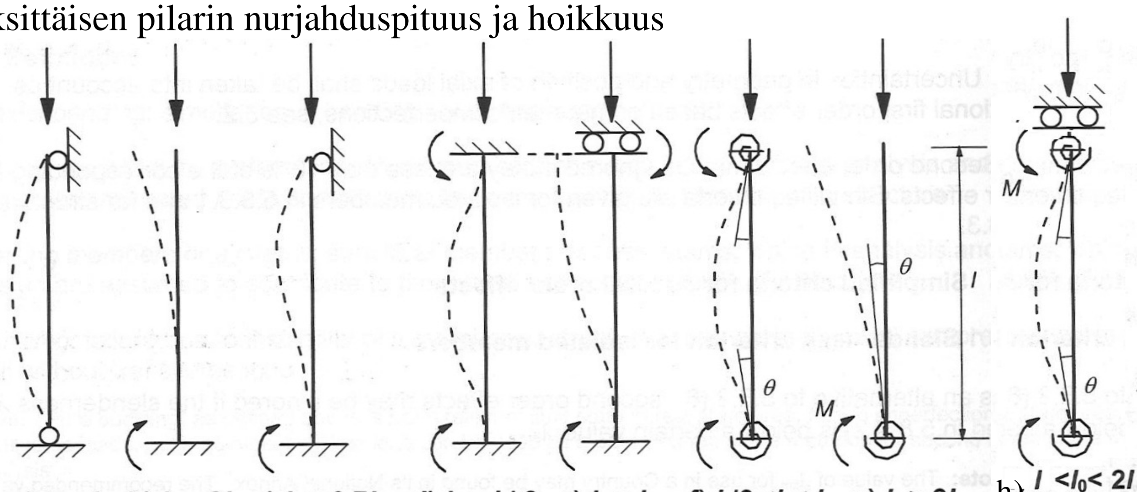
Pilarin mitoitus EC2:n mukaan

<u>Nurjahduspituus</u>

Yksittäisen pilarin nurjahduspituus ja hoikkuus



a) $l_0 = l$ b) $l_0 = 2l$ c) $l_0 = 0,7l$ d) $l_0 = l / 2$ e) $l_0 = l$ f) $l/2 < l_0 < l$ g) $l_0 > 2l$ h) $l < l_0 < 2l$

Kun pilari liittyy muihin ei-jäykkiin kimmoisiin rakenteisiin, kuten kehäpalkkiin tai perustuksiin määritetään nurjahduspituus seuraavilla kaavoilla:

Sivusiirtymätön pilari (”jäykistetyt sauvat”) (tapaukset a, c, d, f)
Pilari päiden siirtymä estetty muilla rakenteilla;
rakennusta jäykistävät muut rakenteet kuin tarkasteltava pilari, kuten jäykistävät seinät

$$L_o = 0,5 \cdot L \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{k_1}{0.45 + k_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{k_2}{0,45 + k_2}\right)}$$

Sivusiirtyvä pilari (”jäykistämättömät sauvat”) (tapaukset b, e, g ja h)
Pilarin toisen pään siirtymää ei ole estetty muilla rakenteilla kuin tarkasteltavalla pilarilla; tarkasteltava pilari on osa rakennusta jäykistävää rakennekokonaisuutta esim. osa rakennusta jäykistävästä jäykkänurkkaisesta kehästä (kuten harjoitustyössä) tai rakennus on jäykistetty tarkasteltavana olevilla mastopilareilla.

$$L_0 \geq \begin{cases} L \cdot \sqrt{1 + 10 \cdot \dfrac{k_1 \cdot k_2}{k_1 + k_2}} \\ L \cdot \left(1 + \dfrac{k_1}{1 + k_1}\right) \cdot \left(1 + \dfrac{k_2}{1 + k_2}\right) \end{cases}$$

Kaavoissa on
L_0 on nurjahduspituus
L on pilarin todellinen pituus = vapaa pituus kiinnityskohtien väliltä

k_1 ja k_2 ovat pilarin päiden 1 ja 2 kiertymäjoustavuuden (= kiertymäjousivakioiden käänteisarvojen) suhteellisia arvoja:

$$k = \left(\frac{\theta}{M}\right) \cdot \left(\frac{EI}{L}\right)$$

θ on pilarin pään kiinnitysmomenttia M vastaava kiertymistä vastustavien sauvojen esim. palkin tai anturan kiertymä

pilariin liittyvä sauva: $\frac{\theta}{M} = \frac{L_2}{3 \cdot EI_2}$ sauvan vastakkaisessa päässä nivel

$\frac{\theta}{M} = \frac{L_2}{4 \cdot EI_2}$ sauvan vastakkainen pää kiinnitetty

EI on pilarin taivutusjäykkyys (voidaan laskea halkeamattomana)
L on pilarin pituus
EI_2 on palkin taivutusjäykkyys (voidaan laskea halkeamattomana)
L_2 on palkin pituus

täysin jäykkä kiinnitys $k=0$
vapaasti kiertyvä pää (nivel tai uloke) $k=\infty$

Ulokepilari: $k_1=\infty$

$$L_0 \geq \begin{cases} L \cdot \sqrt{1+10 \cdot k_2} & \text{kun: } k_2 \geq 0{,}7 \\ L \cdot 2 \cdot \dfrac{1+2 \cdot k_2}{1+k_2} & \text{kun } k_2 < 0{,}7 \end{cases}$$

Täysin jäykkä kiinnitys ei yleensä ole mahdollinen, joten suositellaan vähimmäisarvoa $k=0{,}1$.

Vähimmäisarvoa $k_1=0.1$ ja $k_2=0.1$ vastaava nurjahduspituus

- sivusiirtymätön pilari:
  - pilarin molemmissa päät kiinnitettyjä ($k_1=k_2=0{,}1$) $L_0 = 0{,}59\ L \sim 0{,}6L$
  - toinen pää kiinnitetty, toisessa päässä nivel ($k_1=0{,}1$, $k_2=\infty$) $L_0 = 0{,}77\ L \sim 0{,}8L$
  - molemmissa päissä nivel ($k_1 = k_2 = \infty$) $L_0 = L$

- sivusiirtyvä pilari
  - pilarin molemmat päät kiinnitettyjä ($k_1 = k_2 = 0{,}1$) $L_0 = 1{,}22\ L \sim 1{,}2L$
  - uloke;
  - toinen pää vapaa ($k_1=\infty$), toinen pää kiinnitetty ($k_2=0{,}1$) $L_0=2{,}18\ L \sim 2{,}2L$

Jos samaan nurkkaan liittyy toinenkin pilari (esim. ylempi pilari), joka myötävaikuttaa nurjahduksessa syntyvään kiertymään jousivakiossa k termi EI/L korvataan summalla $(EI/L)_a+(EI/L)_b$.

Jos pilariin liittyy molemmilta puolilta palkki, niin termi $\frac{L_2}{4 \cdot EI_2}$ korvataan summalla

$\frac{L_2}{4 \cdot EI_2} + \frac{L_3}{4 \cdot EI_3}$

Huom! Harjoitustyössä ylempi elementtipilari liittyy kehään nivelellisesti, joten sen ei oleteta vaikuttavan alemman pilarin kiertymään.

Huom! Alapäästä jäykästi kiinnitetty ja yläpäähän liittyy palkki nivellisesti (elementti)palkki ja pilarin yläpään siirtymä vapaa (sivusiirtyvä) vastaa uloketta, jonka nurjahduspituus $L_0 \geq 2L$

Tapaus h) kuvaa sivusiirtyvän jäykkänurkkaisen kehän pilaria, jossa pilari liittyy jäykästi yläpäästään palkkiin ja alapäässä on esim. perustus, joka pääsee kiertymään. Yläpään liitos ei täysin jäykkä, koska pilari liittyy kimmoisaan palkkiin (staattisessa mallissa on palkin kiertymäjäykkyyttä vastaava jousi, jousivakion käänteisarvo $\frac{\theta}{M}$) .
Vastaavasti alapään liitos ei ole täysin jäykkä perustuksen kiertymän (staattisessa mallissa jousi) vuoksi.
Pilarin yläpää pääsee siirtymään (staattisessa mallissa rullat), joten kehä on sivusiirtyvä; vaakasuuntaisen siirtymän suhteen ainoita jäykistäviä rakenteita ovat kehän pilarit.

Paalutuksen vaikutus nurjahduspituuteen

Taivutusmomentin M rasittaessa paaluanturaa, saa toisen paalurivin paalut puristusta ja toisen vetoa. Paaluille tulevat puristus- ja vetovoimat ovat

$$N_p = \pm \frac{M}{n \cdot a}$$

missä n on yhdessä rivissä olevien paalujen lukumäärärä (harj.työssä n=2)
a on paaluväli

Paalun saamat jännitykset ovat $\sigma_p = \frac{N_p}{A_p}$ ja muodonmuutos $\varepsilon_p = \frac{N_p}{E_{cmp} \cdot A_p}$ missä A_p on paalun pinta-ala ja E_{cmp} on paalun betonin keskimääräinen kimmokerroin.

Toisen rivin paalut lyhenevät ja toisen rivin pitenevät määrän $\Delta L_p = \pm \varepsilon_p \cdot L_p$, missä L_p on paalun pituus. Anturan kiertymä on $\theta = \frac{2 \cdot \Delta L_p}{a} = \frac{2 \cdot M \cdot L_p}{n \cdot E_{cmp} \cdot A_p \cdot a^2}$

Pilarin alapään kiertymäjoustavuus on $\frac{\theta}{M} = \frac{2 \cdot L_p}{n \cdot E_{cmp} \cdot A_p \cdot a^2}$

<u>Esim 1.</u> Ulokepilari, pituus L=4 m, poikkileikkaus 380*380, betoni C25/30
Pilarin I=$1{,}74\cdot10^{-3}$ m^4, E_{cm}=31500 MPa => $E_{cm}I/L$= 13,68 MNm
Paalut 2+2 kpl 250*250 paalua,pituus L_p=20 m, paaluväli a=0,8 m , betoni C40/50
Paalun pinta-ala A_p = 0,0625 m^2, E_{cmp}=35200 MPa n=2 => θ/M=0,014 1/(MNm)

Pilarin alapään kiertymäjoustavuus $k_2 = 0{,}014\cdot13{,}68 = 0{,}194 > 0{,}1$

Pilarin nurjahduspituus $L_0 = L\cdot 2\cdot\left(\frac{1+2\cdot0{,}194}{1+0{,}194}\right) = L\cdot 2{,}325 = 9{,}3\text{m}$

Esim 2. Edellä olevaan pilariin liittyy jäykästi palkki, L_2 = 6 m, poikkileikkaus 380*580, betoni C25/30. Palkin toisessa päässä on vaakasuuntaisen liikkeen salliva niveltuki eli rullatuki. Koska palkin toinen pää voi liikkua vaakasuunnassa, niin myös pilarin yläpää pääsee liikkumaan vaakasuunnassa, joten pilari on sivusiirtyvä.

Palkin I= $6{,}18\cdot10^{-3}$ m^4 $\frac{\theta}{M} = \frac{L_2}{3\cdot EI_2} = 0{,}0103\,\frac{1}{\text{MNm}}$

Yläpään kiertymäjoustavuus $k_1 = \frac{\theta}{M}\cdot\frac{EI}{L} = 0{,}0103\cdot13{,}68 = 0{,}141 > 0{,}1$

Pilarin nurjahduspituus

$$L_0 \geq \begin{cases} L\cdot\sqrt{1+10\cdot\frac{k_1\cdot k_2}{k_1+k_2}} = 4\cdot\sqrt{1+10\cdot\frac{0{,}194\cdot0{,}141}{0{,}194+0{,}141}} = 1{,}35\cdot4 = 5{,}39\,\text{m} \\ L\cdot\left(1+\frac{k_1}{1+k_1}\right)\cdot\left(1+\frac{k_2}{1+k_2}\right) = 4\cdot\left(1+\frac{0{,}194}{1+0.194}\right)\cdot\left(1+\frac{0{,}141}{1+0{,}141}\right) = 1{,}31\cdot4 = 5{,}22\text{ m} \end{cases}$$

Pilarin nurjahduspituus on siis L_o = 5,39 m

Muissa kuin edellä esitetyissä tapauksissa (sauvan normaalivoima tai poikkileikkaus muuttuva tai rakenne on monimutkaisempi) nurjahduspituus määritetään esim. numeerisella menetelmällä lasketusta (kimmoisesta) nurjahduskuormasta seuraavasti:

$$L_0 = \pi\cdot\sqrt{\frac{EI}{N_B}}$$

N_B on taivutusjäykkyyttä EI vastaava nurjahduskuorma

Pilarin hoikkuus $\lambda = \frac{L_0}{i}$

$i = \sqrt{\frac{EI}{EA}}$ on hitaussäde ; suorakaide $i = \frac{h}{\sqrt{12}} \approx 0{,}289h$ ympyrä i = 0.25 h

Toisen kertaluvun vaikutukset voidaan jättää ottamatta huomioon, jos niiden vaikutus on alle 10 % tai hoikkuus

$$\lambda \le \lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}}$$

$A = \frac{1}{1 + 0{,}2 \cdot \varphi_{ef}}$ jos virumalukua ei tunneta voidaan käyttää A~0,7

$B = \sqrt{1 + 2 \cdot \omega}$ jos mekaanista raudoitusastetta ω ei tunneta, voidaan käyttää B~1,1

$C=1{,}7-r_m$ jos päätymomenttien suhdetta r_m ei tunneta, voidaan käyttää r_m~0,7

$r_m = \frac{M_{01}}{M_{02}}$ on 1. kertaluvun päätymomenttien suhde $|M_{02}| \ge |M_{01}|$

Jos M_{01} ja M_{02} aiheuttavat vetoa rakenteen samalle puolelle $r_m > 0$ ($C \le 1{,}7$)

Jos M_{01} ja M_{02} aiheuttavat vetoa rakenteen eri puolille $r_m < 0$ ($C > 1{,}7$)

Päätymomenttien suhteelle voidaan käyttää arvoa $r_m = 1{,}0$ ($C=0{,}7$), kun

- sivusiirtyvissä pilareissa 1. kertaluvun momentteja syntyy vain tai ensisijaisesti perusepäkeskisyyksistä tai poikittaiskuormista (vaakakuormista)
  Jos normaalivoima tulee pilarille epäkeskeisesti, lasketaan r_m näiden todellisten epäkeskisyyksien aiheuttamien momenttien M_{01} ja M_{02} perusteella

- sivusiirtyvissä rakenneosissa yleensä

$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}}$ on suhteellinen normaalivoima

$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}}$ on mekaaninen raudoitusaste; kokonaisteräsmäärä

molempien reunojen teräsmäärä yhteensä

Tehollinen virumaluku nurjahdustarkasteluissa

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

$\phi(\infty,t_0)$	on virumaluvun loppuarvo; voidaan olettaa, että t_0~28 vrk
M_{0Eqp}	on 1. kertaluvun **käyttötilan** taivutusmomentti pitkäaikaisessa kuormitusyhdistelmässä
M_{OEd}	on 1. kertaluvun **murtotilan** momentti tarkasteltavassa kuormitusyhdistelmässä

Viruman vaikutusta ei tarvitse ottaa huomioon, jos kaikki seuraavat kolme ehtoa toteutuvat:

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

$$\lambda \le 75$$

$$e_{0d} = \frac{M_{0Ed}}{N_{Ed}} \ge h$$

h pilaripoikkileikkauksen korkeus

A=0,7 B=1,1 C=0,7 => $\lambda_{lim} = \frac{10,78}{\sqrt{n}}$

n	λ_{lim}
0.01	107.80
0.05	48.21
0.10	34.09
0.15	27.83
0.20	24.10
0.25	21.56
0.30	19.68
0.35	18.22
0.40	17.04
0.41	16.84
0.45	16.07
0.50	15.25
0.55	14.54
0.60	13.92
0.65	13.37
0.70	12.88
0.75	12.45
0.80	12.05
0.85	11.69
0.90	11.36
0.95	11.06
1.00	10.78
1.05	10.52
1.10	10.28
1.15	10.05
1.20	9.84

Lisävaakavoima ja perusepäkeskisyys

Poikkileikkauksen mittapoikkeamien vaikutus otetaan huomioon materiaalien osavarmuusluvuissa; niitä ei sisällytetä rakenneanalyysiin (voimasuureiden määritykseen)

Rakenteen ja kuorman sijaintiin liittyvät mittaepätarkkuudet otetaan huomioon murtorajatiloissa, mutta niitä ei tarvitse ottaa huomioon käyttörajatiloissa.

Rakenteen ja kuorman sijaintiin liittyvät mittaepätarkkuudet esitetään rakenteen/rakennuksen vinouden θ_ι avulla:

Rakenteen vinous $\theta_i = \theta_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m$

Vinouden perusarvo θ_0 = 1/200

Rakennuksen korkeuteen perustuva vinouden pienennyskerroin

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{L}} \quad ; \quad \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1$$

L on rakenneosan korkeus (m)

Pystysuuntaisten rakenneosien lukumäärään perustuva vinouden pienennyskerroin

$$\alpha_m = \sqrt{0{,}5 \cdot (1 + \frac{1}{m})}$$

m on kokonaisvaikutuksen aiheuttavien (asennettavien) pystysuuntaisten rakenneosien lukumäärä (esim. pilarien lukumäärä)

Vinouden vaikutus yksittäisen rakenneosan mitoitukseen:
L=rakenneosan (pilarin) todellinen pituus m=1 => α_m=1

Vinouden vaikutus jäykistysjärjestelmään:
L= rakennuksen korkeus m = pystysuuntaisesti kuormitettujen pystyrakenneosien lukumäärä (erillisten asennettavien tai valettavien pystyrakenneosien, seinien ja pilareiden lukumäärä) yhdessä liikuntasaumalohkossa

Vinouden vaikutus levykenttinä toimiviin vaakavoimia jakaviin tasoihin:
L = kerroskorkeus m=kussakin kerroksessa pystykuormitettujen pystysuuntaisten rakenneosien lukumäärä

Vinouden vaikutus voidaan ottaa huomioon kahdella tavalla:

a) normaalivoiman N_{Ed} epäkeskisyyden e_i avulla $e_i = \theta_i \cdot \frac{L_0}{2}$

b) lisävaakavoiman H_i avulla

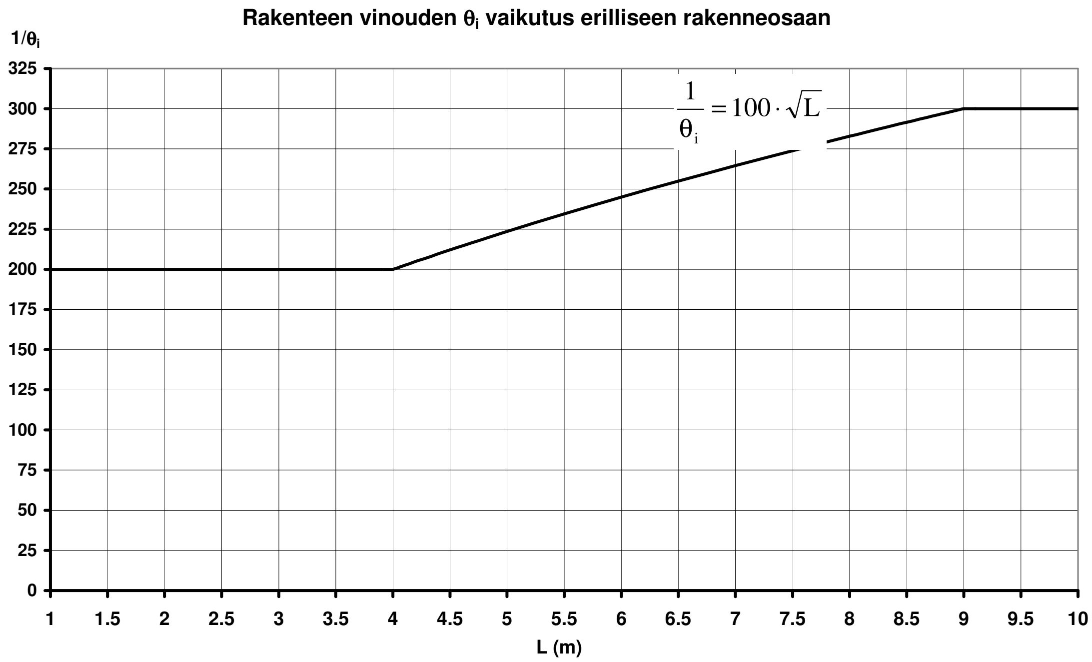
sivusiirtymättömissä rakenneosissa L_0:n puolivälissä lisävaakavoima $H_i = 2 \cdot N_{Ed} \cdot \theta_i$

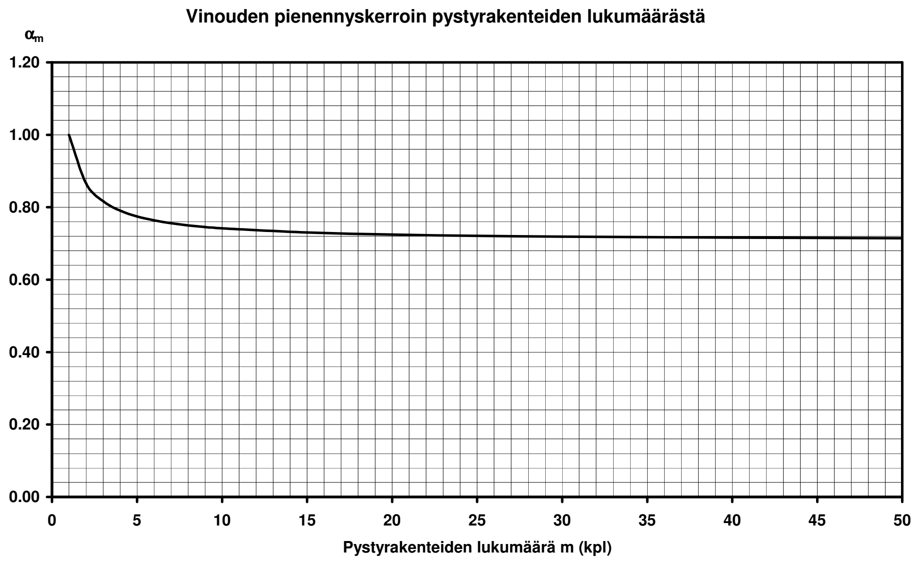
sivusiirtyvissä rakenneosissa L_0:n yläpäässä lisävaakavoima $H_i = N_{Ed} \cdot \theta_i$

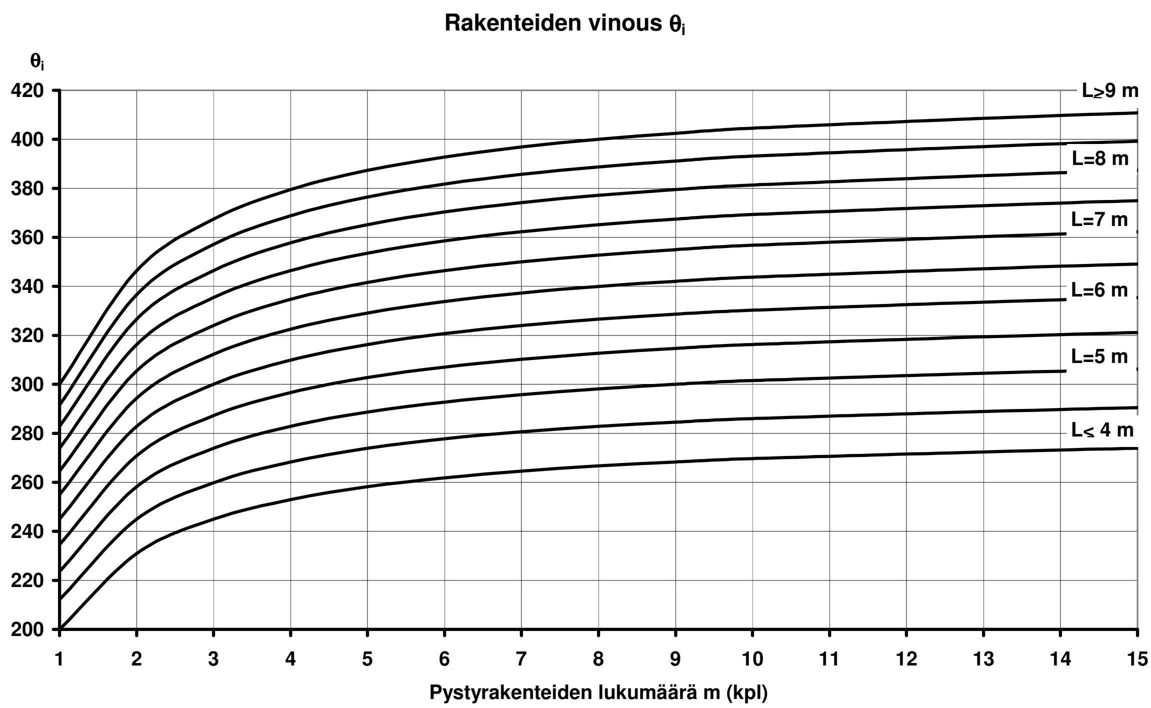
Vinouden vaikutus voidaan ottaa huomioon rakenneanalyysissä (voimasuureita laskettaessa) tason kohdalla vaikuttavana lisävaakavoimana H_i muiden kuormien ohella

- vaikutus jäykistysjärjestelmään (esim. kehään) $H_i = (N_{Edb} - N_{Eda}) \cdot \theta_i = \Delta N_{Ed} \cdot \theta_i$
- vaikutus välipohjan levykenttään $H_i = \frac{(N_{Edb} + N_{Eda})}{2} \cdot \theta_i$
- vaikutus yläpohjan levykenttään $H_i = N_{Eda} \cdot \theta_i$

N_{Eda} on tason yläpuolisen pystyrakenteen normaalivoima
N_{Edb} on tason alapuolisen pystyrakenteen normaalivoima
ΔN_{Ed} on tasolta pystyrakenteelle tuleva normaalivoiman muutos




Vinouden pienennyskerroin pystyrakenteiden lukumäärästä
α_m
1.20
1.00
0.80
0.60
0.40
0.20
0.00
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
Pystyrakenteiden lukumäärä m (kpl)


Rakenteiden vinous θ_i
θ_i
420
400
380
360
340
320
300
280
260
240
220
200
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
Pystyrakenteiden lukumäärä m (kpl)
L≥9 m
L=8 m
L=7 m
L=6 m
L=5 m
L≤ 4 m

Pilarin nurjahdustarkastelu

EC2:ssa on esitetty kaksi yksinkertaistettua menetelmää

a) nimellisjäykkyyteen perustuva menetelmä
b) nimelliseen kaarevuuteen perustuva menetelmä

<u>Nimelliseen kaarevuuteen perustuva menetelmä</u>

Pilarin poikkileikkaus ja raudoitus muuttumattomia pilarin pituudella L

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

Normaalivoimasta riippuva korjauskerroin $K_r = \frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}} \leq 1$ kun n>0,4

$K_r = 1$ kun $n \leq 0{,}4$

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

Lyhyen pilarin suhteellinen normaalivoimakestävyys

$n_u = \frac{N_U}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = 1 + \omega$ (A_s ja ω kokonaisteräsmäärä molemmat reunat yhteeensä)

Pilaripoikkileikkauksen suurinta taivutuskestävyyttä vastaava suhteellisen normaalivoiman arvo $n_{bal} = 0{,}4$

Alussa teräsmäärää ei tunneta, joten oletetaan pilariin EC2:n minimiraudoitus (kokonaisteräsmäärä, mol. reunat yhteensä)

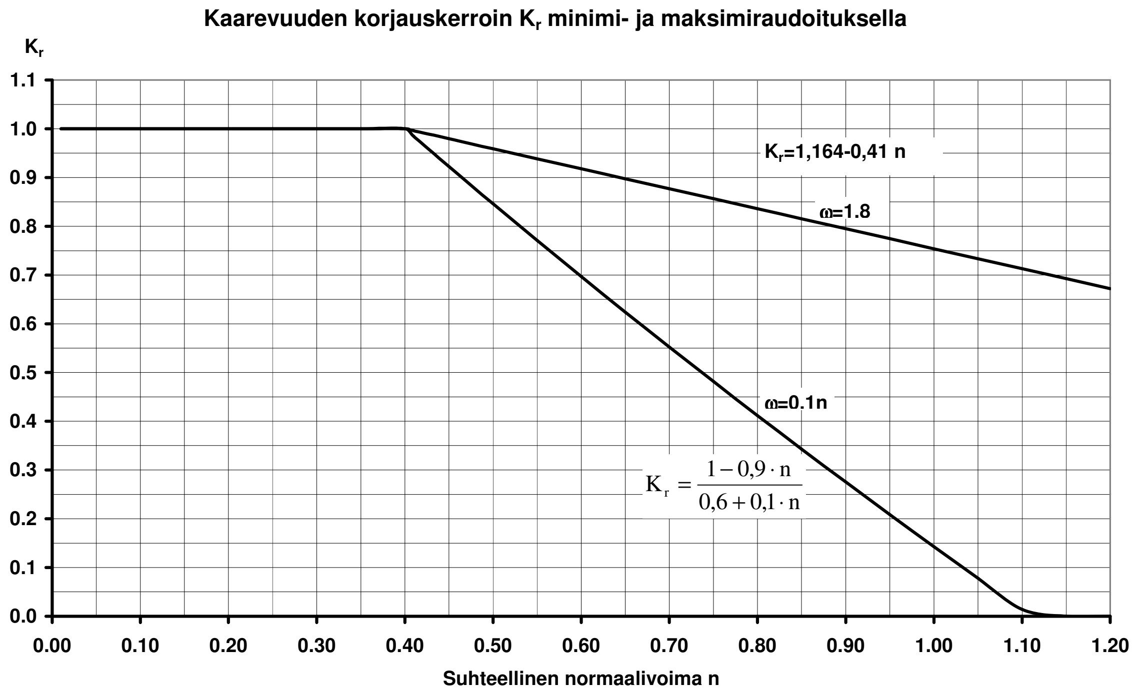
$A_{s\,min} = \frac{0{,}1 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}}$ kuitenkin vähintään $A_{smin} = 0{,}002\ A_c$

- ⇨ mekaaninen raudoitusaste $\omega = 0{,}1\ n$ (kokonaisteräsmäärä mol. reunat yhteensä)
- ⇨ $K_r = \frac{1 - 0{,}9 \cdot n}{0{,}6 + 0{,}1 \cdot n}$

Maksimiraudoitus 6 % poikkileikkausalasta => $\omega = 1{,}8$ (C25/30 2-lk)
=> K_r = 1,164-0,41 n

Korjauskerroin $K_\varphi = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef} \geq 1$ ottaa huomioon viruman vaikutuksen

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



Kaarevuuden perusarvo $\frac{1}{r_0} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0{,}45 \cdot d}$ $\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s}$ A500HW ε_{yd}=2,17 ‰ (2.lk)

Lisäepäkeskisyys $e_2 = \frac{1}{r} \cdot \frac{L_0^2}{c} = \frac{1}{r} \cdot \frac{L_0^2}{\pi^2} \approx \frac{1}{r} \cdot \frac{L_0^2}{10}$

Jos vakiomomentti c=8, paraabeli c=9,6

Suorakaidepoikkileikkaukselle :

hitaussäde $i = \frac{h}{\sqrt{12}}$ hoikkuus $\lambda = \frac{\sqrt{12} \cdot L_0}{h}$

ympyräpoikkileikkaus hitaussäde $i = \frac{h}{4}$ hoikkuus $\lambda = \frac{4 \cdot L_o}{h}$

2. kertaluvun nimellinen lisämomentti $M_2 = N_{Ed} \cdot e_2$

1. kertaluvun momentti

Sivusiirtymättömissä rakenteissa:
Kun sauvan päiden välillä ei vaikuta vaakavoimia, on mitoittava 1. kertaluvun momentti pilarijänteen keskellä $M_{0Ed} = 0{,}6 \cdot M_{01} + 0{,}4 \cdot M_{02} > 0{,}4 \cdot M_{02}$

M_{01} ja M_{02} ovat pilarin päissä vaikuttavat 1. kertaluvun momentit; $|M_{01}| \geq |M_{02}|$

Sivusiirtyvissä rakenteissa mitoittava 1. kertaluvun momentti on sauvan suurin momentti $M_{0Ed} = M_{01}$

Mitoitusmomentti $M_{Ed}=M_{0Ed} + M_{Ed}(\theta_i) + M_2$

missä M_{0Ed} on 1. kertaluvun momentti
$M_{Ed}(\theta_i)$ on vinoudesta (lisävaakavoimasta H_i tai perusepäkeskisyydestä) e_i aiheutuva momentti

Kuormitusyhdistelmät pilarin mitoituksessa

Pilarissa vaikuttaa kaksi voimasuuretta:

- normaalivoima N_{Ed}
- momentti M_{Ed}

Osa kuormitustapauksista aiheuttaa sekä normaalivoimaa että momenttia (esim. epäkeskeinen normaalivoima, epäkeskisyys e= M/N; myös kehäpalkilta tulee pilarille palkin kuormasta pystysuuntainen tukireaktio ja tukimomentti). Momentti ja normaalivoima riippuvat toisistaan, riippuvuutta ilmaisee epäkeskisyys e.

Osa kuormitustapauksista aiheuttaa vain toista voimasuuretta; esim. vaakasuuntainen tuulikuorma aiheuttaa pääsääntöisesti pilariin taivutusmomenttia; taivutusmomentti on riippumaton normaalivoimasta.

Mitoituksessa normaalivoimalla oletetaan olevan tietty perusepäkeskisyys esim. pystyrakenteiden vinouden seurauksena sekä hoikalla pilarilla lisäepäkeskisyys. Normaalivoimasta aiheutuu siis aina momenttia epäkeskisyyden ollessa normaalivoimasta riippumaton.

Hoikka pilari on geometrisesti epälineaarinen, joten nurjahdustarkastelu ja pilarin mitoituksessa ei voi käyttää superpositioperiaatetta, vaan mitoitus täytyy tehdä erikseen jokaiselle kuormitusyhdistelmälle (N-M-yhdistelmälle riippumattomien muuttuvien kuormien yhdistelykertoimien ja liikkuvien kuormien eri vaihtoehtojen mukaisesti).

Puristava normaalivoima aiheuttaa poikkileikkaukseen puristusta ja vähentää tarvittavaa vetoteräsmäärää, toisaalta normaalivoima aiheuttaa momenttia, joka puolestaan vaatii lisää vetoteräsmäärää. Tämän vuoksi pilarin mitoituksessa on tarkastettava yhdistelmät, jotka aiheuttavat sekä pienimmän normaalivoiman (pysyvän kuorman osavarmuusluku 0,9, ei muuttuvia kuormia) että suurimman normaalivoiman (pysyvän kuorman osavarmuusluku 1,15, suurimman normaalivoiman aiheuttama muuttuvien kuormien yhdistelmä).

Kuormitusohjeiden (SFS-EN-1990-1) mukaan kahden toisistaan riippumattoman eri kuormaluokkaan kuuluvan muuttuvan kuorman tapauksessa saadaan seuraavat yhdistelmät:

$1.35\ G$
$1.15\ G + 1.5\ Q_1$
$1.15\ G + 1.5\ Q_2$
$1.15\ G + 1.5\ Q_1 + 1.5\ \psi_{0,2}\ Q_2$
$1.15\ G + 1.5\ \psi_{0,1}\ Q_1 + 1.5\ Q_2$

$0.9\ G$
$0.9\ G + 1.5\ Q_1$
$0.9\ G + 1.5\ Q_2$
$0.9\ G + 1.5\ Q_1 + 1.5\ \psi_{0,2}\ Q_2$
$0.9\ G + 1.5\ \psi_{0,1}\ Q_1 + 1.5\ Q_2$

Jos riippumattomia muuttuvia kuormia on esim. 3, yhdistelmiä tulee yhteensä 26 kpl.

Kuormitusohjeiden (SFS-EN-1990-1) mukaisista kuormitusyhdistelmistä haetaan seuraavat tapaukset, joille pilari mitoitetaan:

1. Suurin normaalivoima $N_{Ed,max}$;
   taivutusmomentti tässä kuormitustapauksessa M_{Ed1}

2. Pienin normaalivoima $N_{Ed,min}$
   taivutusmomentti tässä kuormitustapauksessa M_{Ed2}

3. Suurin taivutusmomentti $M_{Ed,max}$
   normaalivoima tässä kuormitustapauksessa N_{Ed3}

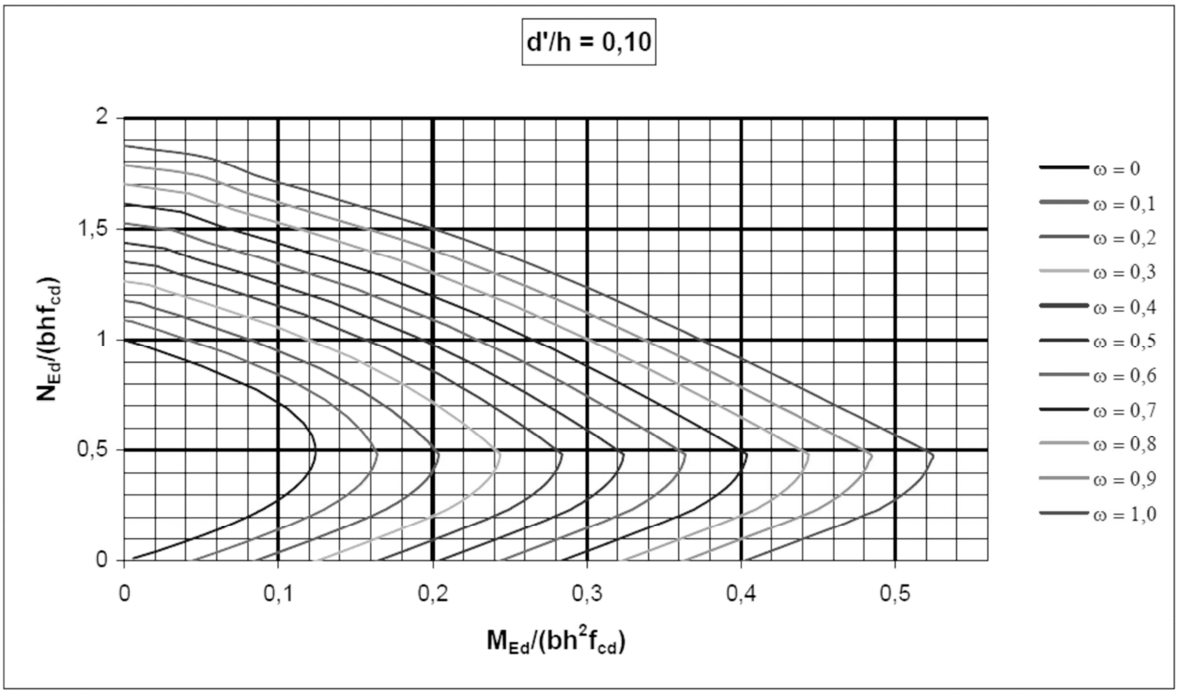
4. Itseisarvoltaan suurin negatiivinen taivutusmomentti $-M_{Edmax}$
   normaalivoima tässä kuormitustapauksessa N_{Ed4}

5. Kuormitustapaus, joka antaa suurimman reunavetojännityksen
   $$\sigma_{max} = -\frac{N_{Ed5}}{b \cdot h} + \frac{6 \cdot M_{Ed5}}{b \cdot h^2}$$

6. Kuormitustapaus, joka antaa suurimman reunavetojännityksen toiseen reunaan
   $$\sigma_{max} = -\frac{N_{Ed6}}{b \cdot h} + \frac{6 \cdot |M_{Ed6}|}{b \cdot h^2}$$

Poikkileikkauksen mitoitus

Yleensä pilarit raudoitetaan symmetrisesti eli molemmilla reunoilla on sama raudoitus. Tällöin voidaan käyttää alla olevaa yhteisvaikutusdiagrammia.



Kuva 9 Pilarin yhteisvaikutusdiagrammi

Suhteellinen momentti $\mu = \dfrac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot fcd}$

Suhteellinen normaalivoima $\nu = \dfrac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}}$

Suhteellinen kokonaisteräsmäärä $A_{s,veto} + A_{s,pur} = \omega \cdot \dfrac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b \cdot h$

Rakenteellisia ohjeita

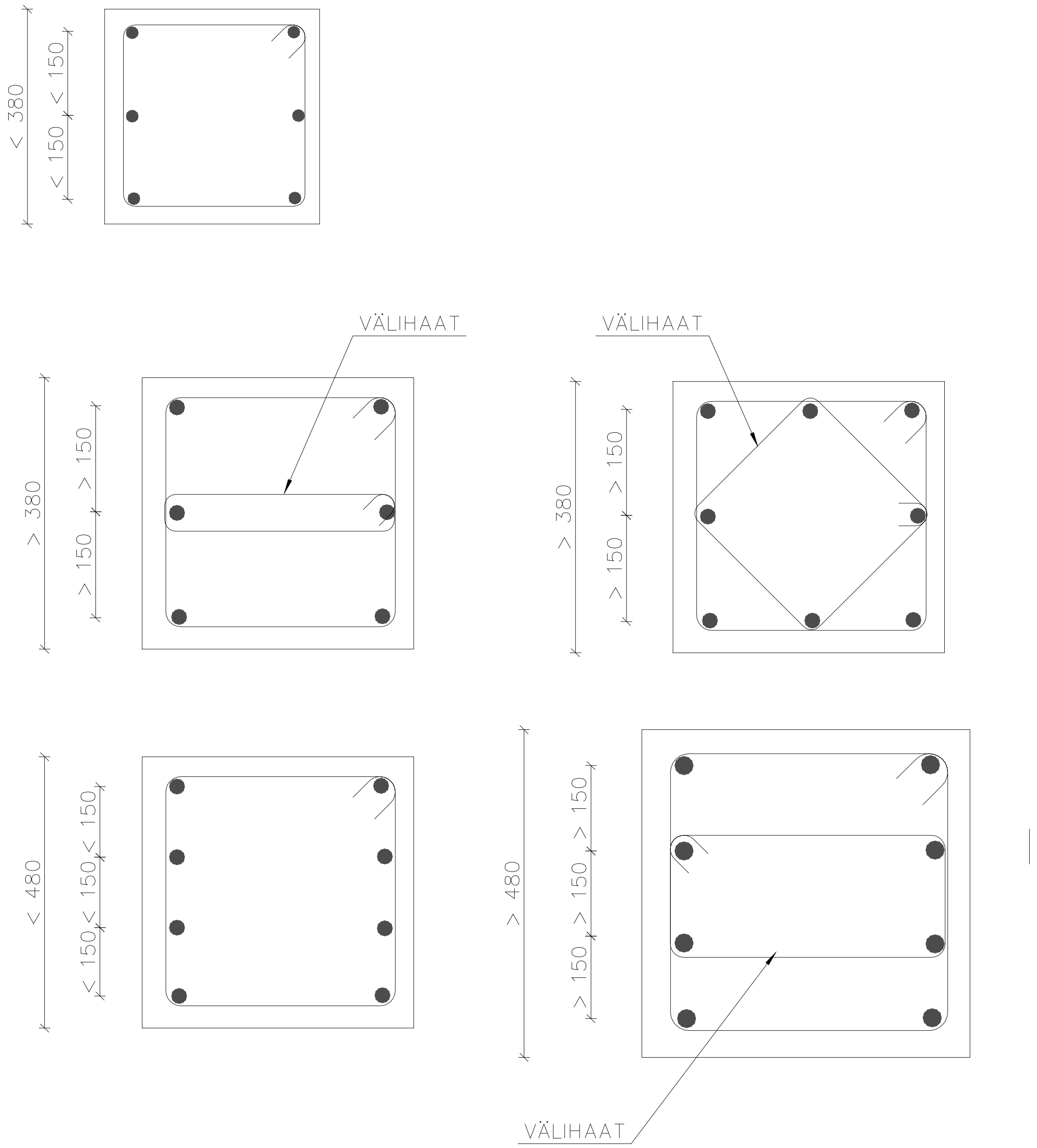
- Pääteräksien halkaisija vähintään 8 mm; mieluummin 12….16 mm
- Haan halkaisija vähintään 6 mm;
- hitsatusta verkosta muodostetussa haassa 5 mm
- Hakavälin enimmäisarvo pienin seuraavista: 15* päätankojen halkaisija
- pilarin pienin sivumitta
- 400 mm
- Poikkileikkauksen nurkassa pääteräs sidotaan haalla
- Päätanko saa olla (puristetulla puolella) enintään 150 mm:n päässä sidotusta tangosta;
- Jos etäisyys suurempi sidotaan ko. tangot välihaoilla, joiden jako saa olla 2-kertainen.
- Välihaat eivät ole tarpeen, kun
- pilarin sivumitta on enintään 380 mm, kun sivun keskellä on 1 tanko,
- pilarin sivumitta on enintään 480 mm ja sivun keskellä on 2 tankoa
- Palkin tai laatan ylä- ja alapuolella sekä limijatkoksen alueella pilarin suurempaa sivumittaa vastaavalla matkalla hakojako saa olla enintään 0,6*kertaa em. enimmäisarvo
- Limijatkoksen alueella on oltava kuitenkin vähintään 3 hakaa

- Pääterästen vähimmäismäärä

$$A_{s,min} \geq \begin{cases} \dfrac{0{,}1 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} \\ 0{,}002 \cdot A_c \end{cases}$$

- Suurin suhteellinen teräsmäärä enintään 6 %.

Pilarin haoitus



Pilarin mitoitus- yhteenveto

1. Lasketaan rakenteen vinous θ_i

2. Lasketaan 1. kertaluvun voimasuureet, normaalivoima N_{Ed}, sauvan pään momentit M_{01}, M_{02}.

3. Otetaan vinouden vaikutus huomioon 1. kertaluvun voimasuureissa esim.
   - antamalla kullekin kuormalle vinoutta vastaava vaakavoima ($q_h = \theta_i \cdot q$) tai
   - mallintamalla rakenne vinoksi tai
   - lisäämällä 1. kertaluvun momentteja määrällä $M_{Ed}(\theta_I)=N_{Ed}\, e_I$

4. Määritetään pilarin päiden kiinnitysjoustavuudet k_1 ja k_2

5. Määritetään pilarin nurjahduspituus

6. Lasketaan tehollinen virumaluku ϕ_{ef} ja kaarevuuden korjauskerroin $K_\phi \geq 1$ sekä normaalivoimasta aiheutuva kaarevuuden pienennyskerroin $K_r \leq 1$

7. Lasketaan perusepäkeskisyys e_2

8. Lasketaan mitoittava 1. kertaluvun momentti M_{0Ed}, 2. kertaluvun lisämomentti sekä lopullinen mitoitusmomentti M_{Ed}

9. Lasketaan tarvittava raudoitus ja tarkistetaan, että täyttää minimiraudoitus-vaatimuksen