



SSAB:N TERÄSPAALUPÄIVÄ
23.1.2020

POHJARAKENTAMISEN YKKÖSTAPAHTUMA

SSAB

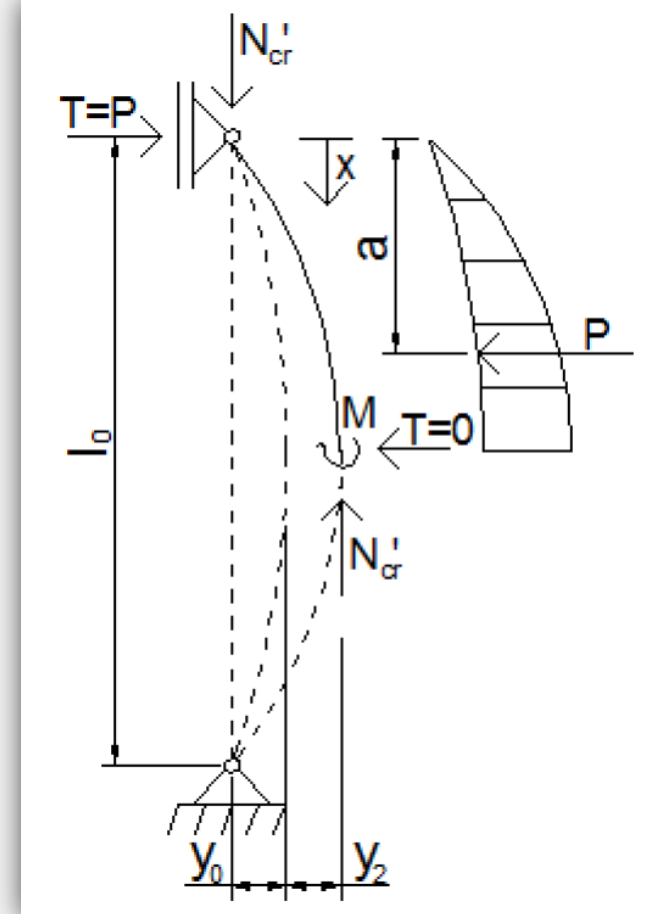
Teräspaalun nurjahdusmitoitus

Antti Perälä, SSAB

SSAB

Yleistä paalun nurjahduksesta

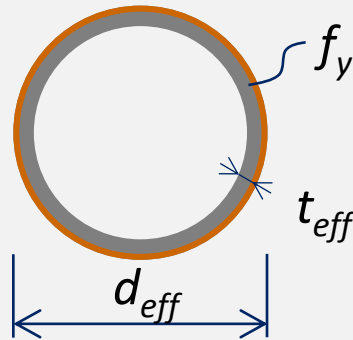
- ▶ Paalulla on kaksi erilaista kestävyysarvoa
 - geotekninen kestävyys
 - rakenteellinen kestävyys
- ▶ Nurjahduskestävyys on osa paalun rakenteellista kestävyyttä
- ▶ Mitoituksen suorittaa yleensä kohteen pohjarakennesuunnittelija



Kuva: Janne Isohaka

Paalun ominaisuudet nurjahduslaskennassa

- ▶ Mitoitus suoritetaan tilanteelle joka vallitsee mitoituskäyttöön jälkeen
 - korroosio huomioidaan paalun poikkileikkauksen mitoissa



- ▶ Korroosion suuruus riippuu maaperän ominaisuuksista ja mitoituskäytöstä
- ▶ Sisäpuolista korroosiota ei huomioida, kun
 - kärjet ja jatkokset tiiviitä
 - paalu täytetty betonilla

- ▶ EN 1993-5 Taulukko 4-1 / PO-2016 Taulukko 4.22
 - korroosiolle suositeltavat arvot eri maaperäolosuhteissa ja mitoituskäyttöluokissa

Taulukko 4-1 Maahan asennettujen suojaamattomien paalujen ja ponttilevyjen korroosiosta aiheutuvan paksuuden ohenemisen suositeltavat arvot [mm], pohjavedenpinnan ylä- tai alapuolella

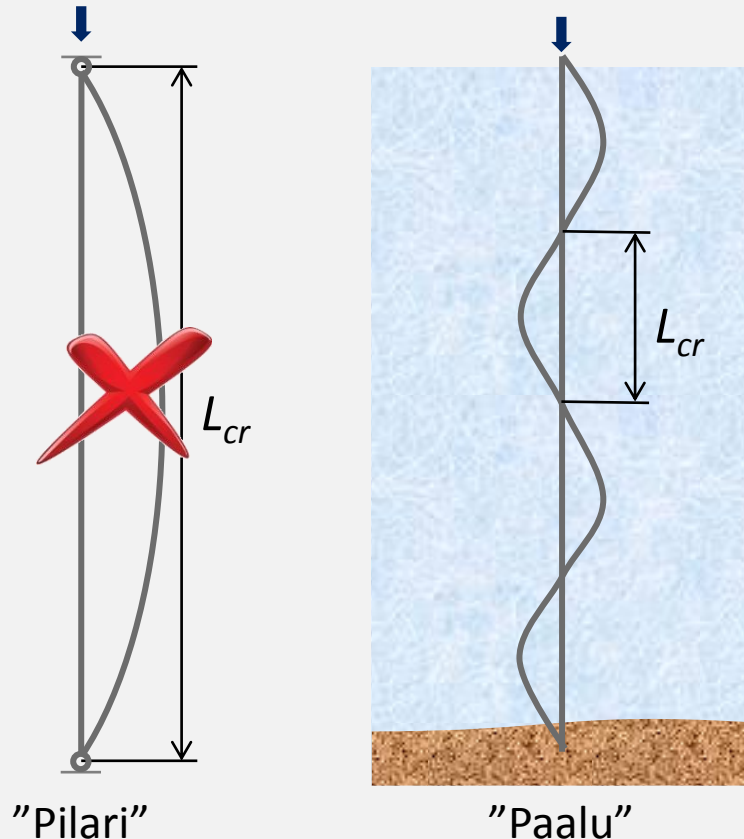
Suunnitelmassa edellytetty käyttöikä	5 vuotta	25 vuotta	50 vuotta	75 vuotta	100 vuotta
Häiriintymättömät luonnonmaat (hieka, siltti, savi, liuske...)	0,00	0,30	0,60	0,90	1,20
Pilaantuneet luonnonmaat ja teollisuusalueiden maa-alueet	0,15	0,75	1,50	2,25	3,00
Aggressiiviset luonnon maat (suo, räme, turve...)	0,20	1,00	1,75	2,50	3,25
Tiivistämättömät ja ei- aggressiiviset kivennäis-maatäytöt (savi, liuske, hieka, siltti...)	0,18	0,70	1,20	1,70	2,20
Tiivistämättömät ja aggressiiviset täytemaat (tuhka, kuona...)	0,50	2,00	3,25	4,50	5,75

Huomautukset:

- 1) Korroosionopeudet tiivistetyissä täytöissä ovat hitaampia kuin tiivistämättömissä. Tiivistetyissä täytöissä taulukon luvut jaetaan kahdella.
- 2) 5 ja 25 vuoden arvot perustuvat mittauksiin, kun taas muut arvot on ekstrapoloitu.

Maaperän tuki paalulle

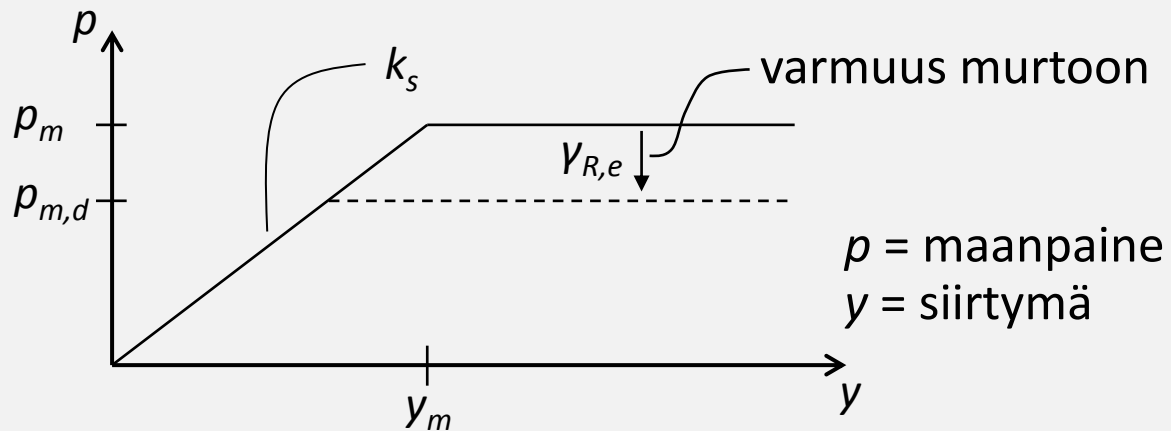
- Pilarista poiketen paalu on maan sisällä, jolloin ympäröivä maa tukee paalua nurjahdusta vastaan



- Paalun kriittinen nurjahduspituus riippuu paalukoosta ja maan ominaisuuksista
 - yleensä luokkaa 3...5 m
- Paalun kokonaispituudella ei ole vaikutusta paalun nurjahduskestävyyteen
- Pehmeäkin maa tukee paalua, jolloin sen nurjahduspituus pienenee pilariin verrattuna
 - paalun ollessa vedessä, tilanne on vastaava kuin pilarilla

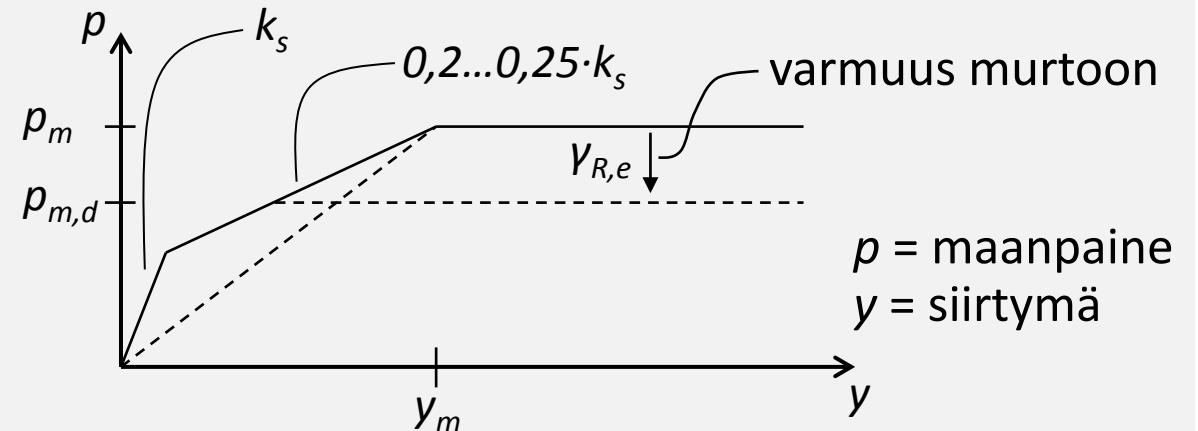
Maan alustaluvut

► Lineaarinen maamalli



- k_s kuvaa jännityksen ja muodonmuutoksen suhdetta
- p_m kuvaa maan suurinta mahdollista jännitystasoa

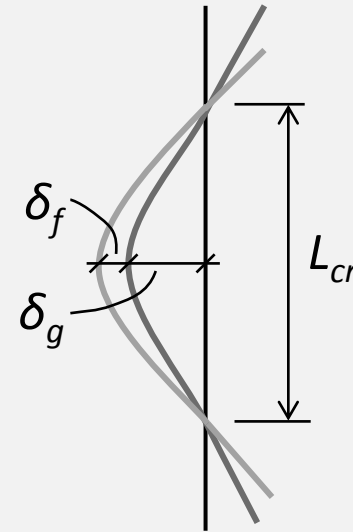
► Epälineaarinen maamalli



- Hankalia käsin laskennassa
- Pienillä siirtymien arvoilla jousi jäykempi

Paalun alkutaipuma

- ▶ Paalulle oletetaan laskelmissa asennuksen jälkeinen alkutaipuma
 - paalun asennustapa, lyönti / poraus
 - jatkettu paalu / jatkamaton paalu
 - helpot / vaikeat asennusolosuhteet
- ▶ Asennuksen jälkeen paalun suoruus tulisi tarkastaa ja verrata oletusarvoon
 - lampputarkastus
 - inklinometrimittaus
 - mittauksen perusteella voidaan suorittaa tarkistuslaskelma
- ▶ Porapaalut käytännössä aina suurempia kuin lyöntipaalut



δ_g = asennuksen jälkeinen geometrinen alkutaipuma

δ_f = fiktiivinen alkutaipuma

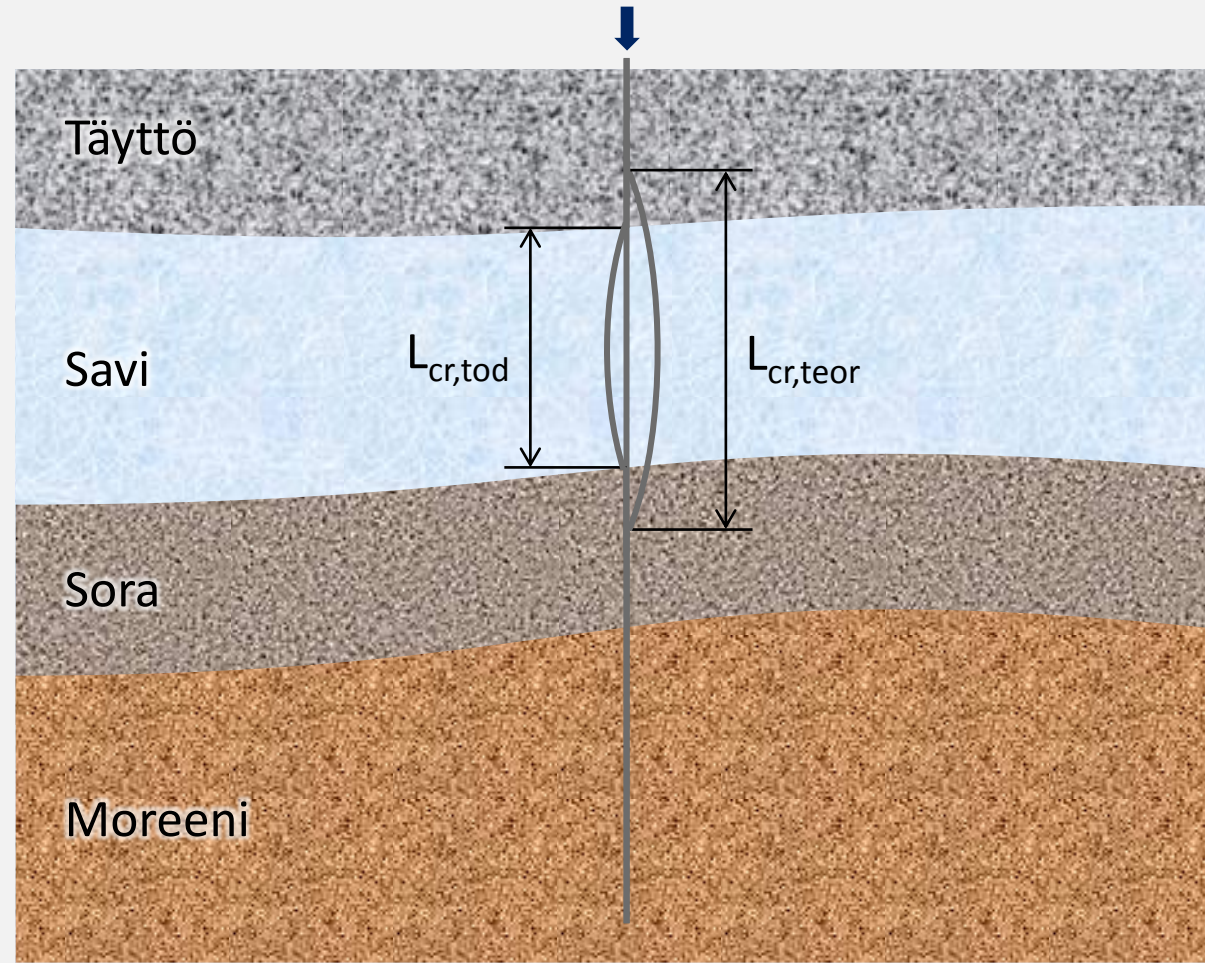
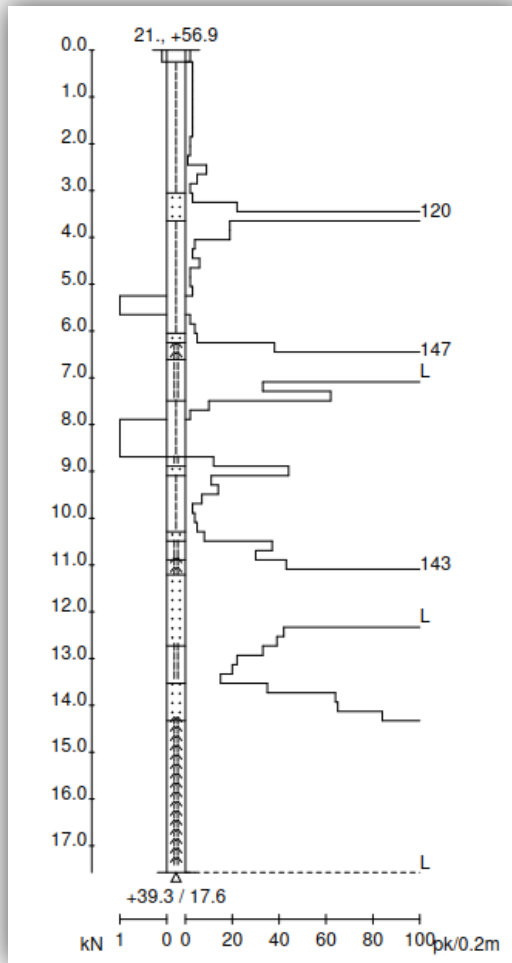
$$\delta_0 = \delta_g + \delta_f$$

- ▶ PO-2016 suositusarvot alkutaipumalle δ_g :

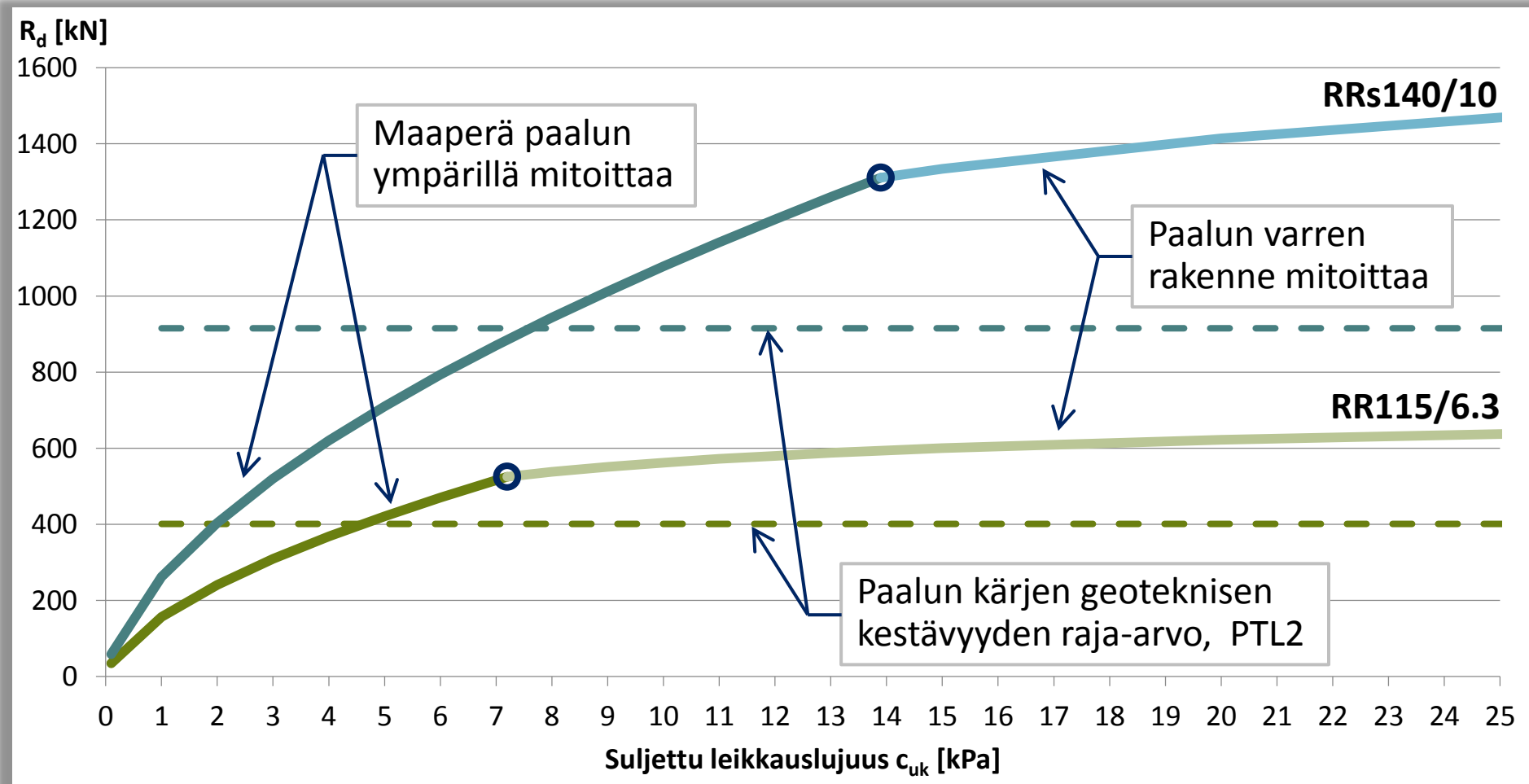
Taulukko 4.19. Paalun geometrinen alkutaipuma nurjahdustarkasteluissa.

	Jatkamaton paalu	Jatkettu paalu
Alkutaipuma δ_g [m] (taipuma tarkastettavissa, esim. avoin profiili)	$L_{cr}/300 - L_{cr}/600$	$L_{cr}/200 - L_{cr}/400$
Alkutaipuma δ_g [m] (taipumaa ei voida tarkastaa, esim. umpiprofiilit)	$L_{cr}/300$	$L_{cr}/150$

Kerroksellisen maaperän vaikutus



Nurjahdusmitoituksen tulokset ja mitoittava tekijä



Laskennan eteneminen 1/4

► Paalun poikkileikkausominaisuudet

$$d_{eff} = d - 2 \cdot korroosiovara$$

$$t_{eff} = t - korroosiovara$$

$$A_{eff} = \frac{\pi}{4} \cdot \left[d_{eff}^2 - (d_{eff} - 2 \cdot t_{eff})^2 \right]$$

$$I_{eff} = \frac{\pi}{64} \cdot \left[d_{eff}^4 - (d_{eff} - 2 \cdot t_{eff})^4 \right]$$

$$W_{el,eff} = \frac{I_{eff}}{\frac{d_{eff}}{2}} \quad \text{Huom! Teräsputken poikkileikkausluokka}$$

$$EI_{eff} = E \cdot I_{eff}$$

► Maaperän ominaisuudet

– pitkäaikaiskuormituksessa

$$A = 20 \dots 50 \quad B = 6$$

– lyhytaikaisessa kuormituksessa

$$A = 50 \dots 150 \quad B = 9$$

$$k_s = A \cdot \frac{c_u}{d_{eff}}$$

$$p_{m,d} = \frac{B \cdot c_u}{\gamma_{R,e}}$$

Laskennan eteneminen 2/4

- Kriittinen nurjahduspituus:

$$L_{cr} = \pi \cdot \sqrt[4]{\frac{EI_{eff}}{k_s \cdot d_{eff}}}$$

- Paalun geometrinen alkutaipuma:
 - annetaan suhdelukuna L_{cr}/xxx

Taulukko 4.19. Paalun geometrinen alkutaipuma nurjahdustarkasteluissa.

	Jatkamaton paalu	Jatkettu paalu
Alkutaipuma δ_g [m] (taipuma tarkastettavissa, esim. avoin profiili)	$L_{cr}/300 - L_{cr}/600$	$L_{cr}/200 - L_{cr}/400$
Alkutaipuma δ_g [m] (taipumaa ei voida tarkastaa, esim. umpiprofiilit)	$L_{cr}/300$	$L_{cr}/150$

$$\delta_g = L_{cr}/xxx$$

- Paalun fiktiivinen alkutaipuma:
 - pituus- ja kierresaumahitsatuilla putkilla ryhmä b

Taulukko 4.20. Fiktiivinen alkutaipuma.

Ryhmä	Fiktiivinen alkutaipuma δ_f
a	$0,0003 \cdot L_{cr}$
b	$0,0013 \cdot L_{cr}$
c	$0,0025 \cdot L_{cr}$

$$\delta_f = 0,0013 \cdot L_{cr}$$

- Paalun kokonaisalkutaipuma:

$$\delta_0 = \delta_g + \delta_f$$

Laskennan eteneminen 3/4

- Suoran paalun nurjahdusmurtokestävyys maan murtuessa:

$$F_{cr} = 2 \cdot \sqrt{k_s \cdot d_{eff} \cdot EI}$$

- Taipuneen paalun nurjahdusmurtokestävyys maan murtuessa:

$$F_{d;s} = \frac{F_{cr}}{1 + \frac{k_s \cdot \delta_g}{p_{m,d}}}$$

- Paalun rakenteen kestävyys murtotilassa:

$$F_{c;u} = A_{eff} \cdot f_y \quad \text{teräksen osavarmuus 1,00}$$

$$M_u = W \cdot f_y$$

W määräytyy poikki-leikkausluokan mukaan joko W_{pl} , W_{el} tai $X_\chi \cdot W_{el}$

- Aputermit:

$$B = F_{cr} + F_{c;u} + \frac{0,5 \cdot F_{cr} \cdot \delta_0 \cdot F_{c;u}}{M_u}$$

$$C = F_{cr} \cdot F_{c;u}$$

- Paalun taivutusmurtokestävyys:

$$P_{d;p} = \frac{B}{2} - \sqrt{\frac{B^2}{4} - C}$$

Laskennan eteneminen 4/4

- ▶ Paalun nurjahduskestävyys on pienin seuraavista edellä lasketuista arvoista:

- taipuneen paalun nurjahdusmurtokestävyys maan murtuessa

$$F_{d;s}$$

- paalun taivutusmurtokestävyys

$$P_{d;p}$$

- ▶ Arvot ovat suoraan mitoituskestävyyksiä

- ▶ Lisäksi on verrattava nurjahduskestävyyttä geotekniseen mitoituskestävyyteen

=> pienempi on määräävä



SSAB:N TERÄSPAALUPÄIVÄ
POHJARAKENTAMISEN YKKÖSTAPAHTUMA

SSAB