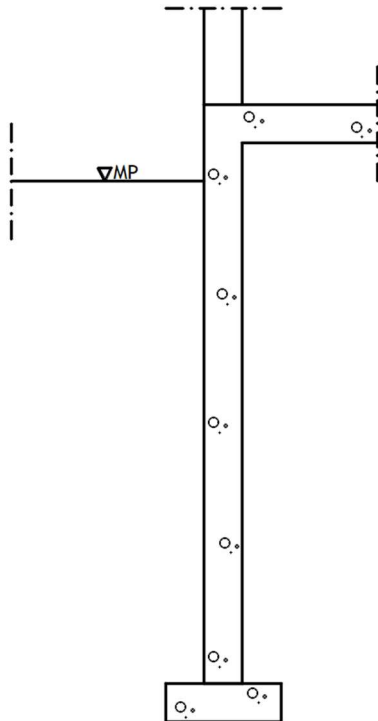


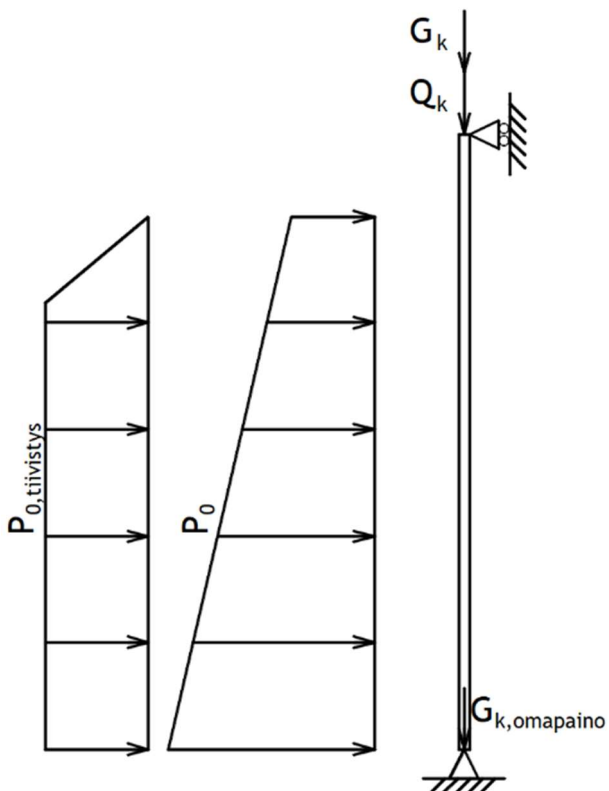
## Kellarinseinän mitoitus

### LÄHTÖTILANNE



Tällä ohjeella voidaan mitoittaa paikallavalettu, molemmista päistään vapaasti tuettu kellarinseinä. Seinään liittyvän välipohjan tulee olla betoninen rakenne, joka kykenee ottamaan vastaan seinältä välittyviä kuormia. Ohjetta ei voi soveltaa tapauksiin, joissa on puinen välipohja.

### STAATTINEN MALLI JA POIKKILEIKKAUS



$G_k$  = yläpuoliselta rakenteelta tuleva pysyvä kuorma

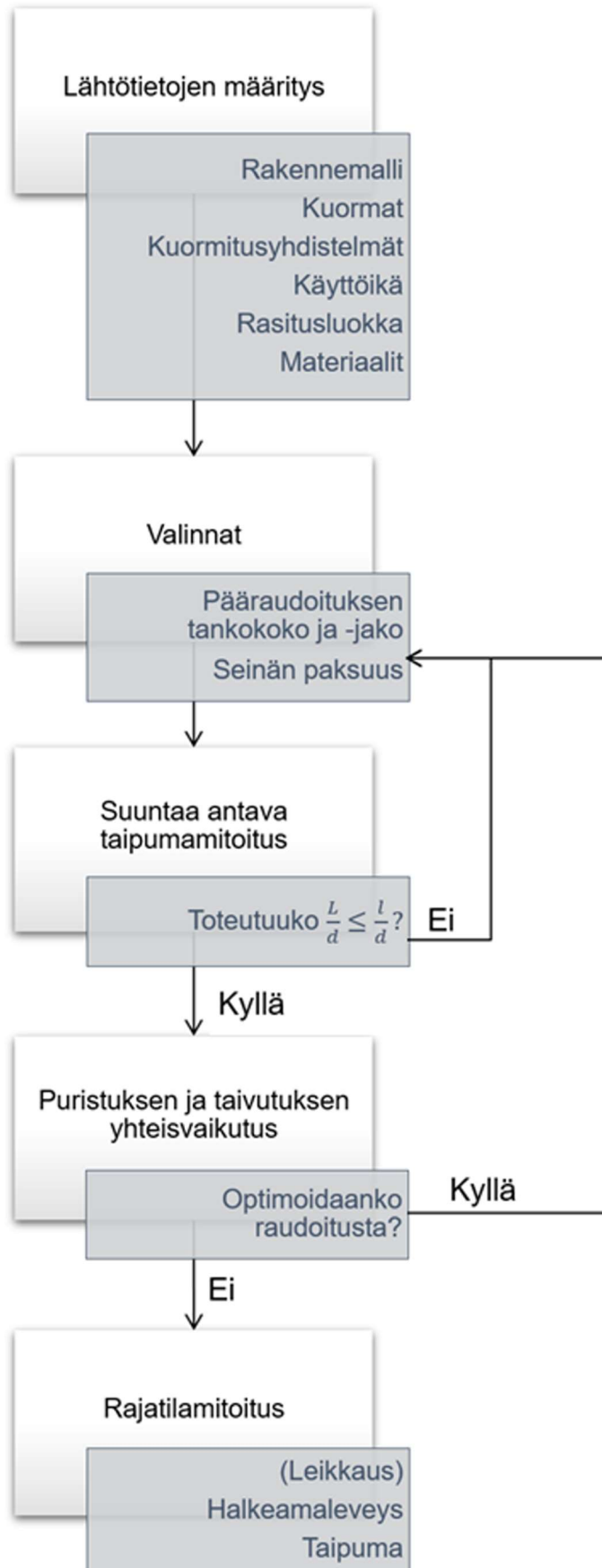
$Q_k$  = yläpuoliselta rakenteelta tuleva muuttuva kuorma

$G_{k,omapaino}$  = seinän omapaino

$P_0$  = lepopaine

$P_{0,tiivistys}$  = tiivistyksen aiheuttama paine

MITOITUKSEN ETENEMINEN



**KUORMAT**

**Lepopaine**

Maa-aineksen tilavuuspaino

$$\gamma_{sat} = (1 - n)\gamma_s + n\gamma_w$$

missä  $n = \text{Huokoisuus} \frac{V_h}{V}$

missä  $V_h = \text{Huokostilavuus}$

$V = \text{Koko näytteen tilavuus}$

$\gamma_s = \text{Kivirakeiden tilavuuspaino } 26,5 \text{ kN/m}^3$

$\gamma_w = \text{Veden tilavuuspaino } 10 \text{ kN/m}^3$

Lasketaan lepopaine maanpinnan tasossa ja seinän alapään tasossa; lepopaineen laskukaava

$$p_0 = (1 - \sin\phi) \times (\gamma z + q)$$

missä  $\gamma = \text{maan tilavuuspaino [kN/m}^3]$

$z = \text{etäisyys maanpinnasta [m]}$

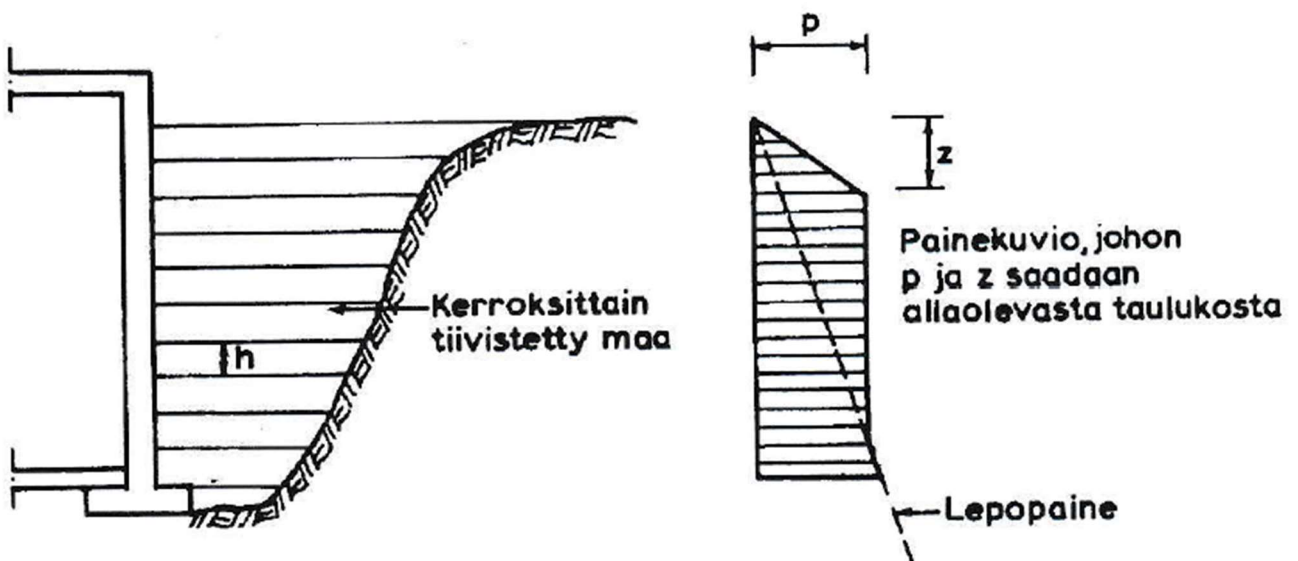
$q = \text{pystysuuntainen pintakuorma [kN/m}^2]$

$\phi = \text{maalajin leikkauskestävyyskulma}$

**Maan tiivistyksen aiheuttama paine**

Määritetään tiivistyksen aiheuttama paine taulukon ja kuvan avulla.

Tiivistyskone	Tiivistyskertojen määrä	Kerrospaksuus h [m]	z [m]	p [kPa]
Tärylevy, 100 kg	4	0,20	0,3	12
Tärylevy, 400 kg	4	0,35	0,5	16
Täryjyrä, 3000 kg	6	0,40	0,5	19



**KUORMIEN YHDISTELY (MRT)**

$$\max \begin{cases} 1,15K_{FI}G_k + 1,5K_{FI}Q_{k,i} + 1,5K_{FI} \sum \psi_{0,i}Q_{k,i} \\ 1,35K_{FI}G_k \end{cases}$$

missä  $K_{FI}$  = Seuraamusluokasta riippuva kuormakerroin (ks. taulukko)

$G_k$  = Pysyvän kuorman ominaisarvo

$Q_k$  = Määräävän muuttuvan kuorman ominaisarvo

$\psi_{0,i}$  = Ei-määräävien muuttuvien kuormien yhdistelykerroin (ks. taulukko)

**KUORMIEN YHDISTELY (KRT)**

Ominaisyhdistelmä

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

missä  $P$  on esijännitysvoima

$Q_{k,1}$  on määräävä muuttuva kuorma

$\psi_{0,i}$  on yhdistelykerroin (ks. taulukko)

$Q_{k,i}$  on ei-määräävä muuttuva kuorma

Pitkäaikaisyhdistelmä

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

missä  $\psi_{2,i}$  on yhdistelykerroin (ks. taulukko)

Yhdistelykertoimet käyttörajatilassa			
	Pysyvä	1. muuttuva	Muut muuttuvat
Ominaisyhdistelmä	1,0	1,0	$\psi_0$
Tavallinen yhdistelmä	1,0	$\psi_1$	$\psi_2$
Pitkäaikainen yhdistelmä	1,0	$\psi_2$	$\psi_2$

**KÄYTTÖIKÄ, RASITUSLUOKKA, MATERIAALIT**

Tyypillisiä suunnittelukäyttöikä:

	Asuinrakennus, normaalitaso	Asuinrakennus, PLUS-taso	Toimistorakennus	Monumentaalinen rakennus	Pysäköintitalo, kylmä rakenne
<b>Rakennus</b>	50 vuotta	100 vuotta	50 vuotta	200 vuotta	50 vuotta
<b>Perustukset</b>	100 vuotta	100 vuotta (200 v.)	100 vuotta	200 vuotta	100 vuotta

Rauditus teräsbetoniseinissä on yleensä kylmämuokattua betoniterästä (B500A) (voidaan valmistaa hitsattuja verkkoja).

Betonin vähimmäislujuusluokka määräytyy sen rasitusluokan perusteella.

## RAUDOITUKSEN MÄÄRÄ

Lasketaan pääraudoituksen vähimmäis- ja enimmäispinta-ala seinän poikkileikkauksessa 1,0 m matkalla

$$0,002A_c \leq A_{s,v} \leq 0,06A_c \quad , \text{ missä } \quad A_{s,v} = \text{Pystyraudoituksen poikkileikkauspinta-ala}$$

$$A_c = \text{Betonin poikkileikkauspinta-ala}$$

Päätetään pääraudoituksen koko ja määritetään tankojako

$$s_{vmax} = \min \left\{ \begin{array}{l} 3h \\ 400 \text{ mm} \end{array} \right. \quad , \text{ missä } \quad s_{vmax} = \text{Pystyraudoituksen tankojako}$$

Lasketaan vaakaraudoituksen vähimmäispinta-ala yhdessä reunassa

$$A_{s,hmin} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,001A_c \\ 0,25A_{s,v} \end{array} \right. \quad , \text{ missä } \quad A_{s,hmin} = \text{Vaakaraudoituksen minimipinta-ala}$$

Jakoraudoituksen maksimitankojako:

$$s_{h,max} = 400 \text{ mm} \quad , \text{ missä } \quad s_{h,max} = \text{Vaakaraudoituksen tankojako}$$

Taivutusrasituksessa tankojen jakoväliä rajoittaa ehto  $k \leq s_{max,slab}$ ;  $s_{max,slab}$  nähdään taulukosta (valitaan annetuista arvoista pienempi). Suluissa eurokoodin kansallisen liitteen arvoista poikkeavat arvot.

	Pääraudoitus	Jakoraudoitus
Maksimimomentin ja pistekuormien alueet	2h 250 mm	3h 400 mm
Muut alueet	3h 400 mm	4h (3,5h) 600 mm (450 mm)

Raudoituksen valinnassa kannattaa hyödyntää taulukkoa, josta näkee teräspinta-alan [mm<sup>2</sup>] poikkileikkausmetriä kohti:

T \ k	50	100	150	200	250	300	350	400	500	600
T 6	566	283	189	141	113	94	81	71	57	47
T 8	1006	502	335	252	201	168	144	126	101	84
T 10	1590	785	523	393	314	262	224	196	159	131
T 12	2260	1130	753	565	452	377	323	283	226	188
T 16	4020	2010	1340	1005	804	670	574	502	402	335
T 20	6280	3140	2093	1570	1256	1047	900	785	628	523
T 25	9820	4910	3273	2455	1964	1637	1430	1228	982	818
T 32	16080	8040	5360	4020	3216	2680	2300	2010	1608	1340

## BETONIPEITE JA TEHOLLINEN KORKEUS

Ratkaistaan...

...betonipeitteen minimipaksuus  $c_{min}$

$$c_{min} = \max \left\{ \begin{array}{l} c_{min,b} = \max \left\{ \begin{array}{l} \phi_{pääteräs} - \phi_{haka} \\ \phi_{haka} \end{array} \right. \\ c_{min,dur} \\ 10 \text{ mm} \end{array} \right.$$

missä  $c_{min,b}$  = Tartunnan vaatima betonipeitteen minimipaksuus

$c_{min,dur}$  = Raudoituksen säilyvyysvaatimus; määritetään taulukosta

...betonipeitteen nimellisarvo  $c_{nom}$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} \quad , \text{ missä } \quad \Delta c_{dev} = \text{Mittapoikkeama; paikallavalussa 10 mm}$$

...tehollinen korkeus  $d$ , kun pääteräkset ovat vaakaterästen sisäpuolella (suositeltavaa)

$$d = h - c_{nom} - 1,1\phi_{PT} - \frac{1,1\phi_{PT}}{2} \quad , \text{ missä } \quad \phi_{PT} = \text{Pääteräksen halkaisija}$$

... $d_2$ , kun pääteräkset ovat vaakaterästen ulkopuolella

$$d_2 = c_{nom} + 1,1\phi_{JT} + \frac{1,1\phi_{JT}}{2} \quad , \text{ missä } \quad \phi_{JT} = \text{Jakoteräksen halkaisija}$$

### SUUNTAA ANTAVA TAIPUMAMITOITUS laatan laskentaperiaatteiden mukaan (KRT)

Lasketaan...

...vetoraidoituksen raudoitussuhde

$$\rho = \frac{A_s}{bd} \quad , \text{ missä } \quad \rho = \text{vetoraidoituksen raudoitussuhde}$$

$A_s$  = Laatan taivutusraudoitusala poikkileikkauksen leveysyksikköä kohti

...raudoitussuhteen vertailuarvo

$$\rho_0 = \frac{\sqrt{f_{ck}}}{1000 \text{ MPa}} \quad , \text{ missä } \quad f_{ck} = \text{Betonin puristuslujuuden ominaisarvo}$$

Seuraava kaava riippuu raudoitussuhteen ja sen vertailuarvon suhteesta toisiinsa.

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

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

missä  $K$  = Rakennejärjestelmän huomioiva kerroin; vapaasti tuetulle kellarinseinälle 0,8

$$\rho' = \frac{A_{s2}}{bd} = \text{Puristusraudoitussuhde (} A_{s2} = \text{Puristusraudoituksen ala)}$$

Lopuksi tarkistetaan, että mitoitusehto  $\frac{l}{d} \leq \frac{l}{d}$  toteutuu.

### PURISTUKSEN JA TAIVUTUKSEN YHTEISVAIKUTUS pilarin laskentaperiaatteiden mukaan (MRT)

Selvitetään seinän hoikkuus: jos  $\lambda > \lambda_{lim}$  rakenne on hoikka.

$$\lambda = \frac{L_0}{i} \quad , \text{ missä } \quad L_0 = \text{Nurjahduspituus; päistään vapaasti tuetulla rakenteella } L_0 = L$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \text{Jäyhyys säde (suorakaidepoikkileikkauksessa } i = \frac{h}{\sqrt{12}})$$

$$\lambda_{lim} = 20ABC \frac{1}{\sqrt{n}} \quad , \text{ missä } \quad A = 0,7 = \text{Virumasta riippuva kerroin}$$

$B = 1,1$  = Raudoituksesta riippuva kerroin

$C = 0,7$  = Rakenteen momenttijakaumasta riippuva kerroin

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_{cd} f_{cd}} = \text{Suhteellinen normaalivoima}$$

Kertoimille A, B ja C on annettu eurokoodissa myös laskentakaavat; nämä likiarvot antavat varmallalla puolella olevan arvon.

**Ei-hoikan rakenteen mitoittava momentti**

Lasketaan...

...vinous

$$\theta_i = \frac{\alpha_h \alpha_m}{200}, \text{ missä}$$

$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{L}}$  = Sauvan pituudesta riippuva pienennyskerroin (L metreinä), rajoitus  $\frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1,0$

$\alpha_m$  = Rakenneosien määrästä riippuva kerroin

...lisäepäkeskisyyss

$$e_i = \theta_i \frac{L_0}{2}$$

...sauvan 1. kertaluvun momentti sauvan päässä 01

$$M_{01} = \min(M_{ylä}, M_{ala}) + e_i N_{Ed}$$

missä  $M_{ylä}$  = Sauvan yläpäässä vaikuttava kuormien aiheuttama momentti

$M_{ala}$  = Sauvan alapäässä vaikuttava kuormien aiheuttama momentti

...sauvan 1. kertaluvun momentti sauvan päässä 02

$$M_{02} = \max(M_{ylä}, M_{ala}) + e_i N_{Ed}$$

missä  $M_{ylä}$  = sauvan yläpäässä vaikuttava kuormien aiheuttama momentti

$M_{ala}$  = sauvan alapäässä vaikuttava kuormien aiheuttama momentti

...vähimmäisepäkeskisyyss

$$e_0 = \max\left(\frac{h}{30}, 20\text{mm}\right)$$

...vähimmäismomentti

$$M_{\min} = e_0 N_{Ed}$$

Mitoittava momentti  $M_{Ed} = \max(M_{02}, M_{\min})$  jos seinä ei ole hoikka.

**Hoikan rakenteen mitoittava momentti**

Lasketaan vinous ( $\theta$ ), lisäepäkeskisyyss ( $e_i$ ), 1. kertaluvun momentit ( $M_{01}$ ,  $M_{02}$ ), vähimmäisepäkeskisyyss ( $e_0$ ) ja vähimmäismomentti ( $M_{\min}$ ) kuten ei-hoikalle rakenteelle.

Lasketaan lisäksi...

... kaarevuuden määrittämisessä käytettävä korjauskerroin

$$K_r = \frac{n_u - n}{n_u - 0,4}, \text{ missä}$$

$n_u = 1 + \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}}$  = Suhteellisen puristuskestävyyden maksimiarvo

$n = \frac{N_{Ed}}{A_c f_{cd}}$  = Suhteellinen normaalivoima

...virumisaste

$$\varphi_{ef} = \varphi(\infty, t_0) \frac{M_{0Eqp}}{M_{0Ed}}$$

missä  $M_{0Eqp} = 1$ . kertaluvun mukainen taivutusmomentti käyttörajatilassa kuormien pitkäaikaisyhdistelmän vaikuttaessa

$M_{0Ed} = 1$ . kertaluvun mukainen taivutusmomentti murtorajatilassa

$\varphi(\infty, t_0) =$  Viruman loppuarvo

Viruman vaikutus mitoitukseen voidaan jättää huomioimatta, jos kaikki seuraavat toteutuvat:

$$\varphi(\infty, t_0) \leq 2$$

$$\lambda \leq 75$$

$$\frac{M_{0Ed}}{N_{Ed}} \geq h$$

...virumasta riippuva kerroin

$$K_\varphi = 1 + \beta \varphi_{ef} \geq 1,0$$

$$\text{missä } \beta = 0,35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150}$$

... tasapainomurtoa vastaava kaarevuuden likiarvo

$$\frac{1}{r_0} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0,45} \quad , \text{ missä } \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \text{Raudoituksen venymä}$$

$d =$  Seinän poikkileikkauksen tehollinen korkeus

...kaarevuus

$$\frac{1}{r} = K_r K_\varphi \frac{1}{r_0}$$

...rakenteen suurin taipuma

$$e_2 = \frac{1}{r} \frac{l_0^2}{c} \quad , \text{ missä } c = 10 \text{ jos vakiopoikkileikkaus, } 8 \text{ jos 1. kertaluvun momentti on vakio}$$

...toisen kertaluvun lisämomentti

$$M_2 = e_2 N_{Ed}$$

...mitoitettava momentti jos seinä on hoikka

$$M_{Ed} = \begin{cases} M_{0e} + M_2 \\ M_{02} + M_2 \\ M_{min} \end{cases} \quad , \text{ missä } M_{Ed} = \text{Mitoitettava momentti}$$

$M_{0e} =$  Ekvivalentti momentti; kellarinseinälle 0

$M_2 =$  2. kertaluvun momentti

$M_{min} =$  Vähimmäismomentti

### Vaatus raudoituksen määrälle

Lasketaan...

...suhteellinen normaalivoima

$$v = \frac{N_{Ed}}{bh f_{cd}}$$

...suhteellinen momentti

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{bh^2 f_{cd}}$$

Valitaan tilanteeseen sovellettava yhteisvaikutusdiagrammi suhteen  $\frac{d_2}{h}$  perusteella ja saadaan diagrammista raudoitussuhteen  $\omega$  arvo.



Lasketaan puristuksen ja taivutuksen yhteisvaikutuksen vaatima raudoituksen pinta-ala poikkileikkauksessa

$$A_s = \omega b h \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

Verrataan tulosta valittuun raudoitusmäärään. Tässä kohdassa voidaan optimoida raudoitusta (koko, jako) juuri lasketun vähimmäisraudoituksen mukaan. Jos alustavasti valittuja raudoituksia muutetaan, lasketaan uudelleen betonipeitteen nimellisarvo, teholliset korkeudet ja jo tehdyt rajatilatarkastelut.

### LEIKKAUSMITOITUS laatan laskentaperiaatteiden mukaan (MRT)

$$v_{Rd,c} = \max \begin{cases} v_{Rd,c0} = \frac{0,18}{\gamma_c} dk \left( 100 \rho_L \frac{f_{ck}}{MPa} \right)^{\frac{1}{3}} MPa \\ v_{Rd,cmin} = 0,035 dk^{\frac{3}{2}} \sqrt{\frac{f_{ck}}{MPa}} MPa \end{cases}$$

missä  $v_{Rd,c}$  = Laatan leikkauskestävyys

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200mm}{d}}, \text{ ehto } \leq 2,0$$

$$\rho_L = \frac{A_{sL}}{d} \text{ (ehto } \leq 2,0) = \text{Tehollinen vetoraudoitus}$$

missä  $A_{sL}$  = Vetoraudoituksen pinta-ala, jota pienennetään yhtälön

$$A_{sL} = A_{sL0} \frac{L_{bd}}{L_{b0}} \text{ mukaisesti, jos vetoraudoitusta ei ole täysin ankkuroitu}$$

poikkileikkaukseen.

Tarkistetaan, että mitoitusehto  $v_{Ed} \leq v_{Rd,c}$  toteutuu.

### HALKEILUMITOITUS (KRT)

Jos mitoitusehto  $m_{Ek} \geq m_{R,cr}$  toteutuu, on rakenne haljennut ja suoritetaan halkeamaleveydestarkastelu. Lasketaan ehtoa varten...

...ominaiskuormien yhdistelmä eri ajankohtina

$$m_{Ek} = m_{gk} + m_{qk} + \sum \psi_{0,i} m_{qk,i}, \text{ missä } m_{gk} = \text{Pysyvä kuorma}$$

$m_{qk}$  = Määrävä muuttuva kuorma

$\psi_{0,i}$  = Ei-määrävien muuttuvien kuormien yhdistelykerroin (ks. taulukko)

$m_{qk,i}$  = Ei-määrävä muuttuva kuorma

...bruttopoikkileikkauksen puristusvyöhykkeen korkeus

$$X_I = h - x_0, \text{ missä } x_0 = \text{Pintakeskiön etäisyys laatan vedetyn reunan x-koordinaatista}$$

...teräksen ja betonin kimmokerroimien suhde

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_c} \text{ missä } E_s = \text{Teräksen kimmokerroin}$$

$E_c$  = Betonin kimmokerroin

...bruttopoikkileikkauksen jäyhyysmomentti

$$I_I = \frac{bh^3}{12} + bh \left( \frac{h}{2} - X_I \right)^2 + (a_e - 1) \times A_s \times (d - X_I)^2$$

missä  $A_s$  = Tehollisella vetoalueella vaikuttavan raudoituksen pinta-ala

...halkeilumomentti kriittisinä ajankohtina

$$m_{R,cr} = f_{ct,eff} W_1, \text{ missä } f_{ct,eff} = \text{Betonin tehollinen vetolujuus; vetolujuuden keskiarvo } f_{ctm} = 0,3f_{ck}^{2/3}$$

$$W_1 = \frac{I}{h-X_1} = \text{Taivutusvastus (halkeamaton tila)}$$

Jos rakenne halkeaa, tehdään halkeamaleveydestarkastelu taulukkojen avulla tai laskemalla. Halkeamaleveyden maksimiarvo saadaan viereisestä taulukosta rakenteen rasitusluokan perusteella.

Rasitusluokka	Halkeamisleveys $w_{max}$ [mm]
	Pitkäaikainen kuormitusyhdistelmä
X0, XC1	0,4
XC2, XC3, XC4, XD1, XS1	0,3
XD2, XD3, XS2, XS3	0,2 (0,3)

**Taulukkomitoitusta** varten lasketaan raudoituksen jännitys ( $\sigma_{s,LT}$  ja sitä varten pitkäaikaisen tilan sisäinen momenttivarsi ( $z_{LT}$ ).

$$\sigma_{s,LT} = \frac{m_{Eqp}}{A_s z_{LT}}, \text{ missä } m_{Eqp} = M_{gk} + \psi_2 M_{qk} = \text{Pitkäaikaisten kuormien yhdistelmä}$$

$$z_{LT} = \text{Pitkäaikaisen tilan sisäinen momenttivarsi}$$

$$z_{LT} = d - \frac{d \rho \alpha_{e,eff} (-1 + \sqrt{1 + \frac{2}{\rho \alpha_{e,eff}}})}{3}, \text{ missä } \rho = \frac{A_s}{bd} = \text{Suhteellinen raudoitusala}$$

$$\alpha_{e,eff} = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \text{Kimmokertoimien tehollinen suhde}$$

Tulkitaan taulukoista maksimiarvot tankokoolle ja tankojaolle raudoituksen jännityksen pohjalta. Mitoitukseen riittää vain toisen taulukon ehdon täytyminen.

Taulukosta luettavat rivit valitaan lasketun jännityksen molemmin puolin ja sarake määräytyy halkeamaleveyden ehdon  $w_k \leq w_{max}$  perusteella ( $w_{max}$  taulukosta rasitusluokan mukaan). Näiden jännityksen ja tankokoon ääniarvojen avulla voidaan interpoloida jännitystä vastaava tarkka raudoituksen maksimikoko.

Jos suurin sallittu tankopaksuus on selkeästi pienempi kuin valittu paksuus, ei tankopaksuutta paradoksaalisesti kannata pienentää, vaan kasvattaa, jolloin pienennetään raudoituksen jännitystä ja kasvatetaan sallitun tankokoon arvoa.

Halkeamaleveyden rajoittamisen edellyttämät tankojen enimmäishalkaisijat			
Teräsjännitys [MPa]	Suurin tankokoko [mm]		
	$w_k = 0,4$ mm	$w_k = 0,3$ mm	$w_k = 0,2$ mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	-

Halkeamaleveyden rajoittamisen edellyttämät tankojaon enimmäisarvot			
Teräsjännitys [MPa]	Tankojaon enimmäisarvo [mm]		
	w <sub>k</sub> = 0,4 mm	w <sub>k</sub> = 0,3 mm	w <sub>k</sub> = 0,2 mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-

**Suora laskentaketju:** lasketaan...

...puristusvyöhykkeen korkeus haljenneessa, lyhytaikaisessa tilassa

$$X_{ST} = d\rho\alpha_e \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2}{\rho\alpha_e}} \right)$$

... puristusvyöhykkeen tehollinen korkeus

$$h_{c,eff} = \min \left\{ 2,5(h - d), \frac{h - X_{ST}}{3}, \frac{h}{2} \right\}$$

...tehollinen raudoitusala

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}, \text{ missä}$$

A<sub>s</sub> = Tehollisella vetoalueella vaikuttavan raudoituksen pinta-ala

A<sub>c,eff</sub> = bh<sub>c,ef</sub> = Tehollisen vetoalueen pinta-ala

...venymäero

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

σ<sub>s,LT</sub> = Raudoituksen vetojännitys haljenneessa tilassa

k<sub>t</sub> = Kuorman vaikutusajasta riippuva kerroin

= 0,6 lyhytaikaiselle kuormalle

= 0,4 pitkäaikaiselle kuormalle

f<sub>ct,eff</sub> = Betonin tehollinen vetolujuus; vetolujuuden keskiarvo f<sub>ctm</sub> = 0,3f<sub>ck</sub><sup>2/3</sup>

Tarkistetaan, että ehto ε<sub>sm</sub> - ε<sub>cm</sub> ≥ 0,6ε<sub>s</sub> = 0,6  $\frac{\sigma_s}{E_s}$  toteutuu. Lasketaan...

...maksimihalkeamaväli

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

, missä S<sub>r,max</sub> = Maksimi-halkeamaväli

k = Kerroin taulukosta

c = betonipeite päätangon pintaan

φ = tankopaksuus

Kerroin	Kertoimen arvo	Selite
k <sub>1</sub>	0,8	Hyvä tartunta
	1,6	Huono tartunta (lähes sileä)
k <sub>2</sub>	0,5	Taivutus
	1,0	Suora veto
k <sub>3</sub>	3,4	Kansallisesti valittava kerroin
k <sub>4</sub>	0,425	Kansallisesti valittava kerroin

...maksimihalkeamaleveys

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

Tarkistetaan, että halkeamaleveyden mitoitusehto  $w_k \leq w_{max}$  toteutuu.

### TAIPUMAMITOITUS (KRT)

Mitoitusyhtälö taipumalle on  $a \leq a_{max}$ , missä  $a$  on taipuma ja  $a_{max}$  suurin sallittu arvo taipumalle. Lasketaan...

...taipumaraja

$$a_{max} = \frac{L}{250}, \text{ missä } L = \text{Jännemitta tai ulokkeen pituus}$$

...halkeamattoman, lyhytaikaisen tilan puristusvyöhykkeen korkeus

$$X_{I,ST} = \frac{\frac{bh^2}{2} + (\alpha_e - 1)A_s d}{bh + (\alpha_e - 1)A_s}, \text{ missä } \alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \text{Kimmokertoimien tehollinen suhde}$$

$$\text{missä } E_{cm} = 22GPa \left( \frac{f_{cm}}{10MPa} \right)$$

...halkeamattoman, lyhytaikaisen tilan jäyhyysmomentti

$$I_{I,ST} = \frac{bh^3}{12} + bh \left( \frac{h}{2} - X_{I,ST} \right)^2 + (\alpha_e - 1)A_s (d - X_{I,ST})^2$$

...halkeilumomentti

$$m_{cr} = f_{ct,eff} \frac{I_{I,ST}}{h - X_{I,ST}}, \text{ missä } f_{ct,eff} = \text{Vetolujuuden tehollinen arvo; käytetään vetolujuuden keskiarvoa } f_{ctm}$$

...halkeamattoman, pitkäaikaisen tilan puristusvyöhykkeen korkeus

$$X_{I,LT} = \frac{\frac{bh^2}{2} + (\alpha_{eff} - 1)A_s d}{bh + (\alpha_{eff} - 1)A_s}, \text{ missä}$$

$X_{I,LT}$  = Halkeamattoman, pitkäaikaisen tilan puristusvyöhykkeen korkeus

$$\alpha_{e,eff} = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \text{Kimmokertoimien tehollinen suhde}$$

$$\text{missä } E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi}$$

...halkeamattoman, pitkäaikaisen tilan jäyhyysmomentti

$$I_{I,LT} = \frac{bh^3}{12} + bh \left( \frac{h}{2} - X_{I,LT} \right)^2 + (\alpha_{e,eff} - 1)A_s (d - X_{I,LT})^2$$

...haljenneen, pitkäaikaisen tilan puristusvyöhykkeen korkeus

$$X_{II,LT} = \alpha_{e,eff} d \rho \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2}{\alpha_{e,eff} \rho}} \right)$$

...haljenneen, pitkäaikaisen tilan jäyhyysmomentti

$$I_{II,LT} = \frac{bX_{II,LT}^3}{3} + \alpha_{e,eff} A_s (d - X_{II,LT})^2$$

...halkeiluaste

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

$\beta = 1,0$  yksittäiselle lyhytaikaiselle kuormitukselle ja  $0,5$  pitkäaikaiselle kuormalle

$m_{cr}$  = Halkeilumomentti

$m_{Ek,max} = m_{gk} + m_{qk}$  = Ominaiskuormien yhdistelmä

...osittain haljenneen tilan kaarevuus

$$\frac{1}{r_{LT}} = \zeta \frac{m_{Eqp}}{E_{c,eff} I_{II,LT}} + (1 - \zeta) \frac{m_{Eqp}}{E_{c,eff} I_{I,LT}}$$

missä  $m_{Eqp} = M_{gk} + \psi_2 M_{qk}$  = Pitkäaikaisten kuormien yhdistelmä

$E_{c,eff}$  = Tarkasteluaikaa vastaava tehollinen kimmokerroin

$I_{II}$  = Haljenneen poikkileikkauksen jäyhyysmomentti (pitkäaikainen yhdistelmä)

$I_I$  = Halkeamattoman poikkileikkauksen jäyhyysmomentti (pitkäaikainen yhdistelmä)

...kuormituksen aiheuttama taipuma

$$a_{LT,M} = KL^2 \times \frac{1}{r_{LT}}, \text{ missä } a_{LT,M} = \text{Kuormituksen aiheuttama taipuma}$$

$K$  = Momenttijakaumasta riippuva kerroin  $\frac{5}{48}$

$\frac{1}{r_{LT}}$  = Osittain haljenneen tilan kaarevuus

...raudoituksen staattiset momentit poikkileikkauksen painopisteen suhteen

$$S_{I,LT} = A_{s1}(d - X_{I,LT}), \text{ missä } A_{s1} = \text{Vetoraudoituksen pinta-ala}$$

$X_{I,LT}$  = Halkeamattoman, pitkäaikaisen tilan puristusvyöhykkeen korkeus

$$S_{II,LT} = A_{s1}(d - X_{II,LT}), \text{ missä } A_{s1} = \text{Vetoraudoituksen pinta-ala}$$

$X_{II,LT}$  = Haljenneen, pitkäaikaisen tilan puristusvyöhykkeen korkeus

...kaarevuus

$$\frac{1}{r_{cs}} = \varepsilon_{cs} \alpha_{e,eff} \left( \zeta \frac{S_{II,LT}}{I_{II,LT}} + (1 - \zeta) \frac{S_{I,LT}}{I_{I,LT}} \right)$$

missä  $\varepsilon_{cs}$  = Vapaata kutistumaa vastaava muodonmuutos

$\alpha_{e,eff}$  = Kimmokerrointen tehollinen suhde

$S$  = Raudoituksen staattinen momentti

$I$  = Poikkileikkauksen jäyhyysmomentti

$\zeta$  = Halkeiluaste

...kutistuman aiheuttama taipuma

$$a_{cs} = K_{cs} L^2 \frac{1}{r_{cs}}, \text{ missä } K_{cs} = 0,125 = \text{Momenttijakautumakerroin kutistumalle}$$

$\frac{1}{r_{cs}}$  = Kaarevuus

...kokonaistaipuma

$$a = a_{LT,M} + a_{cs}$$

Tarkistetaan vielä lopuksi mitoitus ehdon  $a \leq a_{max}$  toteutuminen.

## Taulukot

## SEURAAMUSLUOKAT JA KUORMAKERTOIMET

Seuraamusluokka	Seuraamus	Kuormakerroin $K_{FI}$
CC3	Suuret seuraamukset ihmishenkien menetyksen tai hyvin suurten taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	$K_{FI} = 1,1$
CC2	Keskisuuret seuraamukset	$K_{FI} = 1,0$
CC1	Vähäiset seuraamukset	$K_{FI} = 0,9$

## YHDISTELYKERTOIMET

Kuorma	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Hyötykuormat rakennuksissa, luokka (ks. SFS-EN 1991-1-1)			
Asuintilat	0,7	0,5	0,3
Toimistotilat	0,7	0,5	0,3
Kokoontumistilat	0,7	0,7	0,3
Myymlätilat	0,7	0,7	0,6
Varastotilat	1,0	0,9	0,8
Liikennöitävät tilat (ajoneuvon paino $\leq 30$ kN)	0,7	0,7	0,6
Liikennöitävät tilat (ajoneuvon paino $\leq 160$ kN)	0,7	0,5	0,3

Selitteet:

$\psi_0$  = Muuttuvan kuorman yhdistelykerroin, ominaisyhdistelmä

$\psi_1$  = Muuttuvan kuorman tavallisen arvon yhdistelykerroin

$\psi_2$  = Muuttuvan kuorman pitkäaikaisarvon yhdistelykerroin

## YHDISTELYKERTOIMIEN VALINTA KÄYTTÖRAJATILASSA

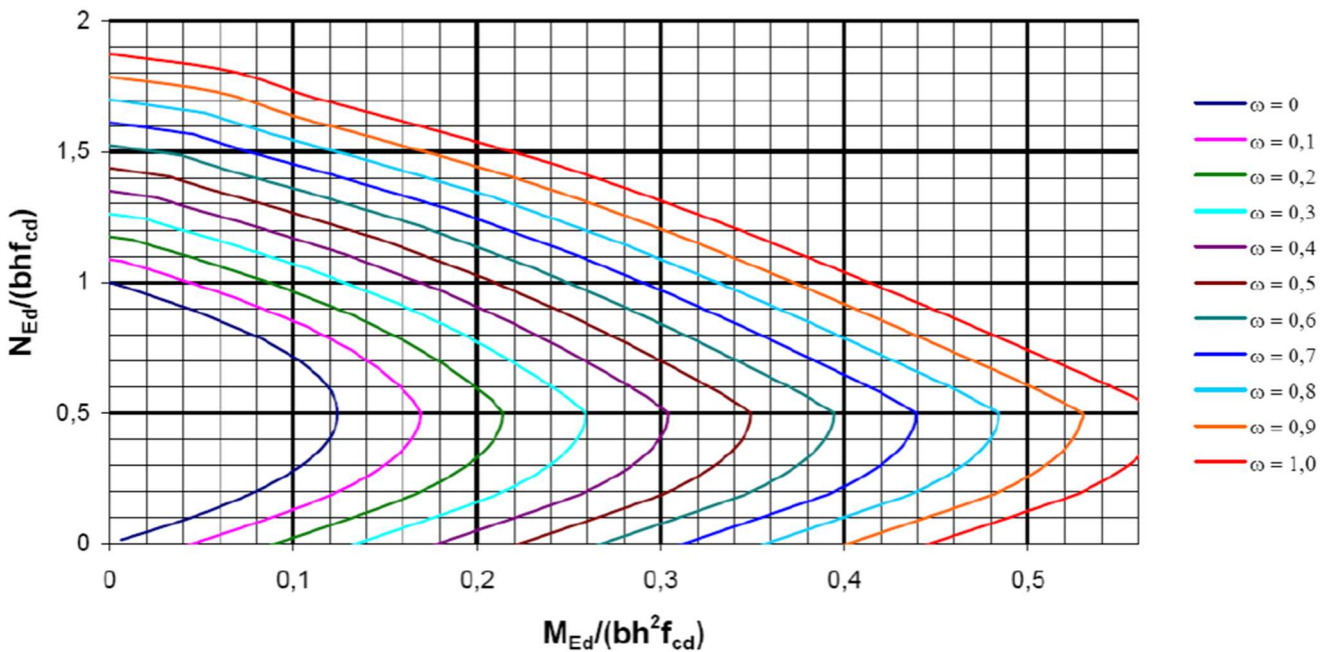
	Pysyvä	1. muuttuva	Muut muuttuvat
<b>Ominaisyhdistelmä</b>	1,0	1,0	$\psi_0$
<b>Tavallinen yhdistelmä</b>	1,0	$\psi_1$	$\psi_2$
<b>Pitkäaikainen yhdistelmä</b>	1,0	$\psi_2$	$\psi_2$

**TYYPILLISIÄ KELLARINSEINÄN RASITUSLUOKKIA**

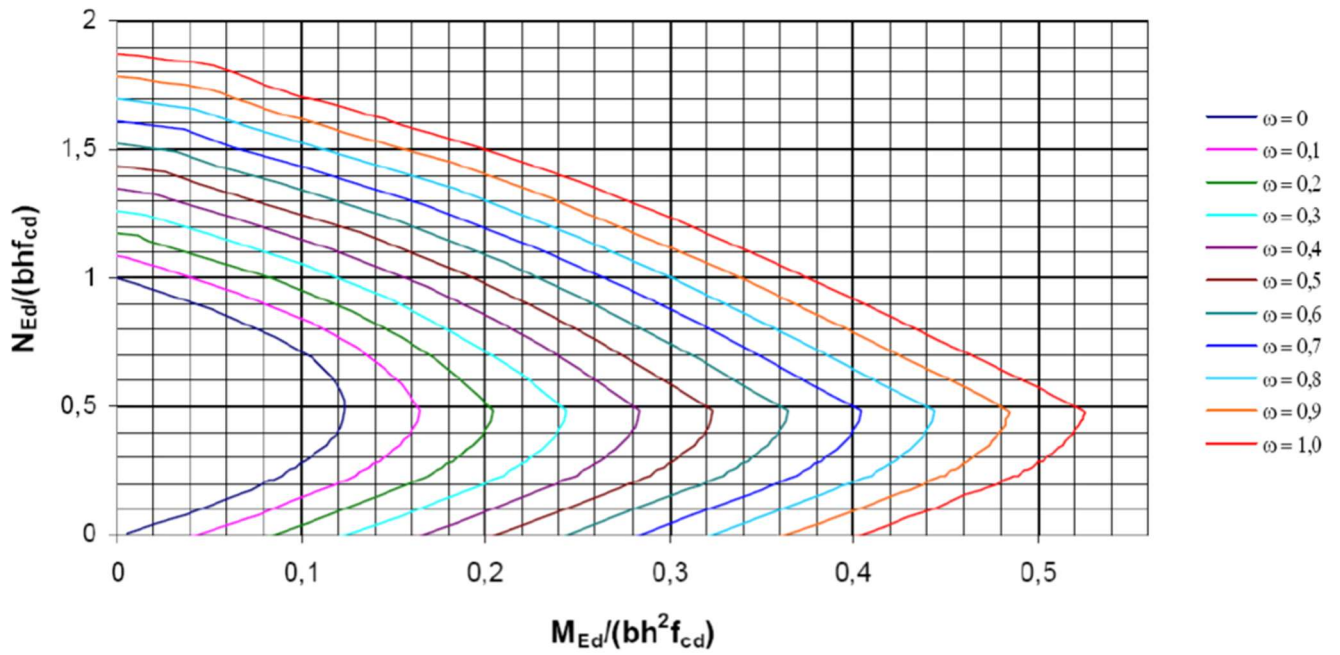
<b>Karbonatisoitumisen vaikutuksista aiheutuva korrosio</b>			
<b>XC2</b>	Ympäristö: märkä, harvoin kuiva	Betoni, joka on pitkään kosketuksissa veteen. Useimmat perustukset.	Vähimmäislujuusluokka C25/30
<b>XC3</b>	Ympäristö: kohtalaisen kostea	Betoni sisätiloissa, joissa ilmankosteus on kohtalainen tai suuri. Ulkona oleva sateelta suojattu betoni.	Vähimmäislujuusluokka C25/30
<b>XC4</b>	Ympäristö: märkä ja kuiva vaihtelevat	Betonipinnat, jotka ovat kosketuksissa veden kanssa, mutta eivät kuulu rasisitusluokkaan XC2.	Vähimmäislujuusluokka C30/37
<b>Muun kuin meriveden kloridien aiheuttama korrosio</b>			
<b>XD1</b>	Ympäristö: kohtalaisen kostea	Betonipinnat, jotka ovat alttiina ilman sisältämille klorideille.	Vähimmäislujuusluokka C30/37
<b>Meriveden kloridien aiheuttama korrosio</b>			
<b>XS1</b>	Ympäristö: betoni on kosketuksissa ilman kuljettaman suolan kanssa, mutta ei suorassa kosketuksessa meriveteen	Lähellä rannikkoa tai rannikolla olevat rakenteet.	Vähimmäislujuusluokka C35/40
<b>Jäädytys-sulatusrasitus jäänsulatusaineilla tai ilman niitä</b>			
<b>XF1</b>	Ympäristö: kohtalainen vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita	Sateelle ja jäätymiselle alttiit pystysuorat betonipinnat.	

**PURISTUKSEN JA TAIVUTUKSEN YHTEISVAIKUTUSDIAGRAMMIT**

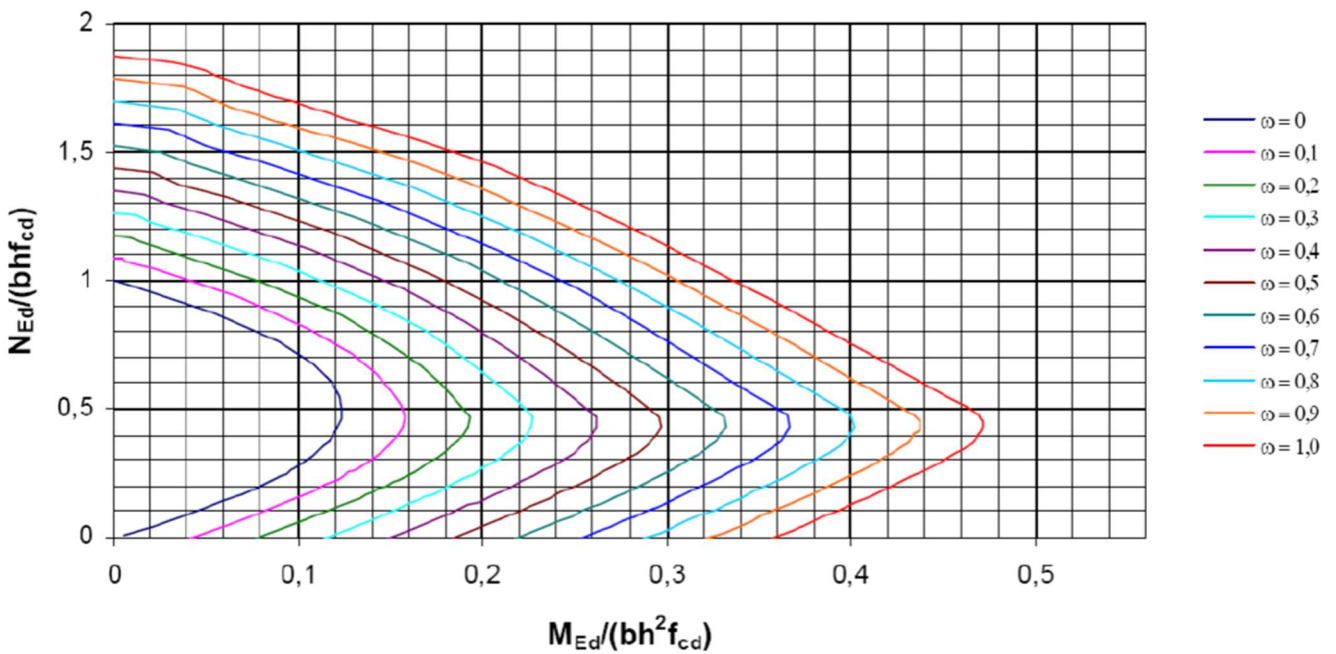
Suhde  $\frac{d_2}{h} = 0,05$



Suhde  $\frac{d_2}{h} = 0,10$

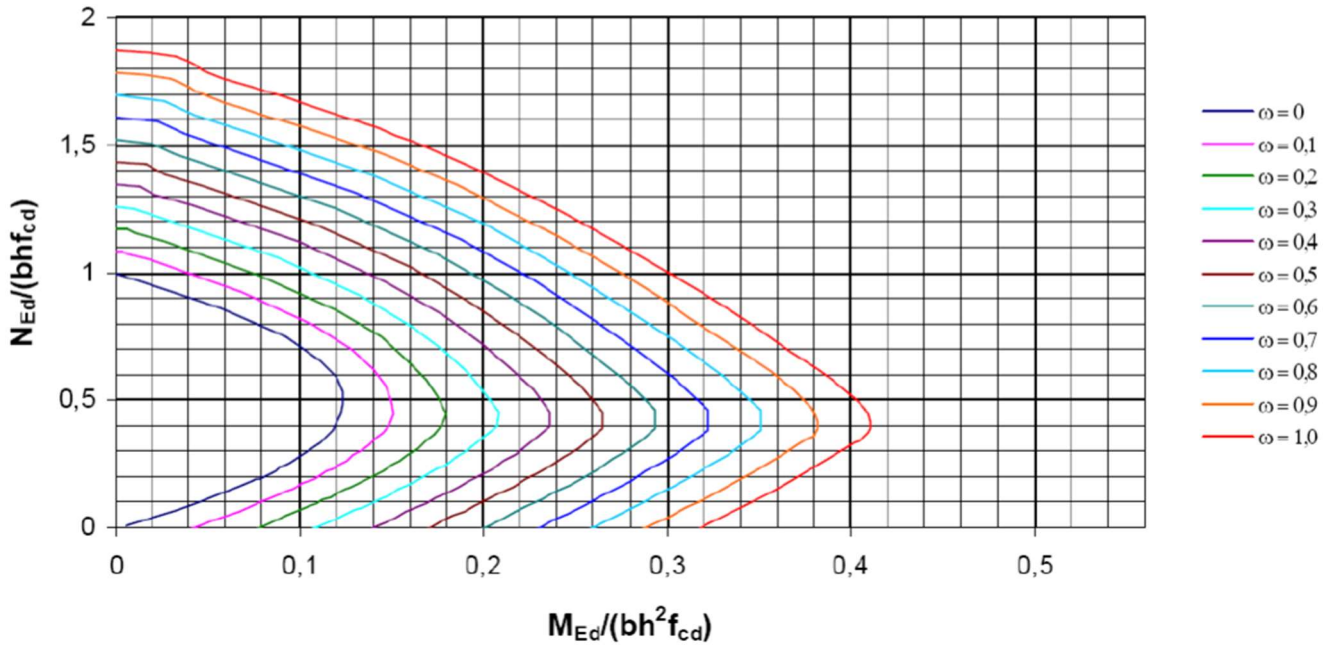


Suhde  $\frac{d_2}{h} = 0,15$





Suhde  $\frac{d_2}{h} = 0,20$



Suhde  $\frac{d_2}{h} = 0,25$

