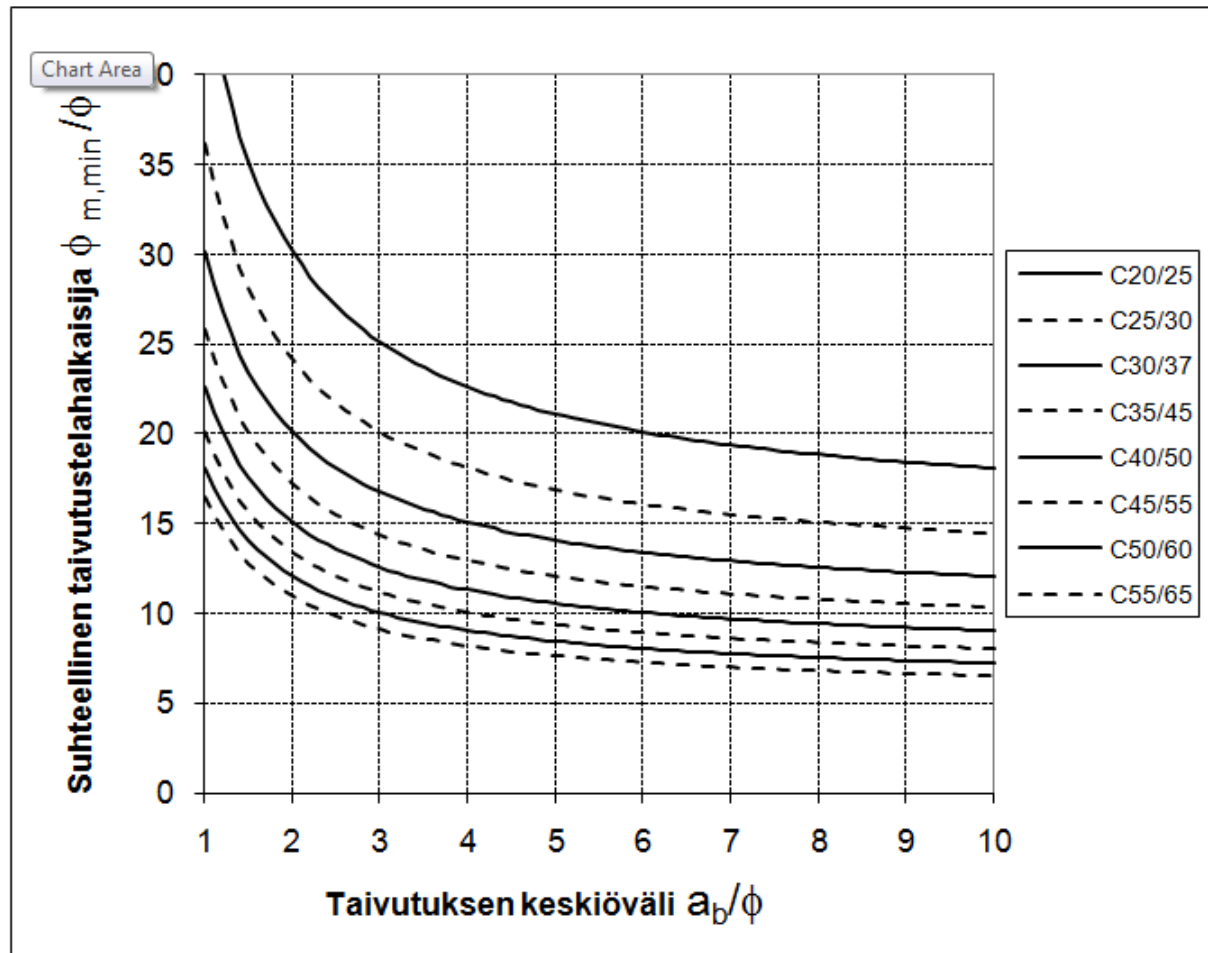
- ◆ Raudoituksen taivutukset, tuurnan halkaisija
 - ◆ pienet ankurointivoimat ja erityisehdot

Tankopaksuus	Taivutustelan halkaisija $\phi_{m,min}$	
$\phi \leq 16 \text{ mm}$	6ϕ	
$\phi > 16 \text{ mm}$	9ϕ	

Raudoituksen suunnittelu (Luku 5.9)

- ◆ Raudoituksen taivutukset , tuurnan halkaisija
 - ◆ yleiset ehdot

$$\phi_{m,\min} = \frac{F_{bt}}{f_{cd}} \left(\frac{1}{a_b} + \frac{1}{2\phi} \right)$$



ANTOISIA LUKUHETKIÄ

KIITOS !