



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO


# Teräsbetonipaalun mitoitus PO-2016 mukaan

*Aksiaalisesti kuormitettu tukipaalu*

PO-2016 koulutustilaisuus  
14.3.2017  
Jukka Haavisto, TTY

## Esityksen sisältö

- Yleistä tb-paalujen kestävydestä
- Geoteknisen kestävyden määrittäminen lyönninkestävyyden perusteella ← **PÄIVITYKSIÄ PO-2016:SSA**
- Nurjahdusmurtokestävyys maan murtuessa
- Laskuesimerkki



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Jukka Haavisto 14.3.2017 2

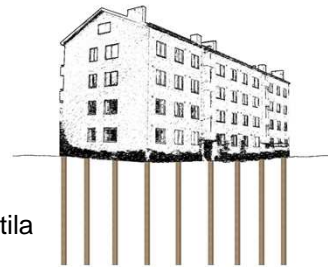
## Yleistä tb-paalujen kestävydestä

### Geotekninen kestävyys

- Paalua ympäröivän maa- ja kallioperän kyky ottaa vastaan paaluilta tulevat kuormat
- Varmistetaan esim. loppulyöntiehoilla, dynaamisilla koekuormituksilla, staattisilla koekuormituksilla

### Rakenteellinen kestävyys

- Käytön aikainen kantokyky
  - Poikkileikkauksen N-M -kapasiteetti
  - Stabiiliteetin menetys (maan murto)
- Asennusaikainen kestävyys
- Lisäksi kestävyys nostoille sekä käyttörajatila



## SFS-EN 12699:2015 Pohjarakennustyöt. Maata syrjäyttävät paalut

- Paalun tulee kestää asennuksen aikaiset rasitukset vaurioitumatta
- PO-2016:n taustalla lyöntipaalujen toteutusstandardin rajaamat lyöntijännitykset
- Lyönnin aikaisten puristusjännitysten ei tulisi missään paalun varren kohdassa ylittää raja-arvoa:

$$0,8 \cdot f_{ck} \quad (0,8 \cdot \text{lyönnin aikainen betonin puristuslujuuden ominaisarvo})$$

- Lyönnin aikaisen vetovoiman ei tulisi ylittää raja-arvoa:

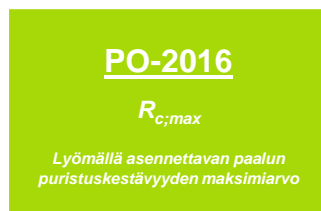
$$0,9 \cdot f_{yk} \cdot A_s - P$$

- $f_{yk}$  on pääterästen ominaislujuus
- $A_s$  on pääterästen poikkileikkausala
- $P$  on esijännitysvoima

- Jännityksiä mitattaessa em. arvot saavat ylittyä 10 %



## Lyömällä osoitettavissa oleva paalun geotekninen kestävyys suunnittelussa



Myös asennuksen aiheuttama vetorasitus otettava huomioon!



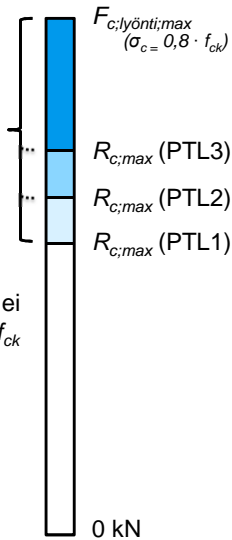
TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Jukka Haavisto

14.3.2017

5

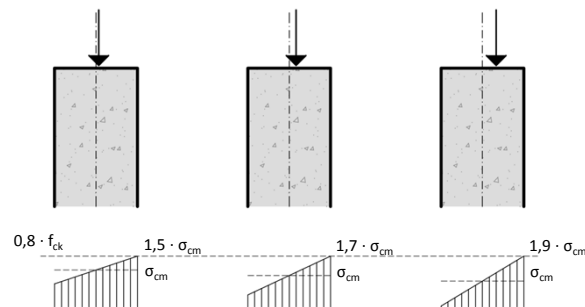
Paaluttajan pelivara



- Paaluttajan tehtävä:  
 $R_{c,max}$  täytyy lyödä, mutta betonin jännitys ei saa ylittää arvoa  $0,8 \cdot f_{ck}$
- Pelivaraan sisältyy  $R_{c,max}$ -arvoa korkeammat lyönnit sekä reunajännitysten vaihtelu

## $R_{c,max}$ -kaavan tausta

- Asennuksen aikaisten reunajännitysten ei tule ylittää betonille sallittua maksimijännitystä
- $R_{c,max}$  arvot määritetään oletuksella, että
  - PTL3: reunajännitys maks. 50 % suurempi kuin keskimääräinen jännitys
  - PTL2: reunajännitys maks. 70 % suurempi kuin keskimääräinen jännitys
  - PTL1: reunajännitys maks. 90 % suurempi kuin keskimääräinen jännitys



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Jukka Haavisto

14.3.2017

6

## $R_{c;max}$ -arvon määrittäminen

$$\text{PTL3: } R_{c;max} = \frac{0,8}{1,5} \cdot f_{ck} \cdot \left( A_c + \frac{E_s}{E_{cm}} \cdot A_s \right) \quad \text{PO-2016 kaava 4.47a}$$

$$\text{PTL2: } R_{c;max} = \frac{0,8}{1,7} \cdot f_{ck} \cdot \left( A_c + \frac{E_s}{E_{cm}} \cdot A_s \right) \quad \text{PO-2016 kaava 4.47b}$$

$$\text{PTL1: } R_{c;max} = \frac{0,8}{1,9} \cdot f_{ck} \cdot \left( A_c + \frac{E_s}{E_{cm}} \cdot A_s \right) \quad \text{PO-2016 kaava 4.47c}$$

joissa:

- $f_{ck}$  on lyönninaikainen betonin puristuslujuuden ominaisarvo
- $A_c$  on betonin pinta-ala paalun poikkileikkauksessa
- $E_s$  on raudoitusterästen kimmokerroin
- $E_{cm}$  on betonin lyhytaikainen kimmokerroin
- $A_s$  on raudoitusterästen pinta-ala paalun poikkileikkauksessa

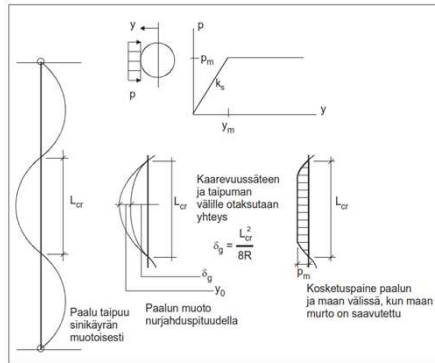


## Geotekninen puristuskestävyys

- Geoteknisen puristuskestävyyden **ominaisarvo** saadaan jakamalla laskettujen tai koekuormituksissa mitattujen geoteknisten puristuskestävyyksien murtorajatila-arvojen keskiarvo tai minimiarvo korrelaatiokertoimella  $\xi$
- Geoteknisen puristuskestävyyden **mitoitussarvo** saadaan jakamalla ominaisarvo paalun osavarmuusluvulla  $\gamma$
- **ESIMERKKI:** Määritetään geoteknisen puristuskestävyyden mitoitussarvon maksimi esimerkkipaaluille, joille on määritetty PO-2016:n mukaan  $R_{c;max} = 2\,100\text{ kN}$  ja joille suoritetaan työmaalla dynaamiset koekuormitukset 90-100 % paalujen kokonaismäärästä
  - Dyn. koekuormitukset 90-100 % paalujen kokonaismäärästä: PO-2016:n taulukosta 4.10 saadaan korrelaatiokertoimeksi  $\xi_5 = 1,40$ , jolloin  $R_{c;k;max} = R_{c;max} / \xi_5 = 2\,100\text{ kN} / 1,40 = 1\,500\text{ kN}$
  - Kyseessä tukipaalu, jolloin PO-2016:n taulukosta 4.3 saadaan osavarmuusluvuksi  $\gamma_t = 1,20$ , jolloin  $R_{c;d;max} = R_{c;k;max} / \gamma_t = 1\,500\text{ kN} / 1,20 = 1\,250\text{ kN}$



## Nurjahdusmurtokestävyys maan murtuessa PO-2016:ssa



Kuva 4.18. Paalun nurjahduskestävyyden laskentamalli hienorakeisessa maakerroksessa.

- PO-2016:n suosittelema käsinlaskentamenetelmä vastaava kuin PO-2011:ssä

$$R_{d;s} = (F_{d;s}) = \frac{2 \cdot \sqrt{k_s \cdot d_{eff} \cdot EI}}{1 + \frac{k_s \cdot \delta_g}{p_m}}$$



## Laskuesimerkki:

### KYSYMYKSET:

- Mitoita paalu, kun lähtötiedot ovat:
  - Paalukuorma  $N_d = 1\,000$  kN
  - Paalutustyöluokka PTL2, geotekninen kestävyys varmistetaan loppulyönnin
  - Paalua ympäröivän maa-aineksen suljettu leikkauslujuus  $c_u = 7$  kPa

### YLEINEN RATKAISU:

- Suunnittelija valitsee tälle kuormalle sopivan paalun valmistajan taulukoista



**Laskuesimerkki:****- Mitä taulukkoarvojen takana on?**

- Asennuksessa vaadittava lyöntivoima:

$$R_{C,max;vaad} = N_d \cdot \xi_5 \cdot \gamma_t = 1\,000\text{ kN} \cdot 1,47 \cdot 1,2 = 1\,764\text{ kN}$$

- Testataan voidaanko kyseinen voima mitata paa-  
lusta, jonka poikkileikkaus- ja lujuusarvot ovat:

$$\begin{aligned} - f_{ck} &= 40\text{ MPa} & A_c &= 88\,743\text{ mm}^2 & E_{cm} &= 35,2\text{ GPa} \\ - f_{yk} &= 700\text{ MPa} & A_s &= 1\,257\text{ mm}^2 & E_s &= 200\text{ GPa} \end{aligned}$$

$$R_{C,max;PTL2} = \frac{0,8}{1,7} \cdot 40\text{ MPa} \cdot \left( 88\,743\text{ mm}^2 + \frac{200\text{ GPa}}{35,2\text{ GPa}} \cdot 1\,257\text{ mm}^2 \right) = 1\,805\text{ kN}$$

$$R_{C,max;PTL2} > R_{C,max;vaad} \quad \text{OK}$$

**Laskuesimerkki:****- Mitä taulukkoarvojen takana on?**

- Nurjahdusmurtokestävyys maan murtuessa,  
(oletus kaikki kuorma pitkäaikaista, jatkamaton  
paalu):

$$\begin{aligned} - k_s &= 467\text{ kN/m}^3 & p_{m;k} &= 6 \cdot c_{uk} & p_{md} &= p_{m;k} / 1,5 = 28\text{ kPa} \\ - EI &= 4\,121\text{ kNm}^2 & \delta_g &= 22\text{ mm} & d_{eff} &= 300\text{ mm} \end{aligned}$$

$$R_{d;s} = (F_{d;s}) = \frac{2 \cdot \sqrt{k_s \cdot d_{eff} \cdot EI}}{1 + \frac{k_s \cdot \delta_g}{p_m}} = 1\,222\text{ kN}$$

$$R_{d;s} > N_d \quad \text{OK}$$

- Lisäksi poikkileikkauksen kestävyys



## Tb-paalun mitoitus PO-2016:n mukaan - Yhteenveto

- Lyönninkestävyyden kautta määräytyvän geoteknisen kestävyden maksimiarvon perusteet ovat muuttuneet
- Paalutusohjeen suosittama käsinlaskentamenetelmä paalun nurjahdusmurtokestävyden määrittämiseen maan murtuessa pysynyt samana kuin PO-2011:ssä
- Poikkileikkauksen rakenteellisen kestävyden mitoitukseen PO-2016 antaa edelleen hyvin kevyet eväät
  - TTY:llä käynnissä tb-paalun rakenteellista mitoitusmallia kehittävä projekti, jonka tuloksena on mahdollista saada asiaan parannusta, esim. käsinlaskentakaavoja rakenteellisen kapasiteetin määrittämiseen
- Suunnittelijalle riittää usein mitoitus valmistajan taulukoista!

