

Kaivantotoimikunnan koulutuspäivä 17.5.2021

TERÄSPONTTIEN MITOITUS

Juha Kujansuu, Geosolver Oy

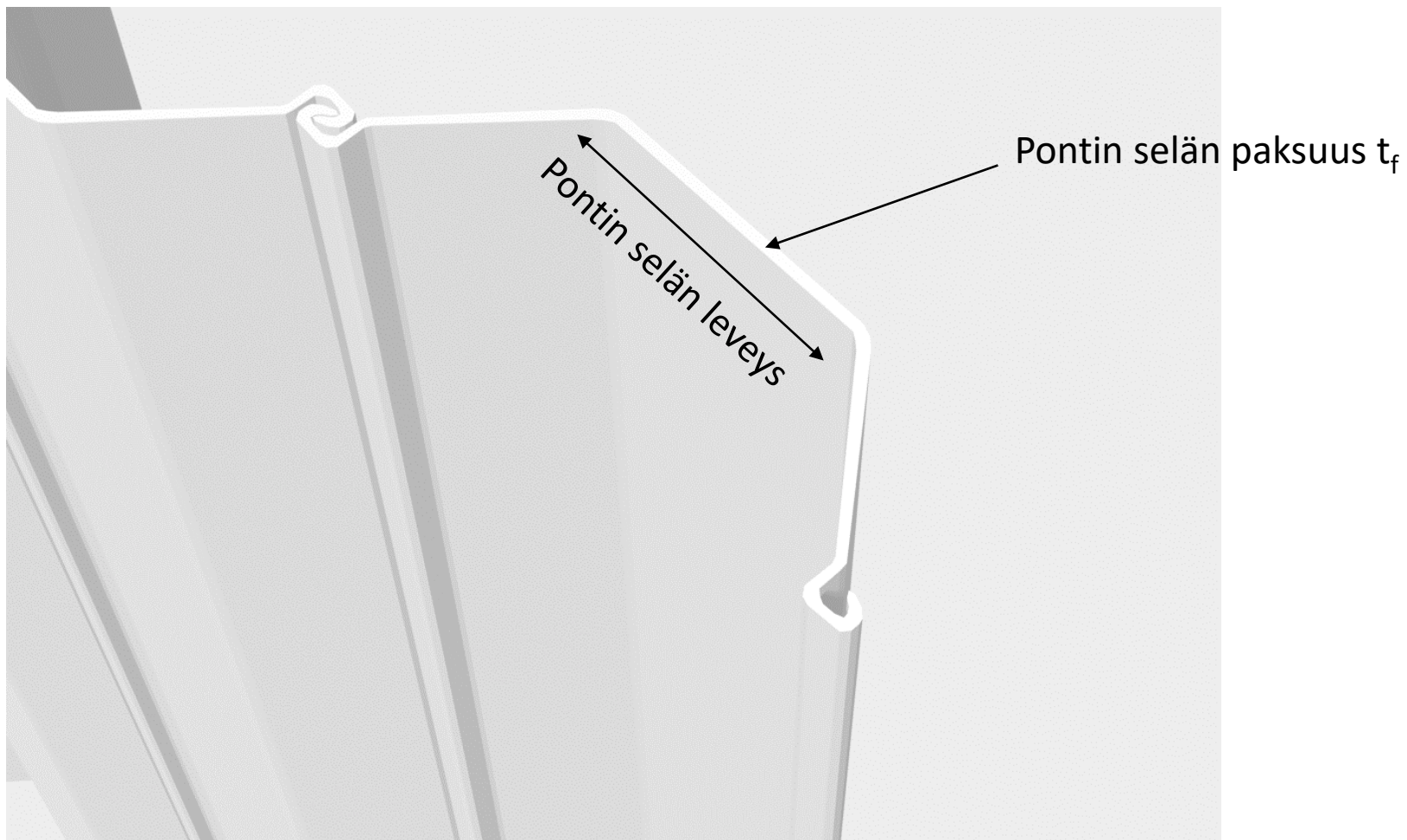


Suomen Geoteknillinen Yhdistys
– Finnish Geotechnical Society

Sisältö

- Pontin poikkileikkausluokitus
- Teräspontin taivutusmitoitus
- Leikkausvoiman puutteellinen siirtyminen ponttien välillä
- Vedenpaineen paikallinen vaikutus
- Teräspontin leikkauskestävyys
- Teräspontin nurjahdusmitoitus
- Teräspontin mitoitus yhdistetyille rasituksille
- Toinen kertaluku

Miten pontin poikkileikkausluokka määräytyy

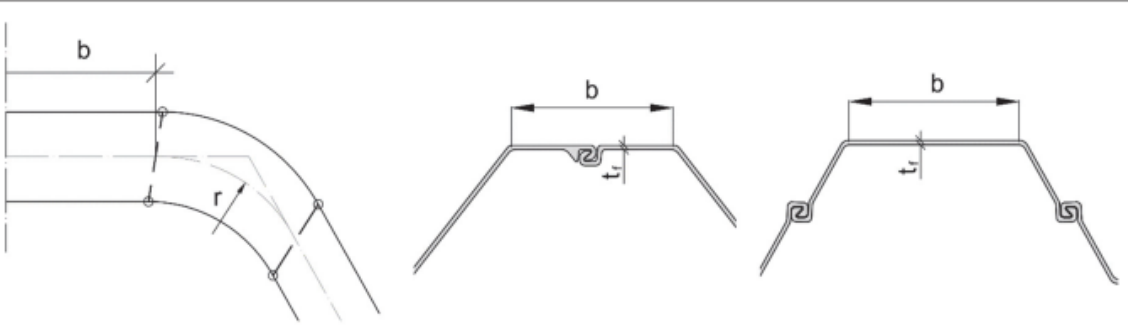


Miten pontin poikkileikkausluokka määräytyy

- Poikkileikkausluokan määrittämisessä huomioidaan teräslaji f_y , pontin selän paksuus t_f ja teoreettinen leveys b (ei ole sama kuin pontin selän leveys).

- U- ja Z-profiileilla on erilaiset raja-arvot (SFS-EN 1993-5)

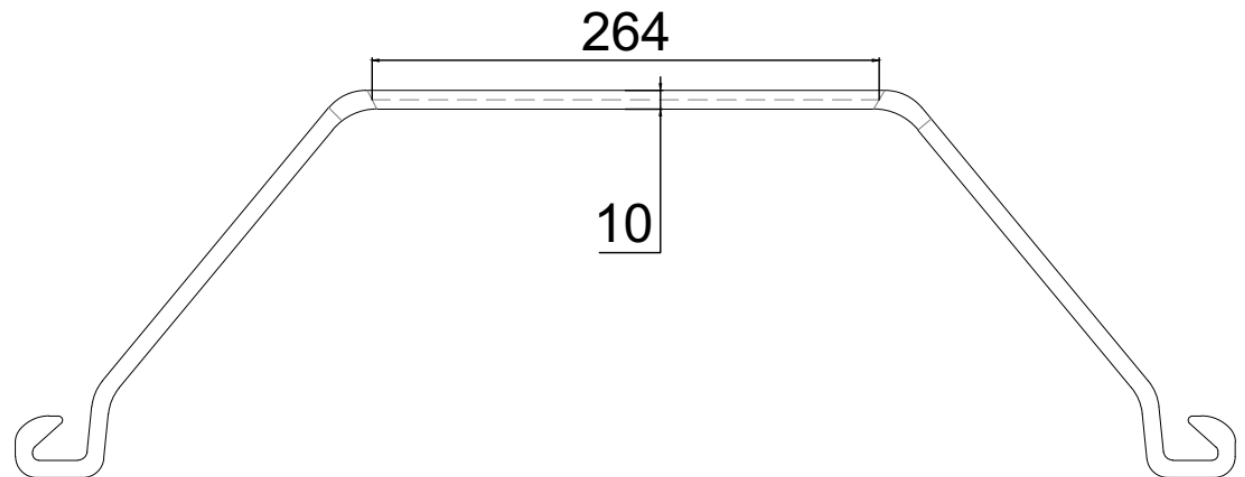
Taulukko 12. Ponttiprofiilin poikkileikkausluokitus SFS-EN 1993-5 mukaisesti.



| Poikkileikkausluokka | | Z-profiili | | | U-profiili | | |
|--|--------------------------------|-------------------------|------|------|-------------------------|------|------|
| 1 | | $\frac{b}{t_f} \leq 45$ | | | $\frac{b}{t_f} \leq 37$ | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | $\frac{b}{t_f} \leq 66$ | | | $\frac{b}{t_f} \leq 49$ | | |
| $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$ | Teräslaji (N/mm ²) | 240 | 270 | 320 | 355 | 390 | 430 |
| | ε | 0,99 | 0,93 | 0,86 | 0,81 | 0,78 | 0,74 |

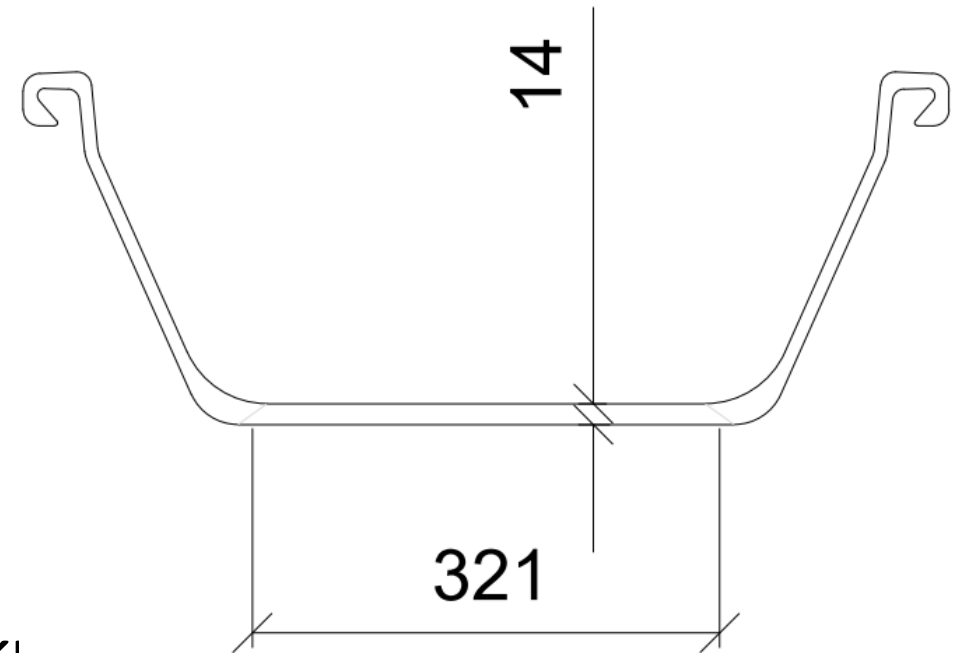
Miten pontin poikkileikkausluokka määräytyy

- Määritetään PU 12s poikkileikkausluokka, kun teräslaji on 355GP ja profiili on U-mallinen
- $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$
- $b = 264 \text{ mm}$
- $t_f = 10 \text{ mm}$
- $\epsilon = 0,81$
- $\frac{264 \text{ mm} / 10 \text{ mm}}{0,81} = 32,6$
- \rightarrow PL 1 (tai PL2) (suhdeluku vähemmän kuin 37)



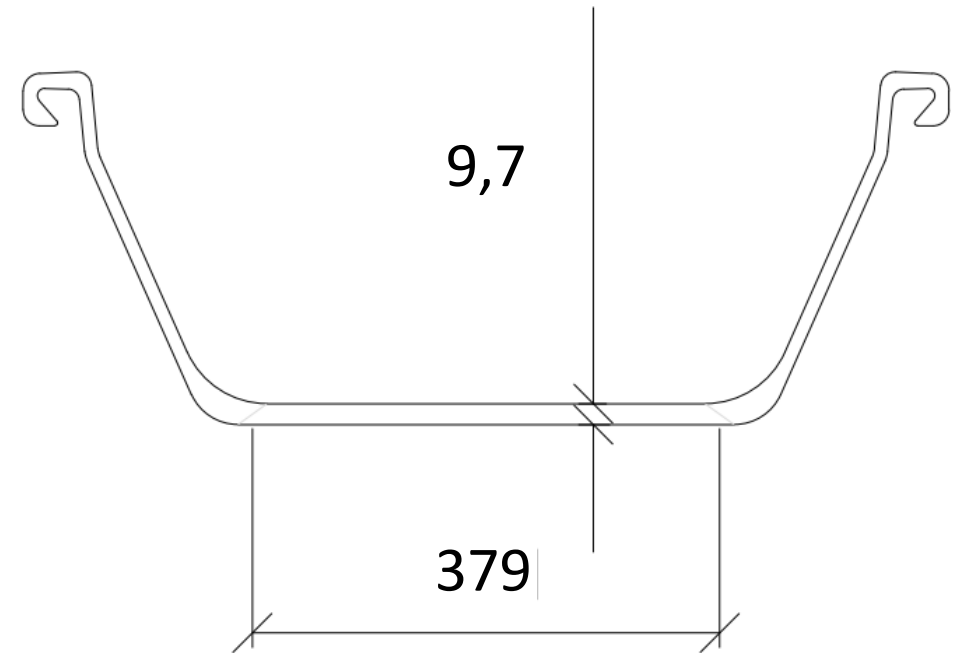
Miten pontin poikkileikkausluokka määräytyy

- Määritetään Larssen 606n poikkileikkausluokka, kun teräslaji on 355GP ja profiili on U-mallinen
- $f_y=355\text{N/mm}^2$
- $b=321\text{mm}$
- $t_f=14\text{mm}$
- $\epsilon=0,81$
- $\frac{321\text{mm}/14\text{mm}}{0,81} = 28,3$
- \rightarrow PL 1 (tai PL2 (suhdeluku vähemmän ki...



Miten pontin poikkileikkausluokka määräytyy

- Määritetään Larssen 603 poikkileikkausluokka, kun teräslaji on 355GP ja profiili on U-mallinen
- $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$
- $b = 379 \text{ mm}$
- $t_f = 9,7 \text{ mm}$
- $\epsilon = 0,81$
- $\frac{379/9,7}{0,81} = 48,2$
- \rightarrow PL 3 (suhdeluku vähemmän kuin 49)



Teräspontin taivutuskestävyys

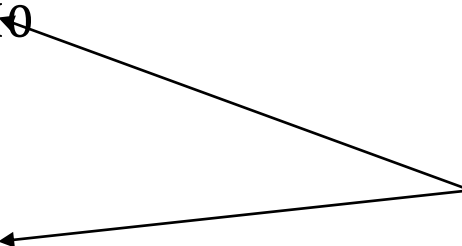
Teräspontin taivutuskestävyys määritellään yleisesti poikkileikkausluokissa 1-2 seuraavasti:

$$M_{c,Rd} = \beta_B \cdot W_{pl} \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

Poikkileikkausluokassa 3

$$M_{c,Rd} = \beta_B \cdot W_{el} \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

Osavarmuusluku $\gamma_{M0} = 1,0$



f_y = teräksen myötöraja

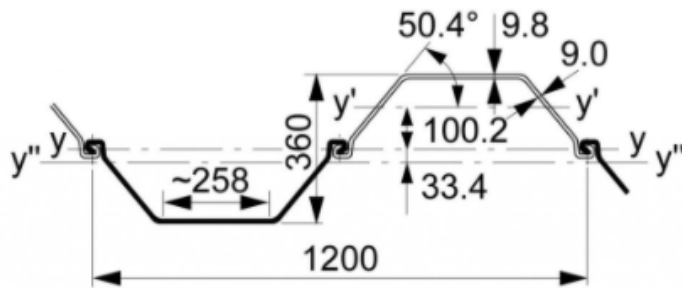
W_{pl} = plastinen taivutusvastus kNm/m

W_{el} = kimmoteorian mukainen taivutusvastus kNm/m

β_B = kerroin, joka huomioi mahdollisen puutteellisen leikkausvoiman siirtymisen U-ponttiprofiileilla ponttiliitoksessa (Z-profiileilla $\beta_B = 1,0$). U-profiileilla ponttilukko sijaitsee neutraaliakselilla)

Teräspontin taivutuskestävyys

- Huom! Yksittäisen ponttiprofiilin taivutusvastus on aivan eri suuruinen kuin jatkuvan tukiseinän. Jos pontteja ei asenneta lukkoihin, niin silloin tulee määrittäminen tehdä yksittäisten ponttien taivutusvastuksen perusteella per/m.



PU 12

| | A | G | I_y | $W_{el,y}$ | r_g | A_L |
|----------------------|-----------------|-------|-----------------|-----------------|-------|-------------------|
| | cm ² | kg/m | cm ⁴ | cm ³ | cm | m ² /m |
| Per S | 84.2 | 66.1 | 4 500 | 370 | 7.31 | 0.80 |
| Per D | 168.4 | 132.2 | 25 920 | 1 440 | 12.41 | 1.59 |
| Per T | 252.6 | 198.3 | 36 060 | 1 690 | 11.95 | 2.38 |
| Per m of wall | 140.0 | 110.1 | 21 600 | 1 200 | 12.41 | 1.32 |

T= tarkoittaa, että kolme ponttia toimii yhdessä erillisenä rakentaa, jonka leveys B=1800mm
 D= tarkoittaa että kaksi ponttia, jolloin B=1200mm.

Teräspontin taivutuskestävyys

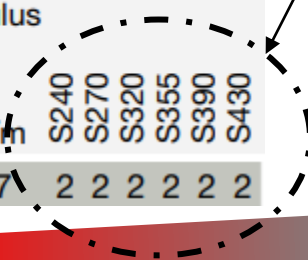
- Lasketaan PU12 profiilin taivutuskestävyys yksittäisenä ponttina ja jatkuvana seinänä (teräslaji S355GP ja $\beta_B=1,0$). Taulukon perusteella pontti kuuluu poikkileikkausluokkaan 2 kaikilla teräslajeilla.

$$M_{c,Rd} = \beta_B \cdot W_{pl} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1,0 \cdot 1457 \text{ cm}^3 \cdot 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 517 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = \beta_B \cdot W_{el} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1,0 \cdot 370 \text{ cm}^3 \cdot 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 131 \text{ kNm}$$

| Section | Width b mm | Height h mm | Thickness | | Sectional area cm ² /m | Mass | | Moment of inertia cm ⁴ /m | Elastic section modulus cm ³ /m | Static moment cm ³ /m | Plastic section modulus cm ³ /m | Class* |
|---------|------------------|-------------------|-----------|---------|---|---------------------------|---------------------------------|--|---|--|---|-------------|
| | | | t mm | s mm | | kg/m of single pile | kg/m ² of wall | | | | | |
| PU 12 | 600 | 360 | 9.8 | 9.0 | 140 | 66.1 | 110 | 21600 | 1200 | 715 | 1457 | 2 2 2 2 2 2 |

PL2



Leikkausvoiman puutteellinen siirtyminen (U-pontit)

Mitkä yleisimmät asiat vaikuttavat kertoimeen β_B (ja β_D)?

- Maaperäolosuhteet
- Tukiseinän ponttiprofiili
- Tukitason lukumäärästä ja niiden kiinnitystavasta
- Ponttilukkojen mahdollinen käsittelystä

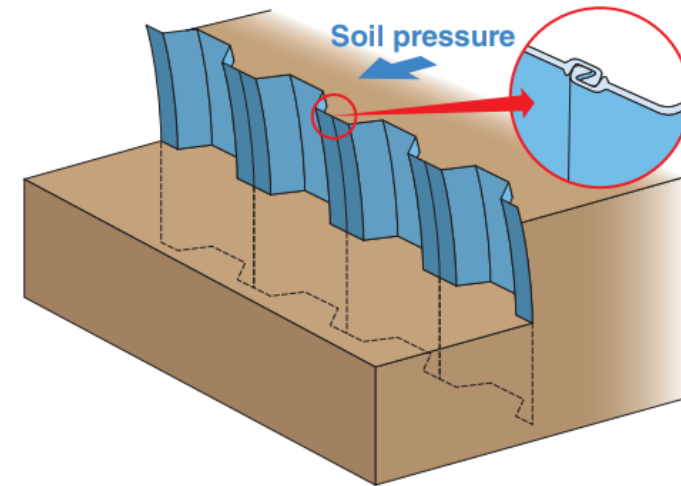
Ulkomailla tyypillisesti käytetään ponttien lukkojen stanssausta/krymppäystä, jolloin ponttien lukkoliitokseen syntyy riittävä kitkaliitos.

Leikkausvoiman puutteellinen siirtyminen (U-pontit)

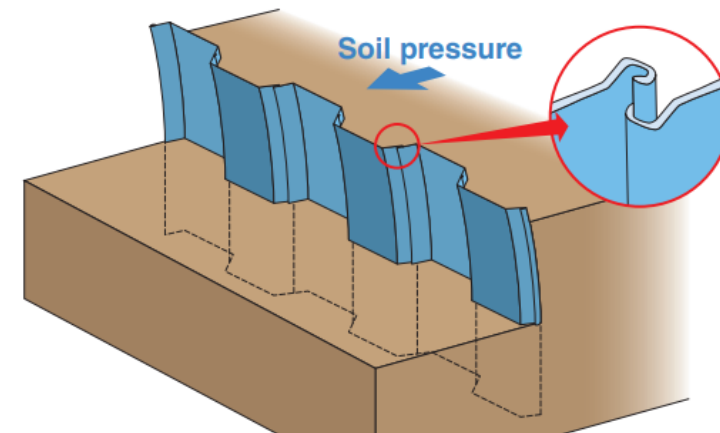
Mitkä yleisimmät asiat vaikuttavat kertoimeen β_B (ja β_D)?

- Maaperäolosuhteet
- Tukiseinän profiilista (Z vai U)
- Tukitason lukumäärästä ja niiden kiinnitystavasta
- Ponttilukkojen mahdollinen käsittelystä

Hat-type steel sheet pile



U-type steel sheet pile



Leikkausvoiman puutteellinen siirtyminen (U-pontit)

Taulukko 18. Vähennyskertoimet β_B ja β_D ruotsalaisen Sponthandbokenin mukaisesti /11/.

| Olosuhde | β_B | β_D |
|---|-----------|-----------|
| Vapaasti vedessä | 0,4–0,5 | 0,2–0,3 |
| Turve, muta | 0,6–0,7 | 0,4–0,5 |
| Savi | 0,8–0,9 | 0,6–0,8 |
| Hienorakeinen kitkamaa; siltti, hienohiekka | 0,9–1,0 | 0,8–1,0 |

- Ohjeessa esitettiin ruotsalaisen Sponthandbokenin mukaiset vähennyskertoimet. Vaihteluvälin pienin arvo esittää tilannetta, jolloin tukiseinässä ei ole lainkaan tukitasoja ja suurin arvo tilannetta, kun tukiseinässä on vähintään 3 tukitasoa. Väliarvot voidaan interpoloida.

Leikkausvoiman puutteellinen siirtyminen (U-pontit)

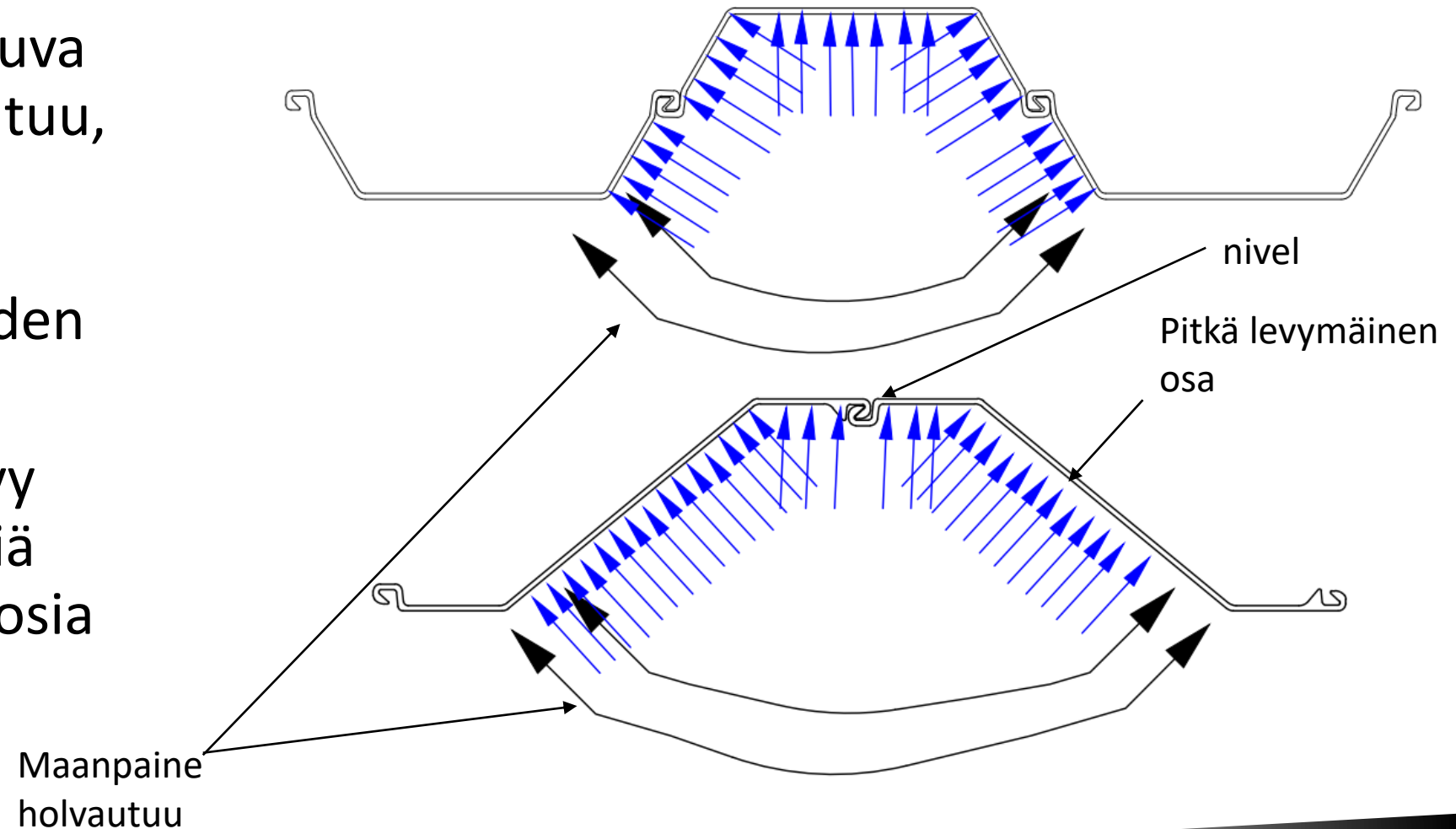
- Mitä EN 1993-5 Draftissä on tällä hetkellä asiasta?
- Esitetty tunnuksella NDP eli Nationally determined parameteres.
- Eli aika lähelle saman suuruisia arvoja, kuin ohjeessakin.

Table 8.1 (NDP) — Value for reduction factors β_B and β_D taking into account lack of shear force transmission in the interlocks

| Wall consisting of | Number of anchors/supports | Soil type (density/strength) | | Reduction factors | |
|--|----------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-------------------|-----------|
| | | Density of coarse soils | Strength of fine soils | β_B | β_D |
| Single piles (without shear connections at interlocks) | Any | Water, air ^b | | 0,4 | 0,3 |
| | | All soils ^c | | 0,6 | 0,4 |
| Double pile, (with shear connections along whole central interlock) ^a | 0 | Loose to medium dense ^d | Low to medium ^d | 0,7 | 0,6 |
| | | Dense to very dense ^e | High to very high ^{e,f} | 0,8 | 0,7 |
| | 1 | Loose to medium dense ^d | Low to medium ^d | 0,8 | 0,7 |
| | | Dense to very dense ^e | High to very high ^{e,f} | 0,9 | 0,8 |
| | ≥2 | Loose to medium dense ^d | Low to medium ^d | 0,9 | 0,8 |
| | | Dense to very dense ^e | High to very high ^{e,f} | 1,0 | 0,9 |

Veden paineen paikallinen vaikutus

- Pontteihin kohdistuva maanpaine holvautuu, mutta vedenpaine vaikuttaa rakenteeseen nähden kohtisuoraan
- Z-ponteissa esiintyy verrattain pidempiä levymäisiä ohuita osia kuin U-ponteissa



Veden paineen paikallinen vaikutus

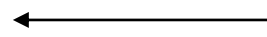
- Jos vapaa vedenpaine-ero tukiseinä eri puolilla on suurempi kuin **5,0m Z-profiileilla** ja **20m U-profiileilla**, tulee tämän vaikutus huomioida poikkileikkauksen kestävyudessa redusoimalla teräksen myötörajaa



Kuvan lähde: Zum Tragverhalten von Spundwänden unter Berücksichtigung von Lageimperfektionen

Veden paineen paikallinen vaikutus

$$f_{y,red} = \rho_P \cdot f_y$$



Teräksen myötörajaa alennetaan taulukon kertoimella, jonka avulla lasketaan sitten esim. pontin taivutus- tai leikkauskestävyys.

Taulukko 17. Vedenpaine-erosta Δw aiheutuvat pienennystekijät ρ_P Z-profiililla /7/.

| Δw | $(b/t_{min}) \cdot \varepsilon = 20,0$ | $(b/t_{min}) \cdot \varepsilon = 30,0$ | $(b/t_{min}) \cdot \varepsilon = 40,0$ | $(b/t_{min}) \cdot \varepsilon = 50,0$ |
|------------|--|--|--|--|
| 5 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 10 | 0,99 | 0,97 | 0,95 | 0,87 |
| 15 | 0,98 | 0,96 | 0,92 | 0,76 |
| 20 | 0,98 | 0,94 | 0,88 | 0,60 |

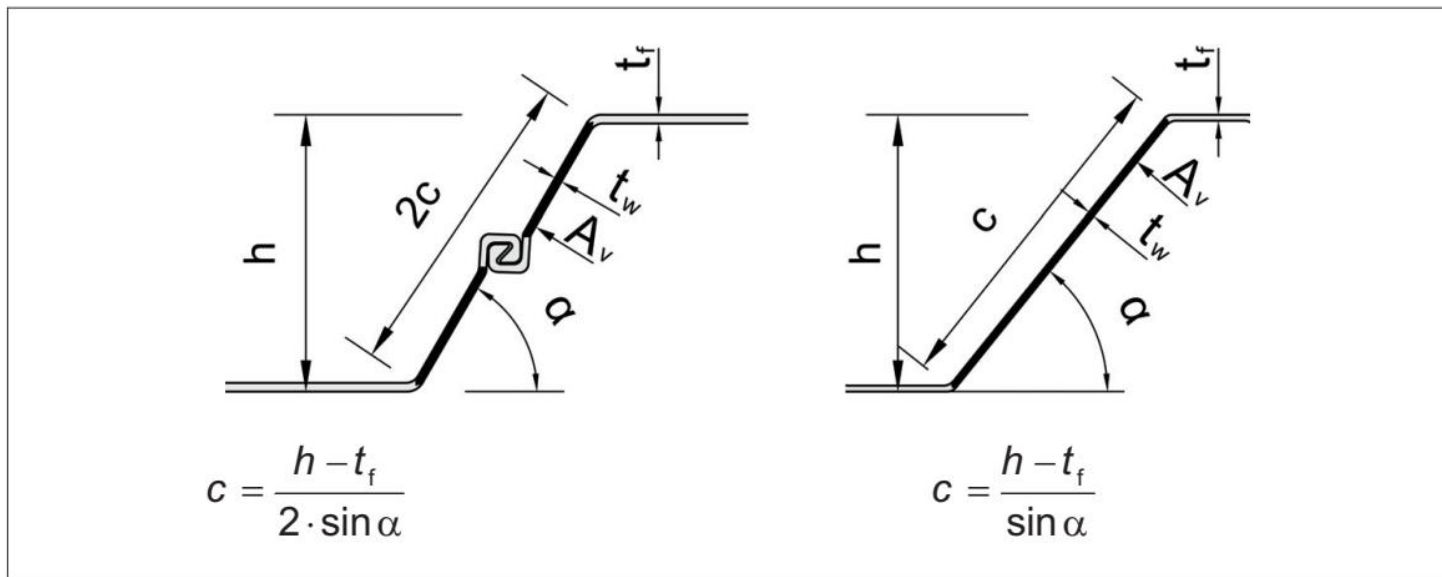
Taulukossa 17:

- b pontin selkäosan leveys, mutta b :n arvoa ei saa valita pienemmäksi kuin $c/\sqrt{2}$, missä c on uuman vino korkeus (ks. kohta 3.8.2 kuva 7)
- t_{min} pienempi arvoista t_f ja t_w
(t_f = pontin selän paksuus, t_w = pontin uuman paksuus)
- Δw vedenpaineen korkeusero metreinä

Jos Z-profiilin ponttilukkojen liitokset ovat hitsattu umpeen, käytetään arvoa $\rho_P = 1,0$.
Taulukon 17 väliarvot voidaan interpoloida lineaarisesti.

Pontin leikkauskestävyys $V_{pl,Rd}$

- Pontin leikkauskestävyys muodostuu käytännössä pontin uuman dimensioista. Leikkauskestävyys tulee harvemmin määräväksi mitoituksen näkökulmasta – paitsi jos leikkausvoimaa esiintyy enemmän kuin 50% plastiseen leikkauskestävyyteen nähden.



$$V_{pl,Rd} = (A_v \cdot f_y) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})$$

$$A_v = t_w \cdot (h - t_f)$$

Kuva 7. Leikkauspinta-alan määrittely U- ja Z-profileille SFS-EN 1993-5 mukaisesti.

Pontin yhdistetty taivutus ja leikkaus

- Jos leikkausvoima V_{Ed} on vähemmän kuin 50% plastisuusteorian mukaisesta leikkauskestävyyden mitoitusarvosta $V_{pl,Rd}$, niin sen vaikutusta taivutuskestävyyden mitoitusarvoon $M_{c,Rd}$ ei tarvitse huomioida.
- Muutoin vaikutus otetaan huomioon redusoimalla taivutuskestävyyden mitoitusarvoa $M_{c,Rd}$ seuraavasti.

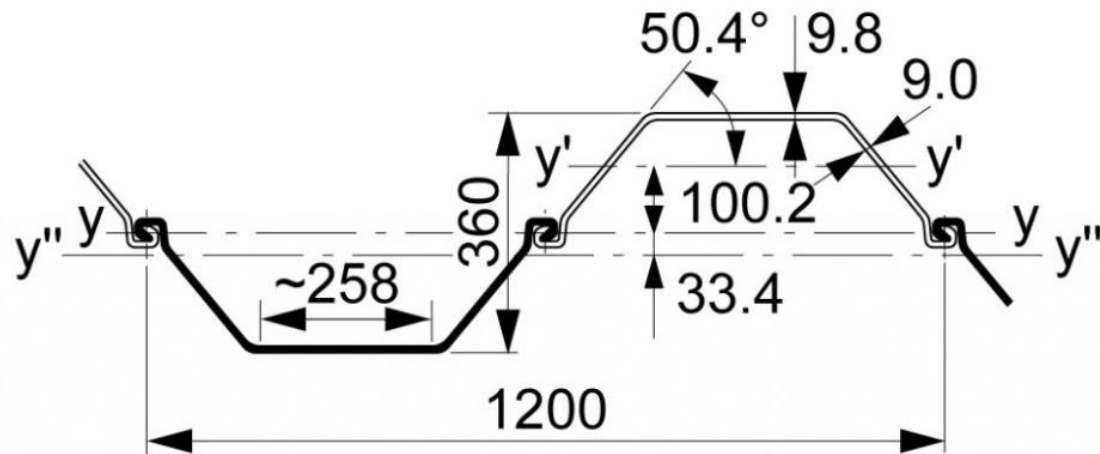
$$M_{V,Rd} = \left[\beta_B \cdot W_{pl} - \frac{\rho \cdot A_v^2}{4 \cdot t_w \cdot \sin \alpha} \right] \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad \rho = \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$$

Pontin yhdistetty taivutus ja leikkaus

Esimerkki. Ponttiin PU12 (S240GP $f_y=240$ N/mm²) vaikuttaa seuraavat rasitukset samaan aikaan:

$$M_{Ed} = 300 \text{ kNm ja } V_{Ed} = 550 \text{ kN}$$

Määritetään pontin leikkauskestävyys $V_{pl,Rd}$



Pontin yhdistetty taivutus ja leikkaus

Mittatiedot: $h = 360\text{mm}$, $t_f = 9,8\text{mm}$, $t_w = 9,0\text{ mm}$

$$A_v = t_w \cdot (h - t_f) = 9,0 \cdot (360 - 9,8) = 3151,8\text{mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{(\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})} = \frac{3151,8\text{mm}^2 \cdot 235\text{ N/mm}^2}{(\sqrt{3} \cdot 1,0)} = 437\text{kN}$$

Koska pontin täysi uuma sijaitsee 0,6m välein saadaan leikkauskestävyyden mitoitusarvoksi $437\text{kN}/0,6\text{m} \rightarrow 728\text{ kN/m}$

$550\text{kN}/728\text{kN} \rightarrow 0,7555$ eli enemmän kuin 50% plastisesta leikkauskestävyydestä
 \rightarrow taivutusmomenttikestävyyttä tulee redusoida eli määritetään $M_{v,Rd}$

Pontin yhdistetty taivutus ja leikkaus

Lasketaan kerroin vähennyskerroin ρ

Mitoitusehto: $M_{v,Rd} \geq M_{Ed}$

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = \left(\frac{2 \cdot 550}{728} - 1 \right)^2 = 0,2611$$

Lasketaan kerroin $M_{v,Rd}$

$$M_{v,Rd} = \left[\beta_B \cdot W_{pl} - \frac{\rho \cdot A_v^2}{4 \cdot t_w \cdot \sin \alpha} \right] \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\rightarrow \left[1,0 \cdot 1457 \text{ cm}^3 - \frac{0,2611 \cdot (3151,8 \text{ mm}^2)^2}{4 \cdot 9,0 \text{ mm} \cdot \sin 50,4^\circ} \right] \cdot \frac{240 \text{ N/mm}^2}{1,0}$$

$$\rightarrow [1457 \text{ cm}^3 - 94 \text{ cm}^3] \cdot 240 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

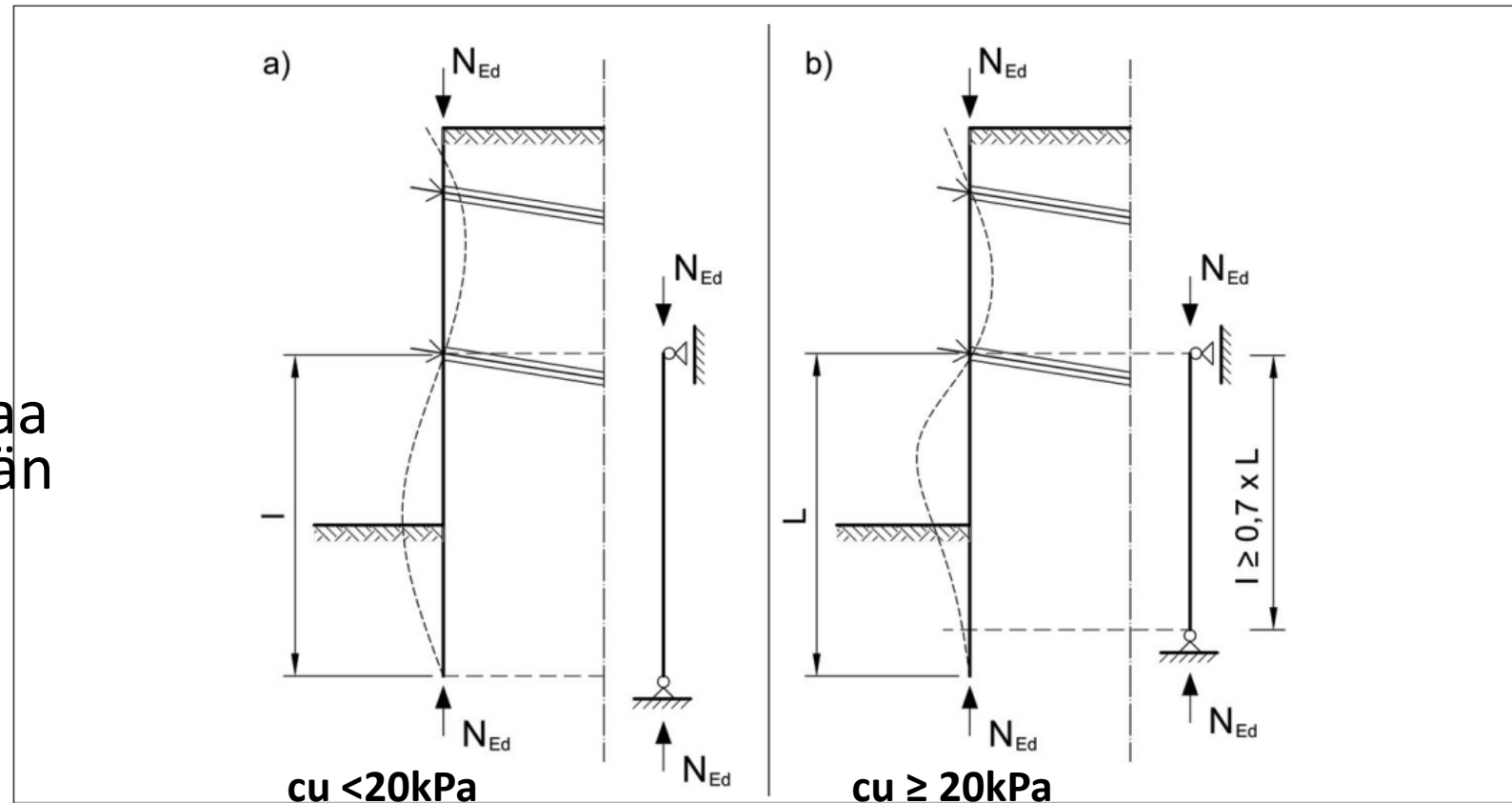
$$\rightarrow 327 \text{ kNm} \geq 300 \text{ kNm} \text{ **mitoitus ok!**}$$

$$\frac{t_w^2 h_w^2}{4 t_w} \rightarrow \frac{t_w h_w^2}{4}$$

Supistuu muotoon, joka vastaa uuman plastista taivutusvastusta ($A_v = h_w \times t_w$)

Ponttiseinän nurjahdustarkastelu

- Kuvan 8 sivuttaistuki on standardissa 1993-5 määritetty Eulerin nurjahduspituuksien perusteella.
- Ohjeessa raja-arvona maan tukivaikutukselle pidetään leikkaus-lujuuden arvoa 20 kPa
- Jos nurjahdus lasketaan ilman maan tukea, niin käytetään vaihtoehtoa a nurjahduspituuden määrittelyyn.



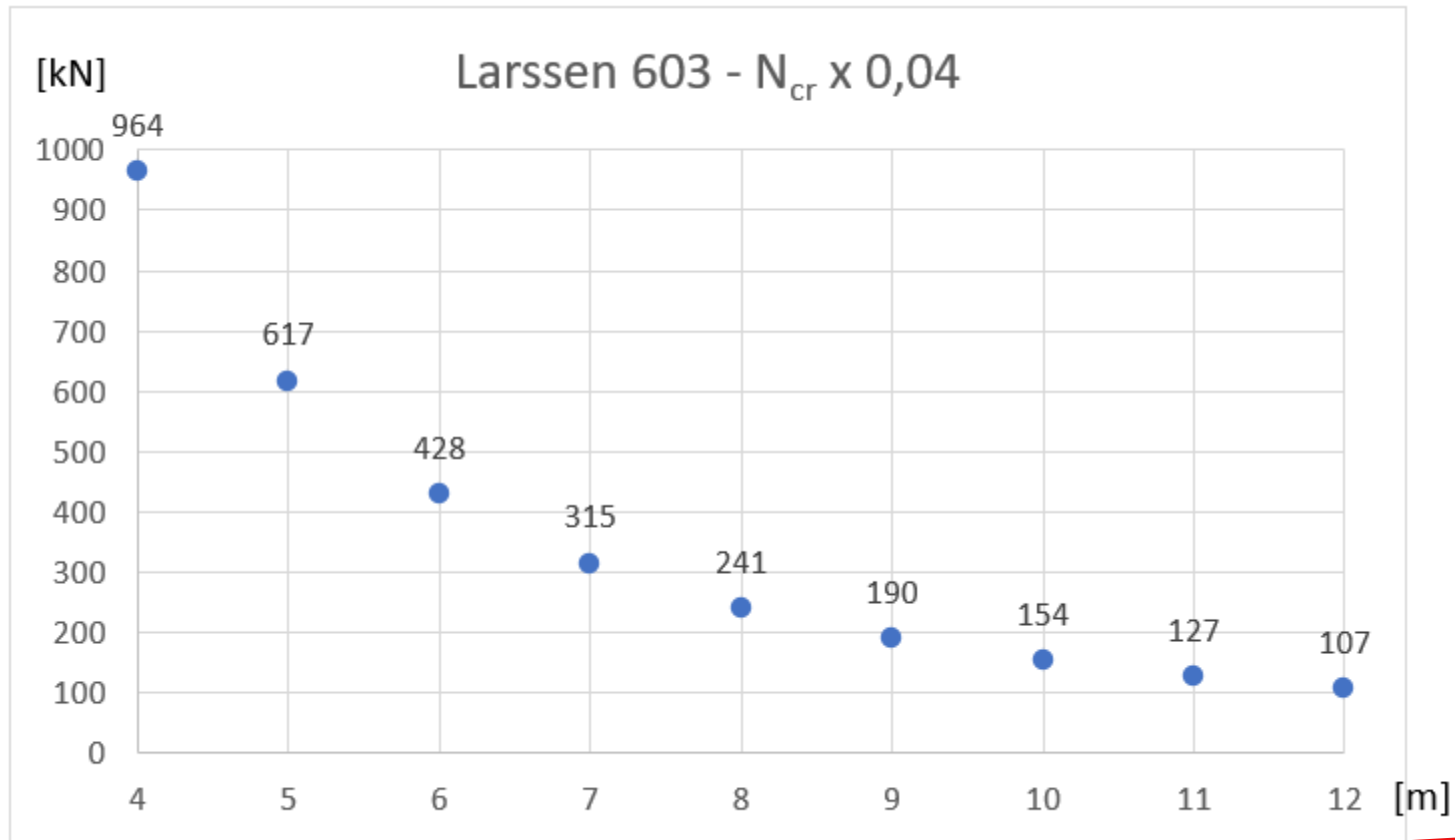
Kuva 8. Nurjahduspituuden määrittely vaihtoehdossa a) maaperä ei anna sivutukea tukiseinän alaosassa ja b) maaperä antaa riittävän sivutuen tukiseinän alaosassa l/l .

Ponttiseinän nurjahdustarkastelu

- Tukiseinän nurjahtaminen on periaatteessa mahdollista, jos:
 - Ankkurivoimista syntyvä pystysuuntainen voima on suuri
 - Maan tuki ponttiseinälle on pieni
 - Ponttiprofiili on ”ohutrakenteinen”
 - Ankkuriväli pystysuunnassa on suuri
 - Ponttiseinään kohdistuvien rasituksien yhteisvaikutus on suuri
- Kun $N_{Ed} > N_{cr} \times 0,04$, niin nurjahdus tulee huomioida!
- Yleensä ankkurivälit ovat pystysuunnassa sen verran tiheästi, jolloin nurjahdus tulee harvemmin mitoittavaksi.
- Mallikerrointa γ_{MK} ei tässä yhteydessä käytetä, koska ohjeen kirjoittamisen yhteydessä pidettiin nurjahdusyhtälön vertailuarvoa $\gamma_{M0} / \gamma_{M1}$ (1,0/1,1=0,91) riittävänä varmuustasona. Mallikerrointa taas ei ole ajateltu nurjahduksen näkökulmasta aikoinaan....
- Tarkastellaan tätä kuitenkin esimerkin valossa...

Ponttiseinän nurjahdustarkastelu

- Esimerkiksi Larssen 603 profiililla $N_{Ed} > N_{cr} \times 0,04$ arvot esitetty kuvaajassa nurjahduspituus funktiona ($\beta_D = 1,0$)



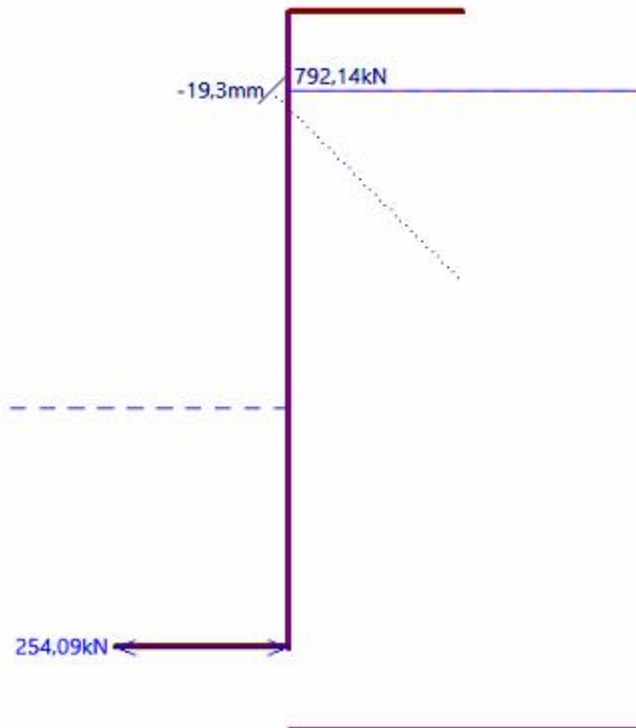
$$N_{cr} = (EI)_{\text{eff}} \cdot \frac{\pi^2}{l^2}$$

$$(EI)_{\text{eff}} = \beta_D \cdot EI$$

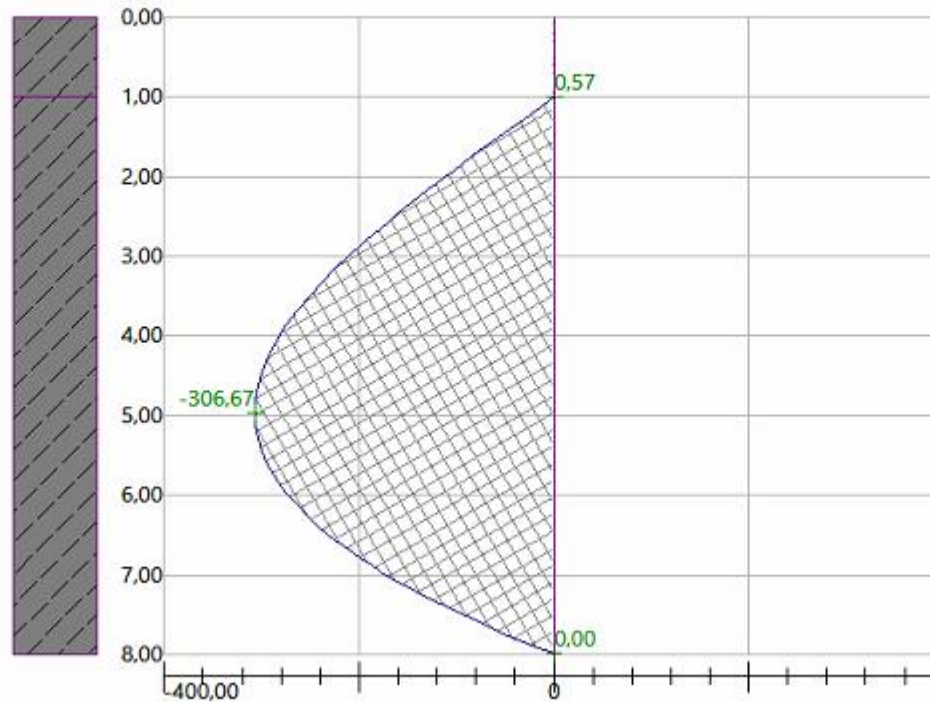
Ponttiseinän nurjahdustarkastelu - esimerkki

Tarvitseeko ko. tilanteessa tarkistaa nurjahdus? Ponttiprofiili Larssen 603 ja $\beta_D = 0,6$

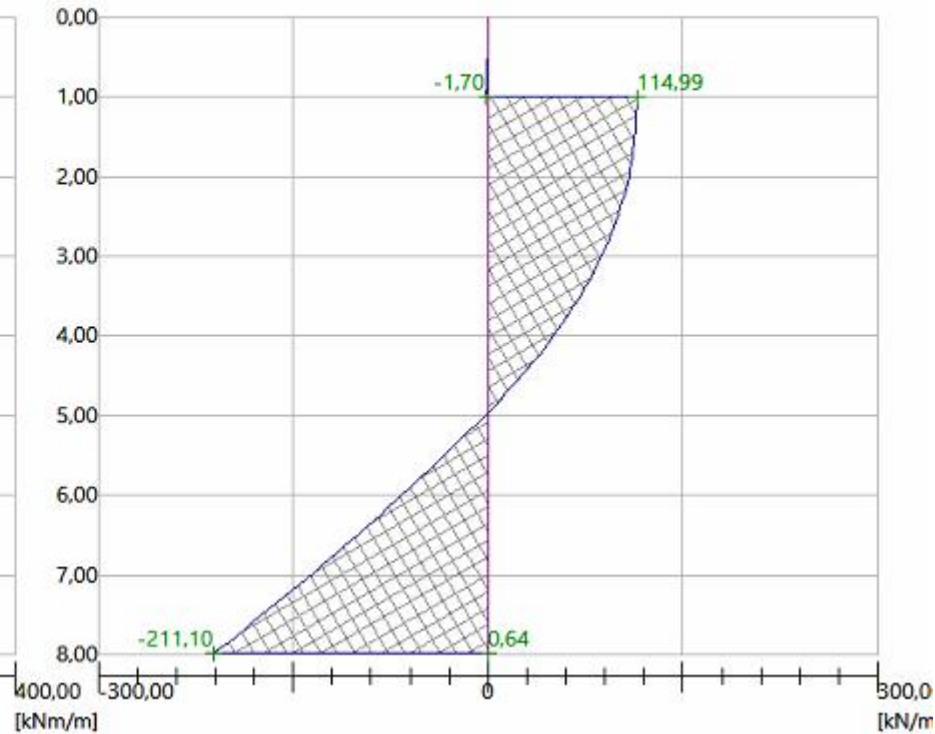
Geometry of structure
Length of structure = 8,00m



Bending moment
Max. M = 306,67 kNm/m



Shear force
Max. Q = 211,10 kN/m



Ponttiseinän nurjahdustarkastelu - esimerkki

Pystysuoran ankkurivoiman komponentti: $N_{EK} = 792 \text{ kN} / \sqrt{2} / 4,8\text{m} = 117 \text{ kN} / \text{m}$

Kuorma muodostuu vain pysyvistä kuormista, jolloin se kerrotaan 6.10a kertoimella:

$$N_{Ed} = 1,35 \times 117 \text{ kN} \rightarrow 158 \text{ kN}$$

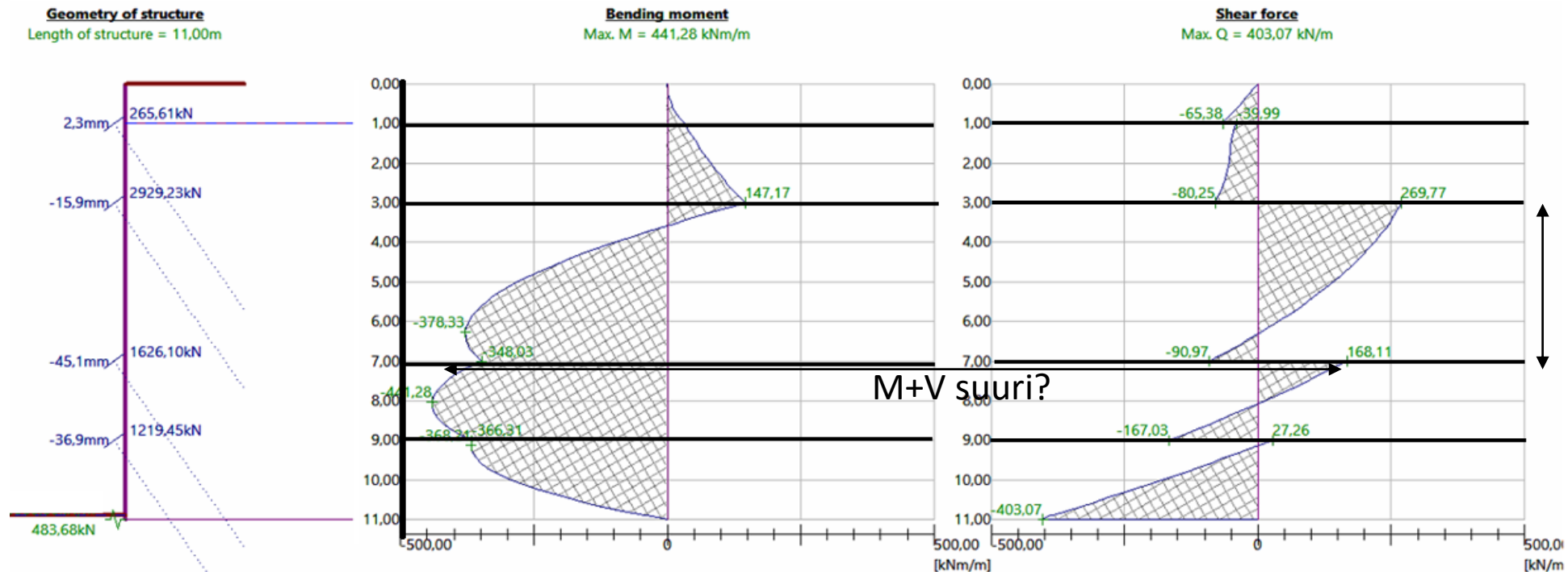
Nurjahduspituus on 7,0m. Katsotaan sivun 25 kuvaajasta sitä vastaava arvo:

$$\rightarrow 315 \text{ kN} \text{ ja kerrotaan se vähennyskertoimella } \beta_D = 0,6 \rightarrow 315\text{kN} \times 0,6 = 189\text{kN}$$

Koska $N_{Ed} \leq N_{cr} \times 0,04$ ($158 \text{ kN} \leq 189 \text{ kN}$) \rightarrow ei nurjahdusta tarvitse huomioida!

Ponttiseinän nurjahdustarkastelu

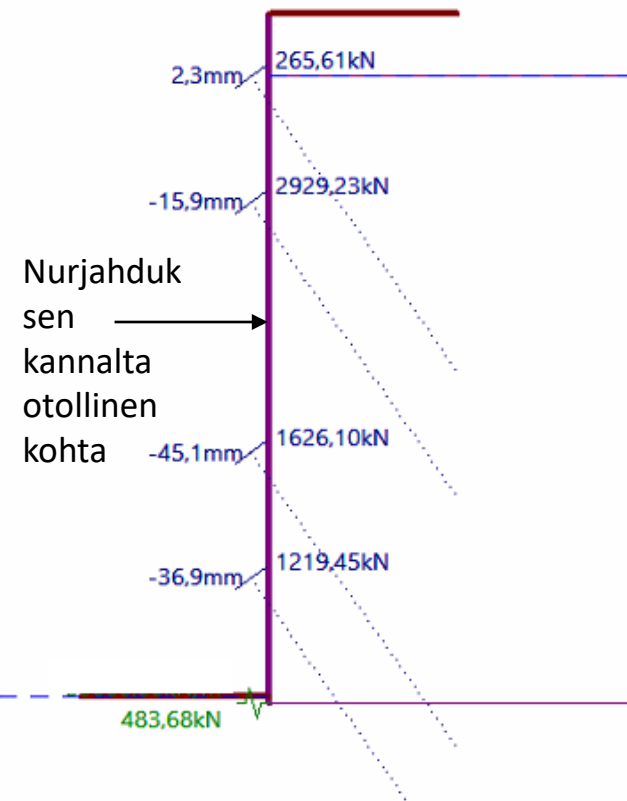
- Nurjahdustarkastelu ja pontin yhdistettyjen rasitusten tarkastelu riippuu siitä, että esiintyykö tarkastelussa samaan aikaan leikkausvoimaa vai ei. Toisaalta taas otollisin paikka nurjahdukselle on silloin, kun tukiväli pituussuunnassa on suuri.



Ponttiseinän nurjahdustarkastelu

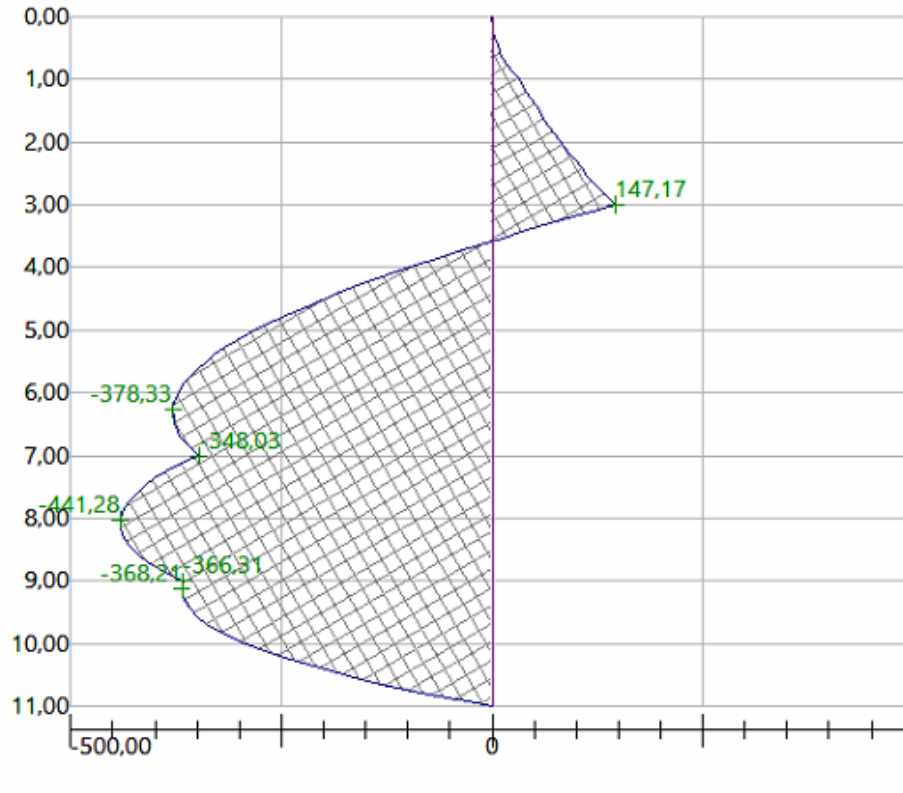
Geometry of structure

Length of structure = 11,00m



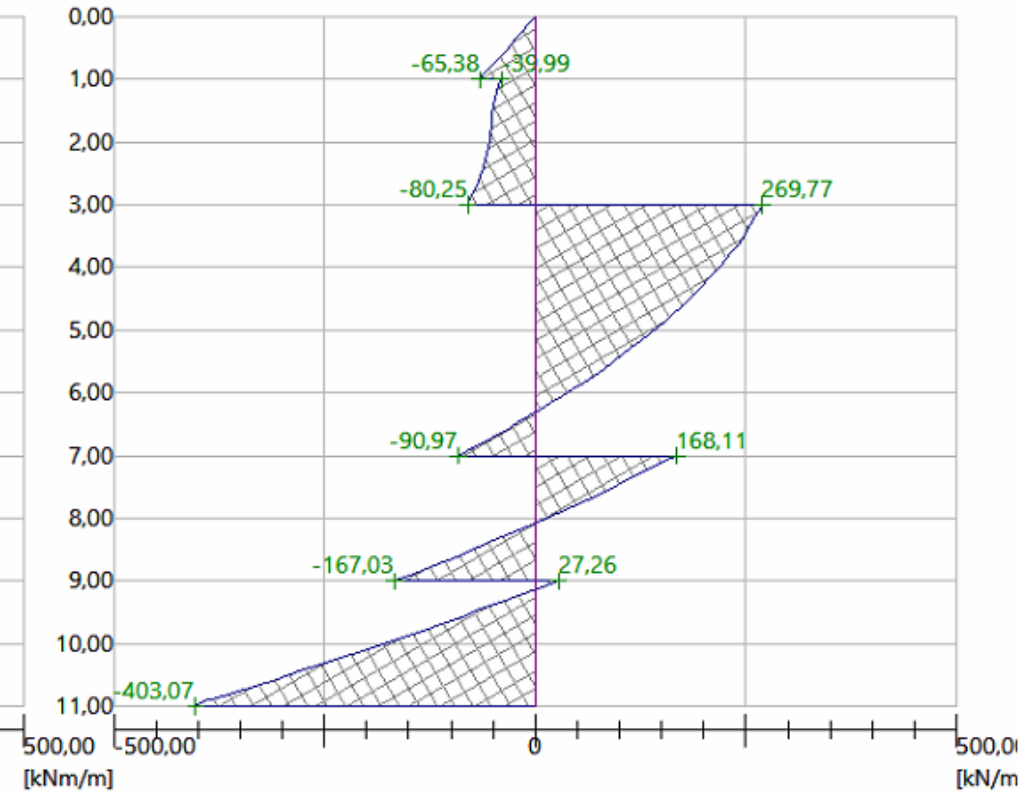
Bending moment

Max. M = 441,28 kNm/m



Shear force

Max. Q = 403,07 kN/m



4 tukiasoa ja alaosan tukeutuminen juuritappiin ja juuripalkistoon.
Ankkurit 55 asteen kulmassa ja ponttiprofiili PU18-1.

Ponttiseinän nurjahdustarkastelu

Lähtötiedot:

- Tukitaso 1, ankkurivoima 266kN (k/k 6,0m)
- Tukitaso 2, ankkurivoima 2929 kN (k/k 4,8m)
- Oletetaan, että ankkuri voima jakautuu tasaisesti 1,0m alueelle, jolloin saadaan pystykomponenteiksi ankkurikulmalla 55astetta seuraavaa:
- $N_{Ek1} = \cos 35^\circ \times 266\text{kN} / 6,0\text{m} \rightarrow 36 \text{ kN/m}$
- $N_{Ek2} = \cos 35^\circ \times 2929\text{kN} / 4,8\text{m} \rightarrow 500 \text{ kN/m}$
- $N_{Ed} = 1,35 \times 536 \text{ kN/m} \rightarrow 724 \text{ kN/m}$ (koostuu vain pysyvistä kuormista?)

Ponttiseinän nurjahdustarkastelu

Kriittisen nurjahduskuorman N_{cr} laskentaa varten:

- Ponttiprofiili PU13R, S355GP $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$, $I = 25690 \text{ cm}^4/\text{m}$, $E = 210000 \text{ N/mm}^2$, $\beta_B = 0,9$, $\beta_D = 0,8$ (savi, monta tukitasoa). Saven leikkauslujuus on alle 20kPa, joten laskentatilanne kuvan 8 mukaisella vaihtoehdolla a. Ankkureiden (tukien) välinen etäisyys pystysuunnassa on 4,0m.

- $$N_{cr} = \frac{E \cdot I \cdot \beta_D \cdot \pi^2}{L^2} = \frac{210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 25690 \text{ mm}^4 \cdot 10^4 \cdot 0,8 \cdot \pi^2}{(4000 \text{ mm})^2} = 16949 \text{ kN/m}$$

- Tarkistetaan ehto $N_{Ed}/N_{cr} \leq 0,04$ (jos täyttyy, niin nurjahdusta ei tarvitse huomioida): $N_{Ed} / N_{cr} \leq 0,04 \rightarrow 724 \text{ kN} / 16949 \text{ kN} \leq 0,04$
- $\rightarrow 0,043 \leq 0,04$ Ei ok! Huomioidaan nurjahdus!

Ponttiseinän nurjahdustarkastelu

Tarkistetaan, että vaikuttaako leikkausvoima nurjahdusmitoitukseen.

$$V_{Ek} = 91 \text{ kN}. V_{Ed} = 1,35 \times 91 \text{ kN} \rightarrow 123 \text{ kN}.$$

Lasketaan PU13R leikkausvoimakestävyys:

Mittatiedot: $h = 400\text{mm}$, $t_f = 10,0\text{mm}$, $t_w = 7,4 \text{ mm}$

$$A_v = t_w \cdot (h - t_f) = 7,4 \cdot (400 - 10) = 2886\text{mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{(\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})} = \frac{2886\text{mm}^2 \cdot 355 \text{ N/mm}^2}{(\sqrt{3} \cdot 1,0)} = 592\text{kN}$$

Ponttiseinän nurjahdustarkastelu

PU13R B=675mm, jolloin uuman kestävyys on metriä kohden
592kN/0,675m → 877kN

Jos leikkausvoima on 50% plastisesta leikkauskestävyydestä, niin tulee leikkausvoima huomioita.

$$V_{pl,Rd} = 877 \text{ kN} \times 0,5 \rightarrow 438,5 \text{ kN}$$

$$438,5 \text{ kN} > 123 \text{ kN}$$

Leikkausvoimaa ei tarvitse huomioida tarkastelussa!

Ponttiseinän nurjahdustarkastelu

Lasketaan teräspontin plastinen puristuskestävyys $N_{pl,Rd}$

$$N_{pl,Rd} = A_{PO} \times f_y / \gamma_{M0} \rightarrow 12380 \text{ mm}^2 \times 355 \text{ N/mm}^2 / 1,0 = 4395 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{PO} \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{4395 \text{ kN}}{16949 \text{ kN}}} \rightarrow 0,509$$

$$\Phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$
$$\rightarrow 0,5 \cdot [1 + 0,76 \cdot (0,509 - 0,2) + 0,509^2] \rightarrow 0,747$$

Ponttiseinän nurjahdustarkastelu

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \rightarrow \frac{1}{0,747 + \sqrt{0,747^2 - 0,509^2}}$$

$$\rightarrow \frac{1}{0,747 + 0,547} \rightarrow 0,773$$

Ponttiseinän nurjahdustarkastelu

- Teräsponttiin vaikuttava taivutusmomentti on seuraava:
- $M_{Ed} = 1,35 \times 308 \text{ kNm} = 416 \text{ kNm}$
- Teräspontin taivutuskestävyys $M_{c,Rd}$
- $M_{c,Rd} = W_{pl} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \rightarrow 1515 \text{ cm}^3 \cdot \frac{355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,0} \rightarrow 538 \text{ kNm}$
- Tarkistetaan $M_{c,Rd} \geq M_{ed}$

538 kNm \geq 416 kNm **OK!**

Ponttiseinän nurjahdustarkastelu

Tarkistetaan nurjahduksen mitoitusehto:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi \cdot N_{pl,Rd}} + 1,15 \cdot \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq \frac{\gamma_{M0}}{\gamma_{M1}}$$

$$\frac{724 \text{ kN}}{0,773 \cdot 4395 \text{ kN}} + 1,15 \cdot \frac{416 \text{ kNm}}{538 \text{ kNm}} \leq \frac{1,0}{1,1}$$

$$0,213 + 0,889 \leq 0,91$$

1,102 ≤ 0,91 Ei toteudu, joten mitoitus ei ole ok!

EN 1993-5 draftissa kyseinen tarkastelu on hieman erilainen mukaan lukien varmuustasokin

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{pl,Rd}} + k_{yy} \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1.0$$

$$k_{yy} = \frac{1}{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{\chi N_{pl,Rd}}\right)^{0.33}}$$

Ei ole vielä virallinen, mutta olisi johdonmukaisempi kuin nykyinen menettely

Ponttiseinän nurjahdustarkastelu

Kriittisen nurjahduskuorman N_{cr} laskentaa varten:

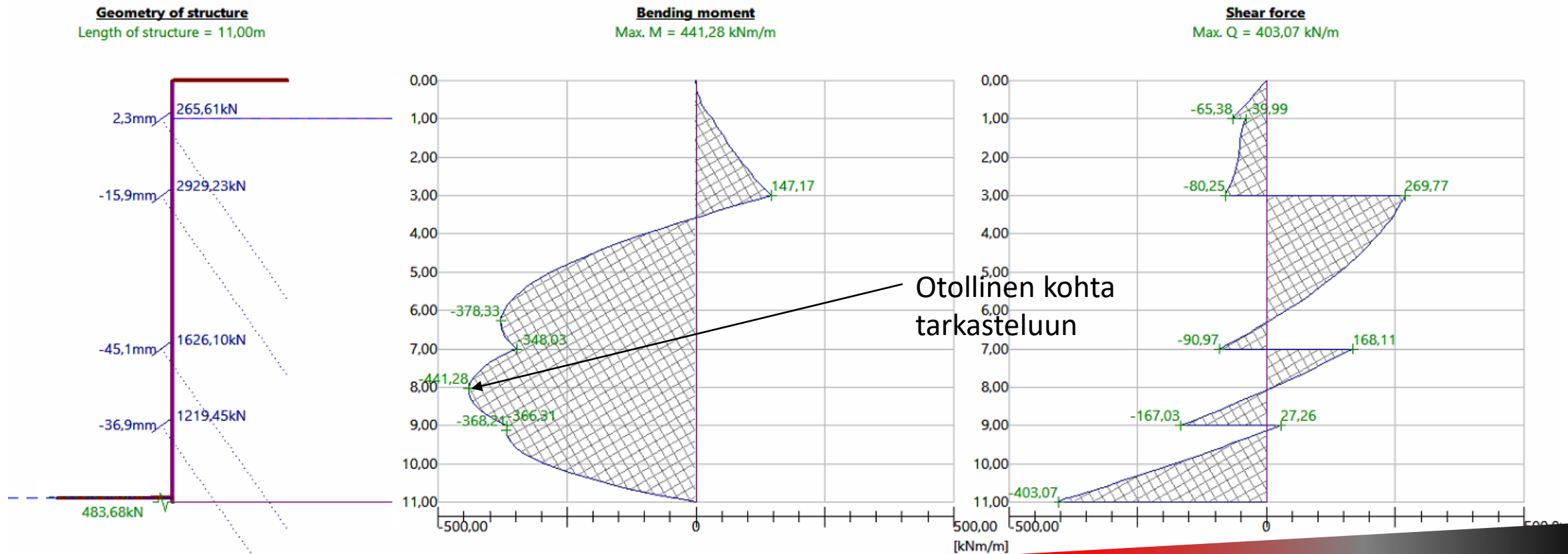
- Ponttiprofiili PU18, S355GP $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$, $I = 38650 \text{ cm}^4/\text{m}$, $E = 210000 \text{ N/mm}^2$, $\beta_B = 0,9$, $\beta_D = 0,8$ (savi, monta tukitasoa). Saven leikkauslujuus on alle 20kPa, joten laskentatilanne kuvan 8 mukaisella vaihtoehdolla a. Ankkureiden (tukien) välinen etäisyys pystysuunnassa on 4,0m.

- $$N_{cr} = \frac{E \cdot I \cdot \beta_D \cdot \pi^2}{L^2} = \frac{210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 38650 \text{ mm}^4 \cdot 10^4 \cdot 0,8 \cdot \pi^2}{(4000 \text{ mm})^2} = 25499 \text{ kN/m}$$

- Tarkistetaan ehto $N_{Ed}/N_{cr} \leq 0,04$ (jos täyttyy, niin nurjahdusta ei tarvitse huomioida): $N_{Ed} / N_{cr} \leq 0,04 \rightarrow 724 \text{ kN} / 25499 \text{ kN} \leq 0,04$
- $\rightarrow 0,028 \leq 0,04$ Ok! Nurjahdusta ei tarvitse huomioida!

Ponttiseinän yhdistetyt rasitukset

Ohjeessa mainitaan myöskin, että kun leikkausvoimaa ei ole, niin tulee tarkistaa puristusvoiman vaikutus taivutusmomenttiin.



Ponttiseinän yhdistetyt rasitukset

Lähtötiedot:

- Tukitaso 1, ankkurivoima 266kN (k/k 6,0m)
- Tukitaso 2, ankkurivoima 2929 kN (k/k 4,8m)
- Tukitaso 3, ankkurivoima 1626 kN (k/k 2,4m)
- Oletetaan, että ankkuri voima jakautuu tasaisesti 1,0m alueelle, jolloin saadaan pystykomponenteiksi ankkurikulmalla 55astetta seuraavaa:
- $N_{Ek1} = \cos 35^\circ \times 266\text{kN} / 6,0\text{m} \rightarrow 36 \text{ kN/m}$
- $N_{Ek2} = \cos 35^\circ \times 2929\text{kN} / 4,8\text{m} \rightarrow 500 \text{ kN/m}$
- $N_{Ek3} = \cos 35^\circ \times 1626\text{kN} / 2,4\text{m} \rightarrow 555 \text{ kN/m}$

- $N_{Ed} = 1,15 \times 1,35 \times 1091 \text{ kN/m} \rightarrow 1694\text{kN/m}$

Ponttiseinän yhdistetyt rasitukset

Tarkistetaan mitoitusehto $N_{Ed}/N_{pl,Rd} \leq R_A$ ← PL1 ja PL2 U-ponteilla 0,25

$$1694 \text{ kN} / (16330\text{mm}^2 \times 355 \text{ N/mm}^2 / 1,0) \leq 0,25$$

$$1694 \text{ kN} / (16330\text{mm}^2 \times 355 \text{ N/mm}^2 / 1,0) \leq 0,25$$

$$1694 \text{ kN} / 5797 \text{ kN} \leq 0,25$$

0,29 \leq 0,25 ei toteudu eli puristusvoiman vaikutus tulee huomioida!

Ponttiseinän yhdistetyt rasitukset

Määritetään $M_{N,Rd}$

$$M_{N,Rd} = K \cdot M_{c,Rd} \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \right)$$

PL1 ja PL2 U-ponteilla kerroin on 1,33

Määritetään pontin $M_{c,Rd}$

$$M_{c,Rd} = W_{pl} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \rightarrow 2134 \text{ cm}^3 \cdot \frac{355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,0} \rightarrow 758 \text{ kNm}$$

Ponttiseinän yhdistetyt rasitukset

Määritetään $M_{N,Rd}$

$$M_{N,Rd} = 1,33 \cdot 758 \text{ kNm} \cdot \left(1 - \frac{1694000 \text{ N/mm}^2}{16300 \text{ mm}^2 \cdot 355 \text{ N/mm}^2} \right)$$

$$\rightarrow 1008 \text{ kNm} \cdot (1 - 0,29) \rightarrow 716 \text{ kNm}$$

Mitoittava taivutusmomentti M_{Ed}

$$M_{Ed} = \gamma_{MK} \times 1,35 \times M_{EK} \text{ kNm} \rightarrow 1,15 \times 1,35 \times 441 \text{ kNm} \rightarrow 685 \text{ kNm}$$

Ponttiseinän yhdistetyt rasitukset

Tarkistetaan $M_{N,Rd} \geq M_{ed}$

716 kNm \geq 685 kNm mitoitus ok!

Toinen kertaluku ja sen vaikutukset

- Tukiseinän siirtymä aiheuttaa tukiseinään lisätaivutusmomenttia ΔM_{Ek} , kun tukiseinä on ankkuroitu vinoilla ankkureilla.
- Yleensä voidaan olettaa, että taivutusmomentin määrä \rightarrow taipuman suuruus e_k kertaa ankkurin pystykomponentti N_{Ek} :
- $$\Delta M_{Ek} = \frac{N_{Ek} \cdot e_k}{k_t}$$
- k_t = ankkurin jakoväli

Toinen kertaluku ja sen vaikutukset

- Lasketaan siirtymistä aiheutuvat lisätaivutusmomentit tukitasoittain:

$$\Delta M_{Ek1} = 36 \text{ kN/m} \times 0,0023\text{m} = 0,083 \text{ kNm}$$

$$\Delta M_{Ek2} = 500 \text{ kN/m} \times 0,0159\text{m} = 7,95 \text{ kNm}$$

$$\Delta M_{Ek3} = 555 \text{ kN/m} \times 0,0451\text{m} = 25,03 \text{ kNm}$$

$$\Sigma \Delta M_{Ek} = \mathbf{33,06 \text{ kNm}}$$

Mitoittava taivutusmomentti on siis:

$$M_{Ed} = \gamma_{MK} \times 1,35 \times (M_{Ek} + \Sigma \Delta M_{Ek}) \rightarrow 1,15 \times 1,35 \times (441 \text{ kNm} + 33,06 \text{ kNm})$$
$$\rightarrow 736 \text{ kNm}$$

Ponttiseinän yhdistetyt rasitukset

Tarkistetaan $M_{N,Rd} \geq M_{Ed}$

716 kNm \geq 736 kNm **mitoitus ei ole ok!**