

Příloha E – Výpočty dimenzí prutů

Obsah

1	Návrh prutů ve střešní rovině, které se podílí na hlavním přenosu tahu (výpočty)	1
2	Návrh “ostatních” prutů ve střešní rovině (výpočty)	4
3	Návrh prostorových diagonál a prutu “17-18” (výpočty)	11
4	Návrh svislíc – sloupů (výpočty)	14

1 Návrh prutů ve střešní rovině, které se podílí na hlavním přenosu tahu (výpočty)

Postupy a vzorce jsou převzaty z [6] - ČSN EN 1993-1-1: Navrhování ocelových konstrukcí – Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.

Průřezové charakteristiky jsou převzaty z [13] - *Ocelové konstrukce - tabulky.*

A. Pruty o rozponech 4 m a 5,7 m:

I. Tah s vlivem (malého) ohybu:

Ve střešních skupinách (dimenzích):

1. Skupina (tah) $N_{Ed} = 2827 \text{ kN}$
2. Skupina (tah) $N_{Ed} = 1350 \text{ kN}$
3. Skupina (tah) $N_{Ed} = 302 \text{ kN}$

Pro všechny skupiny: $M_{Ed} = 9 \text{ kNm}$

Voleny budou pružky třídy 1, nejhůře 2.

Plastická únosnost neoslabeného průřezu v tahu je:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$

Z toho potřebná plocha:

$$A_{req} = \frac{N_{Ed} \gamma_{M0}}{f_y}$$

kde γ_{M0} – dílčí součinitel spolehlivosti materiálu je $\gamma_{M0} = 1,0$
mez kluzu $f_y = 355 \text{ MPa}$

Pro jednotlivé skupiny jsou potřebné plochy:

1. Skupina $A_{req} = 7963 \text{ mm}^2$
2. Skupina $A_{req} = 3803 \text{ mm}^2$

3. Skupina $A_{req} = 851 \text{ mm}^2$

Pruty jsou na prostý tah navrženy z následujících profilů:

1. Skupina	120 x 220 x 14,2 mm	$A = 8630 \text{ mm}^2$
2. Skupina	100 x 200 x 8 mm	$A = 4480 \text{ mm}^2$
3. Skupina	80 x 140 x 4,0 mm	$A = 1680 \text{ mm}^2$

Plastické únosnosti těchto průřezů v prostém tahu a koeficient "n" (tj. využití průřezu na osovou sílu) jsou:

1. Skupina	$N_{pl,Rd} = 3064 \text{ kN}$	$n = N_{Ed}/N_{pl,Rd} = 0,92$
2. Skupina	$N_{pl,Rd} = 1590 \text{ kN}$	$n = N_{Ed}/N_{pl,Rd} = 0,85$
3. Skupina	$N_{pl,Rd} = 596 \text{ kN}$	$n = N_{Ed}/N_{pl,Rd} = 0,51$

Následuje výpočet vlivu ohybu. Ten je spočítáný **detailně pro třetí skupinu**. Pro další jsou pouze tabulkově uvedeny mezihodnoty.

Hledaný je tzv. "**Návrhový plastický moment únosnosti, redukovaný v důsledku působení osové síly**". V úvodu zmíněné normě se pro pravoúhlé duté konstrukční průřezy postupuje podle vzorce (6.39):

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd}(1 - n)/(1 - 0,5a_w)$$

Plastický moment únosnosti se stanoví (pro průřezy třídy 1 a 2) ze vztahu:

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{77 \cdot 10^3 \cdot 355}{1,0} = 27,3 \text{ kNm}$$

součinitel n (využití) byl vypočítán dříve; $n = 0,51$

součinitel a_w závisí na geometrii průřezu; pro duté průřezy:

$$a_w = (A - 2bt)/A = (1680 - 2 \cdot 80 \cdot 4)/1680 = 0,81$$

Redukovaná momentová únosnost:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd}(1 - n)/(1 - 0,5a_w)$$

$$M_{N,y,Rd} = 27,3 (1 - 0,51)/(1 - 0,5 \cdot 0,810)$$

$$M_{N,y,Rd} = 22,5 \text{ kNm}$$

zároveň platí, že tato únosnost je menší než neredukovaná:

$$M_{N,y,Rd} < M_{pl,y,Rd} = 27,3 \text{ kNm}$$

Přehled redukovaných momentových únosností pro všechny skupiny je následující (mezivýpočty v tabulce E1):

1. Skupina	$M_{N,y,Rd} = 27,8 \text{ kNm}$
2. Skupina	$M_{N,y,Rd} = 25,5 \text{ kNm}$
3. Skupina	$M_{N,y,Rd} = 22,5 \text{ kNm}$

Skupina	Průřez	n	W _{pl,y} [10E+3 mm ³]	M _{pl,y,Rd} kNm	A mm ²	b mm	t mm	aw	M _{n,y,Rd} kNm	< M _{pl,y,Rd} ?
1	120 x 220 x 14,2	0.92	586	208.0	8630	120	14.2	0.803	27.8	ANO
2	100 x 200 x 8	0.85	282	100.1	4480	100	8	0.821	25.5	ANO
3	80 x 140 x 4	0.51	77	27.3	1680	80	4	0.810	22.5	ANO

Tabulka E1 - Výpočet redukovaných únosností pro všechny tři skupiny

POSOUZENÍ:

- Skupina 120 x 220 x 14,2 mm $M_{N,y,Rd} = 27,8 \text{ kNm}$ > $M_{Ed} = 9 \text{ kNm}$
- Skupina 100 x 200 x 8 mm $M_{N,y,Rd} = 25,5 \text{ kNm}$ > $M_{Ed} = 9 \text{ kNm}$
- Skupina 80 x 140 x 4 mm $M_{N,y,Rd} = 22,5 \text{ kNm}$ > $M_{Ed} = 9 \text{ kNm}$

VŠECHNY PRŮŘEZY VYHOVÍ.

B. Prut "51-27" o rozponu 8 m:

I. Tah s vlivem (malého) ohybu:

$$N_{Ed} = 1543 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 42 \text{ kNm}$$

Postup je zcela analogický jako za "a)". Je proto uveden stručněji:

$$A_{req} = \frac{N_{Ed} \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{1\,543\,000 \cdot 1,0}{355} = 4346 \text{ mm}^2$$

Návrh:

$$100 \times 200 \times 10 \text{ mm} \quad A = 5490 \text{ mm}^2 \quad N_{pl,Rd} = 1949 \text{ kN} \quad n = N_{Ed}/N_{pl,Rd} = 0,79$$

Dále tabulkově (tabulka E2):

Průřez	n	W _{pl,y} [10E+3 mm ³]	M _{pl,y,Rd} kNm	A mm ²	b mm	t mm	aw	M _{n,y,Rd} kNm	< M _{pl,y,Rd} ?
100 x 200 x 10	0.79	341	121.1	5490	100	10	0.818	43.0	ANO

Tabulka E2 - Výpočet redukované únosnosti

Tedy:

$$M_{N,y,Rd} = 43 \text{ kNm}$$

POSOUZENÍ:

$$100 \times 200 \times 10 \text{ mm}: \quad M_{N,y,Rd} = 43 \text{ kNm} \quad > \quad M_{Ed} = 42 \text{ kNm}$$

PRŮŘEZ VYHOVÍ.

2 Návrh "ostatních" prutů ve střešní rovině (výpočty)

Postupy a vzorce jsou převzaty z [6] - ČSN EN 1993-1-1: Navrhování ocelových konstrukcí – Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.

Průřezové charakteristiky jsou převzaty z [13] - Ocelové konstrukce - tabulky.

A. Pruty o rozponu 4 m:

I. **Ohyb s vlivem tlaku (prostá únosnost - nestabilitní):**

$$M_{Ed} = 6 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 9 \text{ kN}$$

Odhad profilu je proveden podle potřebného průřezového modulu pro prostou únosnost v ohybu:

$$W_{pl,y,req} = \frac{M_{Ed} \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{6 \cdot 10^6 \cdot 1,0}{355} = 16,9 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Dále je postup analogický jako při návrhu na tah s vlivem ohybu, který byl proveden pro "Pruty ve střešní rovině, které se podílí na hlavním přenosu tahu"

Ve stručnosti je tento výpočet následující:

Nejprve je potřeba stanovit skutečnou plastickou momentovou únosnost $M_{pl,y,Rd}$, využití průřezu pro osovou sílu (součinitel "n") a součinitel "aw" dle geometrie průřezu. Z těchto veličin dále dopočítat "**Návrhový plastický moment únosnosti, redukovaný v důsledku působení osově síly**" a posoudit, zda je větší než návrhový moment od zatížení.

Návrh:

60 x 60 x 4 mm

$$W_{pl,y} = 18,3 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$A = 879 \text{ mm}^2 \quad M_{pl,y,Rd} = 6,5 \text{ kNm} \quad N_{pl,Rd} = 312 \text{ kN} \quad n = N_{Ed}/N_{pl,Rd} = 0,03$$

Dále tabulkově (tabulka E3):

Průřez	n	$W_{pl,y}$ [10E+3 mm ³]	$M_{pl,y,Rd}$ kNm	A mm ²	b mm	t mm	aw	$M_{n,y,Rd}$ kNm	< $M_{pl,y,Rd}$?
60 x 60 x 4	0.03	18.3	6.5	879	60	4	0.727	9.9	NE

Tabulka E3 - Výpočet redukované únosnosti

Z tabulky je vidět, že redukovaný moment únosnosti vychází teoreticky větší než prostý, takže je brána hodnota prosté momentové únosnosti:

Tedy:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 6,5 \text{ kNm}$$

POSOUZENÍ:

$$60 \times 60 \times 4 \text{ mm} \quad M_{N,y,Rd} = 6,5 \text{ kNm} \quad > \quad M_{Ed} = 6 \text{ kNm}$$

PRŮŘEZ VYHOVÍ.

II. Ověření smykové únosnosti:

$$V_{ed} = 5 \text{ kN}$$

Návrhová plastická únosnost průřezu je:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v(f_y/\sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{879 \cdot (355/\sqrt{3})}{1,0} = 180 \text{ kN}$$

což je alespoň dvakrát větší než hodnota smykové síly:

POSOUZENÍ:

$$60 \times 60 \times 4 \text{ mm} \quad V_{pl,Rd} = 180 \text{ kN} \quad > \quad 2 \cdot V_{Ed} = 2 \cdot 5 = 10 \text{ kN}$$

VLIV SMYKOVÉ SÍLY LZE ZANEDBAT.

III. Rovinný vzpěr:

$$N_{Ed} = 9 \text{ kN}$$

Detailní výpočet na rovinný vzpěr je proveden pro prostorové diagonály (viz "Návrh prostorových diagonál a prutu 17-18").

Aby se zde výpočet zcela neopakoval, je pouze stručně uveden v tabulce:

N _{Ed} [kN]	9
Návrh	60 x 60 x 4
A [mm ²]	879
L _{cr} [m]	4
i [mm]	22.7
λ-poměrná	2.31
φ	3.38
χ	0.17
N _{b,Rd} [kN]	53

Tabulka E4 - Výpočet vzpěrné únosnosti

Návrhová únosnost je (z tabulky): $N_{b,Rd} = 53 \text{ kN}$

POSOUZENÍ:

$$60 \times 60 \times 4 \text{ mm} \quad N_{b,Rd} = 53 \text{ kN} \quad > \quad N_{Ed} = 9 \text{ kN}$$

PRŮŘEZ VYHOVÍ

IV. Interakce vzpěru a klopení (resp. vzpěru a momentu):

V úvodu citovaná norma uvádí, že pruty namáhané kombinací ohybu a osového tlaku mají splňovat podmínky dané vzorcí „(6.61)“ a „(6.62)“:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1$$

Pro tento konkrétní případ dochází k následujícím úpravám:

- K ohybu kolem osy „z“ nedochází, proto poslední členy v obou vzorcích vypadávají
- Výraz " $\Delta M_{y,Ed}$ " se týká pouze průřezů 4. třídy
- Čtvercové duté průřezy nejsou citlivé na klopení, takže $\chi_{LT} = 1,0$
- Oba směry vybočení pro vzpěr jsou pro posuzovaný průřez ekvivalentní, takže $\chi_y = \chi_z = \chi$

Po těchto úpravách získávají vzorce tvar:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}} \leq 1$$

Dále platí, že při výpočtu součinitelů interakce podle alternativy "B" (Příloha B v úvodu citované normě), lze pro pravoúhlé duté průřezy (tj. nenáchylné ke zkroucení) součinitel interakce k_{zy} získat přímo z druhého součinitele interakce jako: $k_{zy} = 0,6 k_{yy}$. Z toho vyplývá, že první (upravený) vzorec je méně příznivý pro posouzení.

Stačí tedy prokázat, že:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}} \leq 1$$

Respektive:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \leq 1$$

Hodnoty vzpěrnostního součinitele, účinků zatížení a únosností jsou pro stávající průřez 60 x 60 x 4 mm již známy a jsou následující:

$$\chi = 0,17$$

$$N_{Ed} = 9 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 312 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 6 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 6,5 \text{ kNm}$$

Pozn.: V tabulce B.3 v úvodu citované normě je uvedeno, že pro třídu průřezu 1 se má použít plastická momentová únosnost

Pro výpočet součinitele interakce k_{yy} je potřeba znát hodnotu C_{my} , která se získá z tabulky B.3 (v úvodu citované normě) dle momentového obrazce ve třetím řádku. Krajiní momenty (v tabulce značené M_h) lze v případě zkoumaných prutů považovat za stejné a to nulové, z čehož vyplývá, že $\psi = 1$ a $\alpha_h = 0$.

Pro tyto hodnoty ψ a α je:

$$C_{my} = 0,95 + 0,05\alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0 = \mathbf{0,95}$$

Pozn.: Výpočet C_{my} je proveden podle vzorce v buňce pro "rovnoměrné zatížení". Na prutech se vyskytuje rovnoměrné i soustředěné, nicméně tento vzorec dává vyšší hodnotu C_{my} , což je pro posouzení interakce méně příznivé.

Součinitel interakce:

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}} \right) \leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,95 \cdot \left(1 + (2,31 - 0,2) \frac{9}{0,17 \cdot 312} \right) \leq 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \frac{9}{0,17 \cdot 312} \right)$$

$$k_{yy} = 1,23 \leq 1,08 \quad \text{což NEPLATÍ, takže:}$$

$$k_{yy} = \mathbf{1,08}$$

POSOUZENÍ

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{9}{0,17 \cdot 312} + 1,08 \frac{6}{6,5} \leq 1$$

$$0,17 + 0,997 \not\leq 1$$

PRŮŘEZ 60 x 60 x 4 mm NEVYHOVÍ.

Zvýšena bude momentová únosnost.

Vyjádřením ze vzorce pro posouzení lze odhadnout potřebnou hodnotu únosnosti, resp. průřezového modulu (při zachování hodnoty N_{Rd} , která se zvýší - což je příznivé) :

$$W_{pl,y,req} \geq \frac{k_{yy} M_{y,Ed}}{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}}\right) f_y} = \frac{1,08 \cdot 6 \cdot 10^6}{\left(1 - \frac{9}{0,17 \cdot 312}\right) 355} = 21,9 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Návrh: 70 x 70 x 4

$$W_{pl,y} = 25,5 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \quad M_{pl,y,Rd} = 9,05 \text{ kNm} \quad N_{Rd} = 369 \text{ kN}$$

POSOUZENÍ

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{9}{0,17 \cdot 369} + 1,08 \frac{6}{9,05} \leq 1$$

$$0,14 + 0,61 \leq 1$$

$$0,75 \leq 1$$

PRŮŘEZ 70 x 70 x 4 mm VYHOVÍ.

Pozn.: úprava průřezu z "60 x 60 x 4" na "70 x 70 x 4" je příznivá pro všechny tři předcházející posouzení (ohyb + tlak, smyk, vzpěr), takže je není potřeba provádět znovu.

B. Pruty o rozponu 8 m:

Výpočty zcela analogické jako za "A." Ve stručné formě:

I. Ohyb s vlivem tlaku (prostá únosnost - nestabilitní):

$$M_{Ed} = 34 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 8 \text{ kN}$$

Odhad modulu:

$$W_{pl,y,req} = \frac{M_{Ed} \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{34 \cdot 10^6 \cdot 1,0}{355} = 95,8 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Návrh:

120 x 120 x 6,3 mm

$$W_{pl,y} = 120 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \quad M_{pl,y,Rd} = 42,6 \text{ kNm}$$

$$A = 2820 \text{ mm}^2 \quad N_{pl,Rd} = 1001 \text{ kN}$$

Tlaková únosnost je mnohonásobně větší než návrhová tlaková síla, z čehož vyplývá, že:

$$n = N_{Ed}/N_{pl,Rd} \approx 0$$

čili vliv osové síly je zanedbatelný a stačí posoudit prostou (neredukovanou) momentovou únosnost.

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 42,6 \text{ kNm}$$

POSOUZENÍ:

$$120 \times 120 \times 6,3 \text{ mm} \quad M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 42,6 \text{ kNm} \quad > \quad M_{Ed} = 34 \text{ kNm}$$

PRŮŘEZ VYHOVÍ.

II. Ověření smykové únosnosti:

$$V_{ed} = 15 \text{ kN}$$

Návrhová plastická únosnost průřezu je:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v(f_y/\sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{2820 \cdot (355/\sqrt{3})}{1,0} = 578 \text{ kN}$$

což je alespoň dvakrát větší než hodnota smykové síly:

POSOUZENÍ:

$$120 \times 120 \times 6,3 \text{ mm} \quad V_{pl,Rd} = 578 \text{ kN} \quad > \quad 2 \cdot V_{Ed} = 2 \cdot 15 = 30 \text{ kN}$$

VLIV SMYKOVÉ SÍLY LZE ZANEDBAT.

III. Rovinný vzpěr:

$$N_{Ed} = 8 \text{ kN}$$

Výpočet vzpěrné únosnosti v tabulce E5:

N _{Ed} [kN]	8
Návrh	120 x 120 x 6,3
A [mm ²]	2820
L _{cr} [m]	8
i [mm]	46.2
λ-poměrná	2.27
φ	3.29
χ	0.18
N _{b,Rd} [kN]	177

Tabulka E5 - Výpočet vzpěrné únosnosti

Návrhová únosnost je (z tabulky): $N_{b,Rd} = 177 \text{ kN}$

POSOUZENÍ:

$$120 \times 120 \times 6,3 \text{ mm} \quad N_{b,Rd} = 177 \text{ kN} \quad > \quad N_{Ed} = 8 \text{ kN}$$

PRŮŘEZ VYHOVÍ

IV. Interakce vzpěru a klopení (resp. vzpěru a momentu):

Hodnota vzpěrnostního součinitele, účinků zatížení a únosností pro 120 x 120 x 6,3 mm:

$$\chi = 0,18$$

$$N_{Ed} = 8 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 1001 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 34 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 42,6 \text{ kNm}$$

$$C_{my} = 0,95 \text{ (zůstává)}$$

Součinitel interakce:

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}} \right) \leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,95 \cdot \left(1 + (2,27 - 0,2) \frac{8}{0,18 \cdot 1001} \right) \leq 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \frac{8}{0,18 \cdot 1001} \right)$$

$$k_{yy} = 1,04 \leq 0,98 \quad \text{což NEPLATÍ, takže:}$$

$$k_{yy} = 0,98$$

POSOUZENÍ

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{8}{0,18 \cdot 1001} + 0,98 \frac{34}{42,6} \leq 1$$

$$0,04 + 0,78 \leq 1$$

PRŮŘEZ 120 x 120 x 6,3 mm VYHOVÍ.

3 Návrh prostorových diagonál a prutu "17-18" (výpočty)

I. Rovinný vzpěr:

Voleny jsou čtvercové duté průřezy.

Tři skupiny (tlak):

1. skupina $N_{Ed} = 2109 \text{ kN}$
2. skupina $N_{Ed} = 1516 \text{ kN}$
3. skupina $N_{Ed} = 469 \text{ kN}$

Návrhová vzpěrná únosnost tlačенého prutu se určí z výrazu (pro průřezy třídy 1, 2, 3):

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$$

kde součinitel vzpěrnosti je pro oba směry vybočení stejný.

Potřebná plocha:

$$A_{req} = \frac{N_{Ed} \gamma_{M1}}{\chi f_y}$$

Kde součinitel χ je odhadnut různě pro jednotlivé skupiny podle očekávané štíhlosti (méně namáhané pruty budou štíhlejší):

1. Skupina $\chi = 0,6$ (odhad)
2. Skupina $\chi = 0,5$ (odhad)
3. Skupina $\chi = 0,4$ (odhad)

Potřebné plochy jsou potom:

1. Skupina $A_{req} = 9901 \text{ mm}^2$
2. Skupina $A_{req} = 8541 \text{ mm}^2$
3. Skupina $A_{req} = 3444 \text{ mm}^2$

Návrh profilů:

- | | | |
|------------|---------------------|----------------------------|
| 1. Skupina | 200 x 200 x 16 mm | $A = 11\,500 \text{ mm}^2$ |
| 2. Skupina | 180 x 180 x 14,2 mm | $A = 9200 \text{ mm}^2$ |
| 3. Skupina | 120 x 120 x 8,0 mm | $A = 3520 \text{ mm}^2$ |

Následuje výpočet součinitele χ . Ten je spočítáný **detailně pro třetí skupinu**. Pro další jsou pouze tabulkově uvedeny mezihodnoty.

Poměrná štíhlost (pro průřezy třídy 1, 2, 3):

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i \lambda_1} = \frac{L_{cr}}{i 93,9 \varepsilon} = \frac{L_{cr}}{i 93,9 \sqrt{\frac{235}{f_y}}}$$

kde:

i je poloměr setrvačnosti průřezu: $i = 45,5 \text{ mm}$

L_{cr} je vzpěrná délka $L_{cr} = 6,9 \text{ m}$

Pozn.: Vzpěrná délka je pro oba směry vybočení stejná (čtvercový průřez a oboustranné kloubové uložení). Pro zjednodušení brána pro nejdelší diagonálu (6,9 m).

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i \sqrt{\frac{235}{f_y}}} = \frac{6900}{45,5 \cdot 93,9 \sqrt{\frac{235}{355}}} = \mathbf{1,98}$$

Pro duté, za tepla válcované průřezy a ocel třídy S 355 se uvažuje **vzpěrná křivka "a"**. Součinitel imperfekce je pro tuto křivku roven: $\alpha = 0,21$.

Součinitel ϕ :

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,21(1,98 - 0,2) + 1,98^2] = 2,66$$

A součinitel vzpěrnosti:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,66 + \sqrt{2,66^2 - 1,98^2}} = \mathbf{0,23}$$

Vzhledem k prvotnímu odhadu $\chi = 0,4$ bude **profil zvětšen na: 140 x 140 x 8,8 mm**

Po přepočítání jsou mezihodnoty:

$$A = 4540 \text{ mm}^2 \quad i = 53,3 \text{ mm} \quad \bar{\lambda} = 1,69 \quad \phi = 2,09 \quad \chi = \mathbf{0,30}$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,30 \cdot 4540 \cdot 355}{1,0} = \mathbf{485 \text{ kN}}$$

Přehled vzpěrných únosností pro všechny skupiny je následující (mezivýpočty v tabulce E6):

1. Skupina $N_{b,Rd} = \mathbf{2136 \text{ kN}}$
2. Skupina $N_{b,Rd} = \mathbf{1760 \text{ kN}}$
3. Skupina $N_{b,Rd} = \mathbf{485 \text{ kN}}$

Skupina	1	2	3
N _{Ed} [kN]	2109	1516	469
Odhad χ	0.6	0.5	0.4
1. Návrh	200 x 200 x 16	180 x 180 x 14,2	120 x 120 x 8
A [mm ²]	11500	9200	3520
L _{cr} [m]	6.9	6.9	6.9
i [mm]	74.6	67.2	45.5
λ -poměrná	1.21	1.34	1.98
ϕ	1.34	1.52	2.66
χ	0.52	0.45	0.23
N _{b,Rd} [kN] (1. Návrh)	2136	1458	282
Úprava návrhu	není třeba	200 x 200 x 12,5	140 x 140 x 8,8
A [mm ²]		9210	4540
L _{cr} [m]		6.9	6.9
i [mm]		76.1	53.3
λ -poměrná		1.19	1.69
ϕ		1.31	2.09
χ		0.54	0.30
N _{b,Rd} [kN] (výsledná)	2136	1760	485

Tabulka E6 - Výpočet vzpěrných únosností pro všechny tři skupiny

POSOUZENÍ:

- | | | | |
|------------------------|------------------------------|---|----------------------------|
| 1. 200 x 200 x 16 mm | $N_{b,Rd} = 2136 \text{ kN}$ | > | $N_{Ed} = 2109 \text{ kN}$ |
| 2. 200 x 200 x 12,5 mm | $N_{b,Rd} = 1760 \text{ kN}$ | > | $N_{Ed} = 1516 \text{ kN}$ |
| 3. 140 x 140 x 8,8 mm | $N_{b,Rd} = 485 \text{ kN}$ | > | $N_{Ed} = 469 \text{ kN}$ |

VŠECHNY PRŮŘEZY VYHOVÍ.

4 Návrh svislic – sloupů (výpočty)

I. Rovinný vzpěr:

V jedné dimenzi.

$$N_{ed} = 45 \text{ kN}$$

Detailní výpočet rovinného vzpěru byl proveden pro prostorové diagonály (viz "Navrh prostorových diagonál a prutu 17-18").

V této kapitole je výpočet ve stručnosti:

Potřebná plocha (odhad $\chi = 0,6$)

$$A_{req} = \frac{N_{Ed} \gamma_{M1}}{\chi f_y} = \frac{45\,000 \cdot 1,0}{0,8 \cdot 355} = 158 \text{ mm}^2$$

$$\text{Návrh: } 60 \times 60 \times 4 \quad A = 879 \text{ mm}^2$$

Výpočet vzpěrné únosnosti v tabulce E7:

NEd [kN]	45
Návrh	60 x 60 x 4
A [mm ²]	879
Lcr [m]	4
i [mm]	22.7
λ -poměrná	2.31
ϕ	3.38
χ	0.17
Nb,Rd [kN]	53

Tabulka E7 - Výpočet vzpěrné únosnosti

Návrhová únosnost je (z tabulky): $N_{b,Rd} = 53 \text{ kN}$

POSOUZENÍ:

$$60 \times 60 \times 4 \text{ mm} \quad N_{b,Rd} = 53 \text{ kN} \quad > \quad N_{Ed} = 45 \text{ kN}$$

PRŮŘEZ VYHOVÍ.