

## LIITTEET

Liite 1. SFS-EN 1993-1-1:n mukainen putken mitoitus esimerkki

1 (5)

### Taivutuskestävyys ja nurjahdus Eurocode 3:n mukaan

+

Materiaalin varmuusluku	$\gamma_{M0} := 1$
Materiaalin varmuusluku sauvan nurjahdukselle	$\gamma_{M1} := 1$
Putken halkaisija	$d := 406.4\text{mm}$
Seinämän paksuus	$t := 30\text{mm}$
Mitoitusvoimasuureet:	
Puristusvoima	$N_{Ed} := 1140\text{kN}$
Leikkausvoima	$V_{Ed} := 70\text{kN}$
Taivutusmomentti	$M_{y,Ed} := 180\text{kN}\cdot\text{m}$
	$M_{z,Ed} := 0$
Kimmoiteorian mukainen kriittinen nurjahdusvoima	$N_{cr} := 7606.071\text{kN}$
Materiaali: <b>16Mo3</b>	
Myötöraja eri lämpötiloissa	$f_{y20} := 270\text{MPa}$
	$f_{y100} := 243\text{MPa}$
SFS-EN 10216-2 s.32	$f_{y350} := 159\text{MPa}$

### Poikkileikkausluokan määrittäminen

$$\frac{d}{t} = 13.547 < 50 \cdot \frac{235\text{MPa}}{f_{y350}} = 73.899$$

$$\text{Poikkileikkausluokka} := \begin{cases} 1 & \text{if } \frac{d}{t} \leq 50 \cdot \frac{235\text{MPa}}{f_{y350}} \\ \text{"tarkista"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Poikkileikkausluokka = 1

### Poikkileikkauksen vetokestävyys

$$\text{Poikkipinta-ala} \quad A_{\text{net}} := \frac{\pi}{4} \cdot [d^2 - (d - 2t)^2] = 35474.864 \cdot \text{mm}^2$$

$$\text{Kestävyys vedolle} \quad N_{t,Rd} := \frac{A \cdot f_{y350}}{\gamma_{M0}} = 5640.503 \cdot \text{kN}$$

$$\text{Plastinen aksiaalivoiman kestävyys} \quad N_{p1,Rd} := N_{t,Rd}$$

**Puristuskestävyys ilman nurjardusta**

Keskeiselle tasaiselle puristukselle  $N_{c.Rd} := \frac{A \cdot f_{y350}}{\gamma_{M0}} = 5640.503 \cdot \text{kN}$

**Taivutuskestävyys**

Plastinen taivutusvastus  
(Plastic Section modulus)  $W_{pl} := \frac{d^3 - (d - 2t)^3}{6} = 4259308.8 \cdot \text{mm}^3$

Plastinen taivutuksen kestävyys  $M_{pl.Rd} := \frac{W_{pl} \cdot f_{y350}}{\gamma_{M0}} = 677.23 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

$$M_{c.Rd} := M_{pl.Rd}$$

**Kestävyys taivutuksen ja normaalivoiman vaikuttaessa**

Suhdeluku  $n := \frac{N_{Ed}}{N_{pl.Rd}} = 0.20211$

Taivutuskestävyydet,  
kun aksiaalisen voiman  
pienentävä vaikutus  
otetaan huomioon  $M_{N,y.Rd} := M_{pl.Rd} \cdot (1 - n^{1.7}) = 632.538 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

$$M_{N,z.Rd} := M_{N,y.Rd}$$

Ehto: 
$$\text{taivutuskestävyys} := \begin{cases} \text{"ok"} & \text{if } \frac{M_{y.Ed}}{M_{N,y.Rd}} \leq 1 \\ \text{"Breaks"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{taivutuskestävyys} = \text{"ok"}$$

Käyttöaste  $\frac{M_{y.Ed}}{M_{N,y.Rd}} = 0.2846$

**Taivutus kahden akselin suhteen**

Ehto:

$$\text{taivutuskestävyys} := \begin{cases} \text{"ok"} & \text{if } \left[ \left( \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right)^2 + \left( \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right)^2 \right] \leq 1 \\ \text{"Breaks"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{taivutuskestävyys} = \text{"ok"}$$

Käyttöaste

$$\left( \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right)^2 + \left( \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right)^2 = 0.081$$

**Plastinen leikkauskestävyys**

Leikkauspinta-ala

$$A_v := A \cdot \frac{2}{\pi} = 22584 \cdot \text{mm}^2$$

Plastinen leikkauskestävyys

$$V_{pl,Rd} := A_v \cdot \left( \frac{f_{y350}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \right) = 2073.182 \cdot \text{kN}$$

**Plastinen vääntökestävyys**

Vääntövastus

$$W_t := \frac{\pi \cdot [d^4 - (d - 2t)^4]}{16d} = 6222807.948 \cdot \text{mm}^3$$

Plastinen vääntökestävyys

$$M_{x,pl,Rd} := \frac{f_{y350}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \cdot W_t = 571.246 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

**Samanaikainen taivutus ja leikkaus**

Taivutuskestävyyttä pienennetään, jos  $V_{Ed} = 70 \cdot \text{kN} > 0.5V_{pl,Rd} = 1036.591 \cdot \text{kN}$

**Kestävyys voimasuureyhdistelmille, kun sauva voi nurjauttaa**

Kestävyksien ominaisarvot poikkileikkausluokassa 1

$$\text{Aksiaalivoiman kestävyys} \quad N_{Rk} := f_{y350} \cdot A = 5640.503 \cdot \text{kN}$$

$$\text{Taivutusmomentin kestävyys} \quad M_{y,Rk} := f_{y350} \cdot W_{pl} = 677.23 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Rk} := M_{y,Rk}$$

**Hoikkuus taivutusnurjahduksessa**

$$\text{Muunnettu hoikkuus} \quad \lambda := \sqrt{\frac{A \cdot f_{y350}}{N_{cr}}} = 0.861$$

$$\text{Epätarkkuustekijä } 0,21 \dots 0,13 \quad \alpha := 0.21$$

$$\text{Fii} \quad \Phi := 0.5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0.2) + \lambda^2] = 0.94$$

$$\text{Taivutusnurjahdukskestävyyden pienennystekijä} \quad X_y := \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = 0.759$$

$$X_z := X_y$$

$$\text{Kiepahdukskestävyyden pienennystekijä pyöreälle putkelle} \quad X_{LT} := 1$$

$$\text{Nurjahdukskestävyys pelkässä puristuksessa} \quad N_{b,Rd} := \frac{X_y \cdot A \cdot f_{y350}}{\gamma_{M1}} = 4280.921 \cdot \text{kN}$$

$$\text{Käyttöaste} \quad k_b := \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = 0.266$$

**Ekvivalentin momentin kertoimet****(Huom. Näitä yhtälöitä käytetään vain lineaariselle momenttipinnalle)**

Sauvanpäämomentit momenttipinnasta:

$$\text{Momentti putken päässä} \quad M_{32} := 170$$

$$\text{Momentti putken toisessa päässä} \quad M_{23} := -160$$

$$\text{Kerroin y-suunnassa} \quad \psi_y := \begin{cases} \frac{M_{23}}{M_{32}} & \text{if } |M_{23}| < |M_{32}| \\ \left( \frac{M_{32}}{M_{23}} \right) & \text{otherwise} \end{cases} = -0.941176$$

$$\text{Kerroin z-suunnassa} \quad \psi_z := 0$$

$$\text{Ekvivalentin momentin kertoimet} \quad C_{my} := \max(0.6 + 0.4 \cdot \psi_y, 0.4) = 0.4$$

$$C_{mz} := \max(0.6 + 0.4 \cdot \psi_z, 0.4) = 0.6$$

**Yhteisvaikutustekijät**

$$k_{yy} := C_{my} \cdot \left[ 1 + (\lambda - 0.2) \cdot \frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] = 0.47 \quad \text{Mutta enintään} \quad C_{my} \cdot \left( 1 + 0.8 \cdot \frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0.485$$

$$k_{yy} := \min \left[ C_{my} \cdot \left[ 1 + (\lambda - 0.2) \cdot \frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right], C_{my} \cdot \left( 1 + 0.8 \cdot \frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \right] = 0.47$$

$$k_{zz} := C_{mz} \cdot \left[ 1 + (\lambda - 0.2) \cdot \frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] = 0.706 \quad \text{Mutta enintään} \quad C_{my} \cdot \left( 1 + 0.8 \cdot \frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0.485$$

$$k_{zz} := \min \left[ C_{mz} \cdot \left[ 1 + (\lambda - 0.2) \cdot \frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right], C_{my} \cdot \left( 1 + 0.8 \cdot \frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \right] = 0.485$$

$$k_{yz} := 0.6k_{zz} = 0.291$$

$$k_{zy} := 0.6k_{yy} = 0.282$$

**Yhdistetyn taivutus ja puristusnurjahduskestävyyden käyttöasteet**

$$\text{Ehdon 1 käyttöaste: } k_{e1} := \frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_y \cdot Ed}{X_{LT} \cdot \frac{M_y \cdot Rk}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_z \cdot Ed}{\frac{M_z \cdot Rk}{\gamma_{M1}}} = 0.391$$

$$\text{Ehdon 2 käyttöaste: } k_{e2} := \frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_y \cdot Ed}{X_{LT} \cdot \frac{M_y \cdot Rk}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_z \cdot Ed}{\frac{M_z \cdot Rk}{\gamma_{M1}}} = 0.341$$