

Betonipaalun käyttäytyminen

Rakenteellista kantavuutta uudella mitoitusfilosofialla

Betoniteollisuuden paaluseminaari

23.11.2017

Jukka Haavisto, TTY

Yleistä tb-paalujen kantokyvystä

Geotekninen kantokyky

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

Rakenteellinen kantokyky

- Käytönaikainen kantokyky
 - Poikkileikkauksen N-M -kapasiteetti
 - Stabiiliteetin menetys (nurjahdus)



Teräsbetonipaalujen rakenteellinen tutkimus TTY:llä

- Teräsbetonipaalujen rakenteellisen mitoitustutkimuksen esiselvitysvaihe 2015
- Esiselvitysvaiheen pohjalta kaksi osiota varsinaiseen tutkimusvaiheeseen:
 - Mekaanisen mitoitusmenettelyn kehittäminen kärjeltään kantavalle teräsbetonipaalulle (rakenteellinen kantavuus) 2016-2017
 - Iskurasituksen vaikutus betonin lujuusominaisuuksiin kuormituskokeiden avulla 2016
- Rahoittajina RTL-säätiö, Betoniteollisuus ry:n paalujaos sekä Liikennevirasto
- Tutkimuksen ohjaajana prof. Anssi Laaksonen



Tutkimusprojekti:

TERÄSBETONIPAALUN RAKENTEELLISEN KAPASITEETIN VENYMÄPOHJAINEN MITOITUSMENETTELY

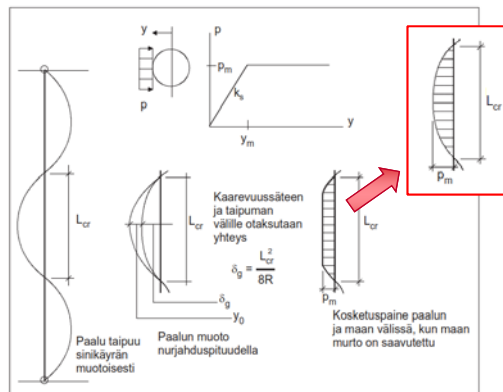


Miksi uudentyyppistä mitoitusmenettelyä lähdettiin kehittämään?

PO-2016:n eväät:

- Nurjahdusmurtokestävyys maan murtuessa

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



Kuva 4.18. Paalun nurjahduskestävyyden laskentamalli hienorakeisessa maakerroksessa.

- Poikkileikkauksen mitoitus tehdään EC 1992-1 mukaan



Miksi uudentyyppistä mitoitusmenettelyä lähdettiin kehittämään?

- Eurokoodissa ei ohjeita paalua ympäröivän maan antaman sivuttaistuen huomioimiseksi mitoituksessa
⇒ Paalu mitoittava käytännössä pilarina
- Tuotelehden päivitystyö oli käynnistymässä
- Tavoitteena luoda pohja teräsbetonipaalun kantokyvyn mekaaniselle toimintamallille, joka olisi helposti omaksuttavissa käytännön insinööriyössä

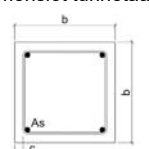
Taulukko 3. Paalujen puristuskestävyydet murtorajatilassa

Paalun tyyppi	c_{sk} [kPa]	$R_{d,ma}$ [kN] nurjahduksen mukaan			$R_{d,ma}$ [kN]				
		P [%]	L [%]	5	7	10	PTL3	PTL2	PTL1
TB250a	150	100	0	443	541	A	605	544	495
		50	50	568	700	A			
		0	100	674	A	A			
	300	100	0	552	A	A			
		50	50	762	A	A			
		0	100						

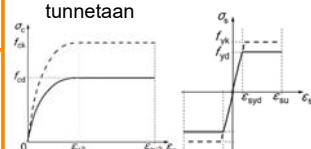


Lähtötiedot ja laskentaotaksumat

Poikkileikkauksen dimensiot tunnetaan



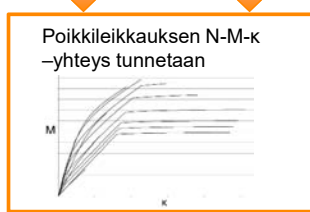
Betonin ja rauditusterästen jännitys-venymä –yhteydet tunnetaan



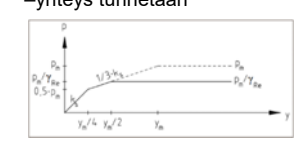
Paalun taipuma noudattaa sinikäyrää

- Alkuepäkeskisyyttä
- 2. kertaluvun taipuma

Poikkileikkauksen N-M-k –yhteys tunnetaan



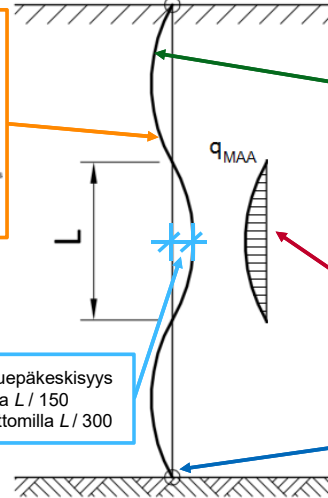
Maan sivupaine-siirtymä –yhteys tunnetaan



Paalun alkuepäkeskisyyttä

- * Jatketuilla $L / 150$
- * Jatkamattomilla $L / 300$

Kärjellään kantava aksiaalisesti kuormitettu tb-paalu



Jukka Haavisto

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

23.11.2017

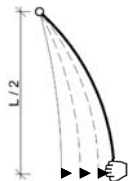
7

Mekaaninen malli tb-paalun kantokyvyille

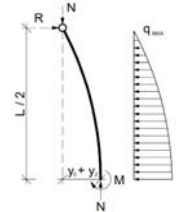
1. Lähtötilanne:
Alkutaipunut paalu, valitaan L



2. Kasvatetaan toisen kertaluvun taipumaa askel kerrallaan

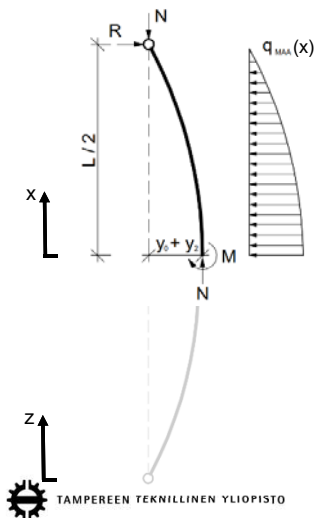


3. Ratkaistaan normaalivoima jokaisen askeleen kohdalla



Mekaaninen malli tb-paalun kantokyvyille

3. Ratkaistaan normaalivoima jokaisen askeleen kohdalla



Normaalivoima ratkaistaan kuplan amplitudissa vaikuttavan taivutusmomentin avulla

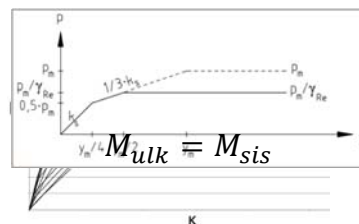
$$M_{ulk} = -N \cdot (y_0 + y_2) + R \cdot \left(\frac{L}{2}\right) - \int_0^{\frac{L}{2}} q_{MAA}(x) \cdot x \, dx$$

$M_{sis}(N, \kappa)$ tunnetaan

$$v(z) = y_2 \sin\left(\frac{\pi \cdot z}{L}\right)$$

$$v''(z) = -\frac{L^2}{\pi^2} \cdot y_2 \sin\left(\frac{\pi \cdot z}{L}\right)$$

$$\kappa = v''\left(\frac{1}{2}L\right) = \frac{L^2}{\pi^2} \cdot y_2 \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) = \frac{L^2}{\pi^2} \cdot y_2$$



Jukka Haavisto

23.11.2017

9

Mekaaninen malli tb-paalun kantokyvyille

1. Lähtötilanne: Alkutaipunut paalu, valitaan L



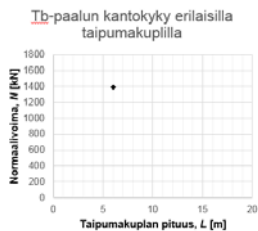
2. Kasvatetaan toisen kertaluvun taipumaa askel kerrallaan



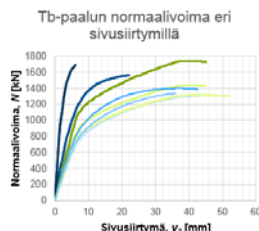
3. Ratkaistaan normaalivoima jokaisen askeleen kohdalla



4. Määritetään maksimi normaalivoima eri askelten välillä



5. Varioidaan taipumakuplan pituutta



6. Saadaan tuloksena paalun rakenteellinen kantokyky

Jukka Haavisto

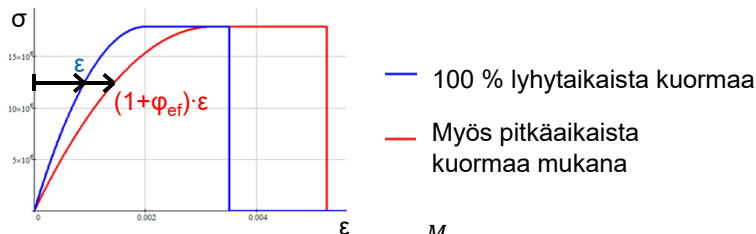
23.11.2017

10

Pitkäaikaiset kuormat mitoitusmallissa

Betoni

- Betoni viruu pitkäkestoisten kuormien vaikuttaessa
- Eurokoodissa asia otetaan huomioon virumaluvun avulla

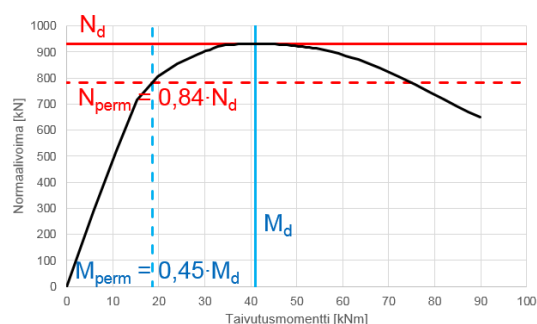


- Tehollinen virumaluku $\varphi_{ef} = \frac{M_{perm}}{M_d} \varphi_0$
- Kuorman osavarmuusluku minimissään 1,19
- Kuorman osalta suhde maksimissaan: $\frac{N_{perm}}{N_d} = \frac{1}{1,19} = 0,84 = 84 \%$ (konservatiivinen)



Pitkäaikaiset kuormat mitoitusmallissa

Betoni



$$\varphi_{ef} = \frac{M_{perm}}{M_d} \varphi_0$$

$$\frac{N_{perm}}{N_d} = \frac{1}{1,19} = 84 \%$$

$$\frac{M_{perm}}{M_d} = 45 \%$$

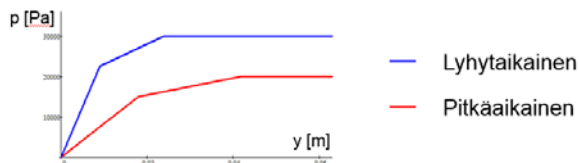
- N-M –kuvaajan muoto tulee tuntea, jotta mitoitusarvon ja pitkäaikaisen arvon suhde voidaan momentille määrittää
⇒Aluksi arvaus, jonka jälkeen iterointi



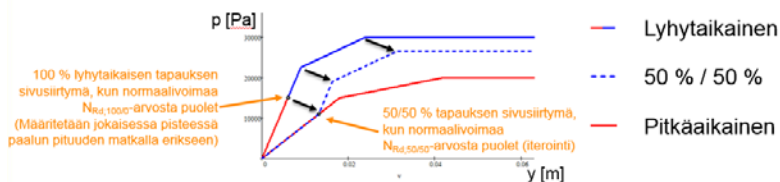
Pitkäaikaiset kuormat mitoitusmallissa

Maa

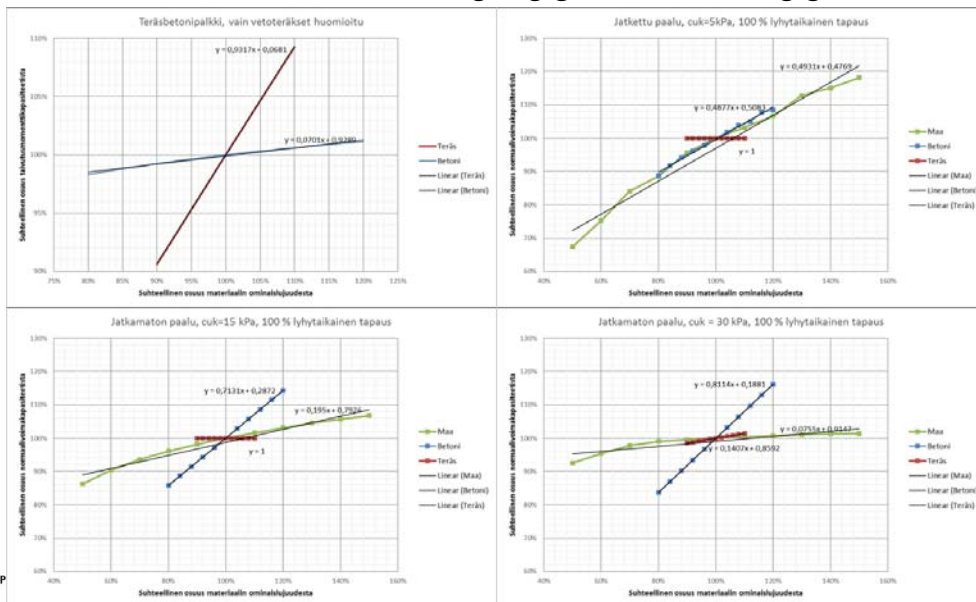
- Paalutusohjeessa sivupaine-siirtymä –yhteys täysin pitkäaikaiselle tapaukselle ja täysin lyhytaikaiselle tapaukselle erikseen



- Yleensä kuormasta osa on pitkäaikaista ja osa lyhytaikaista, maamalli rakennettu laskentamallissa ao. mukaisesti:

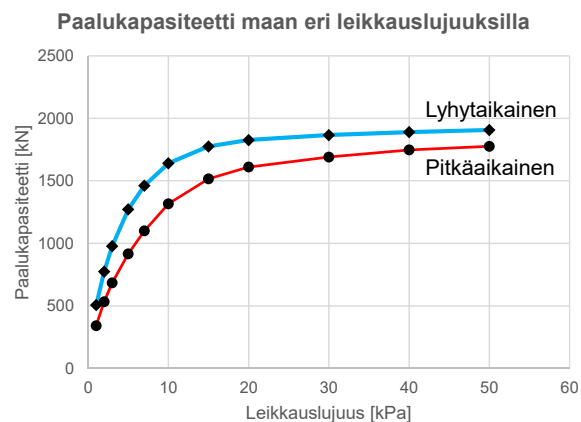
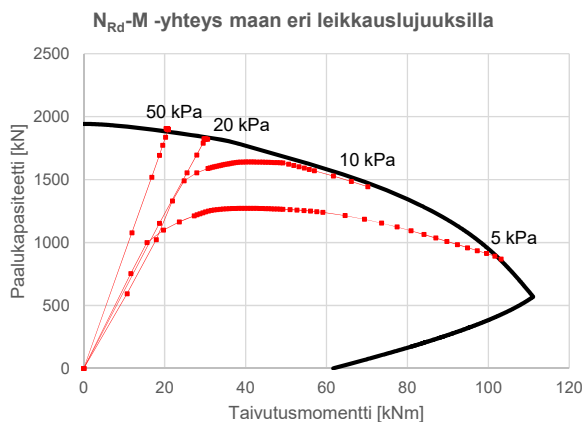


Materiaalien lujuuksien vaikutus paalun rakenteelliseen kantokykyyn (herkkyystarkastelu)



Paalukapasiteetti erilaisilla ympäröivän maan leikkauslujuuksilla

Esimerkkipaalu



Uuden mitoitusmenettelyn avulla

- Ymmärretään paremmin teräsbetonipaalun rakenteellista toimintaa
 - Eri muuttujien ja lähtötietojen vaikutukset paalun kapasiteettiin
- Betonin, raudoitteiden ja maan ominaisuudet voidaan ottaa huomioon samanaikaisesti
 - Paalukapasiteeteista saadaan tehokkaampia ja todenmukaisempia
- Mahdollisuus arvioida käyttörajatilan jännityksiä betonissa

Jatkotutkimusehdotuksia

- Mitoitusmenettelyn verifiointi koekuormituksin
- Paalujatkoksen jäykkyyden ottaminen huomioon mitoitusmenettelyssä
- Betonin vetojäykistysvaikutuksen huomiointi mitoitusmenettelyssä
- Paalukapasiteetin määrittäminen FEM-laskennalla
- Maan materiaalimallien kehittäminen

