České vysoké učení technické v Praze
Stavební fakulta
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Konstrukce bytového domu ze za studena tvarovaných ocelových profilů

Statický výpočet

Vypracoval:	**Bc. Ladislav Popovič**
Specializace:	Konstrukce a dopravní stavby
Studijní program:	Stavební inženýrství
Forma studia:	Prezenční
Vedoucí práce:	prof. Ing. Michal Jandera, Ph.D.

1. Úvod

Předmětem tohoto výpočtu je statické posouzení konstrukce novostavby bytového domu BD Ovčáry.

Tento výpočet vychází z architektonické studie BD Ovčáry.

Budova má půdorysný pravidelný pravoúhlý tvar s celkovými rozměry 16,760 x 11,555 m. Má štyři nadzemní podlaží. Objekt nebude podsklepen. Zastřešení objektu bude plochou střechou s atikou o výšce 0,5 m.
Výška střechy bude 13,184 m. Konstrukce objektu je navržena jako montovaná s konstrukcí z tenkostěnných profilů kombinována s válcovanými profily z těžké oceli. Využití objektu se předpokládá pro bydlení.

Konstrukci bytového domu lze charakterizovat jako skelet z tenkostěnných ocelových profilů. Nosné stěny jsou primárně tvořeny sloupky z C profilů. Střešní a stropní konstrukce je rovněž navržena z tenkostěnných profilů. Střešní konstrukce je rovněž navržena z tenkostěnných profilů ve formě vazníků z C profilů a stropní konstrukce z C nosníků v osové vzdálenosti 625 mm. Založení bude plošné na základových pasech.

Svislé nosné konstrukce jsou tvořeny stěnami z rámů z tenkostěnných profilů. Obvodové stěny a vnitřní nosné stěny jsou tvořeny profily C150/45-1,6. Sloupky stěn jsou v osové vzdálenosti 625 mm a ve třetinách výšky musí být zajištěny paždíkem. Překlady nad otvory jsou řešeny příhradovými nosníky ze stejných profilů. V místě zvýšeného namáhaní jsou navrženy sloupky stěn zdvojené, případně navrženy z uzavřetých profilů (jekl) a profilu HEA.
Ztužení v rovině stěn je navženo pomocí táhel z pasů 70x1,2 mm.

Konstrukci stropů tvoří nosníky z profilů C300-2,0 a v místě zvýšeného namáhání zdvojené nosníky 2x C300-2,0 v osové vzdálenosti 625 mm.
Stropy na chodbě jsou tvořeny stropnicemi z profilů C150/45 - 1,6 a jsou ve třetinách rozpětí zajištěny paždíky.
Tuhá stropní rovina je zajištěna záklopem nosníků deskami na bázi dřeva.

Konstrukci střechy tvoří příhradové nosníky s pasy z profilů C100/41,3 - 1,6 o celkové výšce 300 mm, v osové vzdálenosti 625 mm. Tuhá střešní rovina je zajištěna záklopem nosníků deskami na bázi dřeva.

Spoje tenkostěnných profilů jsou řešeny pomocí samořezných šroubů. Kotvení k železobetonovým konstrukcím je pomocí mechanických nebo chemických kotev. Desky opláštění budou šroubovány do tenkostěnných profilů.

2. Podklady, normy a software

- Architektonická studie BD Ovčáry
- Podklady dodavatele systému tenkostěnných konstrukcí
- Sortiment a charakteristiky dodavatele kotev
- Sortiment dodavatele válcovaných profilů
- Design of Cold-formed Steel Structures: Eurocode 3: Design of Steel Structures - kniha, Dan Dubina, Raffaele Landolfo, Viorel Ungureanu
- Ocelové konstrukce - tabulky, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Ing. Zdeněk Sokol Ph.D., Prof. Ing. František Wald, CSc., 2019

- ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1991-1-1: Zatížení konstrukcí - Objemová tíha, vlastní tíha a užitná zatížení
- ČSN EN 1991-1-3: Zatížení konstrukcí - Zatížení sněhem
- ČSN EN 1991-1-4: Zatížení konstrukcí - Zatížení větrem
- ČSN EN 1993-1-1: Navrhování ocelových konstrukcí - Obecná pravidla pro pozemní stavby
- ČSN EN 1993-1-3: Navrhování ocelových konstrukcí - Doplňující pravidla pro tenkostěnné za studena tvarované profily
- ČSN EN 1993-1-5: Navrhování ocelových konstrukcí - Boulení stěn
- ČSN EN 1993-1-8: Navrhování ocelových konstrukcí - Navrhování styčníků
- ČSN EN 1995-1-1: Navrhování dřevěných konstrukcí - Obecná pravidla

- MS Office 2021 (Word,Excel)
- AutoCad 2024 (CAD software)
- Dlubal RFEM 5.31 (analýza konstrukce)
- Vertex BD 2023 29.0 (konstrukční model)
- Dlubal SHAPE-THIN 9.10 (tvorba tenkostěnných průřezů)

3. Výpočet zatížení konstrukce

3.1. Stálé zatížení a vlastní tíha

3.1.1.Střecha

Materiál	Tloušťka	Obj. tíha	Zatížení
	mm	kN/m^3	kN/m^2
PVC Folie	-	-	0,02
Separační textilie	-	-	0,01
EPS - spádové klíny	80	0,3	0,02
EPS - spádové klíny	140	0,3	0,04
SBS asfaltový pás	-	-	0,05
Penetrace	-	-	0,01
OSB desky 2x18mm	36	6,5	0,23
Minerální izolace mezi profily	150	0,3	0,05
Parozábrana	-	-	0,01
SDK deska Knauf RED	12,5	9	0,11
Minerální izolace	40	0,3	0,01
SDK rošt	-	-	0,05
SDK deska Knauf RED	12,5	9	0,11
Celkem	$f_{g,1,k}$ =		**0,73**

Zatížení nosníku dle zatěžovací šířky "s": $f_{g,k} = s \cdot f_{g,1,k}$

Zatěžovací šířka	
mm	kN/m
312,5	**0,23**
625,0	**0,46**

3.1.2.Stropy 1.NP, 2.NP, 3.NP

Materiál	Tloušťka	Obj. tíha	Zatížení
	mm	kN/m^3	kN/m^2
Keramická dlažba	8	24	0,19
Lepidlo	7	24	0,17
Hydroizolační nátěr	-	-	0,01
Anhydrit	65	22	1,43
Deska podlahového vytápění	30	0,4	0,01
Minerální izolace	30	0,5	0,02
OSB desky 2x18 mm	36	6,5	0,23
Minerální izolace mezi profily	150	0,3	0,05
SDK deska Knauf RED	12,5	9	0,11
Minerální izolace	40	0,3	0,01
SDK rošt	-	-	0,05
SDK deska Knauf RED	12,5	9	0,11
Celkem	$f_{g,1,k}$ =		**2,39**

Zatížení nosníku dle zatěžovací šířky "s": $f_{g,k} = s \cdot f_{g,1,k}$

Zatěžovací šířka	Zatížení
mm	kN/m
312,5	**0,75**
625,0	**1,50**

3.1.3.Obvodové stěny

Materiál	Tloušťka	Obj. tíha	Zatížení
	mm	kN/m^3	kN/m^2
Tenkovrstvá omítka	5	24	0,12
Penetrace	-	-	0,01
Lepidlo s perlinkou	5	24	0,12
Minerální fasádní izolace	180	1	0,18
Lepící hmota	5	24	0,12
Sádrovláknitá deska	12,5	12,5	0,16
Minerální izolace	150	0,3	0,05
SDK deska Knauf RED	12,5	9	0,11
Parozábrana	-	-	0,01
Konstrukce předstěny	-	-	0,05
SDK deska Knauf Diamant	12,5	10,5	0,13
Sádrová omítka	10	10	0,10
Celkem	$f_{g,1,k}$ =		**1,16**

Zatížení sloupku dle zatěžovací šířky "s": $f_{g,k} = s \cdot f_{g,1,k}$

		Zatěžovací šířka mm	Zatížení kN/m
		312,5	**0,36**
		625,0	**0,72**
otvor šíře	900 mm	762,5	**0,88**
otvor šíře	1200 mm	912,5	**1,05**
otvor šíře	1600 mm	1112,5	**1,28**

3.1.4.Mezibytové stěny

Materiál	Tloušťka	Obj. tíha	Zatížení
	mm	kN/m^3	kN/m^2
Sádrová omítka	10	10	0,10
SDK deska Knauf Diamant	12,5	10,5	0,13
Konstrukce předstěny	-	-	0,05
SDK deska Knauf RED	15	9	0,14
Minerální izolace	100	0,3	0,03
Dilatace			
Minerální izolace	100	0,3	0,03
SDK deska Knauf RED	15	9	0,14
Konstrukce předstěny	-	-	0,05
SDK deska Knauf Diamant	12,5	10,5	0,13
Sádrová omítka	10	10	0,10
Celkem	$f_{g,1,k}$ =		**0,89**

Zatížení sloupku dle zatěžovací šířky "s": $f_{g,k} = s \cdot f_{g,1,k}$

Zatěžovací šířka mm	Zatížení kN/m
312,5	**0,28**
625,0	**0,56**

Výška příčky h = 2,8 m

Zatížení podélného nosníku f_k = 2,5 kN/m

Zatížení příčného nosníku F_k = 1,57 kN

3.1.5. Schodiště

Materiál	Tloušťka	Obj. tíha	Zatížení
	mm	kN/m^3	kN/m^2
Betonové stupně	100	25	2,50
Keramická dlažba	8	24	0,19
Lepidlo	7	24	0,17
Celkem	$f_{g,1,k}$ =		**2,86**

Zatížení nosníku dle zatěžovací šířky "s": $f_{g,k} = s \cdot f_{g,1,k}$

Zatěžovací šířka	Zatížení
mm	kN/m
600	**1,72**
312,5	**0,89**

3.1.6.Vnitřní příčky

Materiál	Tloušťka	Obj. tíha	Zatížení
	mm	kN/m^3	kN/m^2
Sádrová omítka	10	10	0,10
SDK deska Knauf Diamant	12,5	10,5	0,13
Minerální izolace	100	0,3	0,03
SDK deska Knauf Diamant	12,5	10,5	0,13
Sádrová omítka	10	10	0,10
Celkem	$f_{g,1,k}$ =		**0,49**

Zatížení sloupku dle zatěžovací šířky "s": $f_{g,k} = s \cdot f_{g,1,k}$

Zatěžovací šířka	Zatížení
mm	kN/m
312,5	**0,15**
625,0	**0,31**

Výška příčky h = 2,8 m

Zatížení podélného nosníku f_k = 1,38 kN/m

Zatížení příčného nosníku F_k = 0,86 kN

3.2. Užitné zatížení

Střecha - kategorie H q_k = 0,75 kN/m^2

$f_{q,k} = s \cdot q_k$

Zatěžovací šířka	Zatížení
mm	kN/m
312,5	**0,234**
625,0	**0,469**

Stropy - kategorie A q_k = 1,5 kN/m^2

$f_{q,k} = s \cdot q_k$

Zatěžovací šířka	Zatížení
mm	kN/m
312,5	**0,469**
625,0	**0,938**

Schodiště - kategorie A $q_k = 3{,}00$ kN/m^2

$f_{q,k} = s \cdot q_k$

Zatěžovací šířka mm	Zatížení kN/m
312,5	**0,938**
625,0	**1,875**

3.3. Zatížení sněhem

Sněhová oblast I

Charakteristická hodnota $s_k = 0{,}70$ kN/m^2

Tepelný součinitel $C_t = 1{,}0$

Součinitel expozice $C_e = 1{,}0$

Sklon střechy $\alpha = 0°$

Tvarový součinitel $\mu_1 = 0{,}8$

Hodnota zatížení $s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$

$f_s = 0{,}56$ kN/m^2

$f_{s,k} = s \cdot f_s$

Zatěžovací šířka mm	Zatížení kN/m
312,5	**0,175**
625,0	**0,35**

Návěje na výstupky a překážky

$\gamma = 2$ kN/m^3

$h = 0{,}5$ m

Tvarový součinitel $\mu_2 = \gamma h / s_k$

s omezením: $0{,}8 \leq \mu_2 \leq 2{,}0$

$\mu_2 = 1{,}4$

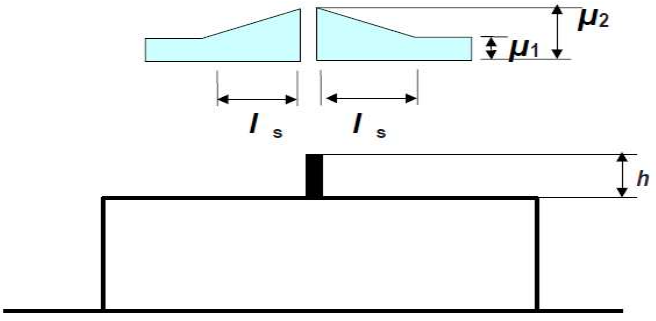
$l_s = 2h$

s omezením: $5\text{m} \leq l_s \leq 15\text{m}$

$l_s = 5\text{m}$

Hodnota zatížení

$f_s = 1{,}00$ kN/m^2



3.4. Zatížení větrem

Větrná oblast II

Výchozí základní rychlost větru $v_{b,0} = 25$ m/s

Součinitel směru větru $c_{dir} = 1{,}0$

Součinitel ročního období $c_{season} = 1{,}0$

Základní rychlost větru $v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$

$v_b =$ 25 m/s

Výška nad terénem $z =$ 12,4 m

Kategorie terénu III

Parametr drsnosti terénu $z_0 =$ 0,3 m

Minimální výška $z_{min} =$ 5 m

Součinitel terénu $k_r = 0{,}19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0{,}07}$

$z_{0,III} =$ 0,3

$k_r =$ 0,190

Součinitel drsnosti $c_r = k_r \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)$

$c_r =$ 0,707

Součinitel turbulence $k_I =$ 1,0

Součinitel orografie $c_0 =$ 1,0

Intenzita turbulence $I_v = \frac{k_I}{c_0 \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)}$

$I_v =$ 0,269

Střední rychlost větru $v_m = c_r \cdot c_0 \cdot v_b$

$v_m =$ 17,678 m/s

Měrná hmotnost vzduchu $\rho =$ 1,25 kg/m^3

Maximální dynamický tlak $q_p = \left(1 + 7 \cdot I_v \right) \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v_m^2$

$q_p =$ 562,7 Pa

$q_p =$ 0,56 kN/m^2

Tlak větru na povrchy $w_e = q_p \cdot c_{pe}$

Součinitele vnějšího tlaku c_{pe}

<u>Svislé stěny</u>

Směr větru - x

Výška budovy $h =$ 12,4 m

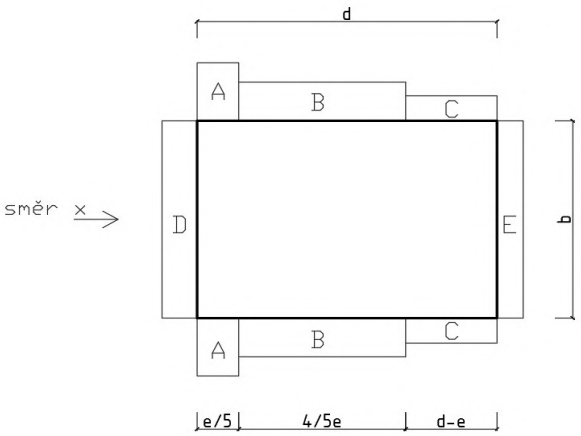
Rozměr kolmý na směr větru $b =$ 11,9 m

Rozměr rovnoběžný se směrem větru $d =$ 17,1 m

Hodnota e: $e = \min (b; 2 \cdot h)$

$e =$ 11,9 m

$h/d =$ 0,725



e/5 = 2,38 m
4/5e = 9,52 m
d-e = 5,2 m

Oblast	-	A	B	C	D	E
plocha	m^2	29,512	118,048	64,48	147,56	147,56
c_{pe}	-	-1,2	-1,184	-0,5	0,764	-0,428
w_e	kN/m^2	**-0,68**	**-0,67**	**-0,28**	**0,43**	**-0,24**

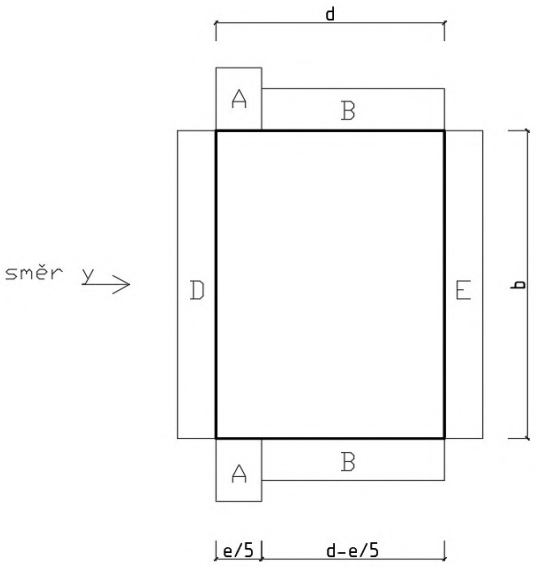
Zatížení sloupků kN/m

	zat. šířka	A	B	C	D	E
polovina	312,5	-0,21	-0,21	-0,09	0,13	-0,08
běžné	625	-0,42	-0,42	-0,18	0,27	-0,15
okno 900	762,5	-0,51	-0,51	-0,21	0,33	-0,18
okno 1200	912,5	-0,62	-0,61	-0,26	0,39	-0,22
okno 1600	1112,5	-0,75	-0,74	-0,31	0,48	-0,27

Směr větru - y

Výška budovy h = 12,4 m
Rozměr kolmý na směr větru b = 17,1 m
Rozměr rovnoběžný se směrem větru d = 11,9 m

Hodnota e: e = min (b;2 · h)
e = 17,1 m
h/d = 1,042
e/5 = 3,42 m
d-e/5 = 8,48 m



Oblast	-	A	B	D	E
plocha	m^2	42,408	105,152	212,04	212,04
c_{pe}	-	-1,2	-1,184	0,764	-0,428
w_e	kN/m^2	**-0,68**	**-0,67**	**0,43**	**-0,24**

Zatížení sloupků kN/m

	zat. šířka	A	B		D	E
polovina	312,5	-0,21	-0,21		0,13	-0,08
běžné	625	-0,42	-0,42		0,27	-0,15
okno 900	762,5	-0,51	-0,51		0,33	-0,18
okno 1200	912,5	-0,62	-0,61		0,39	-0,22
okno 1600	1112,5	-0,75	-0,74		0,48	-0,27

Plochá střecha

Směr větru - x

Výška budovy $h = 12,4$ m

Výška atiky nad rovinou střechy $h_p = 0,5$ m

Rozměr kolmý na směr větru $b = 11,9$ m

Rozměr rovnoběžný se směrem větru $d = 17,1$ m

Hodnota e: $e = \min(b; 2 \cdot h)$

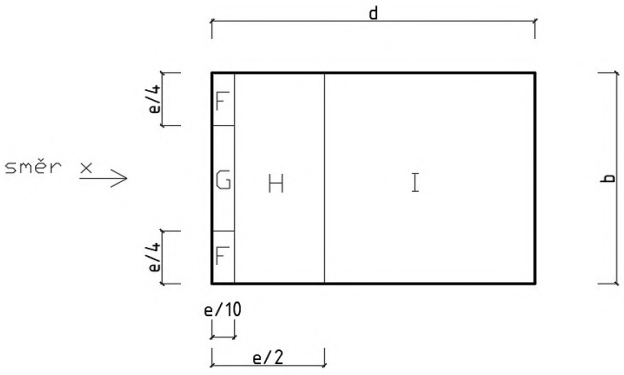
$e = 11,9$ m

$h_p/h = 0,04$

$e/10 = 1,19$ m

$e/4 = 2,975$ m

$e/2 = 5,95$ m



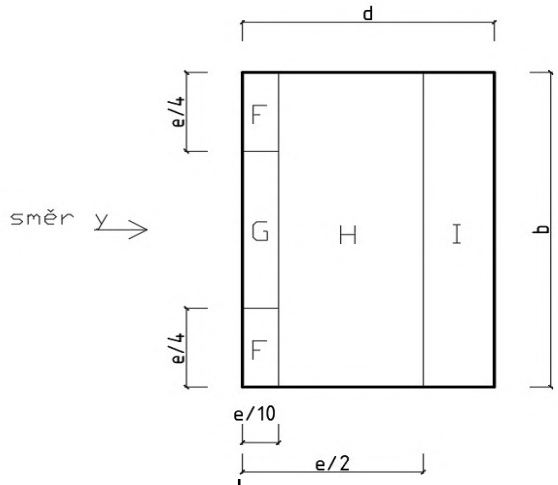
Oblast	-	F	G	H	I
plocha	m^2	3,540	7,081	56,644	132,685
c_{pe}	-	-1,48	-0,98	-0,7	-0,2
w_e	kN/m^2	**-0,83**	**-0,55**	**-0,39**	**-0,11**

Zatížení sloupků kN/m

	zat. šířka	F	G	H	I
polovina	312,5	-0,26	-0,17	-0,12	-0,04
běžné	625	-0,52	-0,34	-0,25	-0,07

Směr větru - y

Výška budovy	h = 12,4 m
Výška atiky nad rovinou střechy	h_p = 0,5 m
Rozměr kolmý na směr větru	b = 17,1 m
Rozměr rovnoběžný se směrem větru	d = 11,9 m
Hodnota e:	e = min (b;2 · h)
	e = 17,1 m
	h_p/h = 0,04
	e/10 = 1,71 m
	e/4 = 4,275 m
	e/2 = 8,55 m



Oblast	-	F	G	H	I
plocha	m^2	7,310	14,621	116,964	57,285
c_{pe}	-	-1,48	-0,98	-0,7	-0,2
w_e	kN/m^2	**-0,83**	**-0,55**	**-0,39**	**-0,11**

Zatížení sloupků kN/m

	zat. šířka	F	G	H	I
polovina	312,5	-0,26	-0,17	-0,12	-0,04
běžné	625	-0,52	-0,34	-0,25	-0,07

3.5. Imperfekce soustavy

3.5.1. Imperfekce soustavy ve směru x

Počáteční pootočení soustavy $\phi_0 = \frac{1}{200}$ [rad]

Redukční součinitel - výška sloupu $\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{12,7}} = 0,5612$

počet sloupů v řadě
m = 22

Redukční součinitel - počet sloupů v řadě

$$\alpha_m = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = 0,723$$

Globální pootočení $\phi = \phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m$

$\phi = 0,00203$ rad

3.5.2. Imperfekce soustavy v smere y

Počáteční pootočení soustavy $\phi_0 = \frac{1}{200}$ [rad]

Redukční součinitel - výška sloupu $\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{12,7}} = 0,5612$

počet sloupů v řadě
m = 21

Redukční součinitel - počet sloupů v řadě

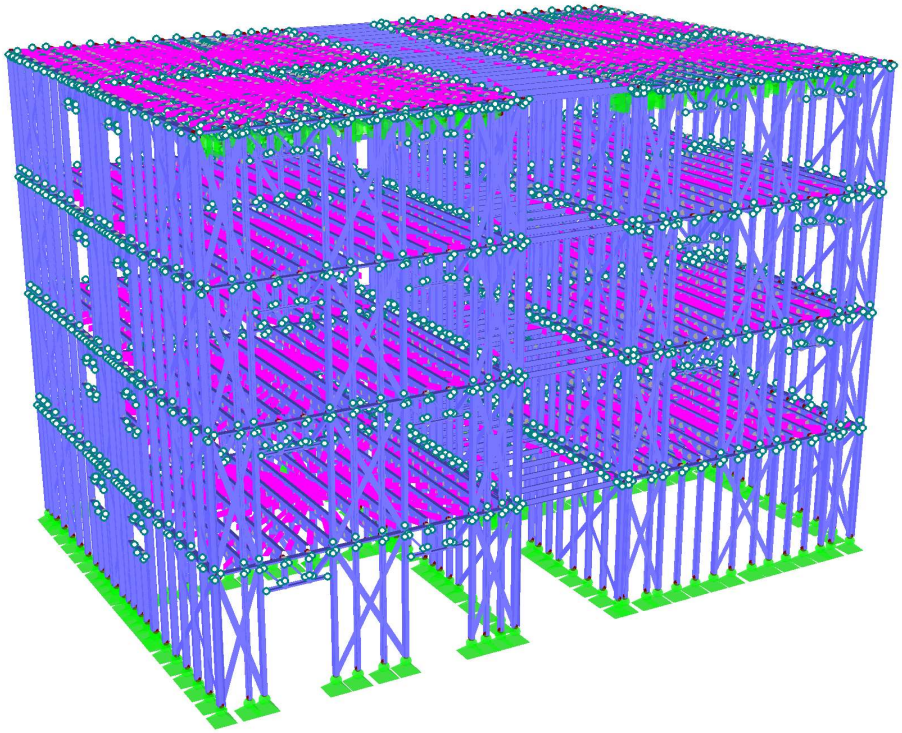
$$\alpha_m = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = 0,7237$$

Globální pootočení $\phi = \phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m$

$\phi = 0,00203$ rad

4. Analýza konstrukce

Výpočetní model konstrukce



Zatěžovací stavy:

ZS1 - vlastní tíha - generováno automaticky
ZS2 - ostatní stálé zatížení - stropy
ZS3 - ostatní stálé zatížení - střecha
ZS4 - užitné zatížení - stropy
ZS5 - užitné zatížení - střecha
ZS6 - ostatní stále - obvodové sloupy
ZS7 - ostatní stále - mezibytové sloupy
ZS8 - příčky
ZS9 - zatížení sněhem
ZS10 - zatížení větrem +x sání
ZS11 - zatížení větrem +y sání
ZS12 - zatížení větrem -y sání
ZS13 - zatížení větrem +x tlak
ZS14 - zatížení větrem -x sanie
ZS15 - zatížení větrem -x tlak
ZS16 - zatížení větrem +y tlak
ZS17 - zatížení větrem -y tlak
ZS18 - imperfekce -x
ZS19 - imperfekce +y
ZS20 - imperfekce +x
ZS21 - imperfekce -y
ZS22 - reakce od schodiště MSU
ZS23 - reakce od schodiště MSP

Kombinace zatížení

Pro ověření únosnosti byly použity kombinace výše uvedených zatěžovacích stavů podle rovnice:

$\sum_{j\geq1}\gamma_{G,j}G_{k,j} + \gamma_{q,1}Q_{k,1} + \sum_{i>1}\gamma_{Q,i}\psi_{0,i}Q_{k,i}$ STR/GEO - soubor B

Pro ověření mezního stavu použitelnosti byly použity kombinace výše uvedených zatěžovacích stavů podle rovnice:

$\sum_{j\geq1}G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i>1}\psi_{0,i}Q_{k,i}$ Charakteristická kombinace

Návrhové hodnoty vnitřních sil jsou generované z obalové křivky všech kombinací.

γ_G = 1,35 pro nepříznivé stálé zatížení a vlastní tíhu

γ_G = 1,0 pro příznivé stálé zatížení a vlastní tíhu

γ_Q = 1,5 pro proměnné zatížení

ψ_0 = 0,5 pro zatížení sněhem

ψ_0 = 0,6 pro zatížení větrem

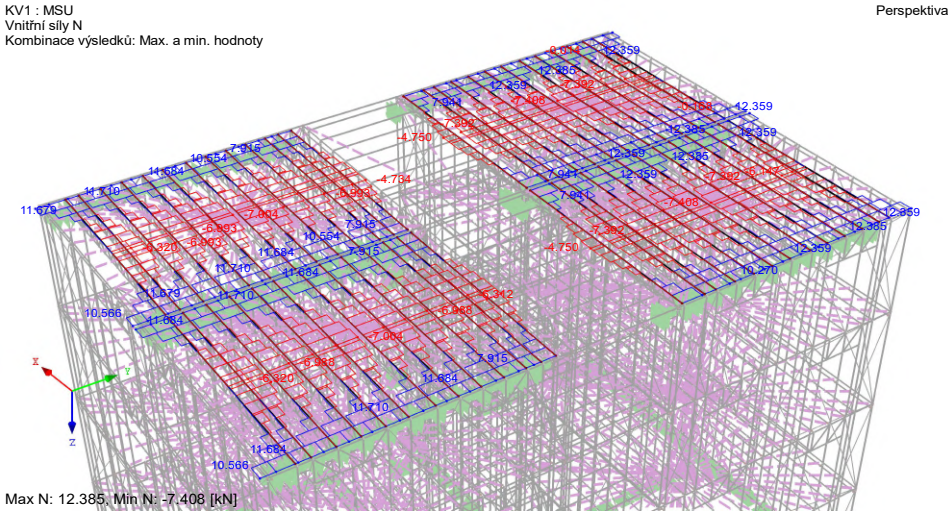
ψ_0 = 0,0 pro užitné zatížení střechy

ψ_0 = 0,7 pro užitné zatížení podlahy

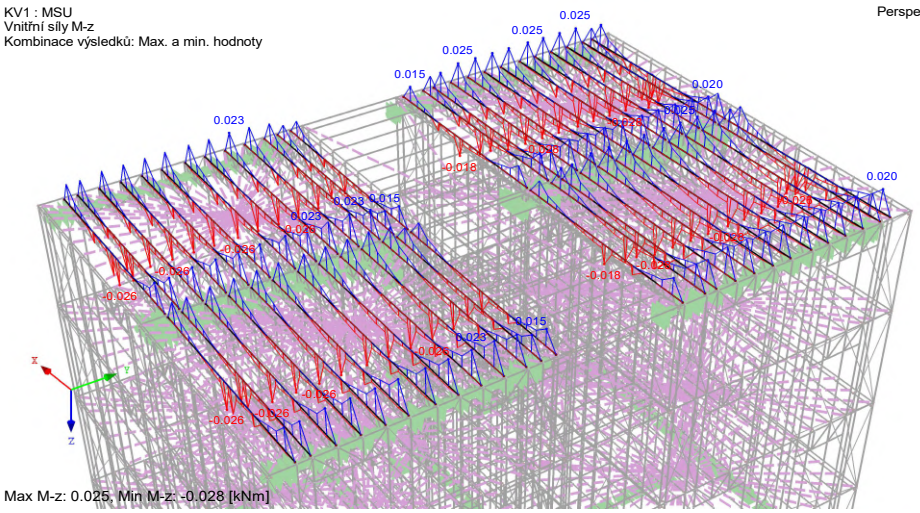
Užitné zatížení střechy kategorie H není kombinováno se zatížením sněhem. Pro tyto kombinace se bezpečně použije hodnota zatížení sněhem v návěji pro celou střechu.

Vnitřní síly

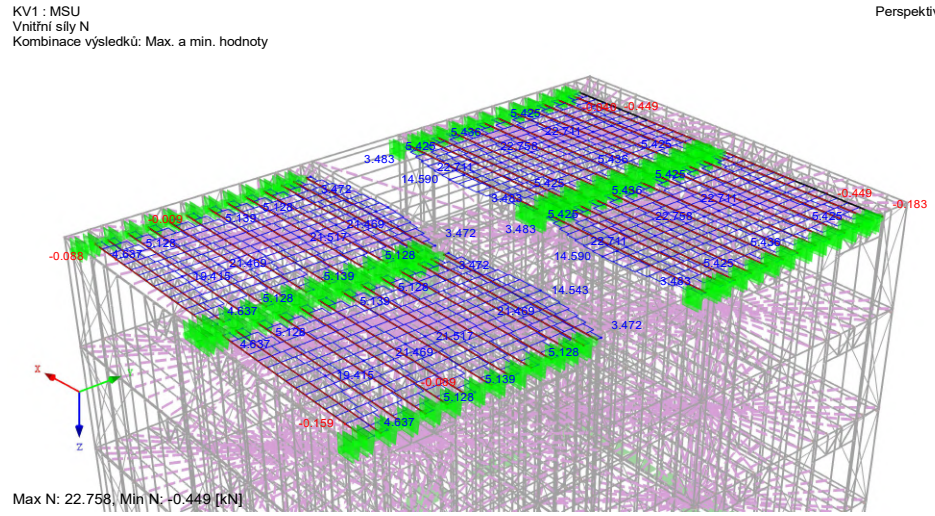
Střešní vazníky - horní pas - N_{ed} (kN)



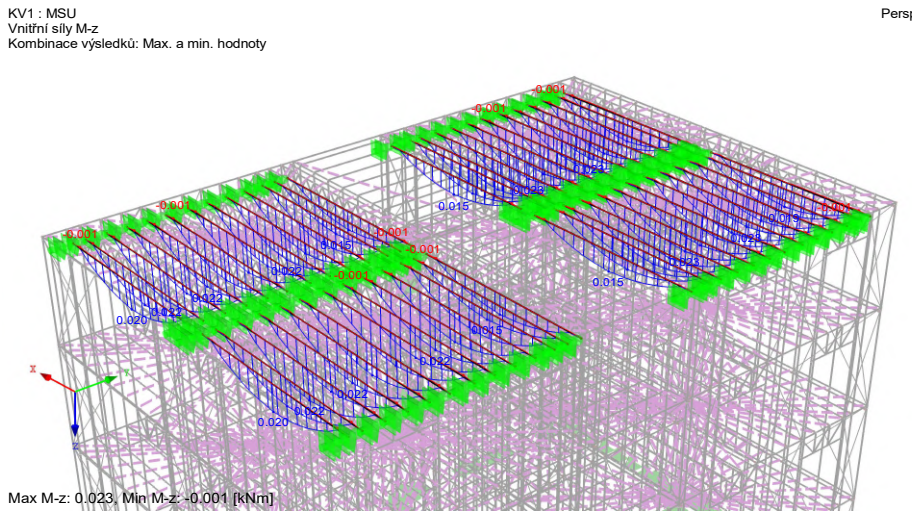
Střešní vazníky - horní pas - $M_{z,ed}$ (kNm)



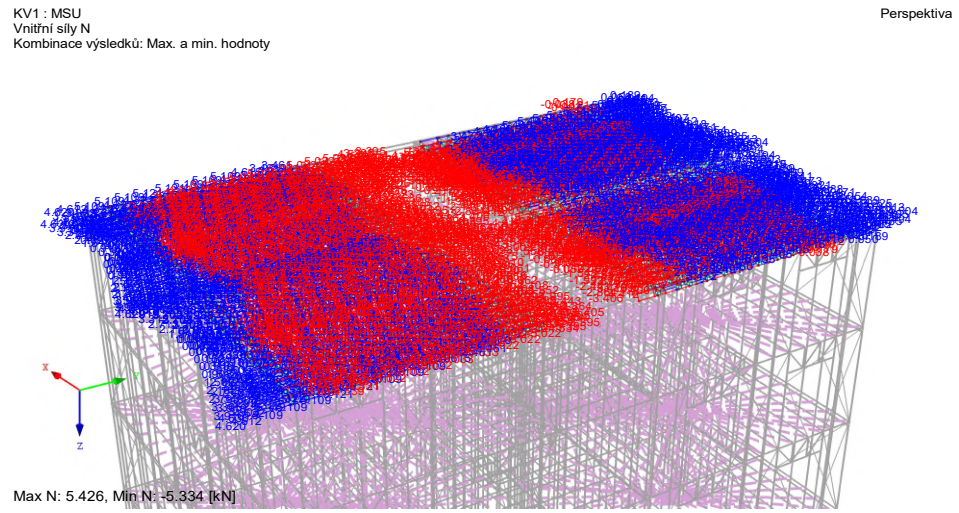
Střešní vazníky - dolní pas - N_{ed} (kN)



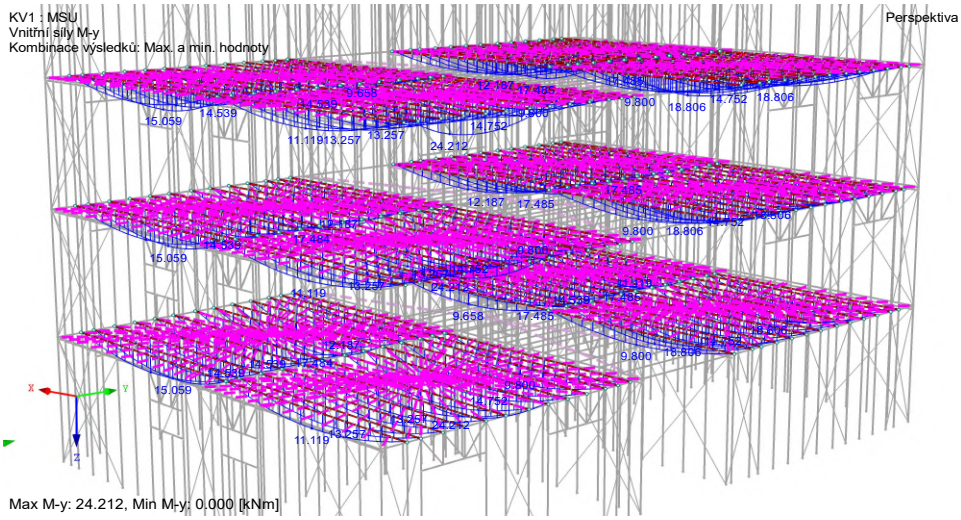
Střešní vazníky - dolní pas - $M_{z,ed}$ (kNm)



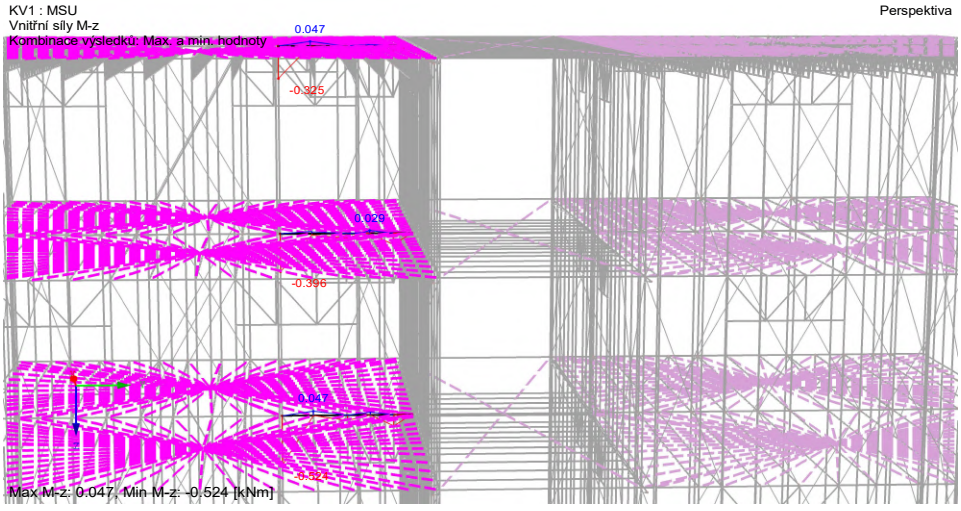
Střešní vazníky - diagonály - N_{ed} (kN)



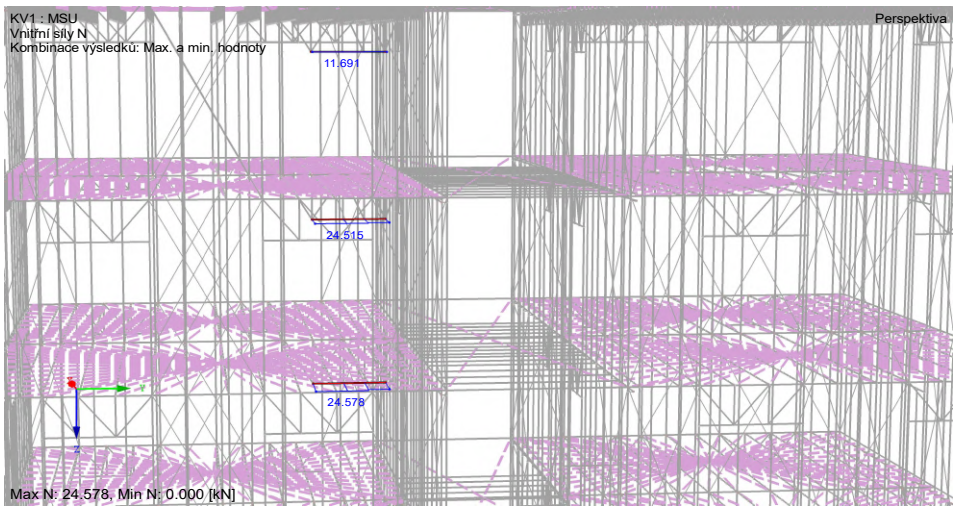
Stropní nosníky - $M_{y,ed}$ (kNm)



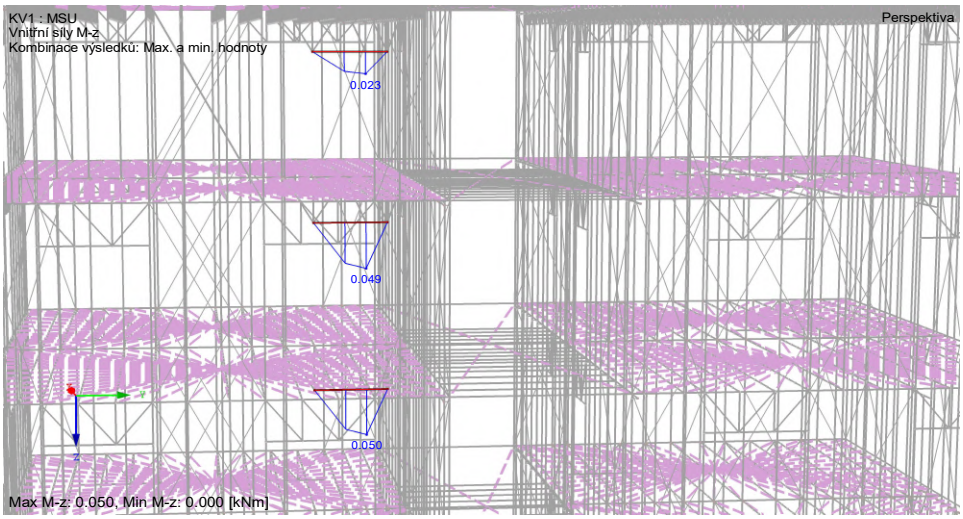
Průvlaky - horní pas - $M_{z,ed}$ (kN)



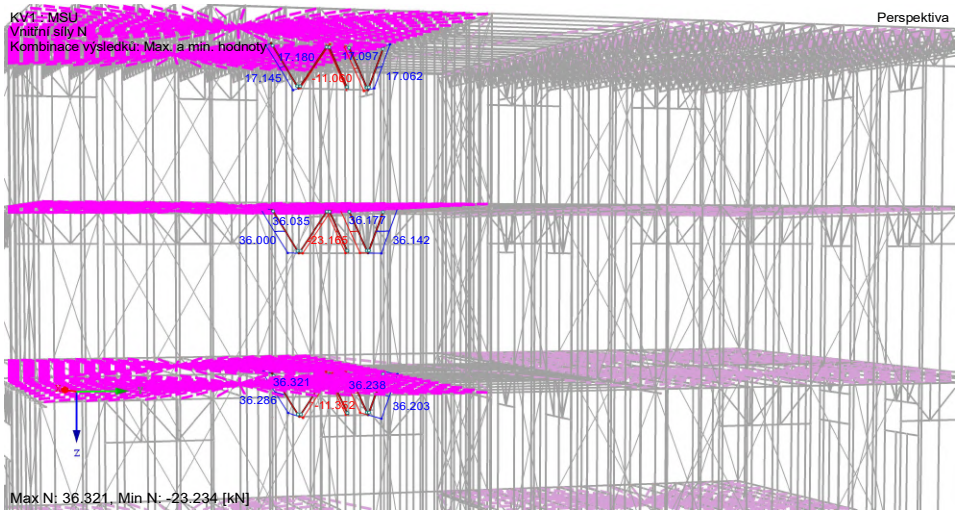
Průvlaky - dolní pas - N_{ed} (kN)



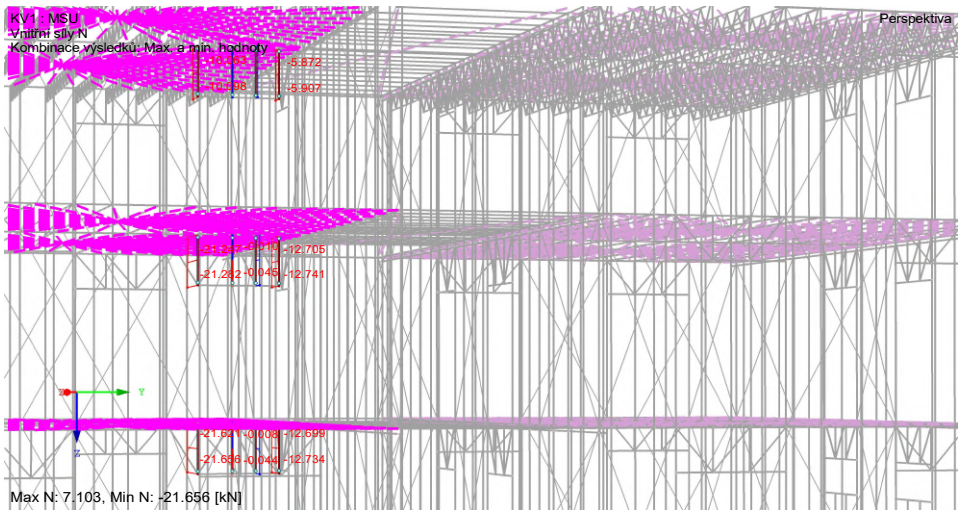
Průvlaky - dolní pas - $M_{z,ed}$ (kN)



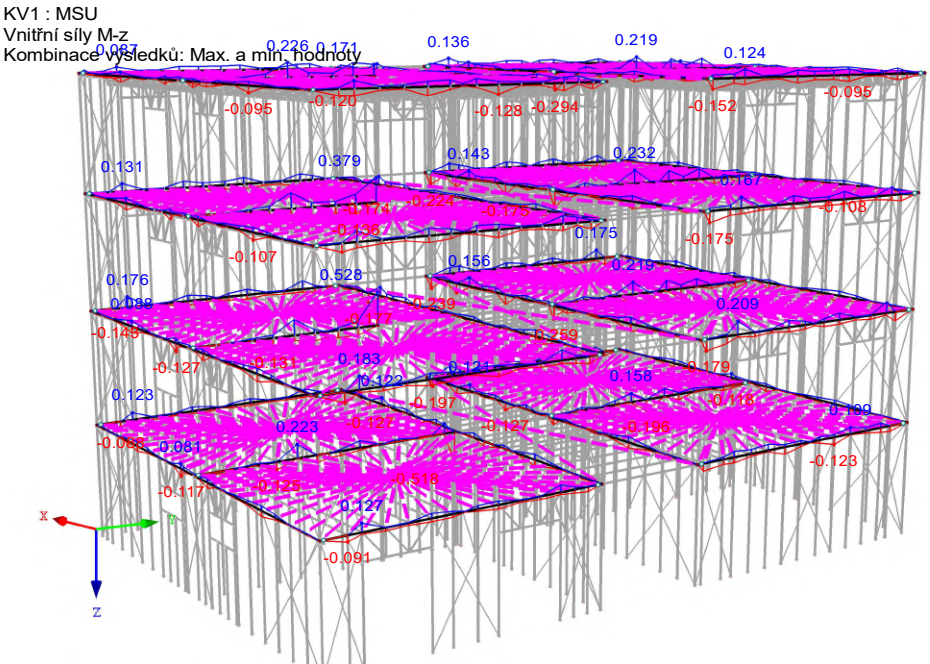
Průvlaky - diagonály - N_{ed} (kN)



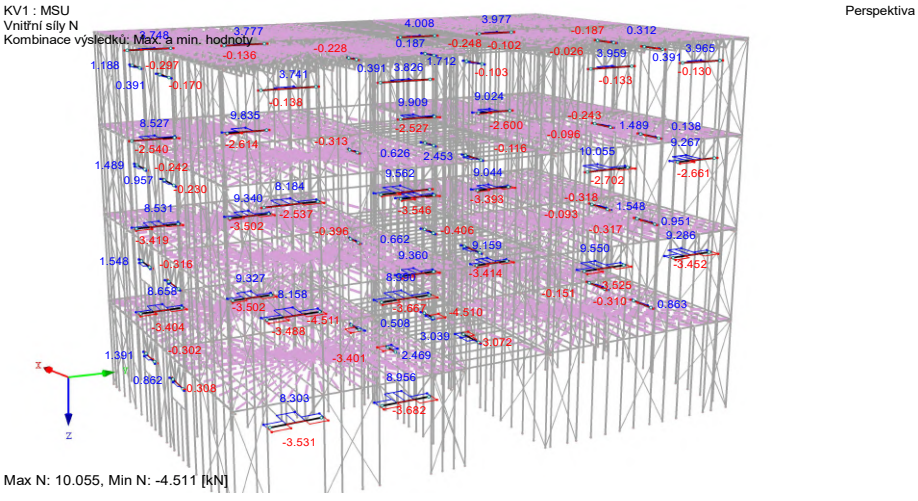
Průvlaky - svislice - N_{ed} (kN)



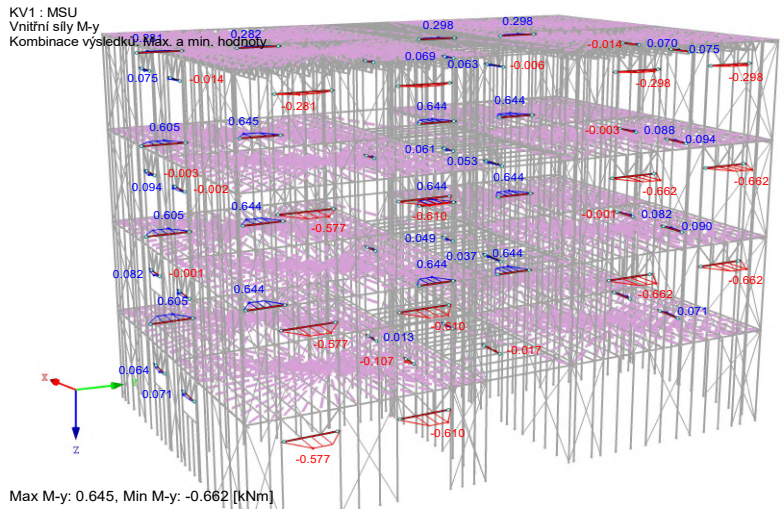
Překlady - horní pas - $M_{z,ed}$ (kNm)



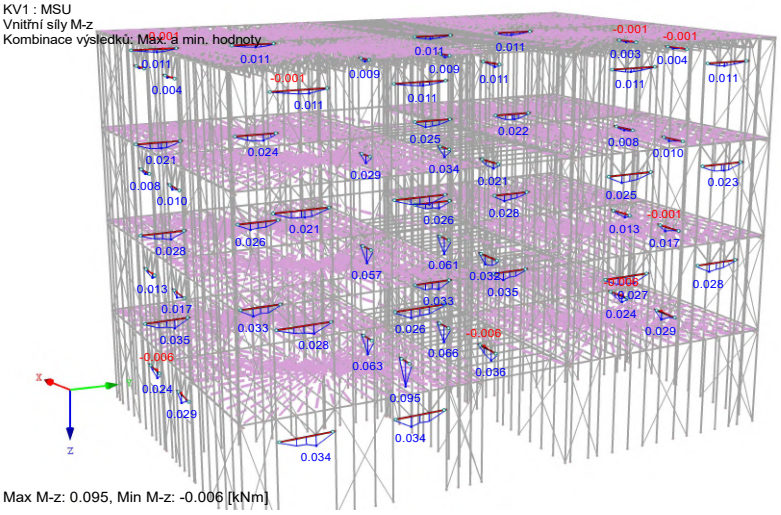
Překlady - dolní pas - N_{ed} (kN)



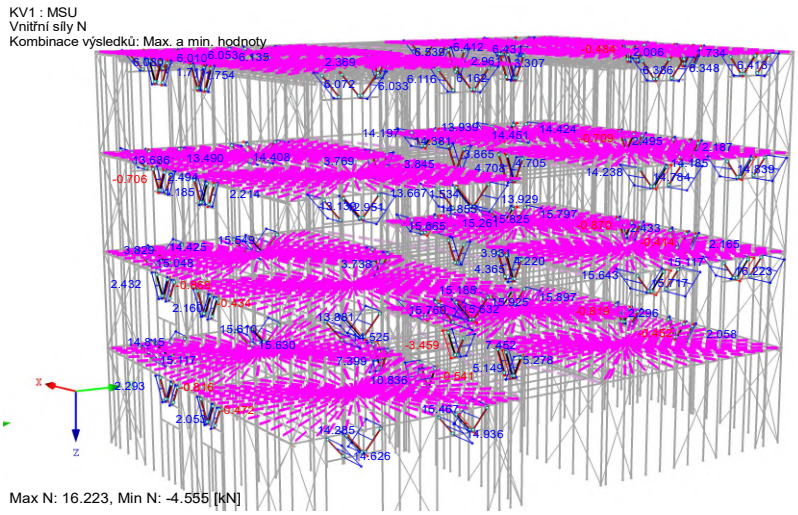
Překlady - dolní pas - $M_{y,ed}$ (kNm)



Překlady - dolní pas - $M_{z,ed}$ (kNm)



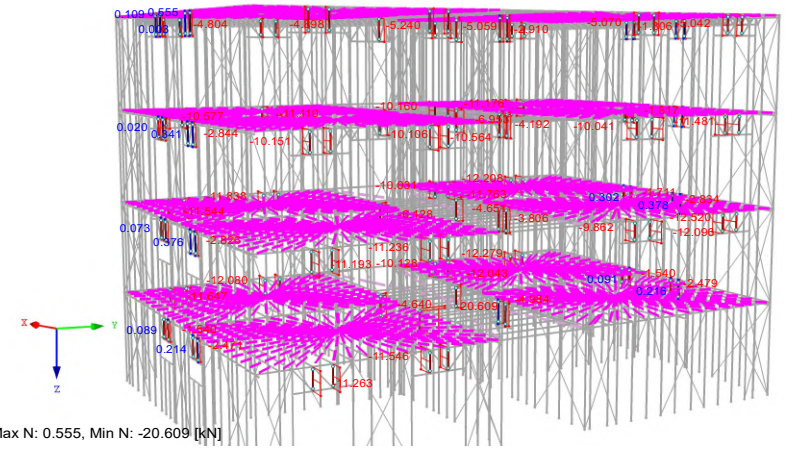
Překlady - diagonály - N_{ed} (kN)



Překlady - svislice - N_{ed} (kN)

KV1 : MSU
Vnitřní síly N
Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty

Perspektiva

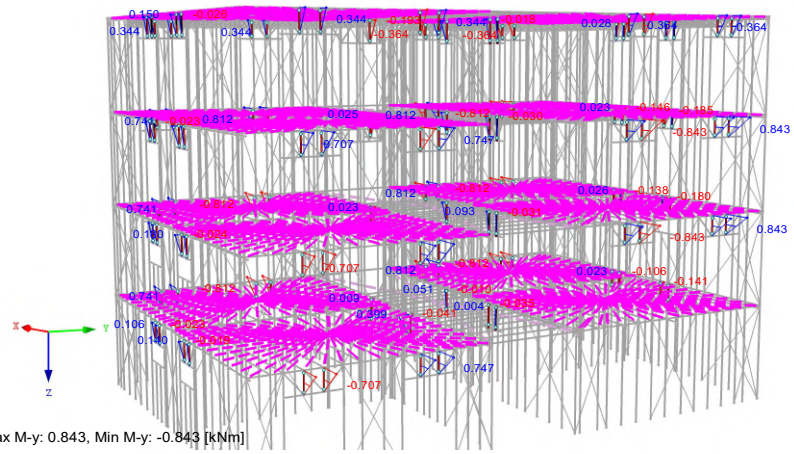


Max N: 0.555, Min N: -20.609 [kN]

Překlady - svislice - $M_{y,ed}$ (kNm)

KV1 : MSU
Vnitřní síly M-y
Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty

Perspektiva

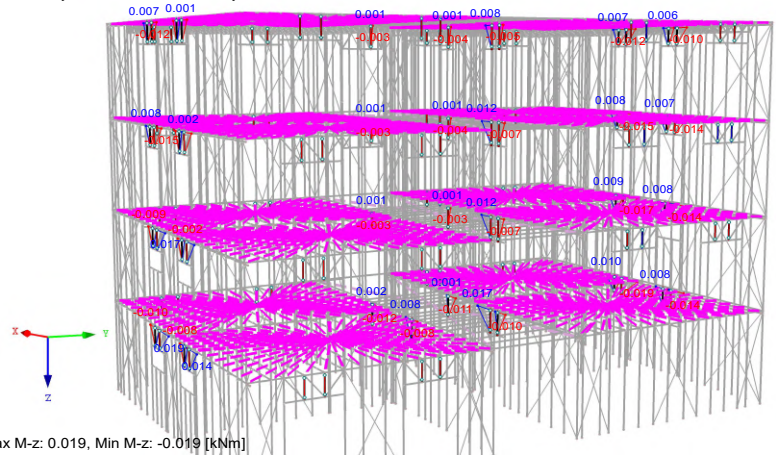


Max M-y: 0.843, Min M-y: -0.843 [kNm]

Překlady - svislice - $M_{z,ed}$ (kNm)

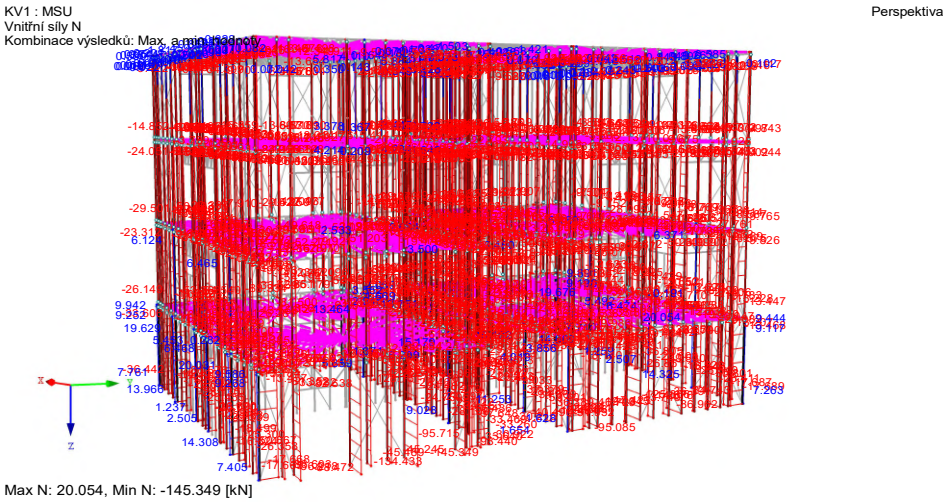
KV1 : MSU
Vnitřní síly M-z
Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty

Perspektiva



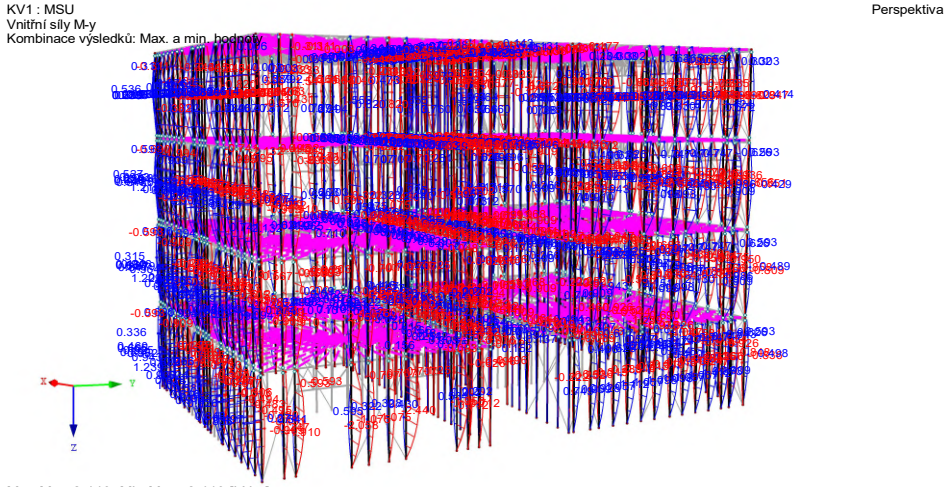
Max M-z: 0.019, Min M-z: -0.019 [kNm]

Obvodové sloupy - N_{ed} (kN)



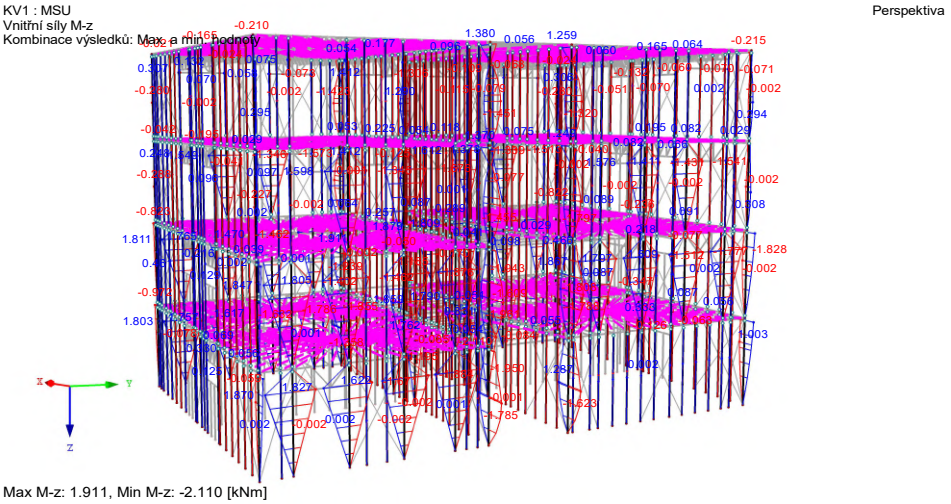
Max N: 20.054, Min N: -145.349 [kN]

Obvodové sloupy - $M_{y,ed}$ (kNm)



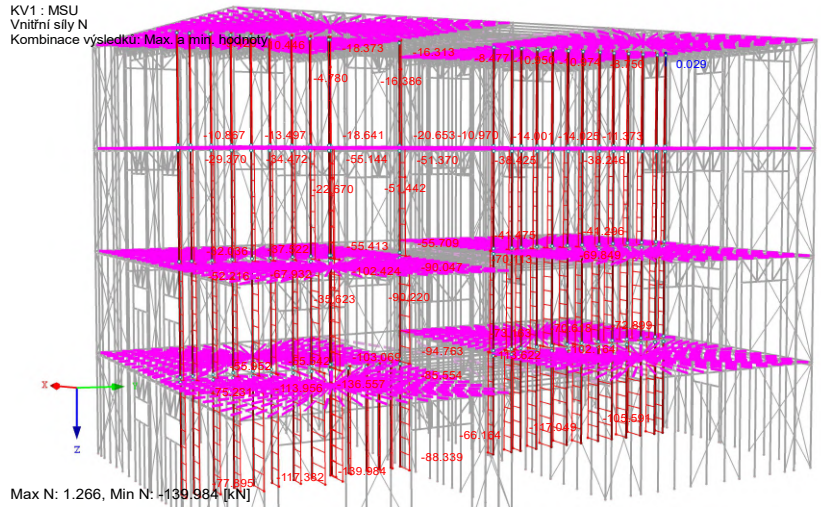
Max M-y: 2.440, Min M-y: -2.440 [kNm]

Obvodové sloupy - $M_{z,ed}$ (kNm)

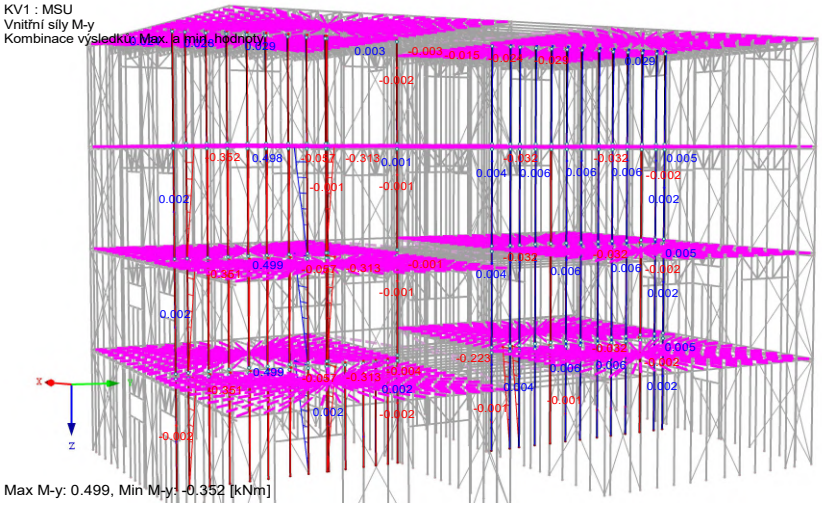


Max M-z: 1.911, Min M-z: -2.110 [kNm]

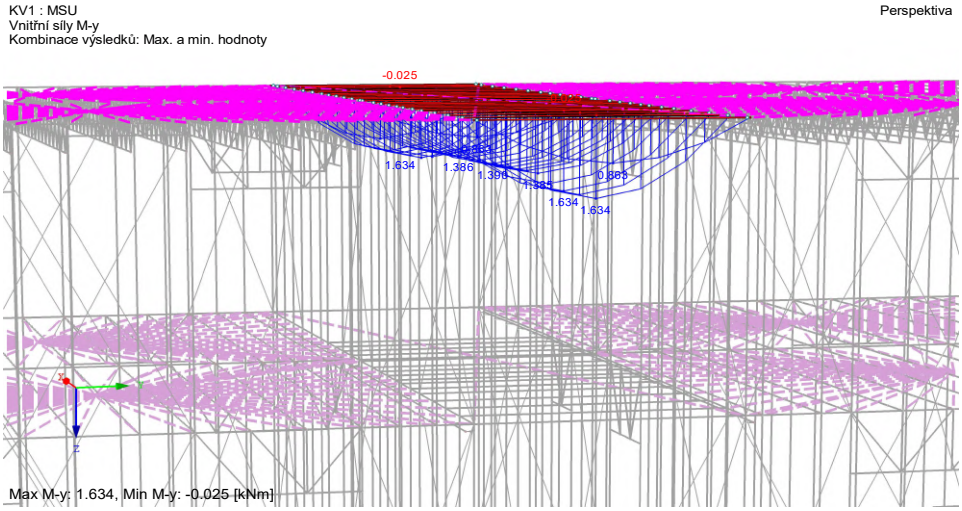
Vnitřní sloupy - N_{ed} (kN)



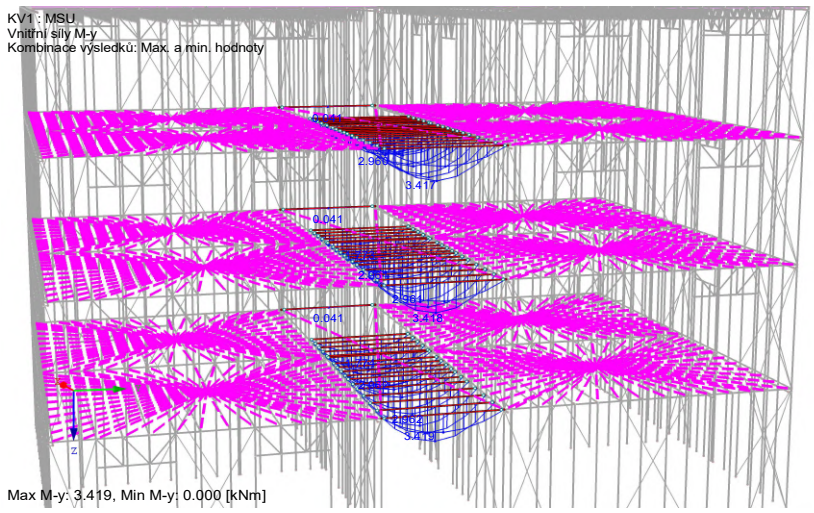
Vnitřní sloupy - $M_{y,ed}$ (kNm)



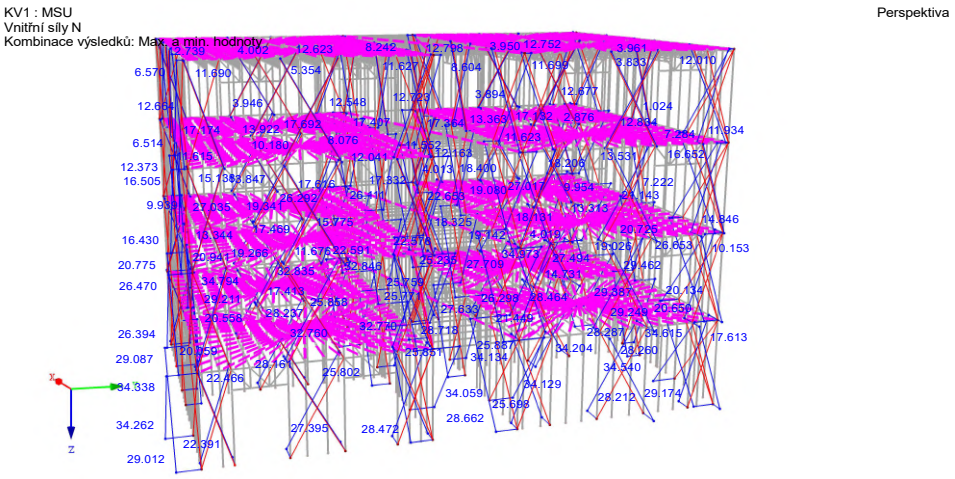
Střešní nosník chodba - $M_{y,ed}$ (kNm)



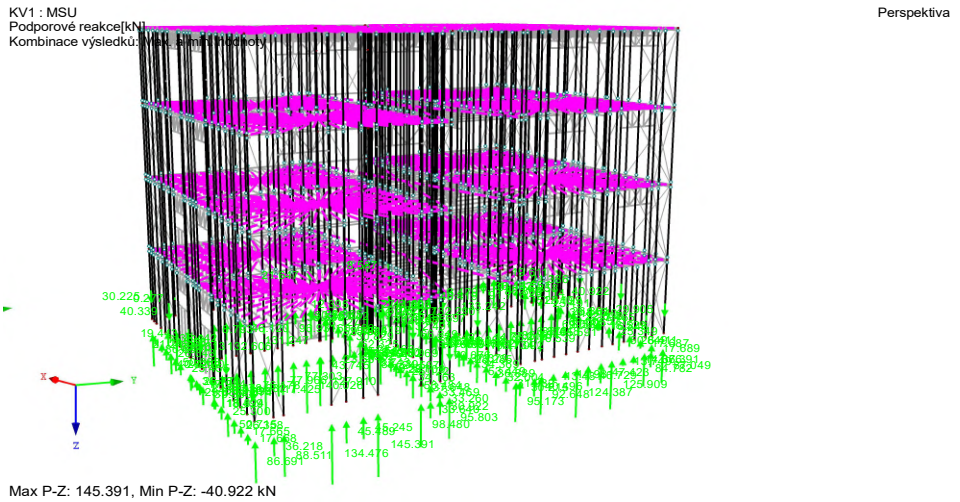
Stropnínosník chodba - $M_{y,ed}$ (kNm)



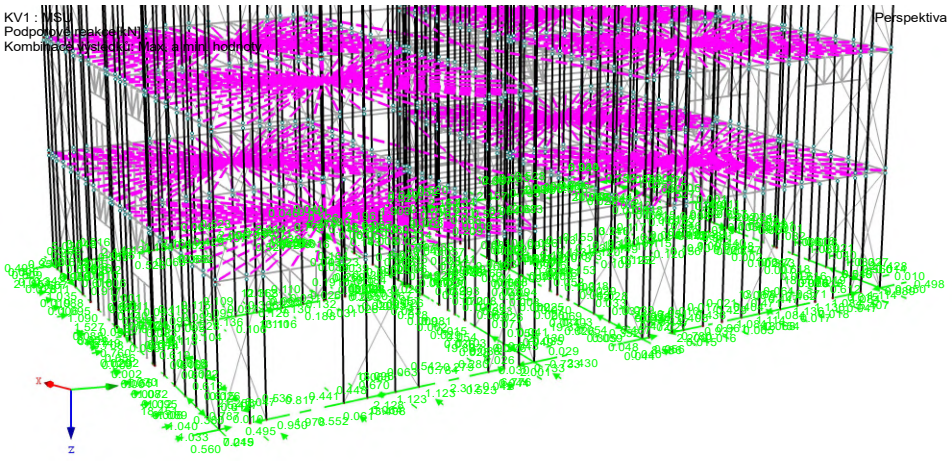
Ztužidla - N_{ed} (kN)



Svislé reakce - R_z (kN)

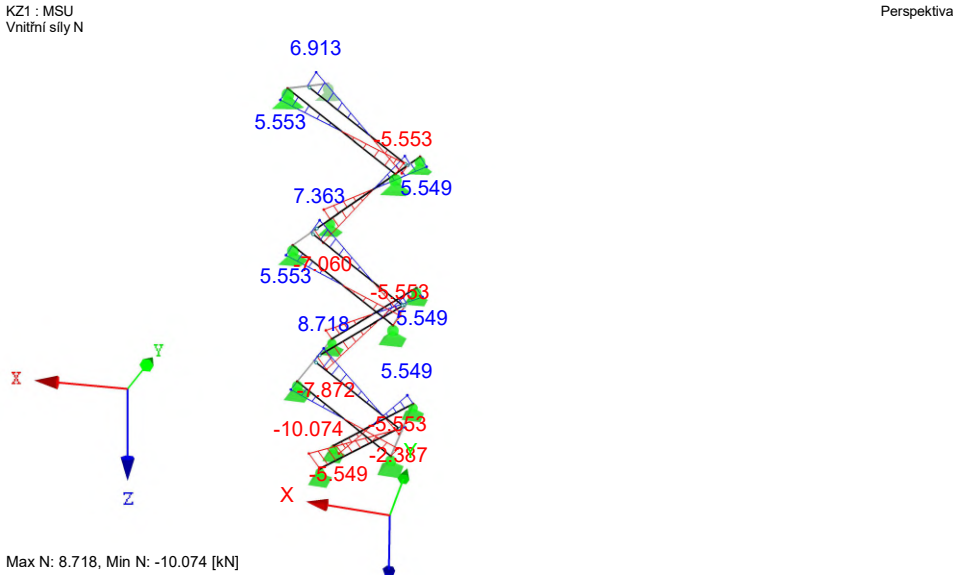


Vodorovné reakce - R_x, R_y (kN)



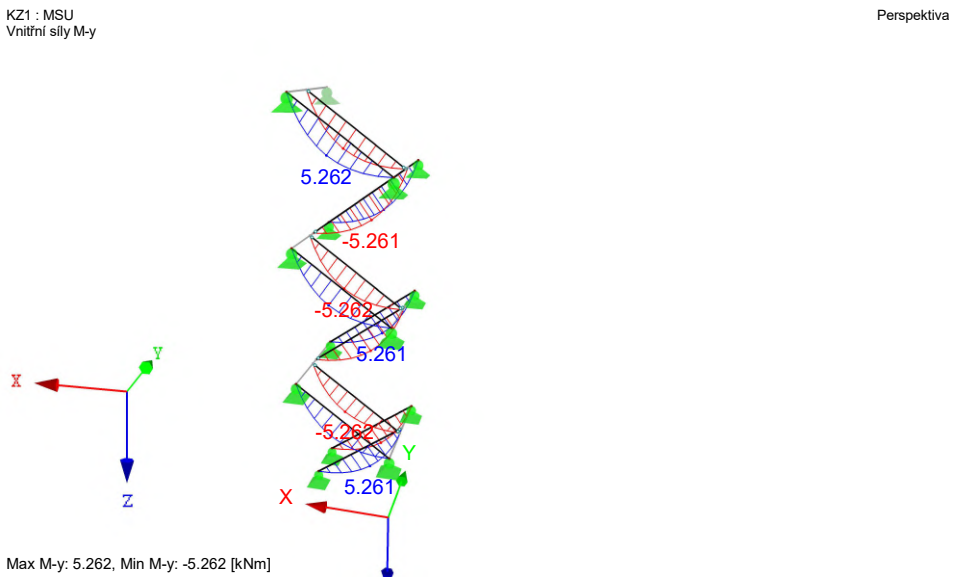
Max P-X: 21.966, Min P-X: -21.428 kN
Max P-Y: 13.240, Min P-Y: -13.408 kN

Schodišťové rameno - N_{ed} (kN)



Max N: 8.718, Min N: -10.074 [kN]

Schodišťové rameno - $M_{y,ed}$ (kNm)

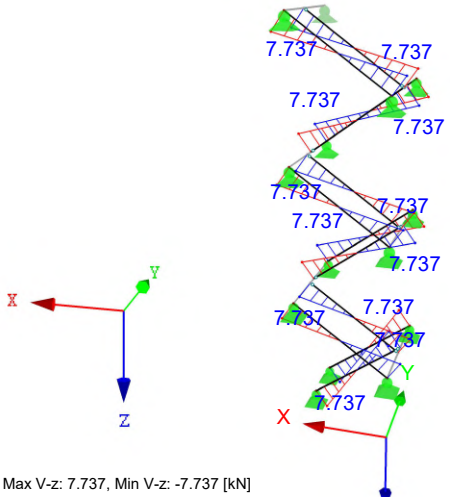


Max M-y: 5.262, Min M-y: -5.262 [kNm]

Schodišťové rameno - $V_{z,ed}$ (kN)

KZ1 : MSU
Vnitřní síly V-z

Perspektiva

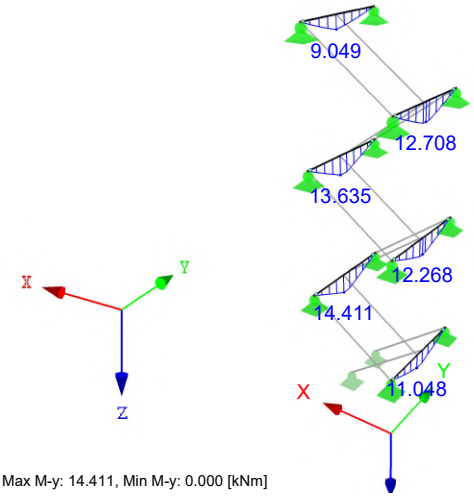


Max V-z: 7.737, Min V-z: -7.737 [kN]

Schodišťový nosník - $M_{y,ed}$ (kNm)

KZ1 : MSU
Vnitřní síly M-y

Perspektiva

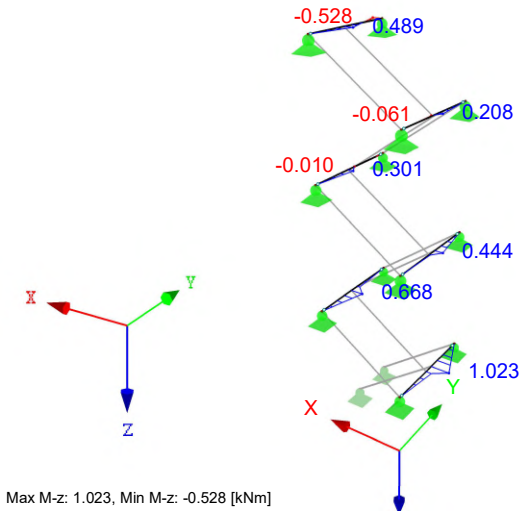


Max M-y: 14.411, Min M-y: 0.000 [kNm]

Schodišťový nosník - $M_{z,ed}$ (kNm)

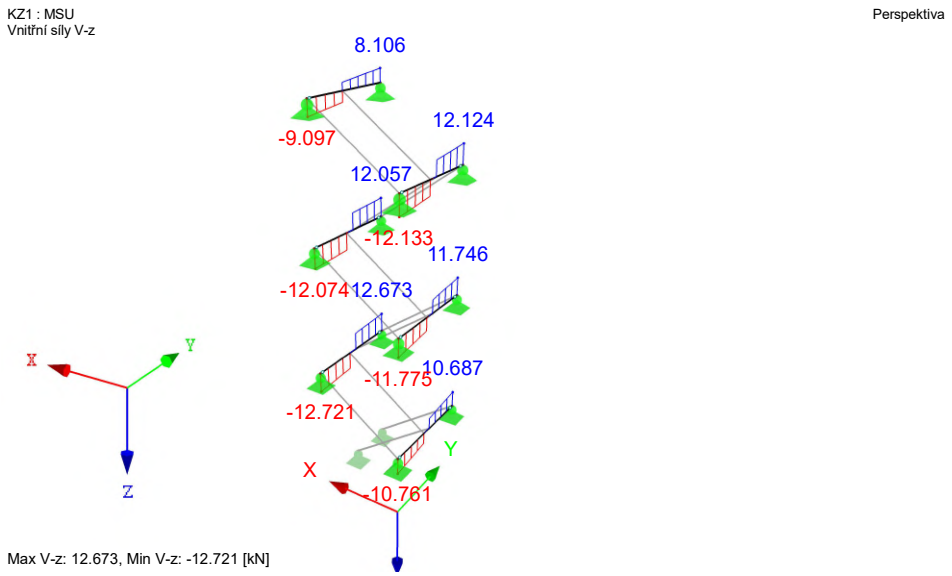
KZ1 : MSU
Vnitřní síly M-z

Perspektiva



Max M-z: 1.023, Min M-z: -0.528 [kNm]

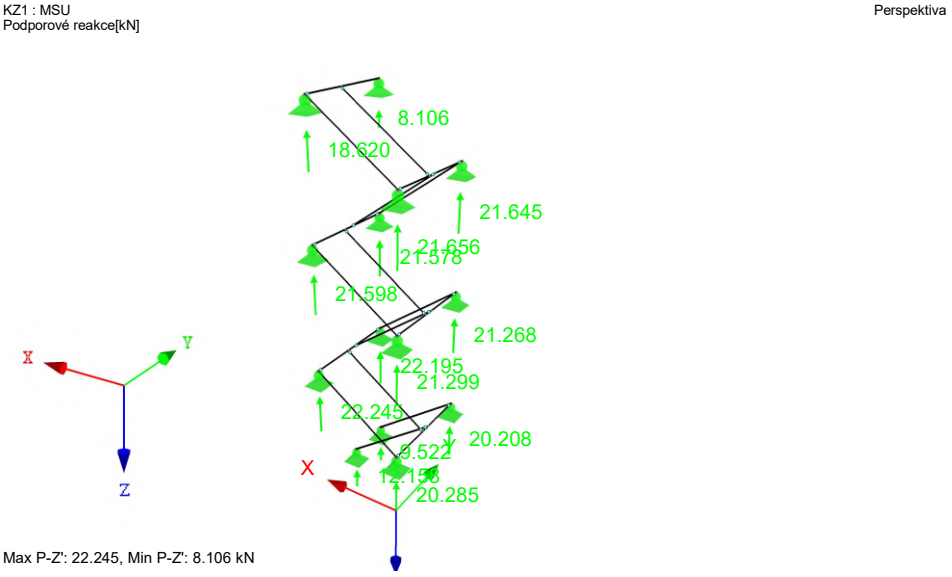
Schodišťový nosník - $V_{z,ed}$ (kN)



Max V-z: 12.673, Min V-z: -12.721 [kN]

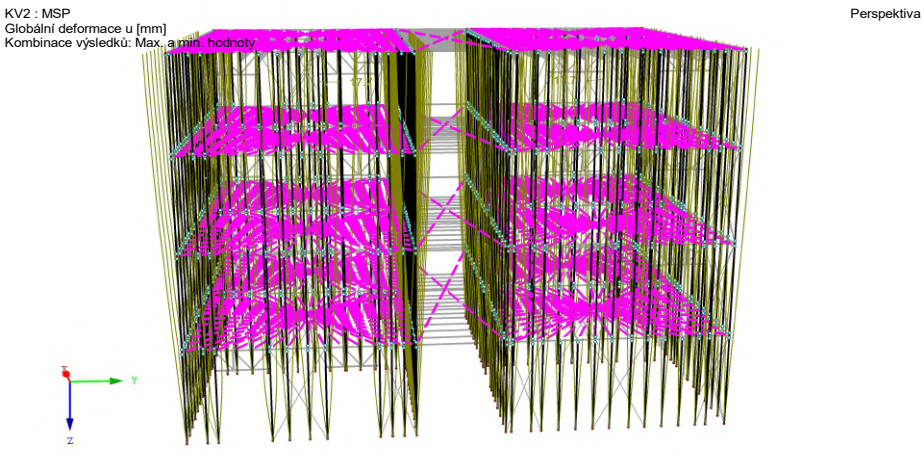
Svislé reakce - R_z (kN)

reakce ze schodišťového modelu byli započitány do modelu bytového domu



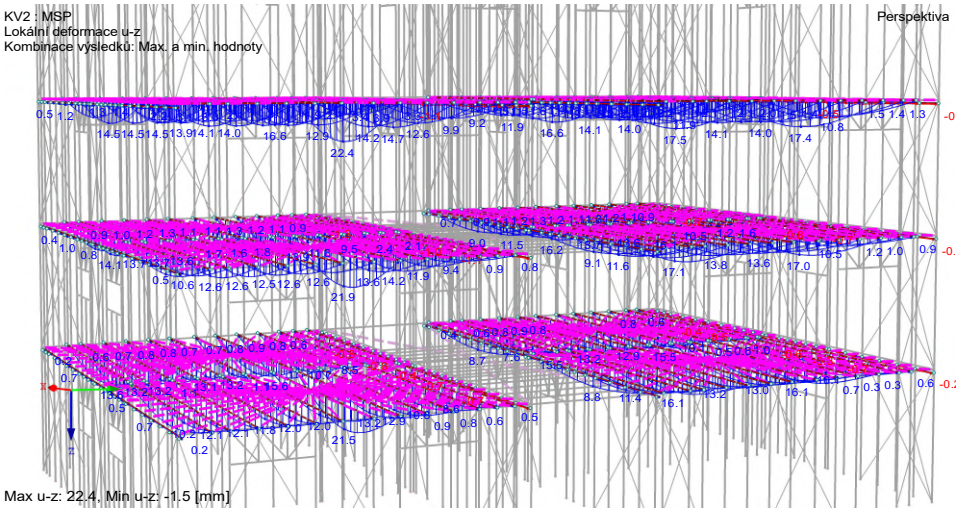
Max P-Z': 22.245, Min P-Z': 8.106 kN

Vodorovná deformace u vrcholu budovy (mm)

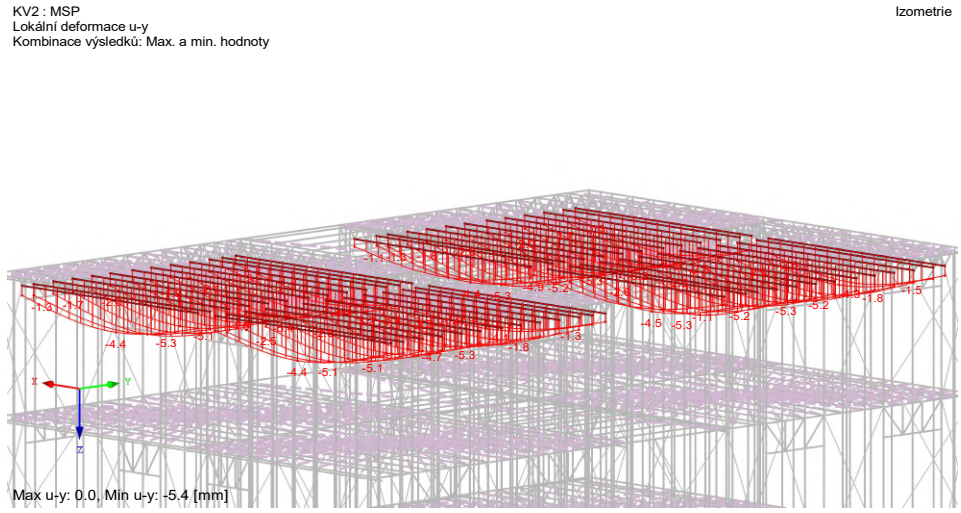


Součinitel pro deformace: 41.00
Max u: 17.7, Min u: 0.0 mm

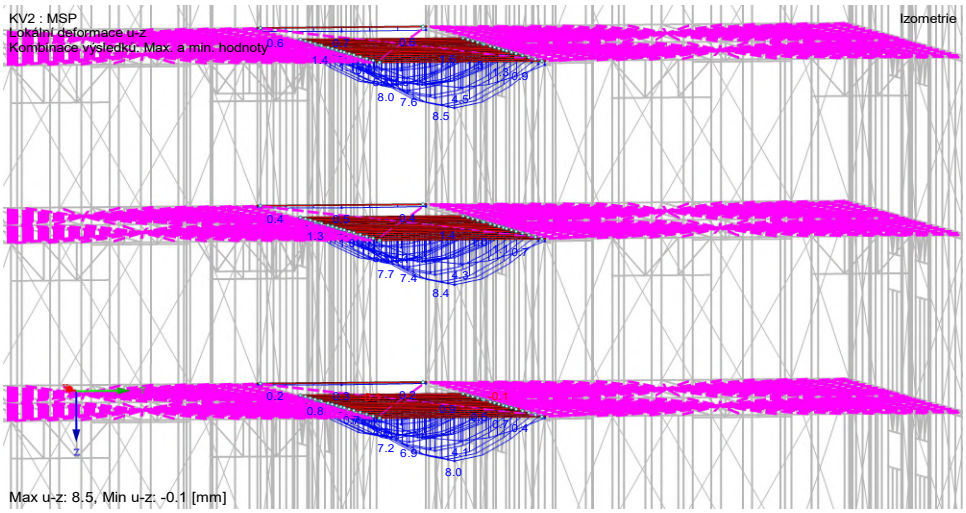
Svislá deformace - stropní nosník (mm)



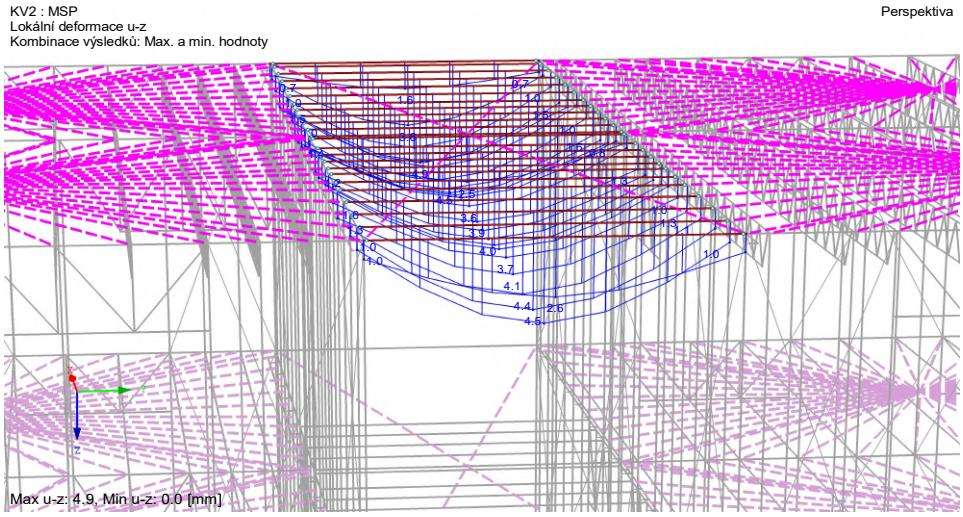
Svislá deformace - střešní nosník (mm)



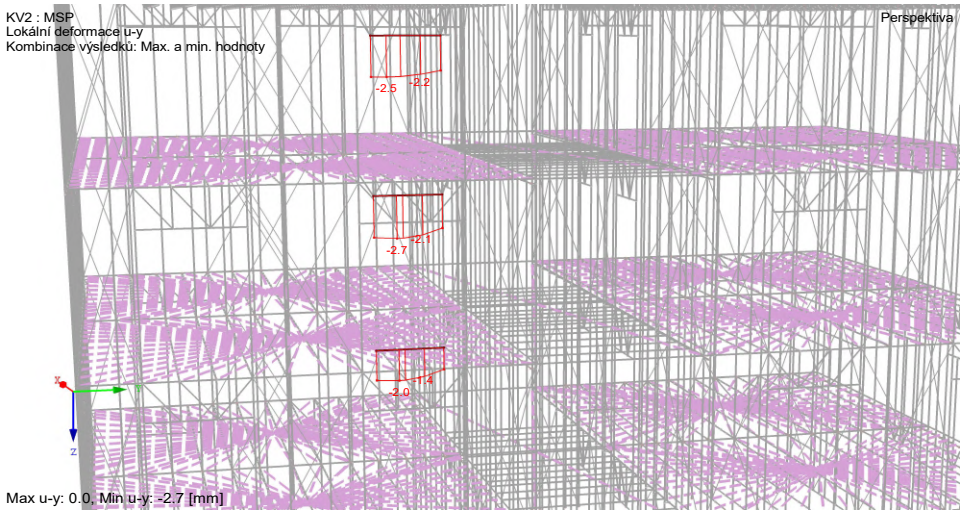
Svislá deformace - stropní nosník chodba (mm)



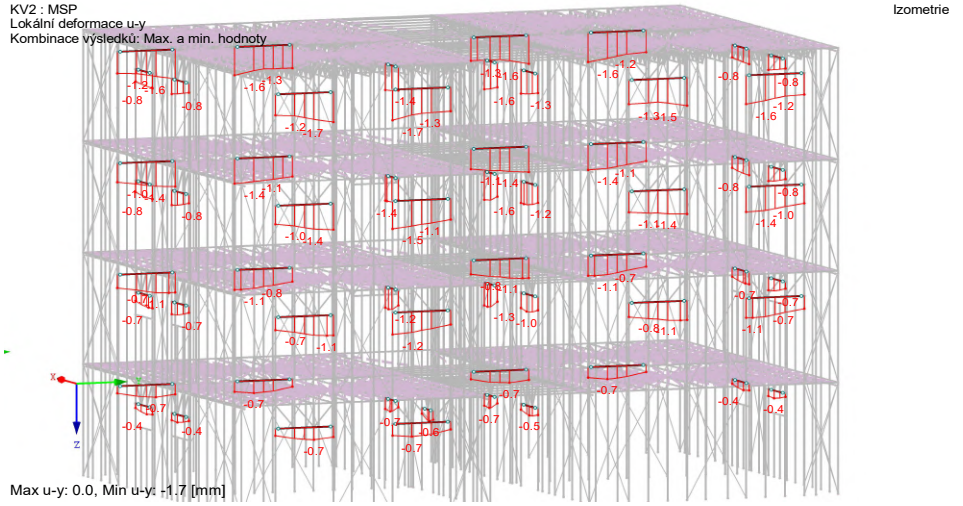
Svislá deformace - střešní nosník chodba (mm)



Svislá deformace - průvlak (mm)



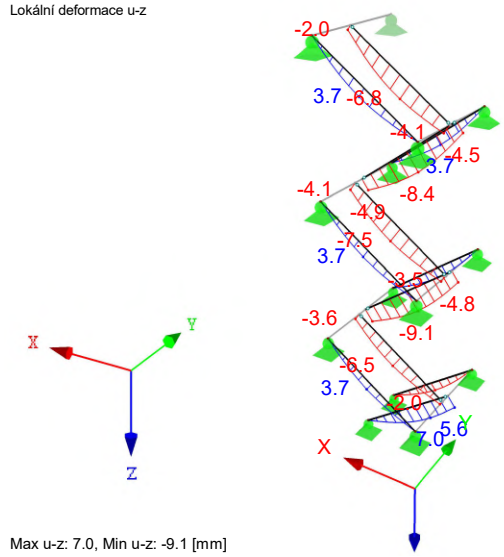
Svislá deformace - překlady (mm)



Svislá deformace - schodišťové rameno (mm)

KZ2 : MSP
Lokální deformace u-z

Perspektiva

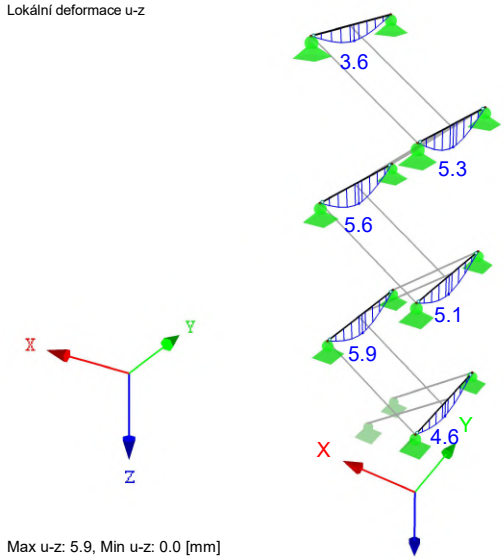


Max u-z: 7.0, Min u-z: -9.1 [mm]

Svislá deformace - schodišťový nosník (mm)

KZ2 : MSP
Lokální deformace u-z

Perspektiva



Max u-z: 5.9, Min u-z: 0.0 [mm]

5. Posouzení prvků konstrukce pro mezní stav únosnosti

Vzpěrná únosnost horního pasu střešního vazníku

Vnitřní síly:

$N_{ed,t}$ = 12,385 kN

$N_{ed,c}$ = -7,408 kN

$M_{z,ed}$ = 0,028 kNm

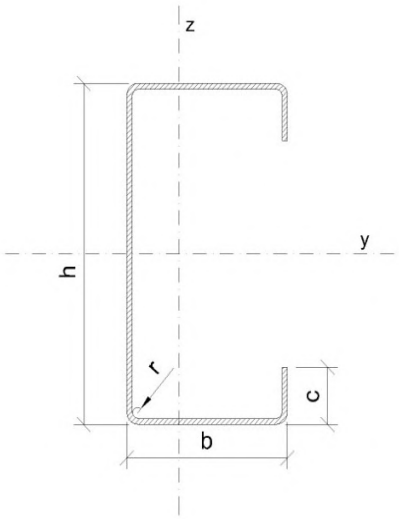
Vlastnosti materiálu

Ocel: S350 GD + Z275

Mez kluzu	f_{yk}=	350	MPa
Mez pevnosti	f_{uk}=	420	MPa
Modul pružnosti	E=	210000	MPa
Smykový modul	G=	80800	MPa
Poissonova konstanta	ν=	0,3	-

Geometrie průřezu

Výška průřezu	h=	100	mm
Šířka pásnice	b=	41,3	mm
Výška výztuhy	c=	10	mm
Nominální tloušťka	t_{nom}=	1,6	mm
Výpočetní tloušťka (bez vrstvy zinku Z275 = 0,04mm)	t=	1,56	mm
Poloměr zaoblení	r=	1,5	mm



Vnitřní poloměr ohnutí r = t lze ve výpočtu zanedbat protože:

$r \leq 5t$

$1,5 \leq 5 \times 1,16$ **VYHOVUJE**

$r \leq 0,1b$

$1,5 \leq 0,1 \times 41,3$ **VYHOVUJE**

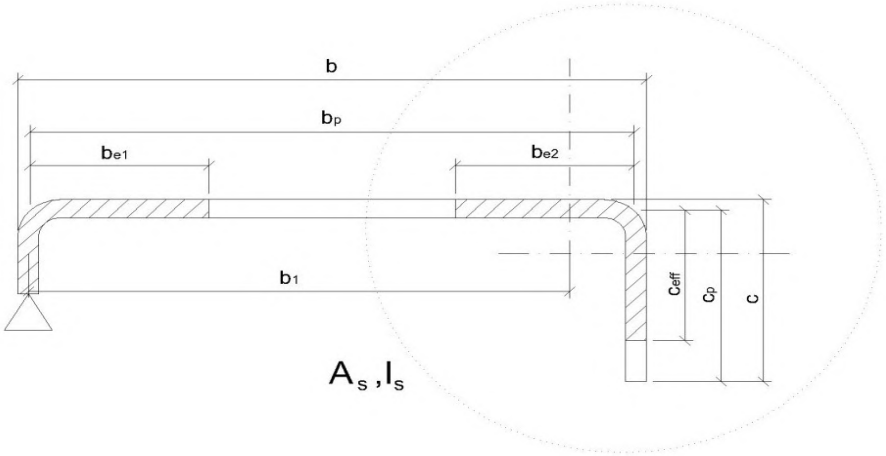
Působící namáhání

Vpěr kolmo k ose y	ANO
Vzpěr kolmo k ose z	ANO
Prostorový vzpěr	ANO

Geometrie nosníku

Vzpěrná délka pro vybočení kolmo k ose y	$L_{cr,y}$ =	**625**	**mm**
Vzpěrná délka pro vybočení kolmo k ose z	$L_{cr,z}$ =	**350**	**mm**
Vzpěrná délka pro vybočení prostorovým vzpěrem	$L_{cr,T}$ =	**625**	**mm**

Pásnice - lokální a distorzní boulení



Krok 1

Součinitel kritického napětí $k_\sigma = 4$ dle tab. 4.1 (EN 1993-1-5)

$b_p = b - t$

$b_p = 39{,}74$ mm

Poměrná stěnová štíhlost

$$\overline{\lambda}_p = \frac{\frac{b_p}{t}}{28{,}4 \times \sqrt{\frac{235}{f_y}} \times \sqrt{k_\sigma}} = 0{,}547$$

Poměr napětí na krajích pás. $\Psi = 1$

Součinitel boulení pro $\overline{\lambda}_p \leq 0{,}673$ $\rho = 1{,}0$

pro $\overline{\lambda}_p > 0{,}673$ $\rho = \frac{\overline{\lambda}_p - 0{,}055(3+\Psi)}{\overline{\lambda}_p^{\,2}}$

$\rho = 1$

Počáteční účinná šířka pás. $b_{eff} = \rho \times b_p = 39{,}740$ mm

Účinná šířka $b_{ei} = \frac{b_{eff}}{2}$

b_{e1} = 19,87 mm

b_{e2} = 19,87 mm

$c_p = c - \frac{t}{2}$

$c_p = 9{,}22 \quad mm$

Poměr délky výztuhy a pás. $\frac{c_p}{b_p} = 0{,}232$

Součinitel kritického napětí

pro $c_p/b_p \le 0{,}35$ $\quad k_\sigma = 0{,}5$

pro $0{,}35 < c_p/b_p \le 0{,}6$ $\quad k_\sigma = 0{,}5 + 0{,}83\sqrt[3]{\left(\frac{c_p}{b_p} - 0{,}35\right)^2}$

$k_\sigma = 0{,}5$

Poměrná stěnová štíhlost

$$\overline{\lambda}_p = \frac{\frac{c_p}{t}}{28{,}4 \times \sqrt{\frac{235}{f_y}} \times \sqrt{k_\sigma}} = 0{,}359$$

Poměr napětí na krajích pás. $\Psi = 1$

Součinitel boulení pro $\overline{\lambda}_p \le 0{,}748$ $\quad \rho = 1{,}0$

pro $\overline{\lambda}_p > 0{,}748$ $\quad \rho = \frac{\overline{\lambda}_p - 0{,}188}{\overline{\lambda}_p^{\,2}}$

$\rho = 1$

Počáteční účinná šířka pás. $\mathbf{c_{eff} = \rho \times c_p = 9{,}22 \quad mm}$

Těžiště rohu s výztuhou

$$y_t = c_p - \frac{c_{eff} \times b_{e2} + \frac{c_{eff}^{\,2}}{2}}{c_{eff} + b_{e2}} = 1{,}4611 \quad mm$$

$$b_1 = b_p - b_{e2} - \left(\frac{c_{eff} \times b_{e2} + \frac{b_{e2}^{\,2}}{2}}{c_{eff} + b_{e2}}\right)$$

$b_1 = 32{,}95 \quad mm$

Plocha rohu s výztuhou $A_s = t \times (c_{eff} + b_{e2}) = 45{,}38 \quad mm^2$

Moment setrv. rohu s výztuhou

$$I_s = \frac{1}{12} b_{e2} t^3 + b_{e2} t y_t^{\,2} + \frac{1}{12} t c_{eff}^{\,3} + t c_{eff}\left(\frac{c_{eff}}{2} - y_t\right)^2$$

$I_s = 316{,}97 \quad mm^4$

$k_f = 1{,}0$
souměr. tlač. průř.

Pérová tuhost výztuhy

$$K = \frac{Et^3}{4\times(1-\nu^2)} \times \frac{1}{b_1^{\,2} h_p + b_1^{\,3} + 0{,}5 b_1 b_2 h_p k_f}$$

$K = 0{,}9247$

$h_p = h - t$
$h_p = 98{,}44 \quad mm$

Kritické napětí okrajové výztuhy

$$\sigma_{cr,s} = \frac{2\times\sqrt{K \times E \times I_s}}{A_s} = 345{,}77 \quad Mpa$$

Poměrná štíhlost

$$\overline{\lambda}_d = \sqrt{\frac{f_{yk}}{\sigma_{cr,s}}} = 1{,}01$$

Součinitel vzpěrnosti pro $\bar{\lambda}_d \leq 0,65$ $\chi_d = 1,0$

pro $0,65 < \bar{\lambda}_d < 1,38$

$$\chi_d = 1,47 - 0,723\ \bar{\lambda}_d$$

pro $\bar{\lambda}_d \geq 1,38$ $\chi_d \dfrac{0,66}{\bar{\lambda}_d}$

$\chi_d = 0,74$

Max. tlak. napětí ve stěně $\sigma_{com} = \chi_d \times f_{yk} = 259,91$ Mpa

Krok 2

Poměrná stěnová štíhlost $\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \times \sqrt{\chi_d} = 0,472$

Poměr napětí na krajích pás. $\Psi = 1$

Součinitel boulení pro $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$ $\rho = 1,0$

pro $\bar{\lambda}_p > 0,673$ $\rho = \dfrac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3+\Psi)}{\bar{\lambda}_p^2}$

$\rho = 1$

Počáteční účinná šířka pás. $b_{eff} = \rho \times b_p = 39,740$ mm

Účinná šířka $b_{ei} = \dfrac{b_{eff}}{2}$

$b_{e1} = 19,87$ mm

$b_{e2} = 19,87$ mm

Poměrná stěnová štíhlost $\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \times \sqrt{\chi_d} = 0,310$

Poměr napětí na krajích pás. $\Psi = 1$

Součinitel boulení pro $\bar{\lambda}_p \leq 0,748$ $\rho = 1,0$

pro $\bar{\lambda}_p > 0,748$ $\rho = \dfrac{\bar{\lambda}_p - 0,188}{\bar{\lambda}_p^2}$

$\rho = 1$

Počáteční účinná šířka pás. **$c_{eff} = \rho \times c_p = 9,22$ mm**

Těžiště rohu s výztuhou

$$y_t = c_p - \frac{c_{eff} \times b_{e2} + \frac{c_{eff}^2}{2}}{c_{eff} + b_{e2}} = 1,4611 \text{ mm}$$

$$b_1 = b_p - b_{e2} - \left(\frac{c_{eff} \times b_{e2} + \frac{b_{e2}^2}{2}}{c_{eff} + b_{e2}} \right)$$

$b_1 = 32,95$ mm

Plocha rohu s výztuhou $A_s = t \times (c_{eff} + b_{e2}) = 45,38$ mm^2

Moment setrv. rohu s výztuhou

$$I_s = \frac{1}{12} b_{e2} t^3 + b_{e2} t y_t^2 + \frac{1}{12} t c_{eff}^3 + t c_{eff} \left(\frac{c_{eff}}{2} - y_t \right)^2$$

$I_s = 316,97$ mm^4

Pérová tuhost výztuhy $K = \frac{Et^3}{4\times(1-\nu^2)} \times \frac{1}{b_1^2 h_p + b_1^3 + 0{,}5 b_1 b_2 h_p k_f}$

$K = 0{,}925$

Kritické napětí okrajové výztuhy

$\sigma_{cr,s} = \frac{2\times\sqrt{K \times E \times I_s}}{A_s} = 345{,}77 \text{ Mpa}$

Poměrná štíhlost $\bar{\lambda}_d = \sqrt{\frac{f_{yk}}{\sigma_{cr,s}}} = 1{,}01$

Součinitel vzpěrnosti pro $\bar{\lambda}_d \leq 0{,}65 \quad \chi_d = 1{,}0$

pro $0{,}65 < \bar{\lambda}_d < 1{,}38$

$\chi_d = 1{,}47 - 0{,}723\ \bar{\lambda}_d$

pro $\bar{\lambda}_d \geq 1{,}38 \quad \chi_d \frac{0{,}66}{\bar{\lambda}_d}$

$\chi_d = 0{,}74$

Max. tlak. napětí ve stěně $\sigma_{com} = \chi_d \times f_{yk} = 259{,}91 \text{ Mpa}$

Krok 3

Poměrná stěnová štíhlost $\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \times \sqrt{\chi_d} = 0{,}472$

Poměr napětí na krajích pás. $\Psi = 1$

Součinitel boulení pro $\bar{\lambda}_p \leq 0{,}673 \quad \rho = 1{,}0$

pro $\bar{\lambda}_p > 0{,}673 \quad \rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0{,}055(3+\Psi)}{\bar{\lambda}_p^2}$

$\rho = 1$

Počáteční účinná šířka pás. $b_{eff} = \rho \times b_p = 39{,}740 \text{ mm}$

Účinná šířka $b_{ei} = \frac{b_{eff}}{2}$

$b_{e1} = 19{,}87$ mm

$b_{e2} = 19{,}87$ mm

Poměrná stěnová štíhlost $\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \times \sqrt{\chi_d} = 0{,}310$

Poměr napětí na krajích pás. $\Psi = 1$

Součinitel boulení pro $\bar{\lambda}_p \leq 0{,}748 \quad \rho = 1{,}0$

pro $\bar{\lambda}_p > 0{,}748 \quad \rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0{,}188}{\bar{\lambda}_p^2}$

$\rho = 1$

Počáteční účinná šířka pás. **$c_{eff} = \rho \times c_p = 9{,}22$ mm**

Těžiště rohu s výztuhou $y_t = c_p - \frac{c_{eff} \times b_{e2} + \frac{c_{eff}^2}{2}}{c_{eff} + b_{e2}} = 1{,}4611 \text{ mm}$

$$b_1 = b_p - b_{e2} - \left(\frac{c_{eff} \times b_{e2} + \frac{b_{e2}^2}{2}}{c_{eff} + b_{e2}} \right)$$

$$b_1 = 32{,}95 \quad mm$$

Plocha rohu s výztuhou $A_s = t \times (c_{eff} + b_{e2}) = 45{,}38 \quad mm^2$

Moment setrv. rohu s výztuhou

$$I_s = \frac{1}{12} b_{e2} t^3 + b_{e2} t y_t^2 + \frac{1}{12} t c_{eff}^3 + t c_{eff} \left(\frac{c_{eff}}{2} - y_t \right)^2$$

$$I_s = 316{,}97 \quad mm^4$$

Pérová tuhost výztuhy

$$K = \frac{Et^3}{4 \times (1 - v^2)} \times \frac{1}{b_1^2 h_p + b_1^3 + 0{,}5 b_1 b_2 h_p k_f}$$

$$K = 0{,}925$$

Kritické napětí okrajové výztuhy

$$\sigma_{cr,s} = \frac{2 \times \sqrt{K \times E \times I_s}}{A_s} = 345{,}77 \quad Mpa$$

Poměrná štíhlost

$$\overline{\lambda}_d = \sqrt{\frac{f_{yk}}{\sigma_{cr,s}}} = 1{,}01$$

Součinitel vzpěrnosti

pro $\overline{\lambda}_d \leq 0{,}65 \quad \chi_d = 1{,}0$

pro $0{,}65 < \overline{\lambda}_d < 1{,}38$

$$\chi_d = 1{,}47 - 0{,}723 \, \overline{\lambda}_d$$

pro $\overline{\lambda}_d \geq 1{,}38 \quad \chi_d \frac{0{,}66}{\overline{\lambda}_d}$

$$\chi_d = 0{,}74$$

Max. tlak. napětí ve stěně $\sigma_{com} = \chi_d \times f_{yk} = 259{,}91 \quad Mpa$

Konec iterace

Redukovaná tloušťka výztuhy $t_{red} = \chi_d \times t = 1{,}1584 \quad mm$

Stojina - lokální boulení

Poměr napětí v tažené a tlačené pásnici $\Psi = 1{,}0$

Součinitel kritického napětí $k_\sigma = 4{,}0$

Poměrná stěnová štíhlost

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{h_p}{t}}{28{,}4 \times \sqrt{\frac{235}{f_y}} \times \sqrt{k_\sigma}} = 1{,}356$$

Součinitel boulení

pro $\bar{\lambda}_p \leq 0{,}673$ $\rho = 1{,}0$

pro $\bar{\lambda}_p > 0{,}673$ $\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0{,}055(3+\Psi)}{\bar{\lambda}_p^2}$

$\rho = 0{,}618$

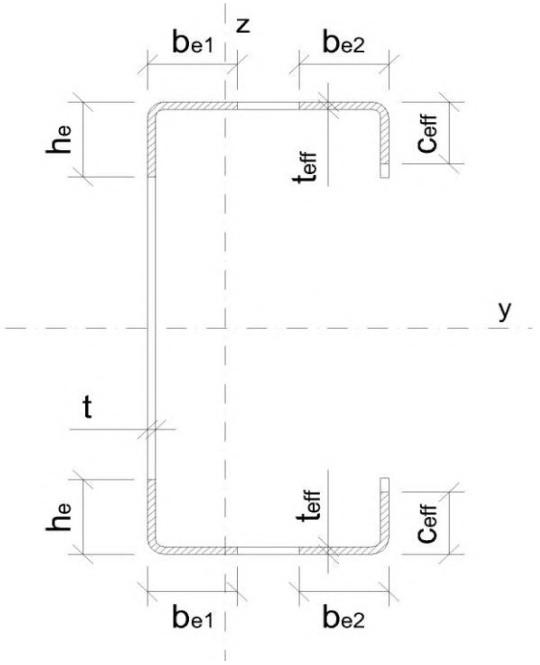
Počáteční účinná šířka pásnice $h_{eff} = \rho \times h_p = 60{,}82$ mm

Účinná šířka $h_{ei} = \frac{h_{eff}}{2}$

$h_{e1} = 30{,}41$ mm

$h_{e2} = 30{,}41$ mm

Parametry výsledného efektivního průřezu



Efektivní plocha průřezu	A_{eff}	=	216,728	mm^2
Plná plocha průřezu	A_g	=	306,322	mm^2
Poměr efektivní a plné plochy průřezu	β_a	=	0,71	
Souřadnice těžiště plného průřezu ve směru z	c_z	=	11,77	mm
Souřadnice těžiště efektivního průřezu ve směru z	$c_{z,eff}$	=	12,65	mm
Posun těž. osy z-z v důsledku působení osové síly	$e_{N,z}$	=	0,87	mm
Moment setrvačnosti k ose y pro plný průřez	I_y	=	472417	mm^4
Poloměr setrvačnosti k ose y pro plný průřez	i_y	=	39,27	mm
Moment setrvačnosti k ose z pro plný průřez	I_z	=	68268	mm^4
Poloměr setrvačnosti k ose z pro plný průřez	i_z	=	14,93	mm

Vzpěrná únosnost efektívneho průřezu

Rovinný vzpěr kolmo k ose y

obě pásnice jsou drženy pláštěm,
je bráněno vyboč. ve směru měkké osy

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = 15{,}915$$

$$\lambda_1 = 93{,}9 \times \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}} = 76{,}94$$

$$\overline{\lambda_y} = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = 0{,}17$$

Součinitel vzpěrnosti

$\alpha = 0{,}34$

$$\phi = 0{,}5 \times [\, 1 + \alpha (\overline{\lambda_y} - 0{,}2) + \overline{\lambda_y}^2 \,]$$

$$\phi = 0{,}5107$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 + \overline{\lambda_y}^2}} = 0{,}95$$

Vzpěrná únosnost bez prostorového vzpěru

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \times A_{eff} \times f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{b,y,Rd} = 72{,}23 \text{ kN}$$

Rovinný vzpěr kolmo k ose z

obě pásnice jsou drženy pláštěm,
je bráněno vyboč. ve směru měkké osy

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = 23{,}445$$

$$\lambda_1 = 93{,}9 \times \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}} = 76{,}94$$

$$\overline{\lambda_z} = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = 0{,}26$$

Součinitel vzpěrnosti

$\alpha = 0{,}34$

$$\phi = 0{,}5 \times [\, 1 + \alpha (\overline{\lambda_z} - 0{,}2) + \overline{\lambda_z}^2 \,]$$

$$\phi = 0{,}5424$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 + \overline{\lambda_z}^2}} = 0{,}88$$

Vzpěrná únosnost bez prostorového vzpěru

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \times A_{eff} \times f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{b,z,Rd} = 66{,}40 \text{ kN}$$

Prostorový vzpěr

Výsečový deviační moment

$$I_{wy} = \iint_A \omega z dA$$

$$I_{w,y} = 6265340{,}19 \text{ mm}^5$$

Vzdálenost středu smyku od stojiny

$$c_y = \frac{I_{w,y}}{I_y} = 13{,}26 \text{ mm}$$

Výsečový moment setrvačnosti

$$I_w = \iint_A \omega^2 dA$$

a = 653
b = -1956
c = -2445

I_w = 301626030 mm^6

Moment setrvačnosti v prost. kroucení

$$I_t = \frac{1}{3} \sum b_i \times t_i^3$$

I_t = 248,488 mm^4

Vzdálenost středu smyku od těžiště

$y_0 = c_y + c_z$ = 25,04 mm

$i_0^2 = i_y^2 + i_z^2 + y_0^2$

i_0^2 = 2391,94 mm^2

Kritické napětí pro vybočení zkroucením

$$\sigma_{cr,T} = \frac{1}{A_g i_0^2}\left(GI_t + \frac{\pi^2 E I_w}{L_t^2} \right)$$

$\sigma_{cr,T}$ = 2211,64 Mpa

Kritické napětí pro vybočení kolmo k ose

$$\sigma_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E}{\left(\frac{L_y}{i_y}\right)^2} = 8183 \text{ Mpa}$$

$$\beta = 1 - \left(\frac{y_0}{i_0}\right)^2$$

β = 0,74

Kritické napětí pro prostorový vzpěr

$$\sigma_{cr,TF} = \frac{1}{2\beta}\left(\left(\sigma_{cr,y} + \sigma_{cr,T} \right) - \sqrt{\left(\sigma_{cr,y} + \sigma_{cr,T} \right)^2 - 4\beta\, \sigma_{cr,y}\, \sigma_{cr,T}} \right)$$

$\sigma_{cr,TF}$ = 2035,09 Mpa

$$\lambda = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr,TF}} \times \frac{A_{eff}}{A}} = 0,33$$

α = 0,34

$\phi = 0,5 \times [\, 1 + \alpha (\lambda - 0,2) + \lambda^2 \,]$

ϕ = 0,5789

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 + \lambda^2}} = 0,95$$

Vzpěrná únos. prutu s prostor. vzpěrem

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \times A_{eff} \times f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

$N_{b,Rd}$ = 72,158 kN

Výsledná vzpěrná únosnost **N_{Rd} = 66,403 kN**

Momentová únosnost horního pasu střešního vazníku - $M_{z,Rd}$ - záporný

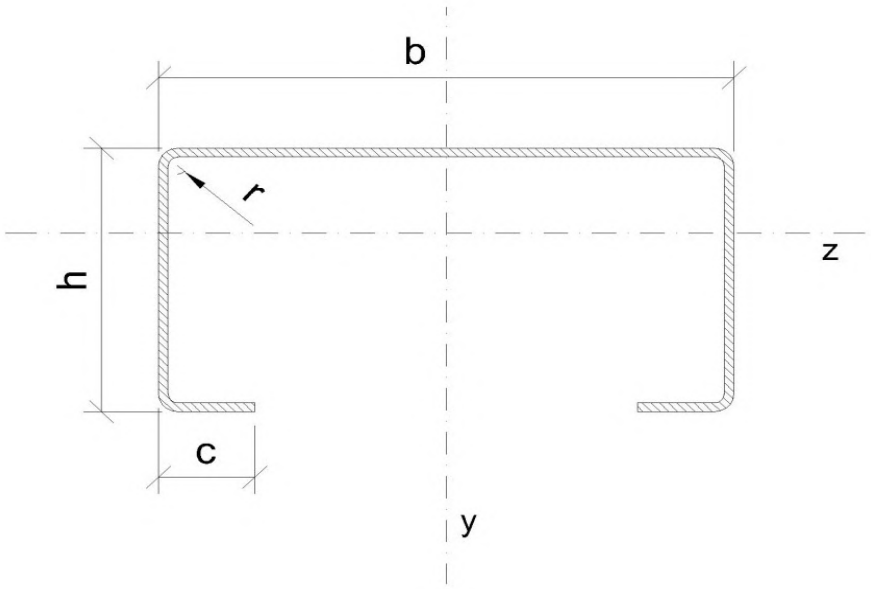
Vlastnosti materiálu

Ocel: S350 GD + Z275

Mez kluzu	f_{yk}=	350	MPa
Mez pevnosti	f_{uk}=	420	MPa
Modul pružnosti	E=	210000	MPa
Smykový modul	G=	80800	MPa
Poissonova konstanta	ν=	0,3	-

Geometrie průřezu

Výška průřezu	h=	41,3	mm
Šířka pásnice	b=	100	mm
Výška výztuhy	c=	10	mm
Nominální tloušťka	t_{nom}=	1,6	mm
Výpočetní tloušťka (bez vrstvy zinku Z275 = 0,04mm)	t=	1,56	mm
Poloměr zaoblení	r=	1,5	mm



Vnitřní poloměr ohnutí r = t lze ve výpočtu zanedbat protože:

$r \le 5t$

$1,5 \le 5 \times 1,16$ **VYHOVUJE**

$r \le 0,1b$

$1,5 \le 0,1 \times 41,3$ **VYHOVUJE**

Geometrie nosníku

Délka mezi body s nulovým momentem L_e = 1650 mm

Moment záporný

Smykové ochabnutí tažené pásnice

Polovina šířky pásnice $b_0 = \frac{b_p}{2}$ = 49,22 mm

Limitní šířka pásnice $\frac{L_e}{50} = 33$ mm

Nastává smykové ochabnutí ANO

$\kappa = \frac{b_0}{L_e} = 0{,}060$

$c_p = c - \frac{t}{2}$

$c_p = 9{,}22$ mm

Součinitel účinné šířky $\beta = 0{,}76$ dle tab. 3.1 (EN 1993-1-5)

Účinná šířka tažené pásnice $b_{eff} = b_p \times \beta = 74{,}38$ mm

$b_p = b - t$

$b_p = 98{,}44$ mm

Krok 1

$h_p = h - t$

$h_p = 39{,}74$ mm

Součinitel kritického napětí $k_\sigma = 4$ dle tab. 4.1 (EN 1993-1-5)

Poměrná štíhlost

$$\overline{\lambda}_p = \frac{\frac{h_p}{t}}{28{,}4 \times \sqrt{\frac{235}{f_y}} \times \sqrt{k_\sigma}} = 0{,}547$$

Poměr napětí na krajích pás. $\Psi = 1$

Součinitel boulení

pro $\overline{\lambda}_p \leq 0{,}673$ $\rho = 1{,}0$

pro $\overline{\lambda}_p > 0{,}673$ $\rho = \frac{\overline{\lambda}_p - 0{,}055(3+\Psi)}{\overline{\lambda}_p^2}$

$\rho = 1$

Počáteční účinná šířka pás. $h_{eff} = \rho \times h_p = 39{,}740$ mm

Účinná šířka $h_{ei} = \frac{h_{eff}}{2}$

$h_{e1} = 19{,}87$ mm

$h_{e2} = 19{,}87$ mm

Poměr délky výztuhy a pás. $\frac{c_p}{h_p} = 0{,}232$

Součinitel kritického napětí

pro $c_p/h_p \leq 0{,}35$ $k_\sigma = 0{,}5$

pro $0{,}35 < c_p/h_p \leq 0{,}6$ $k_\sigma = 0{,}5 + 0{,}83 \sqrt[3]{\left(\frac{c_p}{h_p} - 0{,}35\right)^2}$

$k_\sigma = 0{,}5$

Poměrná štíhlost

$$\overline{\lambda}_p = \frac{\frac{c_p}{t}}{28{,}4 \times \sqrt{\frac{235}{f_y}} \times \sqrt{k_\sigma}} = 0{,}359$$

Poměr napětí na krajích pás. $\Psi = 1$

Součinitel boulení

pro $\overline{\lambda}_p \leq 0{,}748$ $\rho = 1{,}0$

pro $\overline{\lambda}_p > 0{,}748$ $\rho = \frac{\overline{\lambda}_p - 0{,}188}{\overline{\lambda}_p^2}$

$\rho = 1$

Počáteční účinná šířka pás. $\mathbf{c_{eff} = \rho \times c_p = 9{,}22 \ mm}$

Těžiště rohu s výztuhou

$$y_t = c_p - \frac{c_{eff} \times h_{e2} + \frac{c_{eff}^2}{2}}{c_{eff} + h_{e2}} = 1{,}4611 \ mm$$

$$h_1 = h_p - h_{e2} - \left(\frac{c_{eff} \times h_{e2} + \frac{h_{e2}^2}{2}}{c_{eff} + h_{e2}} \right)$$

$h_1 = 32{,}95 \ mm$

Plocha rohu s výztuhou $A_s = t \times (c_{eff} + h_{e2}) = 45{,}38 \ mm^2$

Moment setrv. rohu s výztuhou

$$I_s = \frac{1}{12} h_{e2} t^3 + h_{e2} t y_t^2 + \frac{1}{12} t c_{eff}^3 + t c_{eff} \left(\frac{c_{eff}}{2} - y_t \right)^2$$

$I_s = 316{,}97 \ mm^4$

$k_f = 0{,}0$
ohýbaný průř.

Pérová tuhost výztuhy

$$K = \frac{E t^3}{4 \times (1 - \nu^2)} \times \frac{1}{h_1^2 b_p + h_1^3 + 0{,}5 h_1 h_2 b_p k_f}$$

$K = 1{,}2711$

Kritické napětí okrajové výztuhy

$$\sigma_{cr,s} = \frac{2 \times \sqrt{K \times E \times I_s}}{A_s} = 405{,}39 \ Mpa$$

Poměrná štíhlost

$$\overline{\lambda}_d = \sqrt{\frac{f_{yk}}{\sigma_{cr,s}}} = 0{,}929$$

Součinitel vzpěrnosti

pro $\overline{\lambda}_d \leq 0{,}65$ $\chi_d = 1{,}0$

pro $0{,}65 < \overline{\lambda}_d < 1{,}38$

$$\chi_d = 1{,}47 - 0{,}723 \ \overline{\lambda}_d$$

pro $\overline{\lambda}_d \geq 1{,}38$ $\chi_d \ \frac{0{,}66}{\overline{\lambda}_d}$

$\chi_d = 0{,}798$

Max. tlak. napětí ve stěně $\sigma_{com} = \chi_d \times f_{yk} = 279{,}37 \ Mpa$

Krok 2

Poměrná stěnová štíhlost $\overline{\lambda}_{p,red} = \overline{\lambda}_p \times \sqrt{\chi_d} = 0{,}489$

Poměr napětí na krajích pás. $\Psi = 1$

Součinitel boulení

pro $\overline{\lambda}_p \leq 0{,}673$ $\rho = 1{,}0$

pro $\overline{\lambda}_p > 0{,}673$ $\rho = \frac{\overline{\lambda}_p - 0{,}055(3+\Psi)}{\overline{\lambda}_p^2}$

$\rho = 1$

Počáteční účinná šířka pás. $h_{eff} = \rho \times h_p = 39{,}740$ mm

Účinná šířka $h_{ei} = \frac{b_{eff}}{2}$

$h_{e1} = 19{,}87$ mm

$h_{e2} = 19{,}87$ mm

Poměrná stěnová štíhlost $\overline{\lambda}_{p,red} = \overline{\lambda_p} \times \sqrt{\chi_d} = 0{,}321$

Poměr napětí na krajích pás. $\Psi = 1$

Součinitel boulení pro $\overline{\lambda}_p \leq 0{,}748$ $\rho = 1{,}0$

pro $\overline{\lambda}_p > 0{,}748$ $\rho = \frac{\overline{\lambda_p} - 0{,}188}{\overline{\lambda_p}^2}$

$\rho = 1$

Počáteční účinná šířka pás. **$c_{eff} = \rho \times c_p = 9{,}22$ mm**

Těžiště rohu s výztuhou

$$y_t = c_p - \frac{c_{eff} \times h_{e2} + \frac{c_{eff}^2}{2}}{c_{eff} + h_{e2}} = 1{,}4611 \text{ mm}$$

$$h_1 = h_p - h_{e2} - \left(\frac{c_{eff} \times h_{e2} + \frac{h_{e2}^2}{2}}{c_{eff} + h_{e2}} \right)$$

$h_1 = 32{,}95$ mm

Plocha rohu s výztuhou $A_s = t \times (c_{eff} + h_{e2}) = 45{,}38$ mm^2

Moment setrv. rohu s výztuhou

$$I_s = \frac{1}{12} h_{e2} t^3 + h_{e2} t y_t^2 + \frac{1}{12} t c_{eff}^3 + t c_{eff} \left(\frac{c_{eff}}{2} - y_t \right)^2$$

$I_s = 316{,}97$ mm^4

Pérová tuhost výztuhy

$$K = \frac{E t^3}{4 \times (1 - \nu^2)} \times \frac{1}{h_1^2 b_p + h_1^3 + 0{,}5 h_1 h_2 b_p k_f}$$

$K = 1{,}271$

Kritické napětí okrajové výztuhy

$$\sigma_{cr,s} = \frac{2 \times \sqrt{K \times E \times I_s}}{A_s} = 405{,}39 \text{ Mpa}$$

Poměrná štíhlost $\overline{\lambda}_d = \sqrt{\frac{f_{yk}}{\sigma_{cr,s}}} = 0{,}929$

Součinitel vzpěrnosti pro $\overline{\lambda}_d \leq 0{,}65$ $\chi_d = 1{,}0$

pro $0,65 < \overline{\lambda}_d < 1,38$

$\chi_d = 1,47 - 0,723\ \overline{\lambda}_d$

pro $\overline{\lambda}_d \geq 1,38$ $\chi_d \frac{0,66}{\overline{\lambda}_d}$

$\chi_d = 0,798$

Max. tlak. napětí ve stěně $\sigma_{com} = \chi_d \times f_{yk} = 279,37$ Mpa

Krok 3

Poměrná stěnová štíhlost $\overline{\lambda}_{p,red} = \overline{\lambda}_p \times \sqrt{\chi_d} = 0,489$

Poměr napětí na krajích pás. $\Psi = 1$

Součinitel boulení pro $\overline{\lambda}_p \leq 0,673$ $\rho = 1,0$

pro $\overline{\lambda}_p > 0,673$ $\rho = \frac{\overline{\lambda}_p - 0,055(3+\Psi)}{\overline{\lambda}_p^2}$

$\rho = 1$

Počáteční účinná šířka pás. $h_{eff} = \rho \times h_p = 39,740$ mm

Účinná šířka $h_{ei} = \frac{h_{eff}}{2}$

$h_{e1} = 19,87$ mm

$h_{e2} = 19,87$ mm

Poměrná stěnová štíhlost $\overline{\lambda}_{p,red} = \overline{\lambda}_p \times \sqrt{\chi_d} = 0,321$

Poměr napětí na krajích pás. $\Psi = 1$

Součinitel boulení pro $\overline{\lambda}_p \leq 0,748$ $\rho = 1,0$

pro $\overline{\lambda}_p > 0,748$ $\rho = \frac{\overline{\lambda}_p - 0,188}{\overline{\lambda}_p^2}$

$\rho = 1$

Počáteční účinná šířka pás. **$c_{eff} = \rho \times c_p = 9,22$ mm**

Těžiště rohu s výztuhou

$$y_t = c_p - \frac{c_{eff} \times h_{e2} + \frac{c_{eff}^2}{2}}{c_{eff} + h_{e2}} = 1,4611 \text{ mm}$$

$$h_1 = h_p - h_{e2} - \left(\frac{c_{eff} \times h_{e2} + \frac{h_{e2}^2}{2}}{c_{eff} + h_{e2}} \right)$$

$h_1 = 32,95$ mm

Plocha rohu s výztuhou $A_s = t \times (c_{eff} + h_{e2}) = 45,38$ mm^2

Moment setrv. rohu s výztuhou

$$I_s = \frac{1}{12} h_{e2} t^3 + h_{e2} t y_t^2 + \frac{1}{12} t c_{eff}^3 + t c_{eff} \left(\frac{c_{eff}}{2} - y_t \right)^2$$

$I_s = 316{,}97 \ mm^4$

Pérová tuhost výztuhy

$$K = \frac{Et^3}{4\times(1-\nu^2)} \times \frac{1}{h_1^2 b_p + h_1^3 + 0{,}5 h_1 h_2 b_p k_f}$$

$K = 1{,}271$

Kritické napětí okrajové výztuhy

$$\sigma_{cr,s} = \frac{2\times\sqrt{K \times E \times I_s}}{A_s} = 405{,}39 \ Mpa$$

Poměrná štíhlost $\overline{\lambda_d} = \sqrt{\frac{f_{yk}}{\sigma_{cr,s}}} = 0{,}929$

Součinitel vzpěrnosti pro $\overline{\lambda_d} \le 0{,}65$ $\chi_d = 1{,}0$

pro $0{,}65 < \overline{\lambda_d} < 1{,}38$

$\chi_d = 1{,}47 - 0{,}723 \ \overline{\lambda_d}$

pro $\overline{\lambda_d} \ge 1{,}38$ $\chi_d \ \frac{0{,}66}{\overline{\lambda_d}}$

$\chi_d = 0{,}798$

Max. tlak. napětí ve stěně $\sigma_{com} = \chi_d \times f_{yk} = 279{,}37 \ Mpa$

Konec iterace

Redukovaná tloušťka výztuhy $t_{red} = \chi_d \times t = 1{,}2452 \ mm$

Smykové ochabnutí tlačené pásnice

$$A_{eff} = A_{c,eff} \ \beta^{\kappa} \ge A_{c,eff} \ \beta$$

Polovina šířky pásnice $b_0 = \frac{b_p}{2} = 49{,}22 \ mm$

Limitní šířka pásnice $\frac{L_e}{50} = 33 \ mm$

Nastává smykové ochabnutí ANO

$\kappa = \frac{b_0}{L_e} = 0{,}060$

Součinitel účinné šířky $\beta = 0{,}76$ dle tab. 3.1 (EN 1993-1-5)

Redukovaná tloušťka výztuhy
(včetně smyk. ochabnutí) $\mathbf{t_{red} = 1{,}2246 \ mm}$

Boulení svislé stěny

Původní výska těžiště průřezu

$$c_z = \frac{b_p \times h_p + 2 \times h_p \times \frac{h_p}{2}}{b_p + 2 \times h_p + 2 \times c_p} = 27{,}97 \ mm$$

$$c_{z,n} = \frac{2 \times h_{e2} \times t_{red} \times \frac{h_{e2}}{2} + 2 \times t \times h_{e1} \times \left(\frac{h_{e1}}{2} + h_{e2} \right) + b_{eff} \times h_p}{t_{red} \times c_{eff} + 2 \times h_{e2} \times t_{red} + 2 \times h_{e1} \times t + b_{eff} \times t}$$

$c_{z,n}$ = 29,17 mm

Změna polohy neutrální osy e = 1,21 mm

Délka tlačené části stojiny

h_t = 29,17 mm

Poměr napětí v taž. a tlač. pásnici $\psi = \frac{h_p - h_t}{-h_t} =$ -0,36

Součinitel kritického napětí $k_\sigma = 7,81 - 6,29\ \psi + 9,78\ \psi^2$

k_σ = 11,37

Poměrná stěnová štíhlost

$$\overline{\lambda_p} = \frac{h_t}{t} \times \sqrt{\frac{12 \times (1 - \nu^2)\ f_{yb}}{\pi^2\ E\ k_\sigma}} = 0,238$$

Součinitel boulení pro $\overline{\lambda_p} \le 0,673$ $\rho = 1,0$

pro $\overline{\lambda_p} > 0,673$ $\rho = \frac{\overline{\lambda_p} - 0,055(3+\psi)}{\overline{\lambda_p}^2}$

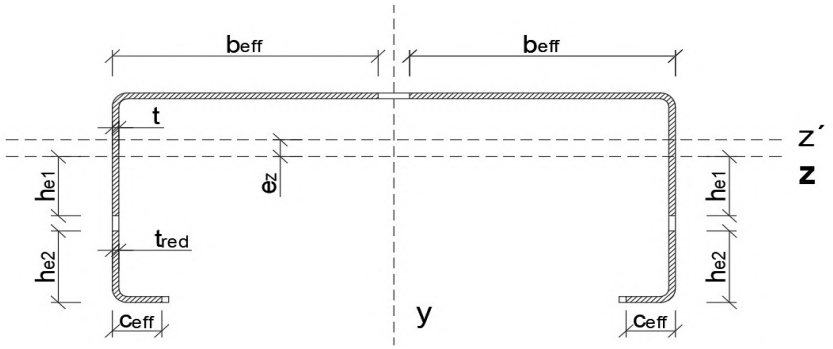
ρ = 1,000

Počáteční účinná výška stojiny $h_{eff} = \rho \times h_t$ = 29,172 mm

Účinná výška 1 **h_{e1} = 0,4 h_{eff} = 11,67 mm**

Účinná výška 2 **h_{e2} = 0,6 h_{eff} = 17,50 mm**

Parametry výsledného efektivního průřezu



Původní výska těžiště průřezu c_z = 27,97 mm

Nová výška těžiště průřezu $c_{z,n}$ = 29,17 mm

Posun těžiště průřezu e_z = 1,21 mm

Moment setrvačnosti k ose z $I_{eff,z}$ = 54051,67 mm^4

Průřezový modul k ose z $W_{eff,z}$ = 1852,86 mm^3

Moment únosnosti

$$\mathbf{M_{z,Rd} = W_{eff,z} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}} = 0,65\ kNm}$$

Momentová únosnost horního pasu střešního vazníku - $M_{z,Rd}$ - kladný

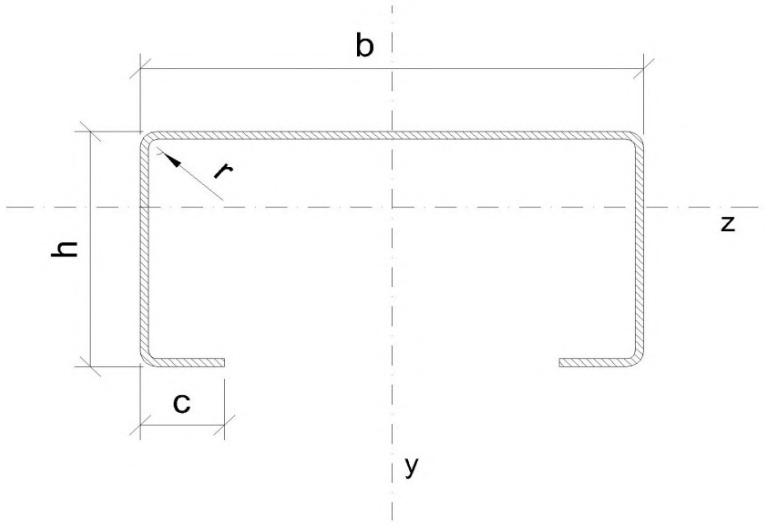
Vlastnosti materiálu

Ocel: S350 GD + Z275

Mez kluzu	f_{yk}=	350	MPa
Mez pevnosti	f_{uk}=	420	MPa
Modul pružnosti	E=	210000	MPa
Smykový modul	G=	80800	MPa
Poissonova konstanta	ν=	0,3	-

Geometrie průřezu

Výška průřezu	h=	41,3	mm
Šířka pásnice	b=	100	mm
Výška výztuhy	c=	10	mm
Nominální tloušťka	t_{nom}=	1,6	mm
Výpočetní tloušťka (bez vrstvy zinku Z275 = 0,04mm)	t=	1,56	mm
Poloměr zaoblení	r=	1,5	mm



Vnitřní poloměr ohnutí r = t lze ve výpočtu zanedbat protože:

$r \leq 5t$

$1,5 \leq 5 \times 1,16$ **VYHOVUJE**

$r \leq 0,1b$

$1,5 \leq 0,1 \times 41,3$ **VYHOVUJE**

Geometrie nosníku

Délka mezi body s nulovým momentem L_e = 1650 mm

Moment (k - kladný/ z - záporný) k

Smykové ochabnutí tažené pásnice

Šířka pásnice $c_0 = c_p$ = 9,22 mm

Limitní šířka pásnice $\frac{L_e}{50}$ = 33 mm

Nastává smykové ochabnutí NE

Součinitel účinné šířky

$$\kappa = \frac{c_0}{L_e} = 0{,}006$$

Účinná šířka tažené pásnice

$\beta = 1{,}00$ dle tab. 3.1 (EN 1993-1-5)

Boulení tlačené pásnice

$c_{eff} = c_p \times \beta = 9{,}22$ mm

Součinitel kritického napětí $k_\sigma = 4$ dle tab. 4.1 (EN 1993-1-5)

$b_p = b - t$

$b_p = 98{,}44$ mm

Poměrná stěnová štíhlost

$$\lambda_p = \frac{b_p}{t} \times \sqrt{\frac{12\,(1-\nu^2)\,f_{yb}}{\pi^2\,E\,k_\sigma}}$$

$\lambda_p = 1{,}35$

Poměr napětí na krajích pás. $\Psi = 1$

Součinitel boulení

pro $\lambda_p \le 0{,}673$ $\rho = 1{,}0$

pro $\lambda_p > 0{,}673$ $\rho = \frac{\lambda_p - 0{,}055(3+\Psi)}{\lambda_p^2}$

$\rho = 0{,}61823$

Účinná šířka pás. $b_{eff} = \rho \times b_p = 60{,}858$ mm

Účinná šířka $b_{ei} = \frac{b_{eff}}{2}$

$b_{e1} = 30{,}429$ mm

$b_{e2} = 30{,}429$ mm

Boulení svislé stěny

Změna polohy neutrální osy

$c_p = c - \frac{t}{2}$

$c_p = 9{,}22$ mm

$$e = \frac{b_p \times h_p + 2 \times h_p \times \frac{h_p}{2}}{b_p + 2 \times h_p + 2 \times c_p} - \frac{b_{e1} \times h_p + b_{e2} \times h_p + 2 \times h_p \times \frac{h_p}{2}}{b_{e1} + b_{e2} + 2 \times h_p + 2 \times c_p}$$

$h_p = h - t$

$h_p = 39{,}74$ mm

$e = 2{,}79$ mm

Délka tlačené části stojiny

$$h_t = h_p - \frac{b_{e1} \times h_p + b_{e2} \times h_p + 2 \times h_p \times \frac{h_p}{2}}{b_{e1} + b_{e2} + 2 \times h_p + 2 \times c_{eff}} = 14{,}562 \text{ mm}$$

Poměr napětí v taž. a tlač. pásnici $\Psi = \frac{h_p - h_t}{-h_t} = -1{,}73$

Součinitel kritického napětí $k_\sigma = 5{,}98 \times (1-\Psi)^2$

$k_\sigma = 44{,}54$

Poměrná stěnová štíhlost

$$\overline{\lambda_p} = \frac{h_t}{t} \times \sqrt{\frac{12 \times (1-\nu^2)\,f_{yb}}{\pi^2\,E\,k_\sigma}} = 0{,}060$$

Součinitel boulení pro $\overline{\lambda}_p \leq 0{,}673$ $\rho = 1{,}0$

pro $\overline{\lambda}_p > 0{,}673$ $\rho = \frac{\overline{\lambda}_p - 0{,}055(3+\Psi)}{\overline{\lambda}_p^2}$

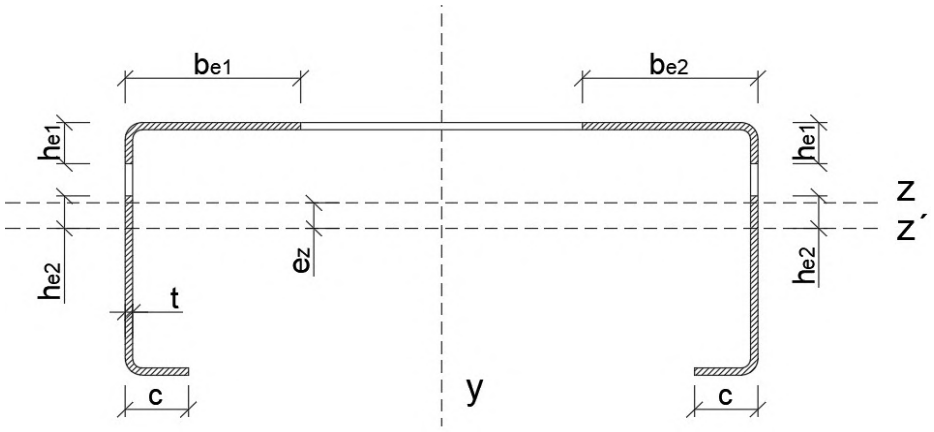
$\rho = 1{,}000$

Počáteční účinná šířka stojiny $h_{eff} = \rho \times h_t = 14{,}562$ mm

Účinná šířka 1 **$h_{e1} = 0{,}4\ h_{eff} = 5{,}82$ mm**

Účinná šířka 1 **$h_{e2} = 0{,}6\ h_{eff} = 8{,}74$ mm**

Parametry výsledného efektivního průřezu



Původní výska těžiště průřezu $c_z = 27{,}97$ mm

Nová výška těžiště průřezu $c_{z,n} = 25{,}18$ mm

Posun těžiště průřezu $e_z = 2{,}79$ mm

Moment setrvačnosti k ose z $I_{eff,z} = 58203{,}92$ mm^4

Průřezový modul k ose z $W_{eff,z} = 2311{,}67$ mm^3

Moment únosnosti

$$\mathbf{M_{z,Rd} = W_{eff,z} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}} = 0{,}81\ kNm}$$

Posouzení:

Posouzení kombinace namáhání podle vztahů dle ČSN EN 1993-1-3 vzorec 6.36:

Kombinace tlaku a ohybu:

$$\left(\frac{N_{ed,c}}{N_{c,Rd}}\right)^{0,8} + \left(\frac{M_{y,ed}}{M_{y,Rd}}\right)^{0,8} + \left(\frac{M_{z,ed}}{M_{z,Rd}}\right)^{0,8} \leq 1{,}0$$

$$\left(\frac{7{,}41}{66{,}4}\right)^{0,8} + \left(\frac{0}{M_{y,Rd}}\right)^{0,8} + \left(\frac{0{,}03}{0{,}81}\right)^{0,8} \leq 1{,}0$$

0,25 ≤ 1,0 VYHOVUJE

$N_{t,Rd} = 107 \text{ kN}$

Kombinace tahu a ohybu:

$$\left(\frac{N_{ed,t}}{N_{t,Rd}}\right) + \left(\frac{M_{y,ed}}{M_{y,Rd}}\right) + \left(\frac{M_{z,ed}}{M_{z,Rd}}\right) \leq 1,0$$

$$\left(\frac{12,4}{107}\right) + \left(\frac{0}{M_{y,Rd}}\right) + \left(\frac{0,03}{0,65}\right) \leq 1,0$$

0,25 ≤ 1,0 VYHOVUJE

Momentová únosnost oslabeného průřezu horního pasu střešního vazníku - záporný moment

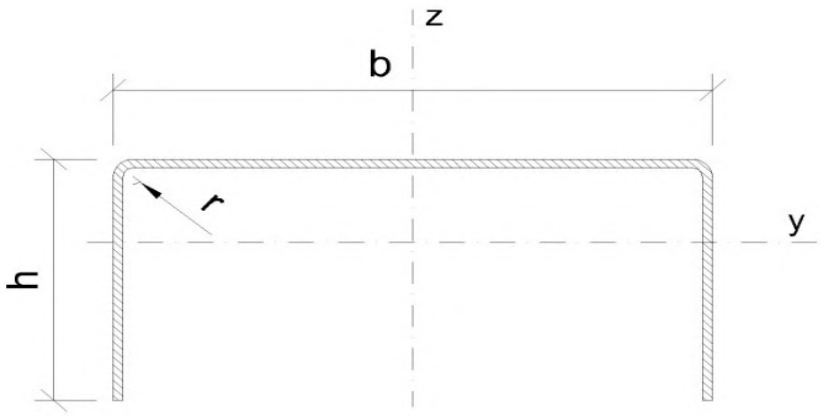
Vlastnosti materiálu

Ocel: S350 GD + Z275

Mez kluzu	f_{yk}=	350	MPa
Mez pevnosti	f_{uk}=	420	MPa
Modul pružnosti	E=	210000	MPa
Smykový modul	G=	80800	MPa
Poissonova konstanta	ν=	0,3	-

Geometrie průřezu

Výška průřezu	h=	41,3	mm
Šířka pásnice	b=	100	mm
Výška výztuhy	c=	10	mm
Nominální tloušťka	t_{nom}=	1,6	mm
Výpočetní tloušťka (bez vrstvy zinku Z275 = 0,04mm)	t=	1,56	mm
Poloměr zaoblení	r=	1,5	mm



Vnitřní poloměr ohnutí r = t lze ve výpočtu zanedbat protože:

$r \leq 5t$

$1,5 \leq 5 \times 1,16$ **VYHOVUJE**

$r \leq 0,1b$

$1,5 \leq 0,1 \times 41,3$ **VYHOVUJE**

Geometrie nosníku

Délka mezi body s nulovým momentem L_e = 1650 mm

Moment záporný

Smykové ochabnutí tažené pásnice

$b_p = b - t$

b_p = 98,44 mm

Polovina šířka pásnice $b_0 = \frac{b_p}{2}$ = 49,22 mm

$$c_p = c - \frac{t}{2}$$

$c_p = 9{,}22 \text{ mm}$

$h_p = h - t$

$h_p = 39{,}74 \text{ mm}$

Limitní šířka pásnice $\frac{L_e}{50} = 33 \text{ mm}$

Nastává smykové ochabnutí ANO

$$\kappa = \frac{b_0}{L_e} = 0{,}03$$

Součinitel účinné šířky (záp. moment) $\beta = 0{,}91$ dle tab. 3.1 (EN 1993-1-5)

Účinná šířka tažené pásnice $b_{eff,osl} = b_p \times \beta = 89{,}49 \text{ mm}$

Boulení svislé stěny

Poloha neutrální osy plného průřezu

$$z_y = \frac{2 \times h_p \times \frac{h_p}{2}}{2 \times h_p + b_p} = 8{,}876 \text{ mm}$$

Délka tlačené části stojiny $h_t = h_p - z_y = 30{,}86 \text{ mm}$

Poměr napětí v taž. a tlač. pásnici $\psi = \frac{h_p - h_t}{-h_t} = -0{,}288$

Součinitel kritického napětí $k_\sigma = 0{,}57$

Poměrná štíhlost

$$\overline{\lambda} = \frac{h_t}{t}\sqrt{\frac{12\,(1-\nu^2)\,f_{yb}}{\pi^2\,E\,k_\sigma}} = 1{,}13$$

Součinitel boulení

pro $\overline{\lambda}_p \le 0{,}748$ $\rho = 1{,}0$

pro $\overline{\lambda}_p > 0{,}748$ $\rho = \frac{\overline{\lambda}_p - 0{,}188}{\overline{\lambda}_p^{\,2}}$

$\rho = 0{,}771$

Účinná výška stojiny $\mathbf{h_{eff} = \rho \times h_p = 23{,}79 \text{ mm}}$

$h_{e1} = 0{,}4 \times h_{eff} = 9{,}52 \text{ mm}$

$h_{e2} = 0{,}6 \times h_{eff} = 14{,}27 \text{ mm}$

Parametry výsledného efektivního průřezu

Původní výška těžiště průřezu $c_z = 8{,}876 \text{ mm}$

Nová výška těžiště průřezu $c_{z,n} = 9{,}01 \text{ mm}$

Posun těžiště průřezu $e_z = -0{,}13 \text{ mm}$

Moment setrvačnosti k ose z $I_{eff,z} = 15868{,}3 \text{ mm}^4$

Průřezový modul k ose z $W_{eff,z} = 552 \text{ mm}^3$

Moment únosnosti

$$\mathbf{M_{z,Rd} = W_{eff,z} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}} = 0{,}19 \text{ kNm}}$$

Momentová únosnost oslabeného průřezu horního pasu střešního vazníku - kladný moment

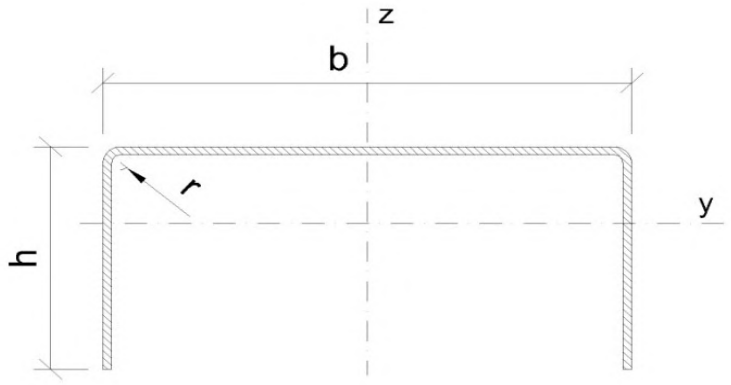
Vlastnosti materiálu

Ocel: S350 GD + Z275

Mez kluzu	f_{yk}=	350	MPa
Mez pevnosti	f_{uk}=	420	MPa
Modul pružnosti	E=	210000	MPa
Smykový modul	G=	80800	MPa
Poissonova konstanta	ν=	0,3	-

Geometrie průřezu

Výška průřezu	h=	41,3	mm
Šířka pásnice	b=	100	mm
Výška výztuhy	c=	10	mm
Nominální tloušťka	t_{nom}=	1,6	mm
Výpočetní tloušťka (bez vrstvy zinku Z275 = 0,04mm)	t=	1,56	mm
Poloměr zaoblení	r=	1,5	mm



Vnitřní poloměr ohnutí r = t lze ve výpočtu zanedbat protože:

$r \le 5t$

$1,5 \le 5 \times 1,16$ **VYHOVUJE**

$r \le 0,1b$

$1,5 \le 0,1 \times 41,3$ **VYHOVUJE**

Geometrie nosníku

Délka mezi body s nulovým momentem L_e = 1650 mm

Moment (k - kladný/ z - záporný) k

Boulení tlačené pásnice

Součinitel kritického napětí k_σ = 4 dle tab. 4.1 (EN 1993-1-5)

$b_p = b - t$
$b_p = 98{,}44 \text{ mm}$

Poměrná stěnová štíhlost $\lambda_p = \frac{b_p}{t} \times \sqrt{\frac{12\,(1-\nu^2)\,f_{yb}}{\pi^2\,E\,k_\sigma}}$

$\lambda_p = 1{,}35$

Poměr napětí na krajích pás. $\Psi = 1$

Součinitel boulení pro $\lambda_p \le 0{,}673$ $\rho = 1{,}0$

pro $\lambda_p > 0{,}673$ $\rho = \frac{\lambda_p - 0{,}055(3+\Psi)}{\lambda_p^2}$

$\rho = 0{,}618$

Účinná šířka pás. $b_{eff} = \rho \times b_p = 60{,}858 \text{ mm}$

Účinná šířka $b_{ei} = \frac{b_{eff}}{2}$

$b_{e1} = 30{,}429$ mm
$b_{e2} = 30{,}429$ mm

Smykové ochabnutí tlačené pásnice

$\alpha_0 = \sqrt{\frac{t \times b_{eff}}{t \times b_p}} = 0{,}79$

$\kappa = \alpha_0 \times \frac{b}{L_e} = 0{,}04691$

Součinitel účinné šířky (klad. moment) $\beta_1 = 0{,}99$ dle tab. 3.1 (EN 1993-1-5)
Součinitel účinné šířky (záp. moment) $\beta_2 = 0{,}81$
Součinitel účinné šířky $\beta = 0{,}99$

$c_p = c - \frac{t}{2}$

$c_p = 9{,}22 \text{ mm}$

Účinná šířka pásnice s vlivem ochabnut **$b_{e1} = 30{,}01$ mm**
$b_{e2} = 30{,}01$ mm

$h_p = h - t$
$h_p = 39{,}74 \text{ mm}$

Boulení svislé stěny

Poloha neutrální osy plného průřezu

$$z_y = \frac{2 \times h_p \times \frac{h_p}{2}}{2 \times h_p + b_p} = 8{,}88 \text{ mm}$$

Změna polohy neutrální osy

$$e = \frac{b_p \times z_y - b_{e1} \times z_y - b_{e2} \times z_y}{2 \times h + b_{e1} + b_{e2}} = 2{,}44521 \text{ mm}$$

Délka tlačené části stojiny

$$h_t = h - \left(\frac{h}{2} + e\right) = 11{,}321 \text{ mm}$$

Poměr napětí v taž. a tlač. pásnici $\psi = \frac{h_p - h_t}{-h_t} = -2,51$

Součinitel kritického napětí $k_\sigma = 23,80$

Poměrná stěnová štíhlost

$$\bar{\lambda}_p = \frac{h_t}{t} \times \sqrt{\frac{12 \times (1 - \nu^2) f_{yb}}{\pi^2 E k_\sigma}} = 0,064$$

Součinitel boulení pro $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$ $\rho = 1,0$

pro $\bar{\lambda}_p > 0,673$ $\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3+\psi)}{\bar{\lambda}_p^2}$

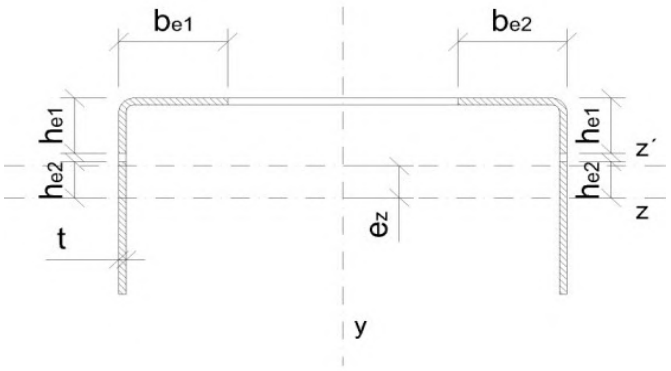
$\rho = 1,000$

Počáteční účinná šířka stojiny $h_{eff} = \rho \times h_t = 11,321$ mm

Účinná šířka 1 **$h_{e1} = 0,4\ h_{eff} = 4,53$ mm**

Účinná šířka 2 **$h_{e2} = 0,6\ h_{eff} = 6,79$ mm**

Parametry výsledného efektivního průřezu



Původní výska těžiště průřezu $c_z = 8,876$ mm

Nová výška těžiště průřezu $c_{z,n} = 11,321$ mm

Posun těžiště průřezu $e_z = -2,445$ mm

Moment setrvačnosti k ose z $I_{eff,z} = 37397,21$ mm^4

Průřezový modul k ose z $W_{eff,z} = 1315,95$ mm^3

Moment únosnosti

$$\mathbf{M_{z,Rd} = W_{eff,z} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}} = 0,46\ kNm}$$

Posouzení:

Kombinace tlaku a ohybu:

$$\left(\frac{N_{ed,c}}{N_{c,Rd}}\right)^{0,8} + \left(\frac{M_{y,ed}}{M_{y,Rd}}\right)^{0,8} + \left(\frac{M_{z,ed}}{M_{z,Rd}}\right)^{0,8} \leq 1,0$$

$$\left(\frac{7,41}{66,4}\right)^{0,8} + \left(\frac{0}{M_{y,Rd}}\right)^{0,8} + \left(\frac{0,03}{0,46}\right)^{0,8} \leq 1,0$$

0,28 ≤ 1,0 VYHOVUJE

Kombinace tahu a ohybu:

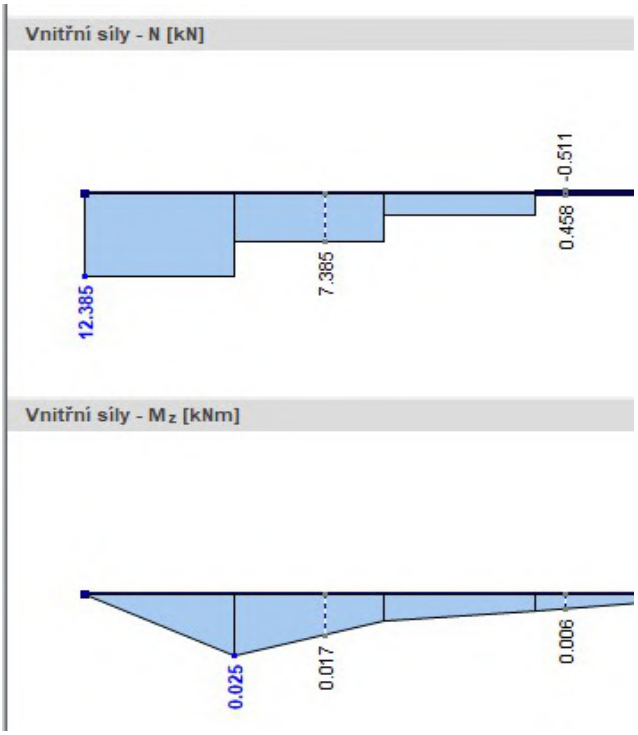
$$\left(\frac{N_{ed,t}}{N_{t,Rd}}\right) + \left(\frac{M_{y,ed}}{M_{y,Rd}}\right) + \left(\frac{M_{z,ed}}{M_{z,Rd}}\right) \leq 1,0$$

$$\left(\frac{12,4}{107,2}\right) + \left(\frac{0}{M_{y,Rd}}\right) + \left(\frac{0,03}{0,19}\right) \leq 1,0$$

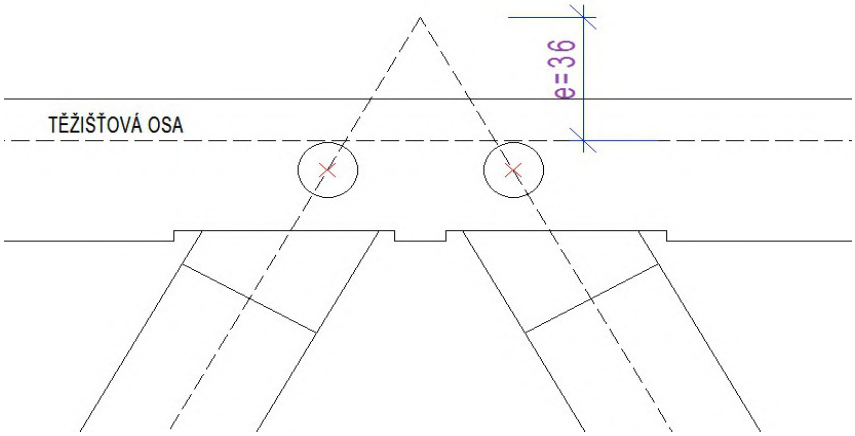
0,38 ≤ 1,0 VYHOVUJE

Přídavný moment od excentricity přípoje v příhradovom vazníku

ΔN = 5,0 kN
e = 36 mm
M = (ΔN × e) / 2 = 0,09 kNm



M_z = 0,03 kN



$M_{z,ed}$ = M_z + M = 0,12 kNm

Posouzení:

Kombinace tlaku a ohybu:

$$\left(\frac{N_{ed,c}}{N_{c,Rd}}\right)^{0,8} + \left(\frac{M_{y,ed}}{M_{y,Rd}}\right)^{0,8} + \left(\frac{M_{z,k,ed}}{M_{z,k,Rd}}\right)^{0,8} \leq 1,0$$

0,50 ≤ 1,0 VYHOVUJE

Kombinace tahu a ohybu:

$$\left(\frac{N_{ed,t}}{N_{t,Rd}}\right) + \left(\frac{M_{y,ed}}{M_{y,Rd}}\right) + \left(\frac{M_{z,ed}}{M_{z,Rd}}\right) \leq 1,0$$

0,72 ≤ 1,0 VYHOVUJE

Smyková únosnost horního pasu střešního vazníku - $V_{y,Rd}$

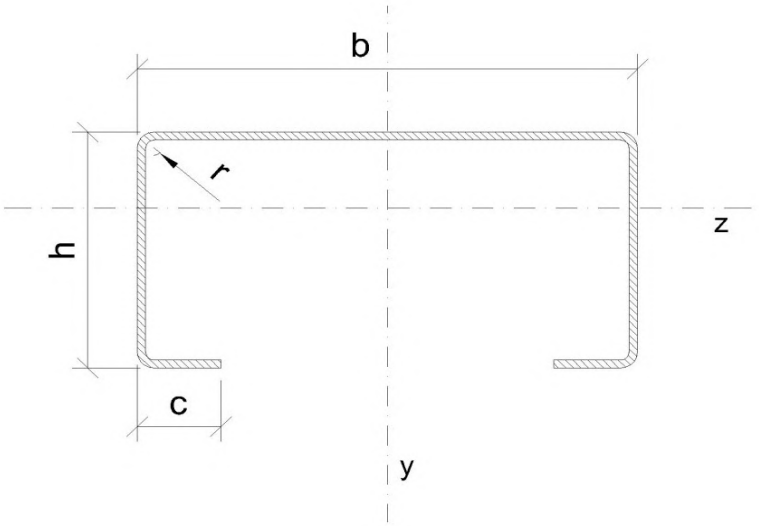
Vlastnosti materiálu

Ocel: S350 GD + Z275

Mez kluzu	f_{yk}=	350	MPa
Mez pevnosti	f_{uk}=	420	MPa
Modul pružnosti	E=	210000	MPa
Smykový modul	G=	80800	MPa
Poissonova konstanta	ν=	0,3	-

Geometrie průřezu

Výška průřezu	h=	41,3	mm
Šířka pásnice	b=	100	mm
Výška výztuhy	c=	10	mm
Nominální tloušťka	t_{nom}=	1,6	mm
Výpočetní tloušťka (bez vrstvy zinku Z275 = 0,04mm)	t=	1,56	mm
Poloměr zaoblení	r=	1,5	mm
Roznášecí délka působícího zatížení	s_s=	50	mm
Sklon stojiny vzhldem k pásnicím	ϕ =	90	°



Vnitřní poloměr ohnutí r = t lze ve výpočtu zanedbat protože:

$r \le 5t$

$1,5 \le 5 \times 1,16$ **VYHOVUJE**

$r \le 0,1b$

$1,5 \le 0,1 \times 41,3$ **VYHOVUJE**

$b_p = b - t$

$b_p = 98,44$ mm

$c_p = c - \frac{t}{2}$

$c_p = 9,22$ mm

$h_p = h - t$

$h_p = 39,74$ mm

Štíhlost stojiny bez podélnych výztuh

$$\lambda_w = 0,346 \frac{h_p}{t}\sqrt{\frac{f_{yb}}{E}} = 0,36$$

Smyková pevnost (bez podporového ztužení)

pro $\lambda_w \leq 0{,}88$ ⟶ $f_{bv} = 0{,}58\ f_{yb}$

pro $0{,}83 \leq \lambda_w \leq 1{,}4$ ⟶ $f_{bv} = 0{,}48\ \frac{f_{yb}}{\lambda_w}$

pro $\lambda_w \leq 0{,}88$ ⟶ $f_{bv} = 0{,}67\ \frac{f_{yb}}{\lambda_w^2}$

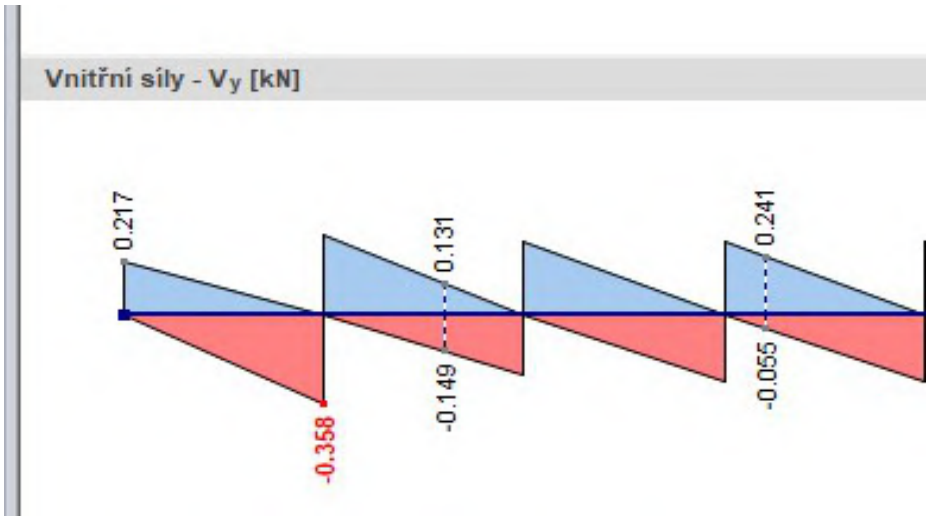
$$\mathbf{f_{bv} = 203{,}00\ Mpa}$$

Smyková únosnost

$$\mathbf{V_{b,Rd} = 2 \times \frac{\frac{h_p}{\sin\phi} \times t \times f_{bv}}{\gamma_{M0}} = 25{,}17\ kN}$$

$V_{ed} = 0{,}36$ kN

Posouzení: $\frac{V_{ed}}{V_{b,Rd}} = \frac{0{,}36}{25{,}17} = 0{,}01$ **VYHOVUJE**



Momentová únosnost stropního nosníku - $M_{y,Rd}$

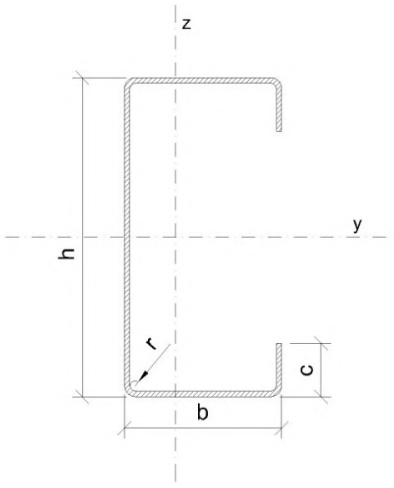
Vlastnosti materiálu

Ocel: S350 GD + Z275

Mez kluzu	f_{yk}=	350	MPa
Mez pevnosti	f_{uk}=	420	MPa
Modul pružnosti	E=	210000	MPa
Smykový modul	G=	80800	MPa
Poissonova konstanta	ν=	0,3	-

Geometrie průřezu

Výška průřezu	h=	300	mm
Šířka pásnice	b=	82	mm
Výška výztuhy	c=	29,8	mm
Nominální tloušťka	t_{nom}=	2	mm
Výpočetní tloušťka (bez vrstvy zinku Z275 = 0,04mm)	t=	1,91	mm
Poloměr zaoblení	r=	3	mm



Vnitřní poloměr ohnutí r = t lze ve výpočtu zanedbat protože:

$r \leq 5t$

$1,5 \leq 5 \times 1,16$ **VYHOVUJE**

$r \leq 0,1b$

$1,5 \leq 0,1 \times 41,3$ **VYHOVUJE**

Geometrie nosníku

délka mezi body s nulovým momentem L_e = 5627 mm

Moment (k - kladný/ z - záporný) k

Smykové ochabnutí tažené pásnice

$b_p = b - t$

b_p = 80,09 mm

Polovina šířky pásnice $b_0 = \frac{b_p}{2}$ = 40,045 mm

Limitní šířka pásnice $\frac{L_e}{50} = 113$ mm

Nastává smykové ochabnutí NE

$\kappa = \frac{b_0}{L_e} = 0{,}01$

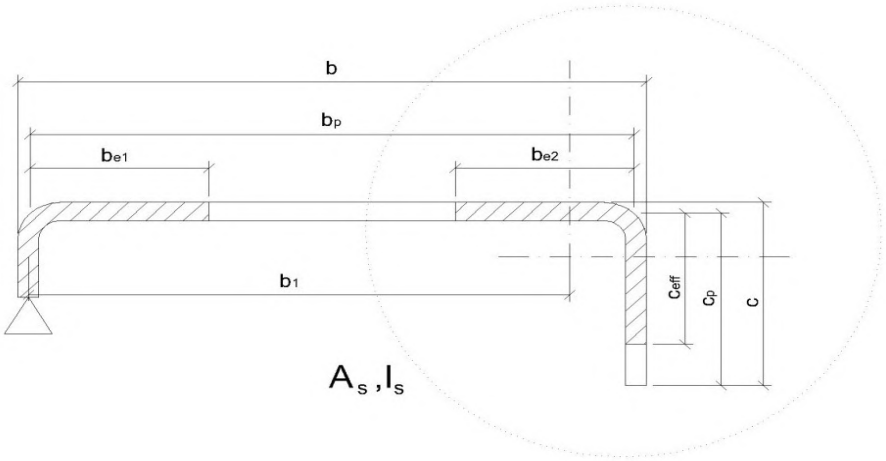
Součinitel účinné šířky (klad. moment) $\beta_1 = 1{,}00$

Součinitel účinné šířky (záp. moment) $\beta_2 = 1{,}00$

Součinitel účinné šířky $\beta = 1{,}00$

Součinitel účinné šířky $b_{eff,osl} = b_p \times \beta = 80{,}1$ mm

Tlačená pásnice - lokální a distorzní boulení



Krok 1

Součinitel kritického napětí $k_\sigma = 4$ dle tab. 4.1 (EN 1993-1-5)

$b_p = b - t$

$b_p = 80{,}09$ mm

Poměrná stěnová štíhlost

$$\overline{\lambda}_p = \frac{\frac{b_p}{t}}{28{,}4 \times \sqrt{\frac{235}{f_y}} \times \sqrt{k_\sigma}} = 0{,}901$$

Poměr napětí na krajích pás. $\Psi = 1$

Součinitel boulení pro $\overline{\lambda}_p \leq 0{,}673$ $\rho = 1{,}0$

pro $\overline{\lambda}_p > 0{,}673$ $\rho = \frac{\overline{\lambda}_p - 0{,}055(3+\Psi)}{\overline{\lambda}_p^{\,2}}$

$\rho = 0{,}83891$

Počáteční účinná šířka pás. $b_{eff} = \rho \times b_p = 67{,}188$ mm

Účinná šířka $b_{ei} = \frac{b_{eff}}{2}$

$b_{e1} = 33{,}594$ mm

$b_{e2} = 33{,}594$ mm

$c_p = c - \frac{t}{2}$

$c_p = 28,85$ mm

Poměr délky výztuhy a pás. $\frac{c_p}{b_p} = 0,3602$

Součinitel kritického napětí

pro $c_p/b_p \le 0,35$ $k_\sigma = 0,5$

pro $0,35 < c_p/b_p \le 0,6$ $k_\sigma = 0,5 + 0,83\sqrt[3]{\left(\frac{c_p}{b_p} - 0,35\right)^2}$

$k_\sigma = 0,54$

Poměrná stěnová štíhlost

$$\overline{\lambda}_p = \frac{\frac{c_p}{t}}{28,4 \times \sqrt{\frac{235}{f_y}} \times \sqrt{k_\sigma}} = 0,884$$

Poměr napětí na krajích pás. $\Psi = 1$

Součinitel boulení pro $\overline{\lambda}_p \le 0,748$ $\rho = 1,0$

pro $\overline{\lambda}_p > 0,748$ $\rho = \frac{\overline{\lambda}_p - 0,188}{\overline{\lambda}_p^2}$

$\rho = 0,89064$

Počáteční účinná šířka pás. $\mathbf{c_{eff} = \rho \times c_p = 25,69 \text{ mm}}$

Těžiště rohu s výztuhou

$$y_t = c_p - \frac{c_{eff} \times b_{e2} + \frac{c_{eff}^2}{2}}{c_{eff} + b_{e2}} = 8,7208 \text{ mm}$$

$$b_1 = b_p - b_{e2} - \left(\frac{c_{eff} \times b_{e2} + \frac{b_{e2}^2}{2}}{c_{eff} + b_{e2}}\right)$$

$b_1 = 70,57$ mm

Plocha rohu s výztuhou $A_s = t \times (c_{eff} + b_{e2}) = 113,23 \text{ mm}^2$

Moment setrv. rohu s výztuhou

$$I_s = \frac{1}{12} b_{e2} t^3 + b_{e2} t y_t^2 + \frac{1}{12} t c_{eff}^3 + t c_{eff} \left(\frac{c_{eff}}{2} - y_t\right)^2$$

$I_s = 8433 \text{ mm}^4$

$k_f = 0,0$
ohýbaný průř.

Pérová tuhost výztuhy

$$K = \frac{Et^3}{4\times(1-v^2)} \times \frac{1}{b_1^2 h_p + b_1^3 + 0,5 b_1 b_2 h_p k_f}$$

$K = 0,1813$

$h_p = h - t$
$h_p = 298,09$ mm

Kritické napětí okrajové výztuhy

$$\sigma_{cr,s} = \frac{2\times\sqrt{K \times E \times I_s}}{A_s} = 316,49 \text{ Mpa}$$

Poměrná štíhlost

$$\overline{\lambda}_d = \sqrt{\frac{f_{yk}}{\sigma_{cr,s}}} = 1,05$$

Součinitel vzpěrnosti pro $\bar{\lambda}_d \leq 0{,}65$ $\chi_d = 1{,}0$

pro $0{,}65 < \bar{\lambda}_d < 1{,}38$

$$\chi_d = 1{,}47 - 0{,}723\ \bar{\lambda}_d$$

pro $\bar{\lambda}_d \geq 1{,}38$ $\chi_d \dfrac{0{,}66}{\bar{\lambda}_d}$

$$\chi_d = 0{,}71$$

Max. tlak. napětí ve stěně $\sigma_{com} = \chi_d \times f_{yk} = 248{,}39$ Mpa

Krok 2

Poměrná stěnová štíhlost $\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \times \sqrt{\chi_d} = 0{,}759$

Poměr napětí na krajích pás. $\Psi = 1$

Součinitel boulení pro $\bar{\lambda}_p \leq 0{,}673$ $\rho = 1{,}0$

pro $\bar{\lambda}_p > 0{,}673$ $\rho = \dfrac{\bar{\lambda}_p - 0{,}055(3+\Psi)}{\bar{\lambda}_p^{\,2}}$

$$\rho = 0{,}936$$

Počáteční účinná šířka pás. $b_{eff} = \rho \times b_p = 74{,}936$ mm

Účinná šířka $b_{ei} = \dfrac{b_{eff}}{2}$

$b_{e1} = 37{,}468$ mm

$b_{e2} = 37{,}468$ mm

Poměrná stěnová štíhlost $\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \times \sqrt{\chi_d} = 0{,}745$

Poměr napětí na krajích pás. $\Psi = 1$

Součinitel boulení pro $\bar{\lambda}_p \leq 0{,}748$ $\rho = 1{,}0$

pro $\bar{\lambda}_p > 0{,}748$ $\rho = \dfrac{\bar{\lambda}_p - 0{,}188}{\bar{\lambda}_p^{\,2}}$

$$\rho = 1$$

Počáteční účinná šířka pás. **$c_{eff} = \rho \times c_p = 28{,}85$ mm**

Těžiště rohu s výztuhou

$$y_t = c_p - \frac{c_{eff} \times b_{e2} + \frac{c_{eff}^{\,2}}{2}}{c_{eff} + b_{e2}} = 6{,}2735 \text{ mm}$$

$$b_1 = b_p - b_{e2} - \left(\frac{c_{eff} \times b_{e2} + \frac{b_{e2}^{\,2}}{2}}{c_{eff} + b_{e2}} \right)$$

$b_1 = 69{,}50$ mm

Plocha rohu s výztuhou $A_s = t \times (c_{eff} + b_{e2}) = 126{,}66$ mm^2

Moment setrv. rohu s výztuhou

$$I_s = \frac{1}{12} b_{e2} t^3 + b_{e2} t y_t^{\,2} + \frac{1}{12} t c_{eff}^{\,3} + t c_{eff} \left(\frac{c_{eff}}{2} - y_t \right)^2$$

$I_s = 10317\ mm^4$

Pérová tuhost výztuhy $K = \frac{Et^3}{4\times(1-v^2)} \times \frac{1}{b_1^2 h_p + b_1^3 + 0{,}5 b_1 b_2 h_p k_f}$

$K = 0{,}187$

Kritické napětí okrajové výztuhy

$\sigma_{cr,s} = \frac{2\times\sqrt{K \times E \times I_s}}{A_s} = 318{,}22\ Mpa$

Poměrná štíhlost $\overline{\lambda}_d = \sqrt{\frac{f_{yk}}{\sigma_{cr,s}}} = 1{,}05$

Součinitel vzpěrnosti pro $\overline{\lambda}_d \leq 0{,}65$ $\chi_d = 1{,}0$

pro $0{,}65 < \overline{\lambda}_d < 1{,}38$

$\chi_d = 1{,}47 - 0{,}723\ \overline{\lambda}_d$

pro $\overline{\lambda}_d \geq 1{,}38$ $\chi_d \frac{0{,}66}{\overline{\lambda}_d}$

$\chi_d = 0{,}71$

Max. tlak. napětí ve stěně $\sigma_{com} = \chi_d \times f_{yk} = 249{,}12\ Mpa$

Krok 3

Poměrná stěnová štíhlost $\overline{\lambda}_{p,red} = \overline{\lambda}_p \times \sqrt{\chi_d} = 0{,}760$

Poměr napětí na krajích pás. $\Psi = 1$

Součinitel boulení pro $\overline{\lambda}_p \leq 0{,}673$ $\rho = 1{,}0$

pro $\overline{\lambda}_p > 0{,}673$ $\rho = \frac{\overline{\lambda}_p - 0{,}055(3+\Psi)}{\overline{\lambda}_p^2}$

$\rho = 0{,}935$

Počáteční účinná šířka pás. $b_{eff} = \rho \times b_p = 74{,}871\ mm$

Účinná šířka $b_{ei} = \frac{b_{eff}}{2}$

$b_{e1} = 37{,}436$ mm

$b_{e2} = 37{,}436$ mm

Poměrná stěnová štíhlost $\overline{\lambda}_{p,red} = \overline{\lambda}_p \times \sqrt{\chi_d} = 0{,}746$

Poměr napětí na krajích pás. $\Psi = 1$

Součinitel boulení pro $\overline{\lambda}_p \leq 0{,}748$ $\rho = 1{,}0$

pro $\overline{\lambda}_p > 0{,}748$ $\rho = \frac{\overline{\lambda}_p - 0{,}188}{\overline{\lambda}_p^2}$

$\rho = 1$

Počáteční účinná šířka pás. **$c_{eff} = \rho \times c_p = 28{,}85$ mm**

Těžiště rohu s výztuhou $y_t = c_p - \frac{c_{eff} \times b_{e2} + \frac{c_{eff}^2}{2}}{c_{eff} + b_{e2}} = 6{,}2766\ mm$

$$b_1 = b_p - b_{e2} - \left(\frac{c_{eff} \times b_{e2} + \frac{b_{e2}^2}{2}}{c_{eff} + b_{e2}} \right)$$

$$b_1 = 69{,}52 \text{ mm}$$

Plocha rohu s výztuhou $A_s = t \times (c_{eff} + b_{e2}) = 126{,}6 \text{ mm}^2$

Moment setrv. rohu s výztuhou

$$I_s = \frac{1}{12} b_{e2} t^3 + b_{e2} t y_t^2 + \frac{1}{12} t c_{eff}^3 + t c_{eff} \left(\frac{c_{eff}}{2} - y_t \right)^2$$

$$I_s = 10314 \text{ mm}^4$$

Pérová tuhost výztuhy

$$K = \frac{Et^3}{4\times(1-v^2)} \times \frac{1}{b_1^2 h_p + b_1^3 + 0{,}5 b_1 b_2 h_p k_f}$$

$$K = 0{,}187$$

Kritické napětí okrajové výztuhy

$$\sigma_{cr,s} = \frac{2\times\sqrt{K \times E \times I_s}}{A_s} = 318{,}27 \text{ Mpa}$$

Poměrná štíhlost

$$\overline{\lambda}_d = \sqrt{\frac{f_{yk}}{\sigma_{cr,s}}} = 1{,}05$$

Součinitel vzpěrnosti

pro $\overline{\lambda}_d \le 0{,}65$ $\chi_d = 1{,}0$

pro $0{,}65 < \overline{\lambda}_d < 1{,}38$

$$\chi_d = 1{,}47 - 0{,}723 \, \overline{\lambda}_d$$

pro $\overline{\lambda}_d \ge 1{,}38$ $\chi_d \frac{0{,}66}{\overline{\lambda}_d}$

$$\chi_d = 0{,}71$$

Max. tlak. napětí ve stěně $\sigma_{com} = \chi_d \times f_{yk} = 249{,}14 \text{ Mpa}$

Konec iterace

Redukovaná tloušťka výztuhy $t_{red} = \chi_d \times t = 1{,}3596 \text{ mm}$

Smykové ochabnutí tlačené pásnice

$$A_{eff} = A_{c,eff} \, \beta^{\kappa} \ge A_{c,eff} \, \beta$$

Redukovaná tloušťka výztuhy (včetně smyk. ochabnutí) **$t_{red} = 1{,}3596$ mm**

Boulení svislé stěny

Změna polohy neutrální osy

$$e = \frac{t_{red} \, b_{e2} \frac{h_p}{2} + t_{red} \, c_{eff} \left(\frac{h_p}{2} - \frac{c_{eff}}{2} \right) + t \, b_{e1} \frac{h_p}{2} - t \, b_p \frac{h_p}{2} - t \, c_p \left(\frac{h_p}{2} - \frac{c_{eff}}{2} \right)}{t_{red} (b_{e2} + c_{eff}) + t (b_{e1} + h + b_p + c_p)}$$

$$e = -7{,}13 \text{ mm}$$

Délka tlačené části stojiny

$$h_t = \frac{h_p}{2} - e = 156{,}2 \text{ mm}$$

Poměr napětí v taž. a tlač. pásnici $\psi = \frac{h_p - h_t}{-h_t} = -0{,}909$

Součinitel kritického napětí $k_\sigma = 7{,}81 - 6{,}29\ \psi + 9{,}78\ \psi^2$

$k_\sigma = 21{,}6$

Poměrná stěnová štíhlost $\overline{\lambda}_p = \frac{\frac{h_p}{t}}{28{,}4 \times \sqrt{\frac{235}{f_y}} \times \sqrt{k_\sigma}} = 1{,}443$

Součinitel boulení pro $\overline{\lambda}_p \leq 0{,}673$ $\rho = 1{,}0$

pro $\overline{\lambda}_p > 0{,}673$ $\rho = \frac{\overline{\lambda}_p - 0{,}055(3+\psi)}{\overline{\lambda}_p^{\,2}}$

$\rho = 0{,}638$

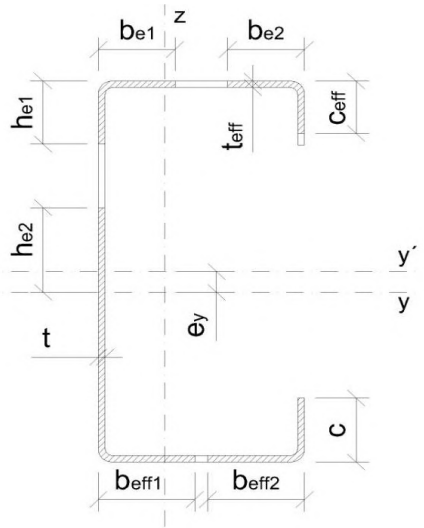
Počáteční účinná šířka stojiny $h_{eff} = \rho \times \frac{h_p}{1 - \psi} = 99{,}6$ mm

Účinná šířka 1 **$h_{e1} = 0{,}4\ h_{eff} = 39{,}8$ mm**

Účinná šířka 1 **$h_{e2} = 0{,}6\ h_{eff} = 59{,}8$ mm**

Tažená část stojiny **$h_{tah} = 141{,}9$ mm**

Parametry výsledného efektivního průřezu



Posun těžiště průřezu $e_y = 18{,}58$ mm

Moment setrvačnosti k ose y $I_{eff,y} = 1{,}1E{+}07$ mm^2

Průřezový modul k ose y $W_{eff,y} = 65218$ mm^3

Moment únosnosti

$M_{y,Rd} = W_{eff,y} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}} = 22{,}83$ kNm

Posouzení: $\frac{M_{ed}}{M_{y,Rd}} = \frac{18{,}81}{22{,}83} = 0{,}82$ **VYHOVUJE**

Momentová únosnost stropního nosníku na chodbě - $M_{y,Rd}$

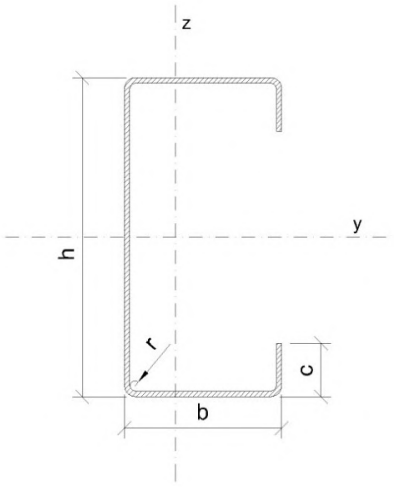
Vlastnosti materiálu

Ocel: S350 GD + Z275

Mez kluzu	f_{yk}=	350	MPa
Mez pevnosti	f_{uk}=	420	MPa
Modul pružnosti	E=	210000	MPa
Smykový modul	G=	80800	MPa
Poissonova konstanta	ν=	0,3	-

Geometrie průřezu

Výška průřezu	h=	150	mm
Šířka pásnice	b=	45	mm
Výška výztuhy	c=	10	mm
Nominální tloušťka	t_{nom}=	1,6	mm
Výpočetní tloušťka (bez vrstvy zinku Z275 = 0,04mm)	t=	1,56	mm
Poloměr zaoblení	r=	1,5	mm



Vnitřní poloměr ohnutí r = t lze ve výpočtu zanedbat protože:

$r \leq 5t$

$1,5 \leq 5 \times 1,16$ **VYHOVUJE**

$r \leq 0,1b$

$1,5 \leq 0,1 \times 41,3$ **VYHOVUJE**

Geometrie nosníku

délka mezi body s nulovým momentem L_e = 2805 mm

Moment (k - kladný/ z - záporný) k

Smykové ochabnutí tažené pásnice

$b_p = b - t$

b_p = 43,44 mm

Polovina šířky pásnice $b_0 = \frac{b_p}{2}$ = 21,72 mm

Limitní šířka pásnice $\frac{L_e}{50} = 56,1$ mm

Nastává smykové ochabnutí NE

$\kappa = \frac{b_0}{L_e} = 0,01$

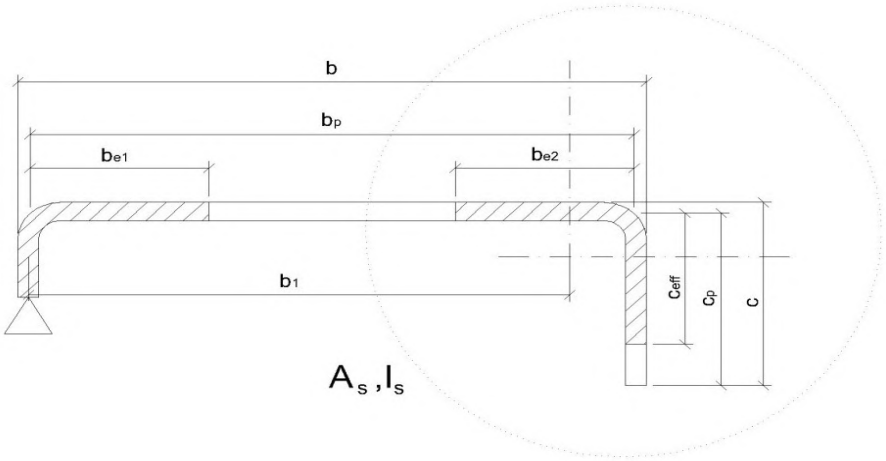
Součinitel účinné šířky (klad. moment) $\beta_1 = 1,00$

Součinitel účinné šířky (záp. moment) $\beta_2 = 1,00$

Součinitel účinné šířky $\beta = 1,00$

Součinitel účinné šířky $b_{eff,osl} = b_p \times \beta = 43,4$ mm

Tlačená pásnice - lokální a distorzní boulení



Krok 1

Součinitel kritického napětí $k_\sigma = 4$ dle tab. 4.1 (EN 1993-1-5)

$b_p = b - t$

$b_p = 43,44$ mm

Poměrná štíhlost $\overline{\lambda}_p = \frac{\frac{b_p}{t}}{28,4 \times \sqrt{\frac{235}{f_y}} \times \sqrt{k_\sigma}} = 0,598$

Poměr napětí na krajích pás. $\Psi = 1$

Součinitel boulení pro $\overline{\lambda}_p \leq 0,673$ $\rho = 1,0$

pro $\overline{\lambda}_p > 0,673$ $\rho = \frac{\overline{\lambda}_p - 0,055(3+\Psi)}{\overline{\lambda}_p^2}$

$\rho = 1$

Počáteční účinná šířka pás. $b_{eff} = \rho \times b_p = 43,440$ mm

Účinná šířka $b_{ei} = \frac{b_{eff}}{2}$

$b_{e1} = 21,72$ mm

$b_{e2} = 21,72$ mm

$c_p = c - \frac{t}{2}$

$c_p = 9{,}22$ mm

Poměr délky výztuhy a pás. $\frac{c_p}{b_p} = 0{,}2122$

Součinitel kritického napětí

pro $c_p/b_p \le 0{,}35$ $k_\sigma = 0{,}5$

pro $0{,}35 < c_p/b_p \le 0{,}6$ $k_\sigma = 0{,}5 + 0{,}83\sqrt[3]{\left(\frac{c_p}{b_p} - 0{,}35\right)^2}$

$k_\sigma = 0{,}5$

Poměrná stěnová štíhlost

$$\overline{\lambda}_p = \frac{\frac{c_p}{t}}{28{,}4 \times \sqrt{\frac{235}{f_y}} \times \sqrt{k_\sigma}} = 0{,}359$$

Poměr napětí na krajích pás. $\Psi = 1$

Součinitel boulení pro $\overline{\lambda}_p \le 0{,}748$ $\rho = 1{,}0$

pro $\overline{\lambda}_p > 0{,}748$ $\rho = \frac{\overline{\lambda}_p - 0{,}188}{\overline{\lambda}_p^2}$

$\rho = 1$

Počáteční účinná šířka pás. $\mathbf{c_{eff} = \rho \times c_p = 9{,}22 \text{ mm}}$

Těžiště rohu s výztuhou

$$y_t = c_p - \frac{c_{eff} \times b_{e2} + \frac{c_{eff}^2}{2}}{c_{eff} + b_{e2}} = 1{,}3738 \text{ mm}$$

$$b_1 = b_p - b_{e2} - \left(\frac{c_{eff} \times b_{e2} + \frac{b_{e2}^2}{2}}{c_{eff} + b_{e2}}\right)$$

$b_1 = 35{,}82$ mm

Plocha rohu s výztuhou $A_s = t \times (c_{eff} + b_{e2}) = 48{,}266 \text{ mm}^2$

Moment setrv. rohu s výztuhou

$$I_s = \frac{1}{12} b_{e2} t^3 + b_{e2} t y_t^2 + \frac{1}{12} t c_{eff}^3 + t c_{eff}\left(\frac{c_{eff}}{2} - y_t\right)^2$$

$I_s = 323{,}35 \text{ mm}^4$

Pérová tuhost výztuhy

$$K = \frac{Et^3}{4\times(1-v^2)} \times \frac{1}{b_1^2 h_p + b_1^3 + 0{,}5 b_1 b_2 h_p k_f}$$

$K = 0{,}7673$

$k_f = 0{,}0$
ohýbaný průř.

$h_p = h - t$
$h_p = 148{,}44$ mm

Kritické napětí okrajové výztuhy

$$\sigma_{cr,s} = \frac{2\times\sqrt{K \times E \times I_s}}{A_s} = 299{,}11 \text{ Mpa}$$

Poměrná štíhlost

$$\overline{\lambda}_d = \sqrt{\frac{f_{yk}}{\sigma_{cr,s}}} = 1{,}08$$

Součinitel vzpěrnosti pro $\bar{\lambda}_d \leq 0{,}65$ $\chi_d = 1{,}0$

pro $0{,}65 < \bar{\lambda}_d < 1{,}38$

$$\chi_d = 1{,}47 - 0{,}723\ \bar{\lambda}_d$$

pro $\bar{\lambda}_d \geq 1{,}38$ $\chi_d \dfrac{0{,}66}{\bar{\lambda}_d}$

$$\chi_d = 0{,}69$$

Max. tlak. napětí ve stěně $\sigma_{com} = \chi_d \times f_{yk} = 240{,}77$ Mpa

Krok 2

Poměrná stěnová štíhlost $\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \times \sqrt{\chi_d} = 0{,}496$

Poměr napětí na krajích pás. $\Psi = 1$

Součinitel boulení pro $\bar{\lambda}_p \leq 0{,}673$ $\rho = 1{,}0$

pro $\bar{\lambda}_p > 0{,}673$ $\rho = \dfrac{\bar{\lambda}_p - 0{,}055(3+\Psi)}{\bar{\lambda}_p^{\,2}}$

$$\rho = 1{,}000$$

Počáteční účinná šířka pás. $b_{eff} = \rho \times b_p = 43{,}440$ mm

Účinná šířka $b_{ei} = \dfrac{b_{eff}}{2}$

$$\mathbf{b_{e1} = 21{,}72\ mm}$$

$$\mathbf{b_{e2} = 21{,}72\ mm}$$

Poměrná stěnová štíhlost $\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \times \sqrt{\chi_d} = 0{,}298$

Poměr napětí na krajích pás. $\Psi = 1$

Součinitel boulení pro $\bar{\lambda}_p \leq 0{,}748$ $\rho = 1{,}0$

pro $\bar{\lambda}_p > 0{,}748$ $\rho = \dfrac{\bar{\lambda}_p - 0{,}188}{\bar{\lambda}_p^{\,2}}$

$$\rho = 1$$

Počáteční účinná šířka pás. $\mathbf{c_{eff} = \rho \times c_p = 9{,}22\ mm}$

Těžiště rohu s výztuhou

$$y_t = c_p - \frac{c_{eff} \times b_{e2} + \frac{c_{eff}^{\,2}}{2}}{c_{eff} + b_{e2}} = 1{,}3738\ \text{mm}$$

$$b_1 = b_p - b_{e2} - \left(\frac{c_{eff} \times b_{e2} + \frac{b_{e2}^{\,2}}{2}}{c_{eff} + b_{e2}} \right)$$

$$b_1 = 35{,}82\ \text{mm}$$

Plocha rohu s výztuhou $A_s = t \times (c_{eff} + b_{e2}) = 48{,}266\ mm^2$

Moment setrv. rohu s výztuhou

$$I_s = \frac{1}{12} b_{e2} t^3 + b_{e2} t y_t^{\,2} + \frac{1}{12} t c_{eff}^{\,3} + t c_{eff} \left(\frac{c_{eff}}{2} - y_t \right)^2$$

$I_s = 323{,}35\ mm^4$

Pérová tuhost výztuhy $K = \frac{Et^3}{4\times(1-v^2)} \times \frac{1}{b_1^2 h_p + b_1^3 + 0{,}5 b_1 b_2 h_p k_f}$

$K = 0{,}767$

Kritické napětí okrajové výztuhy

$\sigma_{cr,s} = \frac{2\times\sqrt{K \times E \times I_s}}{A_s} = 299{,}11\ Mpa$

Poměrná štíhlost $\overline{\lambda}_d = \sqrt{\frac{f_{yk}}{\sigma_{cr,s}}} = 1{,}08$

Součinitel vzpěrnosti pro $\overline{\lambda}_d \le 0{,}65$ $\chi_d = 1{,}0$

pro $0{,}65 < \overline{\lambda}_d < 1{,}38$

$\chi_d = 1{,}47 - 0{,}723\ \overline{\lambda}_d$

pro $\overline{\lambda}_d \ge 1{,}38$ $\chi_d \frac{0{,}66}{\overline{\lambda}_d}$

$\chi_d = 0{,}69$

Max. tlak. napětí ve stěně $\sigma_{com} = \chi_d \times f_{yk} = 240{,}77\ Mpa$

Krok 3

Poměrná stěnová štíhlost $\overline{\lambda}_{p,red} = \overline{\lambda}_p \times \sqrt{\chi_d} = 0{,}496$

Poměr napětí na krajích pás. $\Psi = 1$

Součinitel boulení pro $\overline{\lambda}_p \le 0{,}673$ $\rho = 1{,}0$

pro $\overline{\lambda}_p > 0{,}673$ $\rho = \frac{\overline{\lambda}_p - 0{,}055(3+\Psi)}{\overline{\lambda}_p^2}$

$\rho = 1{,}000$

Počáteční účinná šířka pás. $b_{eff} = \rho \times b_p = 43{,}440\ mm$

Účinná šířka $b_{ei} = \frac{b_{eff}}{2}$

$b_{e1} = 21{,}72$ mm

$b_{e2} = 21{,}72$ mm

Poměrná stěnová štíhlost $\overline{\lambda}_{p,red} = \overline{\lambda}_p \times \sqrt{\chi_d} = 0{,}298$

Poměr napětí na krajích pás. $\Psi = 1$

Součinitel boulení pro $\overline{\lambda}_p \le 0{,}748$ $\rho = 1{,}0$

pro $\overline{\lambda}_p > 0{,}748$ $\rho = \frac{\overline{\lambda}_p - 0{,}188}{\overline{\lambda}_p^2}$

$\rho = 1$

Počáteční účinná šířka pás. **$c_{eff} = \rho \times c_p = 9{,}22$ mm**

Těžiště rohu s výztuhou $y_t = c_p - \frac{c_{eff} \times b_{e2} + \frac{c_{eff}^2}{2}}{c_{eff} + b_{e2}} = 1{,}3738\ mm$

$$b_1 = b_p - b_{e2} - \left(\frac{c_{eff} \times b_{e2} + \frac{b_{e2}^2}{2}}{c_{eff} + b_{e2}} \right)$$

$$b_1 = 35{,}82 \text{ mm}$$

Plocha rohu s výztuhou $A_s = t \times (c_{eff} + b_{e2}) = 48{,}266 \text{ mm}^2$

Moment setrv. rohu s výztuhou

$$I_s = \frac{1}{12} b_{e2} t^3 + b_{e2} t y_t^2 + \frac{1}{12} t c_{eff}^3 + t c_{eff} \left(\frac{c_{eff}}{2} - y_t \right)^2$$

$$I_s = 323{,}35 \text{ mm}^4$$

Pérová tuhost výztuhy

$$K = \frac{Et^3}{4\times(1-v^2)} \times \frac{1}{b_1^2 h_p + b_1^3 + 0{,}5 b_1 b_2 h_p k_f}$$

$$K = 0{,}767$$

Kritické napětí okrajové výztuhy

$$\sigma_{cr,s} = \frac{2\times\sqrt{K \times E \times I_s}}{A_s} = 299{,}11 \text{ Mpa}$$

Poměrná štíhlost

$$\overline{\lambda}_d = \sqrt{\frac{f_{yk}}{\sigma_{cr,s}}} = 1{,}08$$

Součinitel vzpěrnosti

pro $\overline{\lambda}_d \le 0{,}65$ $\chi_d = 1{,}0$

pro $0{,}65 < \overline{\lambda}_d < 1{,}38$

$$\chi_d = 1{,}47 - 0{,}723 \, \overline{\lambda}_d$$

pro $\overline{\lambda}_d \ge 1{,}38$ $\chi_d \frac{0{,}66}{\overline{\lambda}_d}$

$$\chi_d = 0{,}69$$

Max. tlak. napětí ve stěně $\sigma_{com} = \chi_d \times f_{yk} = 240{,}77 \text{ Mpa}$

Konec iterace

Redukovaná tloušťka výztuhy $t_{red} = \chi_d \times t = 1{,}0731 \text{ mm}$

Smykové ochabnutí tlačené pásnice

$$A_{eff} = A_{c,eff} \, \beta^{\kappa} \ge A_{c,eff} \, \beta$$

Redukovaná tloušťka výztuhy (včetně smyk. ochabnutí) **$t_{red} = 1{,}0731$ mm**

Boulení svislé stěny

Změna polohy neutrální osy

$$e = \frac{t_{red} \, b_{e2} \frac{h_p}{2} + t_{red} \, c_{eff} \left(\frac{h_p}{2} - \frac{c_{eff}}{2} \right) + t \, b_{e1} \frac{h_p}{2} - t \, b_p \frac{h_p}{2} - t \, c_p \left(\frac{h_p}{2} - \frac{c_{eff}}{2} \right)}{t_{red} (b_{e2} + c_{eff}) + t (b_{e1} + h + b_p + c_p)}$$

$$e = -2{,}88 \text{ mm}$$

Délka tlačené části stojiny

$$h_t = \frac{h_p}{2} - e = 77{,}1 \text{ mm}$$

Poměr napětí v taž. a tlač. pásnici $\psi = \frac{h_p - h_t}{-h_t} = -0{,}925$

Součinitel kritického napětí $k_\sigma = 7{,}81 - 6{,}29\ \psi + 9{,}78\ \psi^2$

$k_\sigma = 22{,}0$

Poměrná stěnová štíhlost $\overline{\lambda}_p = \frac{\frac{h_p}{t}}{28{,}4 \times \sqrt{\frac{235}{f_y}} \times \sqrt{k_\sigma}} = 0{,}872$

Součinitel boulení pro $\overline{\lambda}_p \leq 0{,}673$ $\rho = 1{,}0$

pro $\overline{\lambda}_p > 0{,}673$ $\rho = \frac{\overline{\lambda}_p - 0{,}055(3+\psi)}{\overline{\lambda}_p^{\,2}}$

$\rho = 0{,}997$

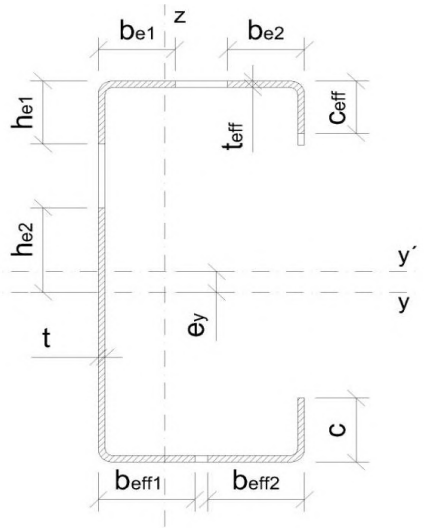
Počáteční účinná šířka stojiny $h_{eff} = \rho \times \frac{h_p}{1 - \psi} = 76{,}9$ mm

Účinná šířka 1 **$h_{e1} = 0{,}4\ h_{eff} = 30{,}7$ mm**

Účinná šířka 1 **$h_{e2} = 0{,}6\ h_{eff} = 46{,}1$ mm**

Tažená část stojiny **$h_{tah} = 71{,}3$ mm**

Parametry výsledného efektivního průřezu



Posun těžiště průřezu $e_y = 2{,}93$ mm

Moment setrvačnosti k ose y $I_{eff,y} = 1227299$ mm^2

Průřezový modul k ose y $W_{eff,y} = 15909$ mm^3

Moment únosnosti

$$\mathbf{M_{y,Rd} = W_{eff,y} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}} = 5{,}57\ kNm}$$

Posouzení: $\frac{\mathbf{M_{ed}}}{\mathbf{M_{y,Rd}}} = \frac{\mathbf{3{,}42}}{\mathbf{5{,}57}} = \mathbf{0{,}61}$ **VYHOVUJE**

Vzpěrná únosnost sloupku profilu C150-1.6

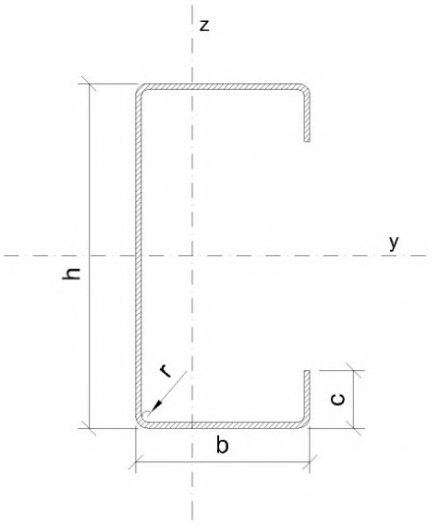
Vlastnosti materiálu

Ocel: S350 GD + Z275

Mez kluzu	f_{yk}=	350	MPa
Mez pevnosti	f_{uk}=	420	MPa
Modul pružnosti	E=	210000	MPa
Smykový modul	G=	80800	MPa
Poissonova konstanta	ν=	0,3	-

Geometrie průřezu

Výška průřezu	h=	150	mm
Šířka pásnice	b=	45	mm
Výška výztuhy	c=	10	mm
Nominální tloušťka	t_{nom}=	1,6	mm
Výpočetní tloušťka (bez vrstvy zinku Z275 = 0,04mm)	t=	1,56	mm
Poloměr zaoblení	r=	1,5	mm



Vnitřní poloměr ohnutí r = t lze ve výpočtu zanedbat protože:

r ≤ 5t

1,5 ≤ 5 × 1,16 **VYHOVUJE**

r ≤ 0,1b

1,5 ≤ 0,1 × 41,3 **VYHOVUJE**

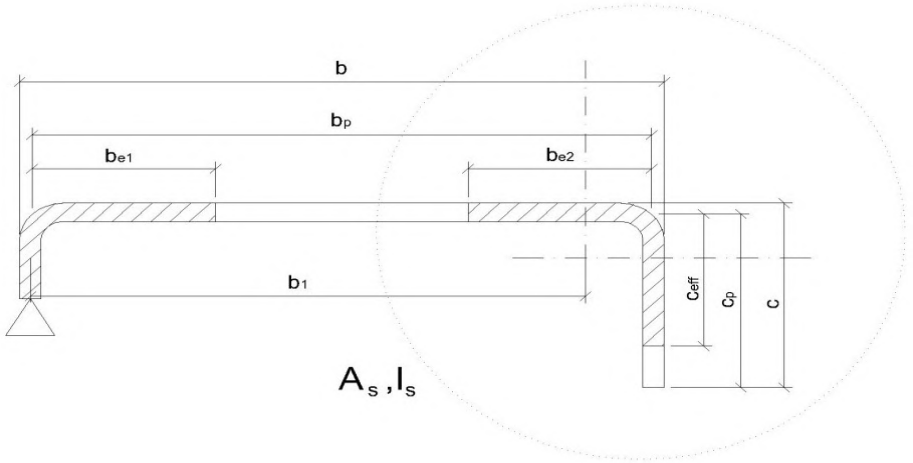
Působící namáhání

Vpěr kolmo k ose y	ANO
Vzpěr kolmo k ose z	ANO
Prostorový vzpěr	ANO

Geometrie nosníku

Vzpěrná délka pro vybočení kolmo k ose y	**$L_{cr,y}$ = 3171 mm**
Vzpěrná délka pro vybočení kolmo k ose z	**$L_{cr,z}$ = 1057 mm**
Vzpěrná délka pro vybočení prostorovým vzpěrem (zajištění sloupu paždíkami ve třetinách délky slopu)	**$L_{cr,T}$ = 1057 mm**

Pásnice - lokální a distorzní boulení



Krok 1

Součinitel kritického napětí $k_\sigma = 4$ dle tab. 4.1 (EN 1993-1-5)

$b_p = b - t$

$b_p = 43{,}44$ mm

Poměrná stěnová štíhlost

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{b_p}{t}}{28{,}4 \times \sqrt{\frac{235}{f_y}} \times \sqrt{k_\sigma}} = 0{,}598$$

Poměr napětí na krajích pás. $\Psi = 1$

Součinitel boulení

pro $\bar{\lambda}_p \leq 0{,}673$ $\rho = 1{,}0$

pro $\bar{\lambda}_p > 0{,}673$ $\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0{,}055(3+\Psi)}{\bar{\lambda}_p^{\,2}}$

$\rho = 1$

Počáteční účinná šířka pás. $b_{eff} = \rho \times b_p = 43{,}440$ mm

Účinná šířka $b_{ei} = \frac{b_{eff}}{2}$

$b_{e1} = 21{,}72$ mm

$b_{e2} = 21{,}72$ mm

$c_p = c - \frac{t}{2}$

$c_p = 9{,}22$ mm

Poměr délky výztuhy a pás $\frac{c_p}{b_p} = 0{,}2122$

Součinitel kritického napětí

pro $c_p/b_p \leq 0{,}35$ $k_\sigma = 0{,}5$

pro $0{,}35 < c_p/b_p \leq 0{,}$ $k_\sigma = 0{,}5 + 0{,}83 \sqrt[3]{\left[\frac{c_p}{b_p} - 0{,}35\right]^2}$

$k_\sigma = 0{,}5$

Poměrná stěnová štíhlost

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{c_p}{t}}{28{,}4 \times \sqrt{\frac{235}{f_y}} \times \sqrt{k_\sigma}} = 0{,}359$$

Poměr napětí na krajích pás. $\Psi = 1$

Součinitel boulení pro $\bar{\lambda}_p \leq 0{,}748$ $\rho = 1{,}0$

pro $\bar{\lambda}_p > 0{,}748$ $\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0{,}188}{\bar{\lambda}_p^2}$

$\rho = 1$

Počáteční účinná šířka pás. $\mathbf{c_{eff} = \rho \times c_p = 9{,}22 \ mm}$

Těžiště rohu s výztuhou

$$y_t = c_p - \frac{c_{eff} \times b_{e2} + \frac{c_{eff}^2}{2}}{c_{eff} + b_{e2}} = 1{,}3738 \ mm$$

$$b_1 = b_p - b_{e2} - \left(\frac{c_{eff} \times b_{e2} + \frac{b_{e2}^2}{2}}{c_{eff} + b_{e2}} \right)$$

$b_1 = 35{,}82$ mm

Plocha rohu s výztuhou $A_s = t \times (c_{eff} + b_{e2}) = 48{,}266 \ mm^2$

Moment setrv. rohu s výztuhou

$$I_s = \frac{1}{12} b_{e2} t^3 + b_{e2} t y_t^2 + \frac{1}{12} t c_{eff}^3 + t c_{eff} \left(\frac{c_{eff}}{2} - y_t \right)^2$$

$I_s = 323{,}35 \ mm^4$

$k_f = 1{,}0$
souměr. tlač. průř.

$h_p = h - t$
$h_p = 148{,}44$ mm

Pérová tuhost výztuhy

$$K = \frac{Et^3}{4\times(1-\nu^2)} \times \frac{1}{b_1^2 h_p + b_1^3 + 0{,}5 b_1 b_2 h_p k_f}$$

$K = 0{,}547$

Kritické napětí okrajové výztuhy

$$\sigma_{cr,s} = \frac{2\times\sqrt{K \times E \times I_s}}{A_s} = 252{,}54 \ Mpa$$

Poměrná štíhlost $\bar{\lambda}_d = \sqrt{\frac{f_{yk}}{\sigma_{cr,s}}} = 1{,}18$

Součinitel vzpěrnosti pro $\bar{\lambda}_d \leq 0{,}65$ $\chi_d = 1{,}0$

pro $0{,}65 < \bar{\lambda}_d < 1{,}38$

$\chi_d = 1{,}47 - 0{,}723 \ \bar{\lambda}_d$

pro $\bar{\lambda}_d \geq 1{,}38$ $\chi_d \ \frac{0{,}66}{\bar{\lambda}_d}$

$\chi_d = 0{,}62$

Max. tlak. napětí ve stěně $\sigma_{com} = \chi_d \times f_{yk} = 216{,}60 \ Mpa$

Krok 2

Poměrná stěnová štíhlost $\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \times \sqrt{\chi_d} = 0{,}471$

Poměr napětí na krajích pás. $\Psi = 1$

Součinitel boulení pro $\bar{\lambda}_p \leq 0{,}673$ $\rho = 1{,}0$

pro $\bar{\lambda}_p > 0{,}673$ $\rho = \dfrac{\bar{\lambda}_p - 0{,}055(3+\Psi)}{\bar{\lambda}_p^{\,2}}$

$\rho = 1$

Počáteční účinná šířka pás. $b_{eff} = \rho \times b_p = 43{,}440$ mm

Účinná šířka $b_{ei} = \dfrac{b_{eff}}{2}$

$b_{e1} = 21{,}72$ mm

$b_{e2} = 21{,}72$ mm

Poměrná stěnová štíhlost $\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \times \sqrt{\chi_d} = 0{,}283$

Poměr napětí na krajích pás. $\Psi = 1$

Součinitel boulení pro $\bar{\lambda}_p \leq 0{,}748$ $\rho = 1{,}0$

pro $\bar{\lambda}_p > 0{,}748$ $\rho = \dfrac{\bar{\lambda}_p - 0{,}188}{\bar{\lambda}_p^{\,2}}$

$\rho = 1$

Počáteční účinná šířka pás. **$c_{eff} = \rho \times c_p = 9{,}22$ mm**

Těžiště rohu s výztuhou

$$y_t = c_p - \frac{c_{eff} \times b_{e2} + \frac{c_{eff}^{\,2}}{2}}{c_{eff} + b_{e2}} = 1{,}3738 \text{ mm}$$

$$b_1 = b_p - b_{e2} - \left(\frac{c_{eff} \times b_{e2} + \frac{b_{e2}^{\,2}}{2}}{c_{eff} + b_{e2}} \right)$$

$b_1 = 35{,}82$ mm

Plocha rohu s výztuhou $A_s = t \times (c_{eff} + b_{e2}) = 48{,}266$ mm^2

Moment setrv. rohu s výztuhou

$$I_s = \frac{1}{12} b_{e2} t^3 + b_{e2} t y_t^{\,2} + \frac{1}{12} t c_{eff}^{\,3} + t c_{eff} \left(\frac{c_{eff}}{2} - y_t \right)^2$$

$I_s = 323{,}35$ mm^4

Pérová tuhost výztuhy $K = \frac{Et^3}{4\times(1-\nu^2)} \times \frac{1}{b_1^2 h_p + b_1^3 + 0{,}5 b_1 b_2 h_p k_f}$

$K = 0{,}547$

Kritické napětí okrajové výztuhy

$\sigma_{cr,s} = \frac{2\times\sqrt{K \times E \times I_s}}{A_s} = 252{,}54$ Mpa

Poměrná štíhlost $\overline{\lambda}_d = \sqrt{\frac{f_{yk}}{\sigma_{cr,s}}} = 1{,}18$

Součinitel vzpěrnosti pro $\overline{\lambda}_d \leq 0{,}65$ $\chi_d = 1{,}0$

pro $0{,}65 < \overline{\lambda}_d < 1{,}38$

$\chi_d = 1{,}47 - 0{,}723\ \overline{\lambda}_d$

pro $\overline{\lambda}_d \geq 1{,}38$ $\chi_d \frac{0{,}66}{\overline{\lambda}_d}$

$\chi_d = 0{,}62$

Max. tlak. napětí ve stěně $\sigma_{com} = \chi_d \times f_{yk} = 216{,}60$ Mpa

Krok 3

Poměrná stěnová štíhlost $\overline{\lambda}_{p,red} = \overline{\lambda}_p \times \sqrt{\chi_d} = 0{,}471$

Poměr napětí na krajích pás. $\Psi = 1$

Součinitel boulení pro $\overline{\lambda}_p \leq 0{,}673$ $\rho = 1{,}0$

pro $\overline{\lambda}_p > 0{,}673$ $\rho = \frac{\overline{\lambda}_p - 0{,}055(3+\Psi)}{\overline{\lambda}_p^2}$

$\rho = 1$

Počáteční účinná šířka pás. $b_{eff} = \rho \times b_p = 43{,}440$ mm

Účinná šířka $b_{ei} = \frac{b_{eff}}{2}$

$b_{e1} = 21{,}72$ mm

$b_{e2} = 21{,}72$ mm

Poměrná stěnová štíhlost $\overline{\lambda}_{p,red} = \overline{\lambda}_p \times \sqrt{\chi_d} = 0{,}283$

Poměr napětí na krajích pás. $\Psi = 1$

Součinitel boulení pro $\overline{\lambda}_p \leq 0{,}748$ $\rho = 1{,}0$

pro $\overline{\lambda}_p > 0{,}748$ $\rho = \frac{\overline{\lambda}_p - 0{,}188}{\overline{\lambda}_p^2}$

$\rho = 1$

Počáteční účinná šířka pás. **$c_{eff} = \rho \times c_p = 9{,}22$ mm**

Těžiště rohu s výztuhou

$$y_t = c_p - \frac{c_{eff} \times b_{e2} + \frac{c_{eff}^2}{2}}{c_{eff} + b_{e2}} = 1{,}3738 \text{ mm}$$

$$b_1 = b_p - b_{e2} - \left(\frac{c_{eff} \times b_{e2} + \frac{b_{e2}^2}{2}}{c_{eff} + b_{e2}} \right)$$

$$b_1 = 35{,}82 \text{ mm}$$

Plocha rohu s výztuhou $A_s = t \times (c_{eff} + b_{e2}) = 48{,}266 \text{ mm}^2$

Moment setrv. rohu s výztuhou

$$I_s = \frac{1}{12} b_{e2} t^3 + b_{e2} t y_t^2 + \frac{1}{12} t c_{eff}^3 + t c_{eff} \left(\frac{c_{eff}}{2} - y_t \right)^2$$

$$I_s = 323{,}35 \text{ mm}^4$$

Pérová tuhost výztuhy

$$K = \frac{Et^3}{4 \times (1 - v^2)} \times \frac{1}{b_1^2 h_p + b_1^3 + 0{,}5 b_1 b_2 h_p k_f}$$

$$K = 0{,}547$$

Kritické napětí okrajové výztuhy

$$\sigma_{cr,s} = \frac{2 \times \sqrt{K \times E \times I_s}}{A_s} = 252{,}54 \text{ Mpa}$$

Poměrná štíhlost

$$\overline{\lambda}_d = \sqrt{\frac{f_{yk}}{\sigma_{cr,s}}} = 1{,}18$$

Součinitel vzpěrnosti

pro $\overline{\lambda}_d \leq 0{,}65$ $\chi_d = 1{,}0$

pro $0{,}65 < \overline{\lambda}_d < 1{,}38$

$$\chi_d = 1{,}47 - 0{,}723 \, \overline{\lambda}_d$$

pro $\overline{\lambda}_d \geq 1{,}38$ $\chi_d \frac{0{,}66}{\overline{\lambda}_d}$

$$\chi_d = 0{,}62$$

Max. tlak. napětí ve stěně $\sigma_{com} = \chi_d \times f_{yk} = 216{,}60 \text{ Mpa}$

Konec iterace

Redukovaná tloušťka výztuhy $t_{red} = \chi_d \times t = 0{,}965 \text{ mm}$

Stojina - lokální boulení

Poměr napětí v tažené a tlačené pásnici $\Psi = 1{,}0$

Součinitel kritického napětí $k_\sigma = 4{,}0$

Poměrná stěnová štíhlost

$$\overline{\lambda}_p = \frac{\frac{h_p}{t}}{28{,}4 \times \sqrt{\frac{235}{f_y}} \times \sqrt{k_\sigma}} = 2{,}044$$

Součinitel boulení pro $\bar{\lambda}_p \leq 0{,}673$ $\rho = 1{,}0$

pro $\bar{\lambda}_p > 0{,}673$ $\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0{,}055(3+\Psi)}{\bar{\lambda}_p^2}$

$\rho = 0{,}436$

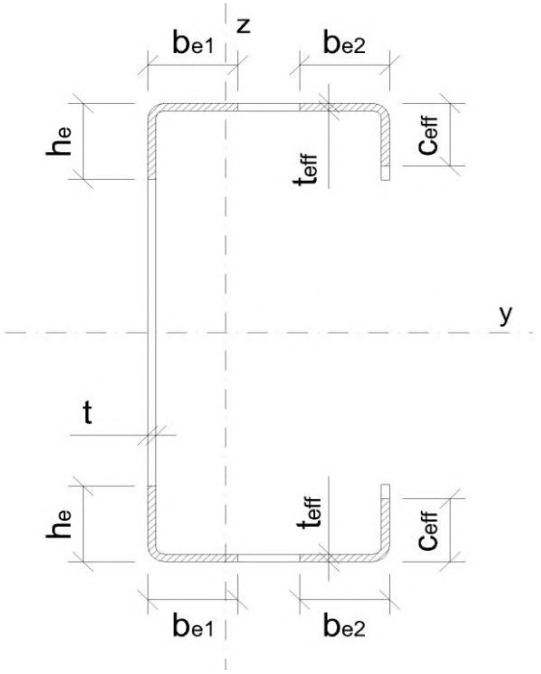
Počáteční účinná šířka pásnic $h_{eff} = \rho \times h_p = 64{,}79$ mm

Účinná šířka $h_{ei} = \frac{h_{eff}}{2}$

h_{e1} = 32,40 mm

h_{e2} = 32,40 mm

Parametry výsledného efektivního průřezu



Efektivní plocha průřezu	A_{eff}	=	221,851	mm^2
Plná plocha průřezu	A_g	=	395,866	mm^2
Poměr efektivní a plné plochy průřezu	β_a	=	0,56	
Souřadnice těžiště plného průřezu ve směru z	c_z	=	10,59	mm
Souřadnice těžiště efektivního průřezu ve směru z	$c_{z,eff}$	=	12,58	mm
Posun těžištové osy z-z v důsledku působení osové síly	$e_{N,z}$	=	1,99	mm
Moment setrvačnosti k ose y pro plný průřez	I_y	=	1295810	mm^4
Poloměr setrvačnosti k ose y pro plný průřez	i_y	=	57,21	mm
Moment setrvačnosti k ose z pro plný průřez	I_z	=	95167	mm^4
Poloměr setrvačnosti k ose z pro plný průřez	i_z	=	15,50	mm

Vzpěrná únosnost efektívneho průřezu

Rovinný vzpěr kolmo k ose y

obě pásnice jsou drženy pláštěm,

je bráněno vybočení ve směru měkké os

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = 55{,}424$$

$$\lambda_1 = 93{,}9 \times \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}} = 76{,}94$$

$$\overline{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = 0{,}54$$

Součinitel vzpěrnosti

$\alpha = 0{,}34$

$$\phi = 0{,}5 \times [\,1 + \alpha\,(\,\overline{\lambda}_y - 0{,}2\,) + \overline{\lambda}_y^{\,2}\,]$$

$$\phi = 0{,}7031$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 + \overline{\lambda}_y^{\,2}}} = 0{,}63$$

Vzpěrná únosnost bez prostorového vzpěru

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \times A_{eff} \times f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{b,y,Rd} = 48{,}86 \quad \text{kN}$$

Rovinný vzpěr kolmo k ose z

obě pásnice jsou drženy pláštěm,

je bráněno vybočení ve směru měkké osy

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = 68{,}172$$

$$\lambda_1 = 93{,}9 \times \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}} = 76{,}94$$

$$\overline{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = 0{,}66$$

Součinitel vzpěrnosti

$\alpha = 0{,}34$

$$\phi = 0{,}5 \times [\,1 + \alpha\,(\,\overline{\lambda}_z - 0{,}2\,) + \overline{\lambda}_z^{\,2}\,]$$

$$\phi = 0{,}7987$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 + \overline{\lambda}_z^{\,2}}} = 0{,}54$$

Vzpěrná únosnost bez prostorového vzpěru

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \times A_{eff} \times f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{b,z,Rd} = 42{,}27 \quad \text{kN}$$

Prostorový vzpěr

Výsečový deviační moment

$$I_{wy} = \iint_A \omega z dA$$

$$I_{w,y} = 16958846{,}1 \quad \text{mm}^5$$

Vzdálenost středu smyku od stojiny

$$c_y = \frac{I_{w,y}}{I_y} = 13{,}09 \text{ mm}$$

Výsečový moment setrvačnosti

$$I_w = \iint_A \omega^2 dA$$

a = 971
b = -3224
c = -3745

$$I_w = 837242221 \text{ mm}^6$$

Moment setrvačnosti v prostém kroucení

$$I_t = \frac{1}{3} \sum b_i \times t_i^3$$

$$I_t = 321{,}126 \text{ mm}^4$$

Vzdálenost středu smyku od těžiště

$$y_0 = c_y + c_z = 23{,}68 \text{ mm}$$
$$i_0^2 = i_y^2 + i_z^2 + y_0^2$$
$$i_0^2 = 4074{,}52 \text{ mm}^2$$

Kritické napětí pro vybočení zkroucením

$$\sigma_{cr,T} = \frac{1}{A_g i_0^2}\left(GI_t + \frac{\pi^2 E I_w}{L_t^2} \right)$$

$$\sigma_{cr,T} = 979{,}018 \text{ Mpa}$$

Kritické napětí pro vybočení kolmo k ose y

$$\sigma_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E}{\left(\frac{L_y}{i_y}\right)^2} = 675 \text{ Mpa}$$

$$\beta = 1 - \left(\frac{y_0}{i_0}\right)^2$$

$$\beta = 0{,}86$$

Kritické napětí pro prostorový vzpěr

$$\sigma_{cr,TF} = \frac{1}{2\beta}\left(\left(\sigma_{cr,y} + \sigma_{cr,T} \right) - \sqrt{\left(\sigma_{cr,y} + \sigma_{cr,T} \right)^2 - 4\beta\, \sigma_{cr,y}\, \sigma_{cr,T}} \right)$$

$$\sigma_{cr,TF} = 567{,}20 \text{ Mpa}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr,TF}} \times \frac{A_{eff}}{A}} = 0{,}45$$

α = 0,34

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

$$\phi = 0{,}6423$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 + \lambda^2}} = 0{,}91$$

Vzpěrná únos. prutu s prostorovým vzpěre

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \times A_{eff} \times f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

$N_{b,Rd}$ = 70,405 kN

Výsledná vzpěrná únosnost **N_{Rd} = 42,27 kN**

Momentová únosnost sloupu C150-1,6 se spočítá stejným způsobem jako byl
ukázáno v předešlých částech statického výpočtu.

Posouzení zesíleného sloupu

Průřez: JKL 150x100x4.0

Zatřídění průřezu:

Tlačený nebo tlačený a ohýbaný průřez

f_{yd} = 235 MPa

N_{ed} = -146 kN

Delší stojina:

$$\alpha = 0{,}5 \times \left(1 + \frac{N_{ed}}{t_w \times f_{yd} \times d} \right) = 1{,}08$$

$$\frac{c}{t_w} = \frac{d}{t_w} = 33{,}5$$

$$\frac{456 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = 34{,}981$$

$33{,}5 \leq 35{,}0$ Průřez třídy 2

Kratší stojina:

$$\alpha = 0{,}5 \times \left(1 + \frac{N_{ed}}{t_f \times f_{yd} \times d} \right) = 1{,}425$$

$$\frac{c}{t_f} = 21$$

$$\frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = 22{,}601$$

$21{,}0 \leq 22{,}6$ Průřez třídy 1

Stojka splňuje podmínku třídy 2

Průřezové char.

h = 150 mm
b = 100 mm
t_w = 4 mm
t_f = 4 mm
r = 4 mm
d = 134 mm
c = 84 mm
A = 1890 mm^2
I_y = 5950000 mm^4
I_z = 3190000 mm^4
I_w = 3,4E+14 mm^6
I_t = 6620000 mm^4
$W_{pl,y}$ = 95700 mm^3
$W_{pl,z}$ = 72500 mm^3
A_{vz} = 1075 mm^2

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1{,}0$$

E = 210 GPa

Vzpěr

N_{ed} = -146 kN
V_{ed} = 0 kN
$M_{y,ed}$ = 2,43 kNm
$M_{z,ed}$ = 1,892 kNm

Vzpěrné délky

$L_{cr,y} = L_{cr,z} = h$ = 3,171 m

Kritické síly:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 6E\text{-}06}{10{,}055} = \mathbf{1226{,}43\ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 3E\text{-}06}{10{,}055} = \mathbf{657{,}53\ kN}$$

Poměrná štíhlost:

$$\overline{\lambda_y} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yd}}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{0{,}002 \cdot 235 \cdot 10^3}{1226{,}43}} = 0{,}602 \longrightarrow \chi_y = 0{,}89$$

$$\overline{\lambda_z} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yd}}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{0{,}002 \cdot 235 \cdot 10^3}{657{,}53}} = 0{,}822 \qquad \chi_z = 0{,}784$$

$\gamma_{M1} = 1$

Posouzení:

$$N_{b,Rd} = \frac{\min(\chi_y ; \chi_z) \cdot A \cdot f_{yd}}{\gamma_{M1}} = \mathbf{348,21\ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{146,03}{348,21} = \mathbf{0,42 < 1}$$

Momentová únosnost

$N_{ed} = -146$ kN

$V_{ed} = 0$ kN

$M_{y,ed} = 2,43$ kNm

$M_{z,ed} = 1,892$ kNm

Únosnost při klopení:

$$M_{y,Rd} = \frac{W_y \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \mathbf{22,49\ kNm}$$

$$\frac{M_{y,ed}}{M_{y,Rd}} = \frac{2,43}{22,49} = \mathbf{0,11 < 1}$$

Interakce tlak + ohyb

$N_{ed} = -146$ kN

$V_{ed} = 0$ kN

$M_{ed} = 2,43$ kNm

$M_{z,ed} = 1,892$ kNm

Součinitele ekvivalentních konstantních momentů:

$C_{my} = 0,95$

$C_{mz} = 0,95$

$C_{mLT} = 0,95$

$N_{Rk} = 444,15$ kN

$M_{y,Rk} = 22,49$ kNm

$M_{z,Rk} = 17,04$ kNm

Součinitele interakce:

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} C_{my}\left(1 + (\overline{\lambda_y} - 0,2) \cdot \frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}\right) = 1,091 \\ C_{my}\left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}\right) = 1,231 \end{array} \right\} = \mathbf{1,091}$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = \mathbf{0,655}$$

$$k_{zz} = \min \left\{ \begin{array}{l} C_{mz}\left(1 + (\overline{\lambda_z} - 0,2) \cdot \frac{N_{ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}\right) = 1,198 \\ C_{mz}\left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}\right) = 1,269 \end{array} \right\} = \mathbf{1,198}$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = \mathbf{0,719}$$

$\gamma_{M1} = 1$

Posouzení:

1)

$$\frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \mathbf{0,567}$$

0,567 < 1

2)

$$\frac{N_{ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \mathbf{0,623}$$

0,623 < 1

3)

$$\frac{N_{ed}}{N_{Rk} / \gamma_{M1}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \mathbf{0,548}$$

0,548 < 1

Posouzení zesíleného sloupku

Průřez: HEA 160

Zatřídění průřezu:

Tlačený nebo tlačený a ohýbaný průřez

f_{yd} = 235 MPa

N_{ed} = -95,72 kN

Stojina:

$$\alpha = 0{,}5 \times \left(1 + \frac{N_{ed}}{t_w \times f_{yd} \times d} \right) = 0{,}826$$

$$\frac{c}{t_w} = \frac{d}{t_w} = 17{,}333$$

$$\frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = 40{,}646$$

$17{,}3 \leq 40{,}6$ Průřez třídy 1

Pásnice:

$$\alpha = 0{,}5 \times \left(1 + \frac{N_{ed}}{t_f \times f_{yd} \times d} \right) = 0{,}865$$

$$\frac{c}{t_f} = 6{,}8889$$

$$9 \times \varepsilon = 9$$

$6{,}9 \leq 9{,}0$ Průřez třídy 1

Stojka splňuje podmínku třídy 1

Průřezové char.

h = 152 mm
b = 160 mm
t_w = 6 mm
t_f = 9 mm
r = 15 mm
d = 104 mm
c = 62 mm
A = 3877 mm^2
I_y = 1,7E+07 mm^4
I_z = 6156000 mm^4
I_w = 3,1E+10 mm^6
I_t = 121900 mm^4
$W_{pl,y}$ = 245100 mm^3
$W_{pl,z}$ = 117600 mm^3
A_{vz} = 1321 mm^2

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1{,}0$$

E = 210 GPa

Vzpěr

N_{ed} = -95,72 kN
V_{ed} = 0 kN
$M_{y,ed}$ = 0,176 kNm
$M_{z,ed}$ = 1,961 kNm

Vzpěrné délky

$L_{cr,y} = L_{cr,z} = h$ = 3,171 m

Kritické síly:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 2E\text{-}05}{10{,}055} = \mathbf{3448{,}44\ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 6E\text{-}06}{10{,}055} = \mathbf{1268{,}89\ kN}$$

Poměrná štíhlost:

$$\overline{\lambda_y} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yd}}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{0{,}004 \cdot 235 \cdot 10^3}{3448{,}44}} = 0{,}514 \quad \rightarrow \quad \chi_y = 0{,}92$$

$$\overline{\lambda_z} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yd}}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{0{,}004 \cdot 235 \cdot 10^3}{1268{,}89}} = 0{,}847 \quad \chi_z = 0{,}695$$

γ_{M1} = 1

Posouzení:

$$N_{b,Rd} = \frac{\min(\chi_y ; \chi_z) \cdot A \cdot f_{yd}}{\gamma_{M1}} = \mathbf{633,21\ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{95,715}{633,21} = \mathbf{0,15 < 1}$$

Klopení

N_{ed} = -95,72 kN

V_{ed} = 0 kN

$M_{y,ed}$ = 0,176 kNm

$M_{z,ed}$ = 1,961 kNm

Součinitele kritické délky:

k_y = 1,0 k_z = 1,0 k_w = 1,0

Tabulka B.1 – Interakční součinitele k_{ij} pro pruty, které nejsou náchylné ke zkroucení

Interakční součinitele	Typ průřezu	Předpoklady navrhování	
		Pružnostní návrh – průřezy třídy 3 a 4	Plasticitní návrh – průřezy třídy 1 a 2
k_{yy}	I průřezy, pravoúhlé duté průřezy	$C_{my}\left(1+0,6\bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right) \le C_{my}\left(1+0,6\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right)$	$C_{my}\left(1+(\bar{\lambda}_y-0,2)\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right) \le C_{my}\left(1+0,8\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right)$
k_{yz}	I průřezy, pravoúhlé duté průřezy	k_{zz}	0,6 k_{zz}
k_{zy}	I průřezy, pravoúhlé duté průřezy	0,8 k_{yy}	0,6 k_{yy}
k_{zz}	I průřezy	$C_{mz}\left(1+0,6\bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right) \le C_{mz}\left(1+0,6\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right)$	$C_{mz}\left(1+(2\bar{\lambda}_z-0,6)\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right) \le C_{mz}\left(1+1,4\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right)$
	pravoúhlé duté průřezy		$C_{mz}\left(1+(\bar{\lambda}_z-0,2)\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right) \le C_{mz}\left(1+0,8\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right)$
Pro I a H-průřezy a pro pravoúhlé duté průřezy namáhané osovým tlakem a rovinným ohybem $M_{y,Ed}$ může být k_{zy} = 0.			

Parametr kroucení:

L_{LT} = 3,171 m

G = 80,7 GPa

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L_{LT}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 3,2} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^6 \cdot 3E\text{-}08}{80,7 \cdot 10^6 \cdot 1E\text{-}07}} = \mathbf{0,811}$$

Součinitele C_1; C_2; C_3 :

ψ = 0

$C_{1,1}$ = 1,13

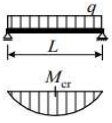
$C_{1,0}$ = 1,13

C_1 = 1,13

C_2 = 0,46

C_3 = 0,53

Tabulka NB.3.2 – Hodnoty součinitelů C_1, C_2 a C_3 pro různé případy příčného zatížení v závislosti na hodnotě součinitelů k_y, k_z, k_w a součinitelů ψ_f a κ_{wt}

Zatížení a podmínky podepření	Součinitele vzpěrné délky			Hodnoty součinitelů							
				C_1 [1]		C_2			C_3		
	k_y	k_z	k_w	$C_{1,0}$	$C_{1,1}$	$\psi_f = -1$	$-0,9 \le \psi_f \le 0,9$	$\psi_f = 1$	$\psi_f = -1$	$-0,9 \le \psi_f \le 0,9$	$\psi_f = 1$
	1	1	1	1,13	1,13	0,33	0,46	0,50	0,93	0,53	0,38
	1	1	0,5	1,13	1,23	0,33	0,39	0,50	0,93	0,81	0,38
	1	0,5	1	0,95	1,00	0,25	0,41	0,40	0,84	0,48	0,44
	1	0,5	0,5	0,95	0,97	0,25	0,31	0,40	0,84	0,67	0,44

Bezrozměrný kritický moment:

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_{wt}^{\ 2}} = \frac{1,130}{1,0} \cdot \sqrt{1 + 0,81^{\ 2}} = \mathbf{1,455}$$

Kritický moment:

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L_{LT}} = \mathbf{162,57\ kNm}$$

$\alpha_{LT} = b = 0,34$

$\beta = 1,00$

$\overline{\lambda_{LT,0}} = 0,20$

Poměrná štíhlost při klopení:

$$\overline{\lambda_{LT}} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_{yk}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,5E\text{-}04 \cdot 235 \cdot 10^{\ 3}}{162,57}} = \mathbf{0,595}$$

Parametr Φ_{LT} :

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [\ 1 + \alpha_{LT} \cdot (\ \overline{\lambda_{LT}} - \overline{\lambda_{LT,0}}\ ) + \beta \cdot \overline{\lambda_{LT}}^{\ 2}\ ] = \mathbf{0,744}$$

Součinitel klopení:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^{\ 2} - \beta \cdot \overline{\lambda_{LT}}^{\ 2}}} = \mathbf{0,8394} \left\{ \begin{array}{c} 1,00 \\ \frac{1}{\overline{\lambda_{LT}}^{\ 2}} = 2,8 \end{array} \right\} = \mathbf{0,84}$$

Únosnost při klopení:

$$M_{y,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \mathbf{48,35\ kNm}$$

$$\frac{M_{y,ed}}{M_{y,Rd}} = \frac{0,176}{48,35} = \mathbf{0,00 < 1}$$

Interakce tlak + ohyb

$N_{ed} = -95,72$ kN

$V_{ed} = 0$ kN

$M_{ed} = 0,176$ kNm

$M_{z,ed} = 1,961$ kNm

Součinitele ekvivalentních konstantních momentů:

$C_{my} = 0,95$

$C_{mz} = 0,95$

$C_{mLT} = 0,95$

$N_{Rk} = 911,10$ kN

$M_{y,Rk} = 57,60$ kNm

$M_{z,Rk} = 27,64$ kNm

Součinitele interakce:

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} C_{my}\left(1 + (\ \overline{\lambda_y} - 0,2\ ) \cdot \frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}\right) = 0,984 \\ C_{my}\left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}\right) = 1,037 \end{array} \right\} = \mathbf{0,984}$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = \mathbf{0,590}$$

$$k_{zz} = \min \left\{ \begin{array}{l} C_{mz}\left(1 + (\ \overline{\lambda_z} - 0,2\ ) \cdot \frac{N_{ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}\right) = 1,043 \\ C_{mz}\left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}\right) = 1,065 \end{array} \right\} = \mathbf{1,043}$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = \mathbf{0,626}$$

$\gamma_{M1} = 1$

Posouzení:

1)

$$\frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \mathbf{0,162}$$

0,162 < 1

2)

$$\frac{N_{ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \mathbf{0,227}$$

0,227 < 1

3)

$$\frac{N_{ed}}{N_{Rk} / \gamma_{M1}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \mathbf{0,179}$$

0,179 < 1

Posouzení schodišťového ramena

Průřez: UPE 120

Zatřídění průřezu:

Tlačený nebo tlačený a ohýbaný průřez

f_{yd} = 235 MPa

N_{ed} = -10,07 kN

Stojina:

$$\alpha = 0{,}5 \times \left(1 + \frac{N_{ed}}{t_w \times f_{yd} \times d} \right) = 0{,}554$$

$$\frac{c}{t_w} = \frac{d}{t_w} = 16$$

$$\frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = 63{,}906$$

16,0 ≤ 63,9 Průřez třídy 1

Pásnice:

$$\alpha = 0{,}5 \times \left(1 + \frac{N_{ed}}{t_f \times f_{yd} \times d} \right) = 0{,}562$$

$$\frac{c}{t_f} = 5{,}375$$

$$9 \times \varepsilon = 9$$

5,4 ≤ 9,0 Průřez třídy 1

Nosník splňuje podmínku třídy 1

Průřezové char.

h = 120 mm
b = 60 mm
t_w = 5 mm
t_f = 8 mm
r = 12 mm
d = 80 mm
c = 43 mm
A = 1542 mm^2
I_y = 3635000 mm^4
I_z = 554000 mm^4
I_w = 1,1E+09 mm^6
I_t = 29000 mm^4
$W_{pl,y}$ = 70330 mm^3
$W_{pl,z}$ = 25280 mm^3
A_{vz} = 718 mm^2

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1{,}0$$

E = 210 GPa

Vzpěr

N_{ed} = -10,07 kN
V_{ed} = 7,737 kN
$M_{y,ed}$ = 5,262 kNm

Vzpěrné délky

$L_{cr,y}$ = L = 2,72 m
$L_{cr,z}$ = 2,72 m

Kritické síly:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 4E\text{-}06}{7{,}398} = \mathbf{1018{,}32\ kN}$$

$N_{cr,z}$ = **155,20 kN**

Poměrná štíhlost:

$$\overline{\lambda_y} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yd}}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{0{,}002 \cdot 235 \cdot 10^3}{1018{,}32}} = 0{,}597 \longrightarrow \chi_y = 0{,}785$$

$$\overline{\lambda_z} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yd}}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{0{,}554 \cdot 0 \cdot 10^3}{155{,}20}} = 1{,}444 \longrightarrow \chi_z = 0{,}334$$

γ_{M1} = 1

Posouzení:

$$N_{b,Rd} = \frac{\min(\chi_y ; \chi_z) \cdot A \cdot f_{yd}}{\gamma_{M1}} = \mathbf{121,03\ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{10,074}{121,03} = \mathbf{0,08 < 1}$$

Klopení

N_{ed} = -10,07 kN

V_{ed} = 7,737 kN

$M_{y,ed}$ = 5,262 kNm

Součinitele kritické délky:

k_y = 1,0 k_z = 1,0 k_w = 1,0

Tabulka B.1 – Interakční součinitele k_{ij} pro pruty, které nejsou náchylné ke zkroucení

Interakční součinitele	Typ průřezu	Předpoklady navrhování	
		Pružnostní návrh – průřezy třídy 3 a 4	Plasticitní návrh – průřezy třídy 1 a 2
k_{yy}	I průřezy, pravoúhlé duté průřezy	$C_{my}\left(1+0,6\bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right) \le C_{my}\left(1+0,6\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right)$	$C_{my}\left(1+(\bar{\lambda}_y-0,2)\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right) \le C_{my}\left(1+0,8\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right)$
k_{yz}	I průřezy, pravoúhlé duté průřezy	k_{zz}	0,6 k_{zz}
k_{zy}	I průřezy, pravoúhlé duté průřezy	0,8 k_{yy}	0,6 k_{yy}
k_{zz}	I průřezy	$C_{mz}\left(1+0,6\bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right) \le C_{mz}\left(1+0,6\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right)$	$C_{mz}\left(1+(2\bar{\lambda}_z-0,6)\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right) \le C_{mz}\left(1+1,4\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right)$
	pravoúhlé duté průřezy		$C_{mz}\left(1+(\bar{\lambda}_z-0,2)\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right) \le C_{mz}\left(1+0,8\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right)$
Pro I a H-průřezy a pro pravoúhlé duté průřezy namáhané osovým tlakem a rovinným ohybem $M_{y,Ed}$ může být k_{zy} = 0.			

Parametr kroucení:

L_{LT} = 2,72 m

G = 80,7 GPa

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L_{LT}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 2,7} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^6 \cdot 1E\text{-}09}{80,7 \cdot 10^6 \cdot 3E\text{-}08}} = \mathbf{0,366}$$

Součinitele C_1; C_2; C_3 :

ψ = 0

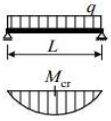
$C_{1,1}$ = 1,13

$C_{1,0}$ = 1,13

$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \cdot \kappa_{wt}$ = 1,13

C_2 = 0,46

Tabulka NB.3.2 – Hodnoty součinitelů C_1, C_2 a C_3 pro různé případy příčného zatížení v závislosti na hodnotě součinitelů k_y, k_z, k_w a součinitelů ψ_f a κ_{wt}

Zatížení a podmínky podepření	Součinitele vzpěrné délky			Hodnoty součinitelů								
				C_1 [1]		C_2			C_3			
	k_y	k_z	k_w	$C_{1,0}$	$C_{1,1}$	⊥ $\psi_f = -1$	⊥⊥⊥ $-0,9 \le \psi_f \le 0,9$	⊤ $\psi_f = 1$	⊥ $\psi_f = -1$	⊥⊥⊥ $-0,9 \le \psi_f \le 0,9$	⊤ $\psi_f = 1$
	1	1	1	1,13	1,13	0,33	0,46	0,50	0,93	0,53	0,38
	1	1	0,5	1,13	1,23	0,33	0,39	0,50	0,93	0,81	0,38
	1	0,5	1	0,95	1,00	0,25	0,41	0,40	0,84	0,48	0,44
	1	0,5	0,5	0,95	0,97	0,25	0,31	0,40	0,84	0,67	0,44

Bezrozměrný parametr působiště zatížení vzhledem ke středu smyku:

z_g = $h_{UPE}/2$

z_g = 60 mm

$$\zeta_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L_{LT}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 0,06}{1,0 \cdot 2,72} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^6 \cdot 6E\text{-}07}{80,7 \cdot 10^6 \cdot 3E\text{-}08}} = \mathbf{0,489}$$

Bezrozměrný kritický moment:

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left(\sqrt{1 + \kappa_{wt}^{\ 2} + \left(C_2 \cdot \zeta_g\right)^2} - \left(C_2 \cdot \zeta_g\right) \right) = \mathbf{1,262}$$

Kritický moment:

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L_{LT}} = \mathbf{24,06\ kNm}$$

$\alpha_{LT} = b = 0,21$

$\beta = 0,75$

$\overline{\lambda_{LT,0}} = 0,40$

Poměrná štíhlost při klopení:

$$\overline{\lambda_{LT}} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_{yk}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{7,0E\text{-}05 \cdot 235 \cdot 10^{3}}{24,06}} = \mathbf{0,829}$$

Parametr Φ_{LT} :

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [\ 1 + \alpha_{LT} \cdot (\ \overline{\lambda_{LT}} - \overline{\lambda_{LT,0}}\ ) + \beta \cdot \overline{\lambda_{LT}}^{\ 2}\ ] = \mathbf{0,803}$$

Součinitel klopení:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^{\ 2} - \beta \cdot \overline{\lambda_{LT}}^{\ 2}}} = \mathbf{0,8607} \left\{ \begin{array}{c} 1,00 \\ \frac{1}{\overline{\lambda_{LT}}^{\ 2}} = 1,5 \end{array} \right\} = \mathbf{0,861}$$

Únosnost při klopení:

$$M_{y,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,861 \cdot 7,0E\text{-}05 \cdot 235 \cdot 10^{3}}{1} = \mathbf{14,23\ kNm}$$

$$\frac{M_{y,ed}}{M_{y,Rd}} = \frac{5,262}{14,23} = \mathbf{0,37 < 1}$$

Interakce tlak + ohyb

$N_{ed} = -10,07$ kN

$V_{ed} = 7,737$ kN

$M_{ed} = 5,262$ kNm

Součinitele ekvivalentních konstantních momentů:

$C_{my} = 0,95$

$C_{mLT} = 0,95$

$N_{Rk} = 362,37$ kN

$M_{y,Rk} = 16,53$ kNm

Součinitele interakce:

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} C_{my}\left(1 + (\ \overline{\lambda_y} - 0,2\ ) \cdot \frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}\right) = 0,963 \\ C_{my}\left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}\right) = 0,925 \end{array} \right\} = \mathbf{0,925}$$

$$k_{zy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \overline{\lambda_z}}{(\ C_{mLT} - 0,25\ )} \cdot \frac{N_{ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} = 0,983 \\ 0,6 + \overline{\lambda_z} = 0,6 + 1,4 = 2,04 \end{array} \right\} = \mathbf{0,98}$$

Posouzení:

1)

$$\frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} = \mathbf{0,3778}$$

$\gamma_{M1} = 1$

0,38 < 1

2)

$$\frac{N_{ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} = \mathbf{0,4468}$$

0,45 < 1

3)

$$\frac{N_{ed}}{N_{Rk} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk} / \gamma_{M0}} = \mathbf{0,3462}$$

0,35 < 1

Smyk

$\gamma_{M0} = 1$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \mathbf{97,42\ kN}$$

$$\frac{V_{ed}}{V_{pl,Rd}} = \mathbf{0,1 \leq 0,5}$$

Posouzení MSP

- svislý průhyb

$$w_{max} < \frac{L}{250} = \frac{2720}{250} = 10,88 \text{ mm}$$

$w = 9,1$ mm

$w_{max} > w$

10,88 > 9 VYHOVUJE

Posouzení schodišťového nosníku

Průřez: IPE 160

Zatřídění průřezu:

Tlačený nebo tlačený a ohýbaný průřez

f_{yd} = 235 MPa

N_{ed} = 0 kN

Stojina:

$$\alpha = 0{,}5 \times \left(1 + \frac{N_{ed}}{t_w \times f_{yd} \times d} \right) = 0{,}5$$

$$\frac{c}{t_w} = \frac{d}{t_w} = 25{,}44$$

$$\frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = 72$$

$25{,}4 \leq 72{,}0$ Průřez třídy 1

Pásnice:

$$\alpha = 0{,}5 \times \left(1 + \frac{N_{ed}}{t_f \times f_{yd} \times d} \right) = 0{,}5$$

$$\frac{c}{t_f} = 4{,}0$$

$$9 \times \varepsilon = 9$$

$4{,}0 \leq 9{,}0$ Průřez třídy 1

Nosník splňuje podmínku třídy 1

Průřezové char.

h = 160 mm
b = 82 mm
t_w = 5 mm
t_f = 7,4 mm
r = 9 mm
d = 127,2 mm
c = 29,5 mm
A = 2009 mm^2
I_y = 8693000 mm^4
I_z = 683100 mm^4
I_w = 4E+09 mm^6
I_t = 36040 mm^4
$W_{pl,y}$ = 123900 mm^3
$W_{pl,z}$ = 26100 mm^3
A_{vz} = 966 mm^2

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1{,}0$$

E = 210 GPa

Vzpěr

N_{ed} = 0 kN
V_{ed} = 12,721 kN
$M_{y,ed}$ = 14,411 kNm
$M_{z,ed}$ = 1,023 kNm

Vzpěrné délky

$L_{cr,y} = L$ = 2,655 m
$L_{cr,z} = L$ = 2,655 m

Kritické síly:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 9E\text{-}06}{7{,}049} = \mathbf{2555{,}99\ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 7E\text{-}07}{7{,}049} = \mathbf{200{,}85\ kN}$$

Poměrná štíhlost:

$$\overline{\lambda_y} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yd}}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{0{,}002 \cdot 235 \cdot 10^3}{2555{,}99}} = 0{,}430 \quad \rightarrow \quad \chi_y = 0{,}945$$

$$\overline{\lambda_z} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yd}}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{0{,}002 \cdot 235 \cdot 10^3}{200{,}85}} = 1{,}533 \quad \rightarrow \quad \chi_z = 0{,}331$$

γ_{M1} = 1

Posouzení:

$$N_{b,Rd} = \frac{\min(\chi_y ; \chi_z) \cdot A \cdot f_{yd}}{\gamma_{M1}} = \mathbf{156,27\ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{0}{156,27} = \mathbf{0,00 < 1}$$

Klopení

N_{ed} = 0 kN

V_{ed} = 12,721 kN

$M_{y,ed}$ = 14,411 kNm

$M_{z,ed}$ = 1,023 kNm

Součinitele kritické délky:

k_y = 1,0 k_z = 1,0 k_w = 1,0

Tabulka B.1 – Interakční součinitele k_{ij} pro pruty, které nejsou náchylné ke zkroucení

Interakční součinitele	Typ průřezu	Předpoklady navrhování	
		Pružnostní návrh – průřezy třídy 3 a 4	Plasticitní návrh – průřezy třídy 1 a 2
k_{yy}	I průřezy, pravoúhlé duté průřezy	$C_{my}\left(1+0,6\bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right) \le C_{my}\left(1+0,6\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right)$	$C_{my}\left(1+(\bar{\lambda}_y-0,2)\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right) \le C_{my}\left(1+0,8\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right)$
k_{yz}	I průřezy, pravoúhlé duté průřezy	k_{zz}	0,6 k_{zz}
k_{zy}	I průřezy, pravoúhlé duté průřezy	0,8 k_{yy}	0,6 k_{yy}
k_{zz}	I průřezy	$C_{mz}\left(1+0,6\bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right) \le C_{mz}\left(1+0,6\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right)$	$C_{mz}\left(1+(2\bar{\lambda}_z-0,6)\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right) \le C_{mz}\left(1+1,4\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right)$
	pravoúhlé duté průřezy		$C_{mz}\left(1+(\bar{\lambda}_z-0,2)\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right) \le C_{mz}\left(1+0,8\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right)$
Pro I a H-průřezy a pro pravoúhlé duté průřezy namáhané osovým tlakem a rovinným ohybem $M_{y,Ed}$ může být $k_{zy} = 0$.			

Parametr kroucení:

L_{LT} = 2,655 m

G = 80,7 GPa

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L_{LT}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 2,7} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^6 \cdot 4E\text{-}09}{80,7 \cdot 10^6 \cdot 4E\text{-}08}} = \mathbf{0,633}$$

Součinitele C_1; C_2; C_3 :

ψ = 0

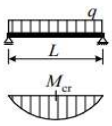
$C_{1,1}$ = 1,13

$C_{1,0}$ = 1,13

$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \cdot \kappa_{wt}$ = 1,13

C_2 = 0,46

Tabulka NB.3.2 – Hodnoty součinitelů C_1, C_2 a C_3 pro různé případy příčného zatížení v závislosti na hodnotě součinitelů k_y, k_z, k_w a součinitelů ψ_f a κ_{wt}

Zatížení a podmínky podepření	Součinitele vzpěrné délky			Hodnoty součinitelů							
				C_1 [1]		C_2			C_3		
	k_y	k_z	k_w	$C_{1,0}$	$C_{1,1}$	⊥ $\psi_f = -1$	⊤⊤⊤ $-0,9 \le \psi_f \le 0,9$	⊤ $\psi_f = 1$	⊥ $\psi_f = -1$	⊤⊤⊤ $-0,9 \le \psi_f \le 0,9$	⊤ $\psi_f = 1$
	1	1	1	1,13	1,13	0,33	0,46	0,50	0,93	0,53	0,38
	1	1	0,5	1,13	1,23	0,33	0,39	0,50	0,93	0,81	0,38
	1	0,5	1	0,95	1,00	0,25	0,41	0,40	0,84	0,48	0,44
	1	0,5	0,5	0,95	0,97	0,25	0,31	0,40	0,84	0,67	0,44

opis

$z_g = h_{IPE}/2$
$z_g = 80$ mm

Bezrozměrný parametr působiště zatížení vzhledem ke středu smyku:

$$\zeta_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L_{LT}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 0{,}08}{1{,}0 \cdot 2{,}66} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^6 \cdot 7E\text{-}07}{80{,}7 \cdot 10^6 \cdot 4E\text{-}08}} = \mathbf{0{,}665}$$

Bezrozměrný kritický moment:

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left(\sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + \left(C_2 \cdot \zeta_g\right)^2} - \left(C_2 \cdot \zeta_g\right) \right) = \mathbf{1{,}613}$$

Kritický moment:

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L_{LT}} = \mathbf{38{,}97 \ kNm}$$

$\alpha_{LT} = b = 0{,}21$
$\beta = 0{,}75$
$\overline{\lambda_{LT,0}} = 0{,}40$

Poměrná štíhlost při klopení:

$$\overline{\lambda_{LT}} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_{yk}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1{,}2E\text{-}04 \cdot 235 \cdot 10^3}{38{,}97}} = \mathbf{0{,}864}$$

Parametr Φ_{LT}:

$$\Phi_{LT} = 0{,}5 \cdot [\, 1 + \alpha_{LT} \cdot (\overline{\lambda_{LT}} - \overline{\lambda_{LT,0}}) + \beta \cdot \overline{\lambda_{LT}}^2 \,] = \mathbf{0{,}829}$$

Součinitel klopení:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \overline{\lambda_{LT}}^2}} = \mathbf{0{,}8439} \left\{ \begin{array}{c} 1{,}00 \\ \frac{1}{\overline{\lambda_{LT}}^2} = 1{,}3 \end{array} \right\} = \mathbf{0{,}844}$$

Únosnost při klopení:

$$M_{y,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0{,}844 \cdot 1{,}2E\text{-}04 \cdot 235 \cdot 10^3}{1} = \mathbf{24{,}57 \ kNm}$$

$$\frac{M_{y,ed}}{M_{y,Rd}} = \frac{14{,}411}{24{,}57} = \mathbf{0{,}59 < 1}$$

Interakce tlak + ohyb

$N_{ed} = 0$ kN
$V_{ed} = 12{,}721$ kN
$M_{y,ed} = 14{,}411$ kNm
$M_{z,ed} = 1{,}023$ kNm

Součinitele ekvivalentních konstantních momentů:

$C_{my} = 0{,}95$
$C_{mz} = 0{,}95$
$C_{mLT} = 0{,}95$

Součinitele interakce:

$N_{Rk} = 472{,}12$ kN
$M_{y,Rk} = 29{,}12$ kNm
$M_{z,Rk} = 6{,}13$ kNm

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} C_{my} \left(1 + (\overline{\lambda_y} - 0{,}2) \cdot \frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right) = 0{,}950 \\ C_{my} \left(1 + 0{,}8 \cdot \frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right) = 0{,}900 \end{array} \right\} = \mathbf{0{,}900}$$

$$k_{zy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0{,}1 \cdot \overline{\lambda_z}}{(C_{mLT} - 0{,}25)} \cdot \frac{N_{ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} = 1{,}00 \\ 0{,}6 + \overline{\lambda_z} = 0{,}6 + 1{,}5 = 2{,}13 \end{array} \right\} = \mathbf{1{,}00}$$

$$k_{zz} = \min \left\{ \begin{array}{l} C_{mz}\left(1 + (2\overline{\lambda_z} - 0{,}6) . \frac{N_{ed}}{\chi_z . N_{Rk}} \right) = 0{,}950 \\ C_{mz}\left(1 + 1{,}4 . \frac{N_{ed}}{\chi_z . N_{Rk}} \right) = 1{,}0 \end{array} \right\} = \mathbf{0{,}950}$$

$k_{yz} = 0{,}6 . k_{zz} = \mathbf{0{,}570}$

Posouzení:

1)

$\gamma_{M1} = 1$

$$\frac{N_{ed}}{\chi_y . N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} . \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} . M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yz} . \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \mathbf{0{,}6229}$$

0,6229 < 1

2)

$$\frac{N_{ed}}{\chi_z . N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} . \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} . M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zz} . \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \mathbf{0{,}7449}$$

0,7449 < 1

3)

$$\frac{N_{ed}}{N_{Rk} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M0}} = \mathbf{0{,}6617}$$

0,6617 < 1

Smyk

$\gamma_{M0} = 1$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} . f_{yk}}{\sqrt{3} . \gamma_{M0}} = \mathbf{131{,}06\ kN}$$

$$\frac{V_{ed}}{V_{pl,Rd}} = \mathbf{0{,}1 \leq 0{,}5}$$

Posouzení MSP

- svislý průhyb

$$w_{max} < \frac{L}{250} = \frac{2655}{250} = 10{,}62 \text{ mm}$$

$w = 5{,}9$ mm

$w_{max} > w$

10,62 > 6 VYHOVUJE

Posouzení prvků konstrukce pro mezní stav únosnosti - přehled

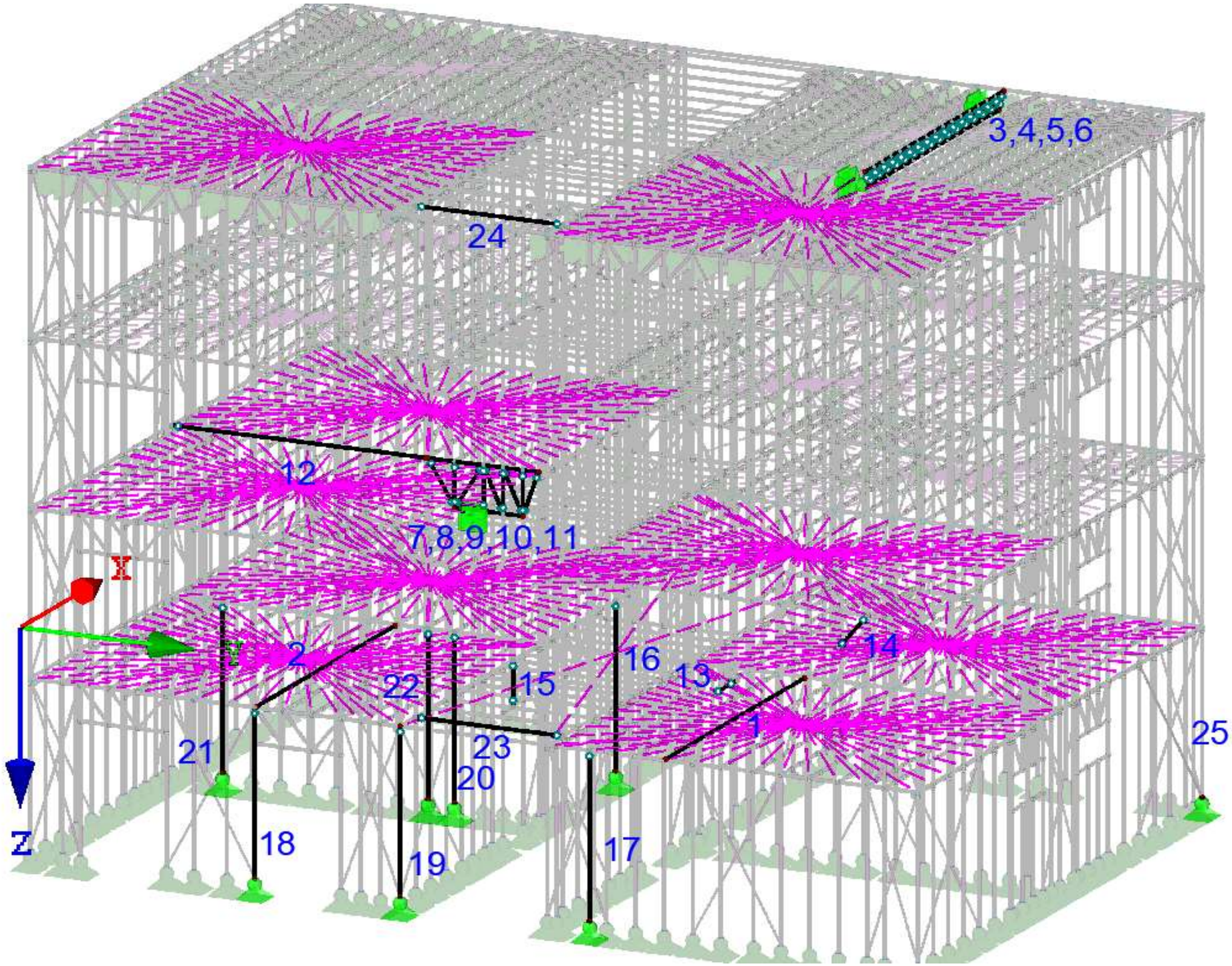
Kombinace ohybu a normálové síly

Číslo	Prvek	Profil	Účinky zatížení			Vzpěrné délky			Únosnost				Posouzení	
			N_{ED}	$M_{y,ED}$	$M_{z,ED}$	$L_{cr,y}$	$L_{cr,z}$	$L_{cr,T}$	$N_{t,RD}$	$N_{c,RD}$	$M_{RD,y}$	$M_{RD,z}$	Využití M+N	Vyhovuje?
			(kN)	(kNm)	(kNm)	mm	mm	mm	(kN)	(kN)	(kNm)	(kNm)	%	-
1	Stropní nosník	C300-2.0	0,00	18,81	0,00						22,83		**82,4**	vyhovuje
2	Stropní nosník zdvojený	2xC300-2.0	0,00	24,21	0,00						45,66		**53,0**	vyhovuje
3	Střešní vazník - horní pás	C100-1,6	12,39	0,00	0,12				107,21			0,19	**72,1**	vyhovuje
4	Střešní vazník - dolní pás	C100-1,6	22,76	0,00	0,14				107,21			0,19	**96,5**	vyhovuje
5	Střešní vazník - diagonála tlačená	C100-1,6	-5,33	0,00	0,00	350	350	350		-66,40			**8,0**	vyhovuje
6	Střešní vazník - diagonála tažená	C100-1,6	5,38	0,00	0,00				107,21				**5,0**	vyhovuje
7	Průvlak - horní pas	C150-1,6	0,00	0,00	0,52							0,69	**75,9**	vyhovuje
8	Průvlak - dolní pas	C150-1,6	24,58	0,00	0,01				138,55			0,61	**18,6**	vyhovuje
9	Průvlak - diagonála tažená	C150-1,6	36,32	0,00	0,00				138,55				**26,2**	vyhovuje
10	Průvlak - diagonála tlačená	C150-1,6	-23,23	0,00	0,00	1000	1000	1000		-44,06			**52,7**	vyhovuje
11	Průvlak - svislice	C150-1,6	-21,66	0,00	0,00	850	850	850		-49,20			**44,0**	vyhovuje
12	Překlad horní pas	C150-1,6	0,00	0,00	0,53							0,91	**58,0**	vyhovuje
13	Překlad dolní pas	C150-1,6	-4,51	0,66	0,10	550	1645	1645		-28,36	5,57	0,61	**64,7**	vyhovuje
14	Překlad diagonála	C150-1,6	16,20	0,00	0,00				138,55				**11,7**	vyhovuje
15	Překlad svislice	C150-1,6	-20,61	0,84	0,02	850	850	850		-49,20	5,57	0,61	**78,2**	vyhovuje
16	Obvodový sloupek běžný	C150-1,6	-27,24	0,22	0,09	3171	1057	1057		-42,27	5,57	0,61	**99,6**	vyhovuje
17	Obvodový sloupek zdvojený	2xC150-1,6	-44,01	0,91	0,24	3171	1057	1057		-84,54	11,14	1,22	**99,9**	vyhovuje
18	Obvodový sloupek zesílený	JKL 150x100x4.0	-146,03	2,43	0,19	3171	3171			-348,21	22,49	17,04	**69,6**	vyhovuje
19	Obvodový sloupek rohový zesílený	HEA 160	-95,72	0,18	1,96	3171	3171			-633,21	57,60	27,64	**22,7**	vyhovuje
20	Interiérový sloupek běžný	C150-1,6	-23,60	0,01	0,00	3171	1057	1057		-42,27	5,57		**63,2**	vyhovuje
21	Interiérový sloupek zdvojený	2xC150-1,6	-77,56	0,35	0,00	3171	1057	1057		-84,54	11,14		**99,6**	vyhovuje
22	Interiérový sloupek zesílený	JKL 150x100x4.0	-140,00	0,50	0,00	3171	3171			-348,21	22,49		**68,5**	vyhovuje
23	Stropní nosník chodba	C150-1,6	0,00	3,42	0,00						5,57		**61,4**	vyhovuje
24	Střešní nosník chodba	C150-1,6	0,00	1,63	0,00						5,57		**29,3**	vyhovuje
25	Zavětrovací pás 2x 70x1,2	Plech 70x1,2	34,97	0,00	0,00				58,80				**59,5**	vyhovuje
26	Schodišťový nosník	IPE 160	0,00	14,41	1,02						24,57	6,13	**75,0**	vyhovuje
27	Schodišťové rameno	UPE 120	-10,07	5,26	0,00	2720	2720			-121,03			**44,7**	vyhovuje

Posouzení prvků konstrukce pro mezní stav použitelnosti

Číslo	Prvek	Profil	Deformace	Limit L/	Rozpětí	Limit	Využití	Vyhovuje?
			(mm)	(-)	(mm)	(mm)	(%)	(-)
1	Stropní nosník	C300-2.0	17,5	250	5627	22,5	77,8	vyhovuje
2	Stropní nosník zdvojený	2xC300-2.0	22,4	250	5627	22,5	99,5	vyhovuje
2	Střešní vazník	C100-1,2	5,4	250	5627	22,5	24,0	vyhovuje
3	Stropní nosník schodistova chodba	C150-1,6	8,5	250	2655	10,6	80,0	vyhovuje
3	Střešní nosník schodistova chodba	C150-1,6	4,9	250	2655	10,6	46,1	vyhovuje
4	Vodorovný posun u vrcholu budovy	-	17,70	500	12700	25,40	69,7	vyhovuje
5	Průvlak	C150-1,6	2,70	400	1300	3,25	83,1	vyhovuje
6	Překlad	C150-1,6	1,70	400	833	2,08	81,6	vyhovuje
5	Schodišťový nosík	IPE 160	5,90	250	2655	10,62	55,6	vyhovuje
5	Schodišťové rameno	UPE 120	9,10	250	2720	10,88	83,6	vyhovuje

Posouzení prvků konstrukce pro mezní stav únosnosti - grafický přehled



6. Přípoje

Přípoj stropnice na sloupek
Připojení stropního nosníku do vodícího profilu

Návrhové síly:

V_{ed} = 14,70 kN
N_{ed} = 0 kN
M_{ed} = 0 kNm

Tloušťka plechu 1 t_1 = 2 mm
Tloušťka plechu 2 t_2 = 2 mm

Průměr závitu šroubu d = 4,8 mm
d_0 = 3,5 mm

Minimální rozteče
$e_1 \geq 3d$ $p_1 \geq 3d$ 3,0mm ≤ d ≤ 8,0mm
$e_2 \geq 1,5d$ $p_2 \geq 3d$

Rozteče e_1 = 20 mm
e_2 = 20 mm
p_1 = 20 mm
p_2 = 20 mm

Mez pevnosti oceli plechu f_u = 420 MPa
Dílčí součinitel γ_{M2} = 1,25
Počet šroubů v přípoji n = 1
Hodnota z tabulky výrobce Char. Únosnost šroubu ve střihu $F_{v,Rk,i}$ = 8 kN

Únosnost ve střihu

$$F_{v,Rd} = \frac{n \times F_{v,Rk,i}}{\gamma_{M2}} = \frac{1 \times 8}{1,25} = 6,40 \text{ kN}$$

Únosnost v otlačení dle ČSN EN 1993-1-3

Tloušťka tenčího z plechů t = 2 mm
Tloušťka tlustšího z plechů t_1 = 2 mm

$$F_{b,Rd} = n \times \frac{\alpha f_u d_0 t}{\gamma_{M2}}$$

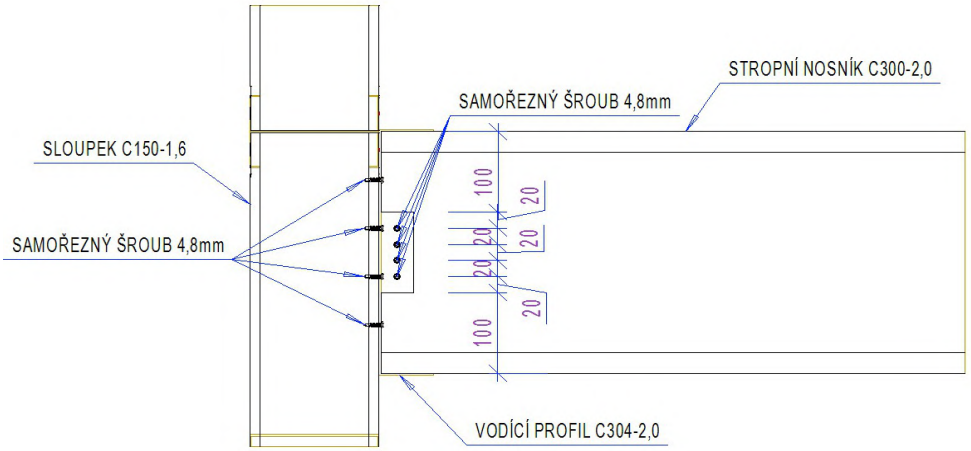
pro t=t1 ⟹ $\alpha = 3,2\sqrt{(t/d)}$ ale $\alpha \leq 2,1$
pro $t_1 \geq 2,5 \times t$ a $t < 1,0$mm ⟹ $\alpha = 3,2\sqrt{(t/d)}$ ale $\alpha \leq 2,1$
pro $t_1 \geq 2,5 \times t$ a $t < 1,0$mm ⟹ $\alpha = 2,1$

mezilehlé hodnoty interpolací
α = 2,066

$F_{b,Rd}$ = 6,663 kN

Výsledná únosnost jednoho šroubu F_{Rd} = **6,40 kN**

Počet šroubů v přípoji (ks)	2	4	6	8	10	12
Výsledná únosnost (kN)	12,80	25,60	38,40	51,20	64,00	76,80



Návrh: 4x samořezný šroub Ø 4,8mm

Posouzení: $\frac{V_{ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{14,70}{25,60} = 0,57$ **VYHOVUJE**

Připojení vodícího profilu na sloupek

Návrhové síly:

V_{ed} = 14,70 kN

N_{ed} = 0 kN

M_{ed} = 0 kNm

Tloušťka plechu 1	t_1	=	2	mm
Tloušťka plechu 2	t_2	=	1,6	mm
Průměr závitu šroubu	d	=	4,8	mm
	d_0	=	3,5	mm
Rozteče	e_1	=	60	mm
	e_2	=	60	mm
	p_1	=	60	mm
	p_2	=	60	mm

Mez pevnosti oceli plechu	f_u	=	420	MPa
Dílčí součinitel	γ_{M2}	=	1,25	
Počet šroubů v přípoji	n	=	1	
Char. Únosnost šroubu ve střihu	$F_{v,Rk,i}$	=	8	kN

Únosnost ve střihu

$$F_{v,Rd} = \frac{n \times F_{v,Rk,i}}{\gamma_{M2}} = \frac{1 \times 8}{1,25} = 6,40 \text{ kN}$$

Únosnost v otlačení dle ČSN EN 1993-1-3

Tloušťka tenčího z plechů $t = 1,6$ mm

Tloušťka tlustšího z plechů $t_1 = 2$ mm

$$F_{b,Rd} = n \times \frac{\alpha f_u d_0 t}{\gamma_{M2}}$$

pro t=t1 ⟶ $\alpha = 3,2\sqrt{(t/d)}$ ale $\alpha \leq 2,1$

pro $t_1 \geq 2,5 \times t$ a $t < 1,0$mm ⟶ $\alpha = 3,2\sqrt{(t/d)}$ ale $\alpha \leq 2,1$

pro $t_1 \geq 2,5 \times t$ a $t < 1,0$mm ⟶ $\alpha = 2,1$

mezilehlé hodnoty interpolací

$\alpha = 1,89$

$F_{b,Rd} = 4,876$ kN

Výsledná únosnost jednoho šroubu $F_{b,Rd} = 4,88$ kN

Počet šroubů v přípoji (ks)	2	4	6	8	10	12
Výsledná únosnost (kN)	9,75	19,50	29,26	39,01	48,76	58,51

Návrh: 4x samořezný šroub Ø 4,8mm

Posouzení: $\frac{V_{ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{14,70}{19,50} = 0,75$ **VYHOVUJE**

Únosnost šroubů v tahu dle ČSN EN 1993-1-3

Vytržení - plech tl. 1,6mm

Počet šroubů $n = 1$ ks

Průměr šroubu $d = 4,8$ mm

Mez pevnosti plechu $f_{u,sup} = 420$ MPa

Tloušťka plechu $t_{sup} = 1,6$ mm

$$F_{o,Rd} = n \times \frac{0,65 d t_{sup} f_{u,sup}}{\gamma_{M2}} = 1,677 \text{ kN}$$

Protažení hlavičky - plech tl. 1,6mm

Počet šroubů $n = 1$ ks

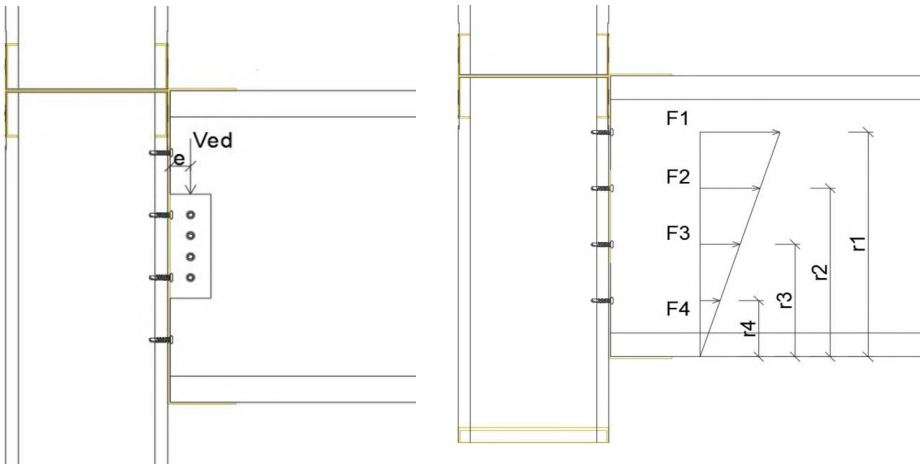
Průměr hlavy šroubu $d_w = 9,3$ mm

Mez pevnosti šroubu $f_u = 360$ MPa

Tloušťka plechu $t = 1,6$ mm

$$F_{o,Rd} = n \times \frac{0,5 d_w t f_u}{\gamma_{M2}} = 2,14 \text{ kN}$$

Tahové zatížení šroubů od excentricity přípoje



Excentricita $e = 20$ mm

Posouvající síla $V_{ed} = 14{,}70$ kN

Moment od excentricity $M = e \times V_{ed} = 0{,}294$ kNm

Rameno síly $r_1 = r_2 = r_3 = r_4 = 60$ mm

Tahová síla $$F_{t,Ed} = F_1 = \frac{M \times r_1}{2 \times \sum r_i^2} = 0{,}613 \text{ kN}$$

Návrh: 4x samořezný šroub Ø 4,8mm

Posouzení: $$\frac{F_{t,Ed}}{F_{o,Rd}} = \frac{0{,}61}{1{,}68} = 0{,}37$$ **VYHOVUJE**

Ohybová únosnost konzolky

Tloušťka konzolky $t_{plech} = 2$ mm

Výška konzolky $h_{plech} = 100$ mm

Modul pružnosi plechu $f_y = 350$ MPa

Průřezový modul $$W_{el} = \frac{1}{6} \times h_{plech}^2 \times t_{plech} = 3{,}33\text{E-}06 \text{ m}^3$$

Moment únosnosti $$M_{Rd} = \frac{W_{el} \times f_y}{\gamma_{M0}} = 1{,}17 \text{ kNm}$$

Posouzení: $$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{0{,}29}{1{,}17} = 0{,}25$$ **VYHOVUJE**

Smyková únosnost konzolky

$$V_{Rd} = \frac{h_{plech} \times t_{plech} \times f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_{M0}} = 40{,}41 \text{ kN}$$

Posouzení: $$\frac{2 \times V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{29{,}40}{40{,}41} = 0{,}73$$ **VYHOVUJE** ➡ **MALÝ SMYK**

Přípoj střešního vazníku na sloupek

Návrhové síly:

V_{ed} = 5,10 kN

N_{ed} = 0 kN

M_{ed} = 0 kNm

Tloušťka plechu 1 t_1 = 1,6 mm

Tloušťka plechu 2 t_2 = 2 mm

Průměr závitu šroubu d = 4,8 mm

d_0 = 3,5 mm

Minimální rozteče

$e_1 \geq 3d$ $p_1 \geq 3d$ $3,0mm \leq d \leq 8,0mm$

$e_2 \geq 1,5d$ $p_2 \geq 3d$

Rozteče e_1 = 25 mm

e_2 = 15 mm

p_1 = 50 mm

p_2 = 15 mm

Mez pevnosti oceli plechu f_u = 420 MPa

Dílčí součinitel γ_{M2} = 1,25

Počet šroubů v přípoji n = 1

Hodnota z tabulky výrobce

Char. Únosnost šroubu ve střihu $F_{v,Rk,i}$ = 8 kN

Únosnost ve střihu

$$F_{v,Rd} = \frac{n \times F_{v,Rk,i}}{\gamma_{M2}} = \frac{1 \times 8}{1,25} = 6,40 \text{ kN}$$

Únosnost v otlačení dle ČSN EN 1993-1-3

Tloušťka tenčího z plechů t = 1,6 mm

Tloušťka tlustšího z plechů t_1 = 2 mm

$$F_{b,Rd} = n \times \frac{\alpha f_u d_0 t}{\gamma_{M2}}$$

pro t=t1 ⟹ $\alpha = 3,2\sqrt{(t/d)}$ ale $\alpha \leq 2,1$

pro $t_1 \geq 2,5 \times t$ a $t < 1,0mm$ ⟹ $\alpha = 3,2\sqrt{(t/d)}$ ale $\alpha \leq 2,1$

pro $t_1 \geq 2,5 \times t$ a $t < 1,0mm$ ⟹ $\alpha = 2,1$

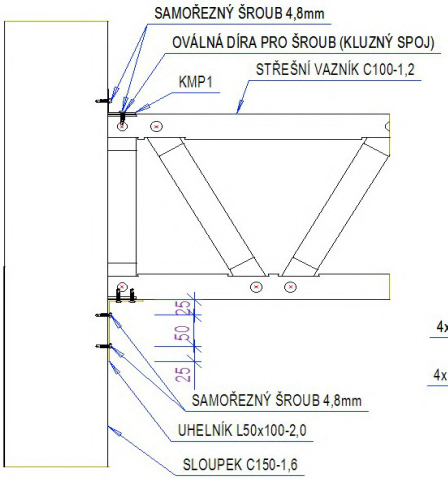
mezilehlé hodnoty interpolací

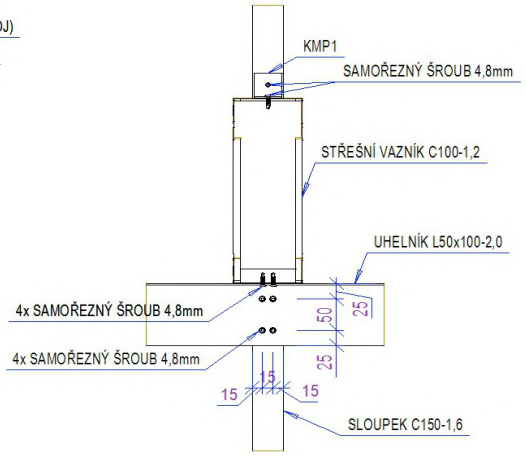
α = 1,89

$F_{b,Rd}$ = 4,876 kN

Výsledná únosnost jednoho šroubu $F_{b,Rd}$ = **4,88 kN**

Počet šroubů v přípoji (ks)	2	4	6	8	10	12
Výsledná únosnost (kN)	9,75	19,50	29,26	39,01	48,76	58,51





Návrh: 4x samořezný šroub Ø 4,8mm

Posouzení: $\frac{V_{ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{5,10}{19,50} = 0,26$ **VYHOVUJE**

Přípoj průvlaku na sloup JKL

Návrhové síly:

V_{ed} = 35,33 kN

N_{ed} = 0 kN

M_{ed} = 0 kNm

Tloušťka plechu 1 t_1 = 1,6 mm

Tloušťka plechu 2 t_2 = 4 mm

Průměr závitu šroubu d = 4,8 mm

d_0 = 3,5 mm

Minimální rozteče

$e_1 \geq 3d$ $p_1 \geq 3d$ $3,0mm \leq d \leq 8,0mm$

$e_2 \geq 1,5d$ $p_2 \geq 3d$

Rozteče e_1 = 50 mm

e_2 = 50 mm

p_1 = 50 mm

p_2 = 50 mm

Mez pevnosti oceli plechu f_u = 420 MPa

Dílčí součinitel γ_{M2} = 1,25

Počet šroubů v přípoji n = 1

Hodnota z tabulky výrobce

Char. Únosnost šroubu ve střihu $F_{v,Rk,i}$ = 8 kN

Únosnost ve střihu

$$F_{v,Rd} = \frac{n \times F_{v,Rk,i}}{\gamma_{M2}} = \frac{1 \times 8}{1,25} = 6,40 \text{ kN}$$

Únosnost v otlačení dle ČSN EN 1993-1-3

Tloušťka tenčího z plechů t = 1,6 mm

Tloušťka tlustšího z plechů t_1 = 4 mm

$$F_{b,Rd} = n \times \frac{\alpha f_u d_0 t}{\gamma_{M2}}$$

pro t=t1 ⟹ $\alpha = 3,2\sqrt{(t/d)}$ ale $\alpha \leq 2,1$

pro $t_1 \geq 2,5 \times t$ a $t < 1,0mm$ ⟹ $\alpha = 3,2\sqrt{(t/d)}$ ale $\alpha \leq 2,1$

pro $t_1 \geq 2,5 \times t$ a $t < 1,0mm$ ⟹ $\alpha = 2,1$

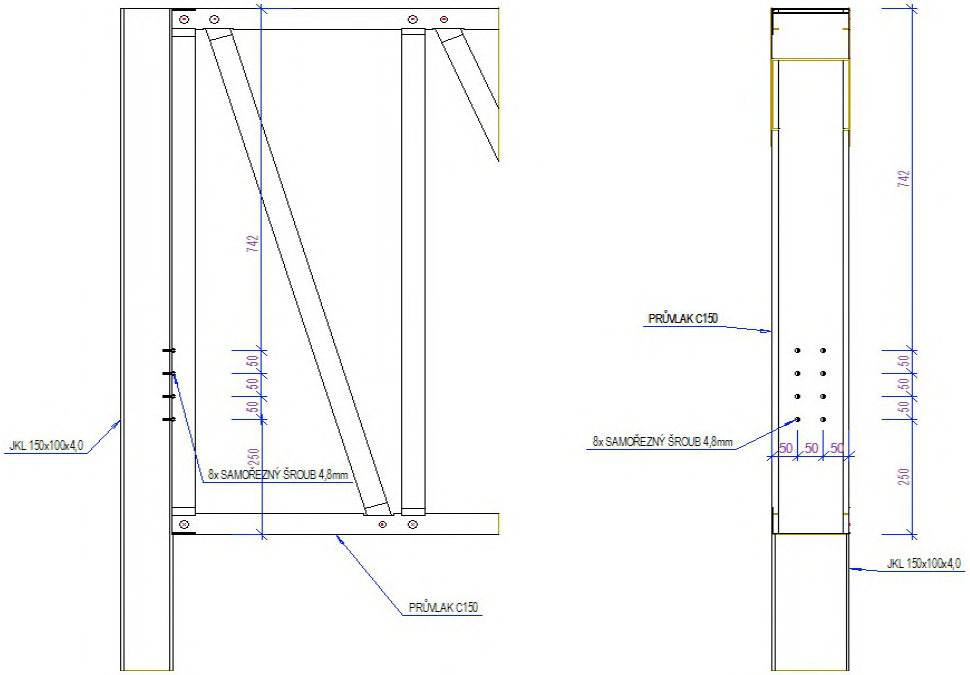
mezilehlé hodnoty interpolací

α = 2,1

$F_{b,Rd}$ = 5,419 kN

Výsledná únosnost jednoho šroubu $F_{b,Rd}$ = **5,42 kN**

Počet šroubů v přípoji (ks)	2	4	6	8	10	12
Výsledná únosnost (kN)	10,84	21,68	32,51	43,35	54,19	65,03



Návrh: 8x samořezný šroub Ø 4,8mm

Posouzení: $\frac{V_{ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{35,33}{43,35} = 0,82$ **VYHOVUJE**

Přípoj sloupů HEA 160 čelní deskou

Vnitřní síly:

V_{ed} = 2,00 kN

N_{ed} = 10 kN

M_{ed} = 0 kNm

Návrh svarů:

a1 - svar sloupu a čelní desky

$t_{f,s}$ = 9,0 mm

γ_{M0} = 1,0

f_{yk} = 235 MPa

β_w = 0,8

γ_{M2} = 1,25

f_{uk} = 360 MPa

$$a_1 \geq \frac{t_f}{2} \times \left(\frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}\right) \times \left(\frac{\sqrt{2} \times \beta_w \times \gamma_{M2}}{f_{uk}}\right) = 4{,}154 \text{ mm}$$

a_1 = 5,0 mm

Výpočet únosností řad šroubů v tahu

Návrh šroubu: M 16 – 8.8

Způsob porušení	Návrhová únosnost
Způsob 1	$F_{t,1,Rd} = \frac{4 \,.\, M_{pl,1,Rd}}{m}$
Způsob 2	$F_{t,2,Rd} = \frac{2 \,.\, M_{pl,2,Rd} + n\sum F_{t,Rd}}{m + n}$
Způsob 3	$F_{t,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$

kde:

A_s = 157 mm^2

f_{ub} = 800 MPa

d_0 = 18 mm

$$F_{t,Rd} = \frac{0{,}9 \,.\, A_s \,.\, f_{ub}}{\gamma_{M2}} = 90{,}432 \text{ kN}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{1}{4} . l_{eff,1} . t_f^2 . \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} . l_{eff,2} . t_f^2 . \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Návrh rozměrů čelní desky

Rozteče: e_1 = 46,5 mm

p_1 = 50 mm

e_2 = 40 mm

v = 80 mm

h_d = 152 mm

b_d = 160 mm

Výpočet 1. řady šroubů

$$c_1 = 0{,}8 \,.\, a_1 \,.\, \sqrt{2} = 5{,}66 \text{ mm}$$

$$m_2 = e_1 - \frac{t_{f,s}}{2} - c_1 = 36{,}34 \text{ mm}$$

$t_{w,s}$ = 6 mm

$$m = \frac{v}{2} - c_1 - \frac{t_{w,s}}{2} = 31{,}34 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e_2} = 0{,}439$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e_2} = 0{,}509$$

α = 6

n = min (e ; 1,25 . m) = 39 mm

Efektívní délky pro čelní desku:

Řada šroubů působí samostatně:

Kruhové porušení: $l_{eff,cp} = 2 \cdot \pi \cdot m = 196{,}93$ mm

Nekruhové porušení: $l_{eff,nc} = \alpha \cdot m = 188{,}1$ mm

Řada šroubů působí jako součást skupiny:

Kruhové porušení: $l_{eff,cp} = \pi \cdot m + p = 148{,}47$ mm

Nekruhové porušení: $l_{eff,nc} = 0{,}5 \cdot p + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0{,}625 \cdot e)$

$l_{eff,nc} = 125{,}37$ mm

Způsob porušení 1: $l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min (\min l_{eff,cp} ; \min l_{eff,nc})$

$l_{eff,1} = 125{,}4$ mm

Způsob porušení 2: $l_{eff,2} = \min (l_{eff,nc}) = 125{,}4$ mm

Momenty při kterých se vytvoří plastický kloub:

$t_{f,d}$ = 10 mm

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{1}{4} \times l_{eff,1} \times t_{f,d}^2 \times \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1{,}4731 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} \times l_{eff,2} \times t_{f,d}^2 \times \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1{,}4731 \text{ kNm}$$

Návrhová únosnost 1. řady šroubů:

Způsob 1 $F_{t,a,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = 188{,}00$ kN

Způsob 2 $F_{t,b,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n\sum F_{t,Rd}}{m + n} = 142{,}26$ kN

Způsob 3 $F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 180{,}864$ kN

$F_{t,Rd}$ = min ($F_{t,1,Rd}$; $F_{t,2,Rd}$; $F_{t,3,Rd}$) = 142,26 kN

Výpočet 2. řady šroubů - smyk a otlačení

n_s = 1

α_v = 0,6

Únosnost šroubu ve smyku:

$$\mathbf{F_{v,Rd} = \frac{n_s \cdot \alpha_v \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = 60{,}29 \text{ kN}}$$

Únosnost šroubu v otlačení:

$f_u = \min (f_{uc} ; f_{ud}) = 360$ MPa

$t = \min (t_1 ; t_2) = 10$ mm

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3\ .\ d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; \frac{p_1}{3\ .\ d_0} - \frac{1}{4}; 1\right) = 0{,}6759$$

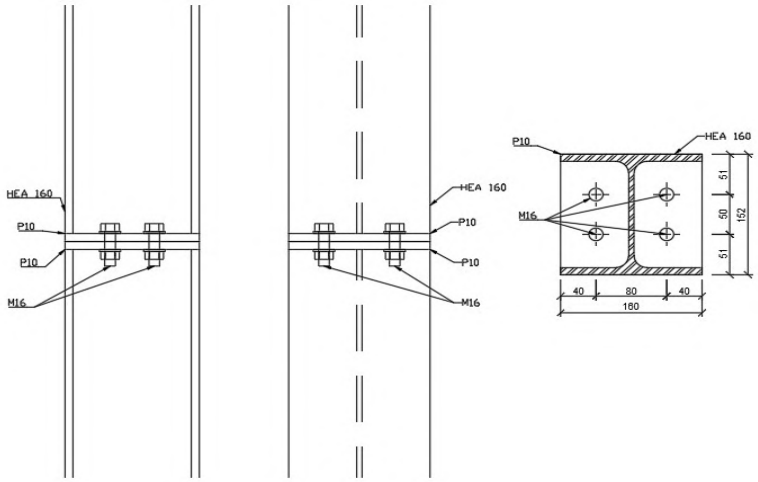
$$k_1 = \min\left(2{,}8\ .\frac{e_2}{d_0} - 1{,}7\ ;\ 1{,}4\ .\frac{p_2}{d_0} - 1{,}7\ ;\ 2{,}5\right) = 2{,}5$$

$$\mathbf{F_{b,Rd} = \frac{k_1\ .\ \alpha_b\ .\ d\ .\ t\ .\ f_u}{\gamma_{M2}} = 77{,}867\ \ kN}$$

Výsledná únosnost 2. řady šroubů:

$$\mathbf{V_{Rd} = n\ .\ min\ (\ F_{v,Rd}\ ;\ F_{b,Rd}\ ) = 120{,}58\ \ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{2{,}00}{120{,}6} = 0{,}017 \leq 1$$



Přípoj tažených sloupů D11

Návrhové síly:

V_{ed} = 0 kN

N_{ed} = 20,05 kN

M_{ed} = 0 kNm

Tloušťka plechu 1 t_1 = 1,6 mm

Tloušťka plechu 2 t_2 = 1,2 mm

Průměr závitu šroubu d = 4,8 mm

d_0 = 3,5 mm

Minimální rozteče

$e_1 \geq 3d$ $p_1 \geq 3d$ $3,0mm \leq d \leq 8,0mm$

$e_2 \geq 1,5d$ $p_2 \geq 3d$

Rozteče e_1 = 15 mm

e_2 = 15 mm

p_1 = 15 mm

p_2 = 15 mm

Mez pevnosti oceli plechu f_u = 420 MPa

Dílčí součinitel γ_{M2} = 1,25

Počet šroubů v přípoji n = 1

Hodnota z tabulky výrobce

Char. Únosnost šroubu ve střihu $F_{v,Rk,i}$ = 8 kN

Únosnost ve střihu

$$F_{v,Rd} = \frac{n \times F_{v,Rk,i}}{\gamma_{M2}} = \frac{1 \times 8}{1,25} = 6,40 \text{ kN}$$

Únosnost v otlačení dle ČSN EN 1993-1-3

Tloušťka tenčího z plechů t = 1,2 mm

Tloušťka tlustšího z plechů t_1 = 1,6 mm

$$F_{b,Rd} = n \times \frac{\alpha f_u d_0 t}{\gamma_{M2}}$$

pro t=t1 ⟹ $\alpha = 3,2\sqrt{(t/d)}$ ale $\alpha \leq 2,1$

pro $t_1 \geq 2,5 \times t$ a $t < 1,0mm$ ⟹ $\alpha = 3,2\sqrt{(t/d)}$ ale $\alpha \leq 2,1$

pro $t_1 \geq 2,5 \times t$ a $t < 1,0mm$ ⟹ $\alpha = 2,1$

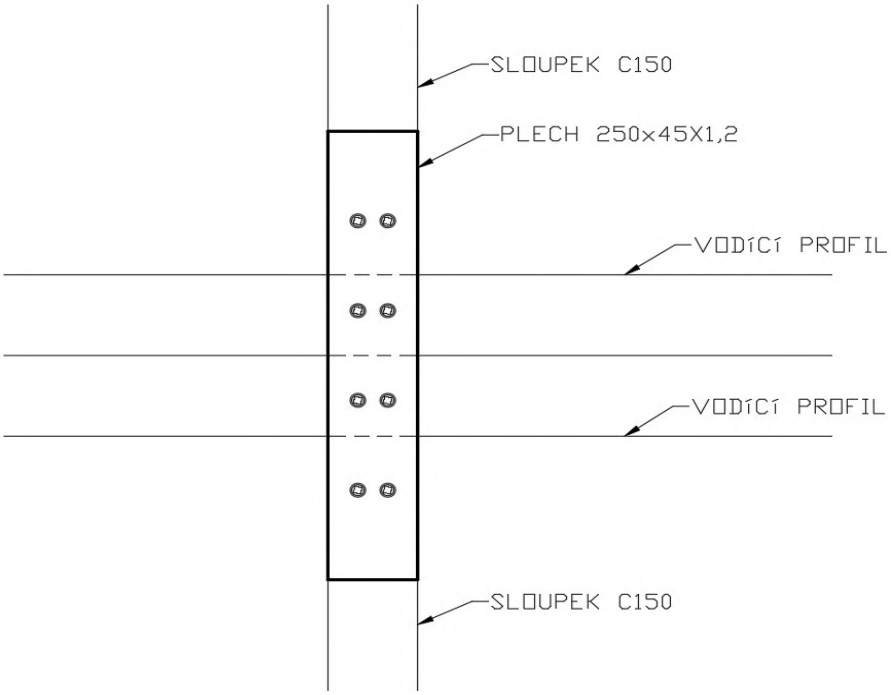
mezilehlé hodnoty interpolací

α = 1,711

$F_{b,Rd}$ = 3,312 kN

Výsledná únosnost jednoho šroubu $F_{b,Rd}$ = **3,31 kN**

Počet šroubů v přípoji (ks)	2	4	6	8	10	12
Výsledná únosnost (kN)	6,62	13,25	19,87	26,49	33,12	39,74



Návrh: 8x samořezný šroub Ø 4,8mm

Posouzení: $\frac{N_{ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{20,05}{26,49} = 0,76$ **VYHOVUJE**

Únosnost plechu 250x45x1,2mm v tahu

$\gamma_{M0} = 1$
$A = 54,0\ mm^2$
$f_y = 350\ Mpa$

$F_{t,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = 18,9\ kN \Rightarrow 2 \times 18,9 = 37,8\ kN$

Plech 250x45x1,2mm z obou stran

Posouzení: $\frac{N_{ed}}{F_{t,Rd}} = \frac{20,05}{37,80} = 0,53$ **VYHOVUJE**

Přípoj táhla na sloup D12

Návrhové síly:

V_{ed} = 0,00 kN

N_{ed1} = 34,9 kN ➡ 1 táhlo z obou stran panelu - síla se vydělí 2

➡ síla v jednom táhle ➡ 17,45 kN

N_{ed2} = 22,67 kN

M_{ed} = 0 kNm

Tloušťka plechu 1 t_1 = 1,6 mm

Tloušťka plechu 2 t_2 = 1,2 mm

Průměr závitu šroubu d = 4,8 mm

d_0 = 3,5 mm

Minimální rozteče

$e_1 \geq 3d$ $p_1 \geq 3d$ $3,0mm \leq d \leq 8,0mm$

$e_2 \geq 1,5d$ $p_2 \geq 3d$

Rozteče e_1 = 15 mm

e_2 = 15 mm

p_1 = 15 mm

p_2 = 15 mm

Mez pevnosti oceli plechu f_u = 420 MPa

Dílčí součinitel γ_{M2} = 1,25

Počet šroubů v přípoji n = 1

Hodnota z tabulky výrobce

Char. Únosnost šroubu ve střihu $F_{v,Rk,i}$ = 8 kN

Únosnost ve střihu

$$F_{v,Rd} = \frac{n \times F_{v,Rk,i}}{\gamma_{M2}} = \frac{1 \times 8}{1,25} = 6,40 \text{ kN}$$

Únosnost v otlačení dle ČSN EN 1993-1-3

Tloušťka tenčího z plechů t = 1,2 mm

Tloušťka tlustšího z plechů t_1 = 1,6 mm

$$F_{b,Rd} = n \times \frac{\alpha f_u d_0 t}{\gamma_{M2}}$$

pro t=t1 ➡ $\alpha = 3,2\sqrt{(t/d)}$ ale $\alpha \leq 2,1$

pro $t_1 \geq 2,5 \times t$ a $t < 1,0mm$ ➡ $\alpha = 3,2\sqrt{(t/d)}$ ale $\alpha \leq 2,1$

pro $t_1 \geq 2,5 \times t$ a $t < 1,0mm$ ➡ $\alpha = 2,1$

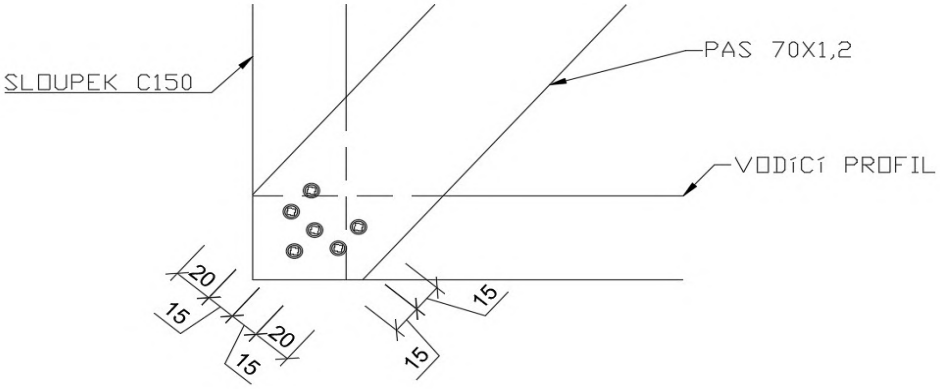
mezilehlé hodnoty interpolací

α = 1,711

$F_{b,Rd}$ = 3,312 kN

Výsledná únosnost jednoho šroubu $F_{b,Rd}$ = **3,31 kN**

Počet šroubů v přípoji (ks)	2	4	6	8	10	12
Výsledná únosnost (kN)	6,62	13,25	19,87	26,49	33,12	39,74



Návrh: 6x samořezný šroub Ø 4,8mm

Posouzení: $\frac{N_{ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{17,45}{19,87} = 0,88$ **VYHOVUJE**

Únosnost neoslabeného táhla 70x1,2mm v tahu

$b = 70$ mm
$t = 1,2$ mm
$\gamma_{M0} = 1$
$A = 84,0$ mm^2
$f_y = 350$ MPa

$$F_{t,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = 29,4 \text{ kN} \Rightarrow 2 \times 29,4 = 58,8 \text{ kN}$$

Táhlo 70x1,2mm z obou stran

Posouzení: $\frac{N_{ed}}{F_{t,Rd}} = \frac{34,90}{58,80} = 0,59$ **VYHOVUJE**

Únosnost oslabeného táhla 70x1,2mm v tahu

$f_u = 420$ MPa
$\gamma_{M2} = 1,25$
$A_{net} = 79,8$ mm^2

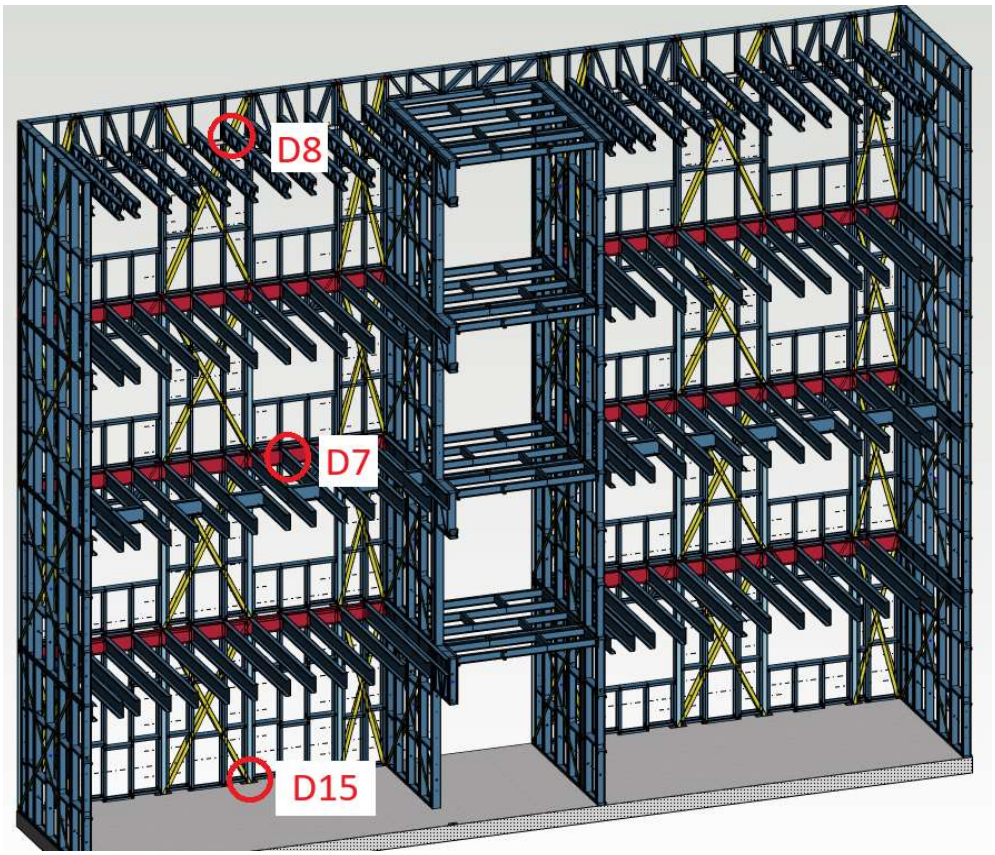
$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \times A_{net} \times f_u}{\gamma_{M2}} = 24,13 \text{ kN} \Rightarrow 2 \times 24,13 = 48,26 \text{ kN}$$

Táhlo 70x1,2mm z obou stran

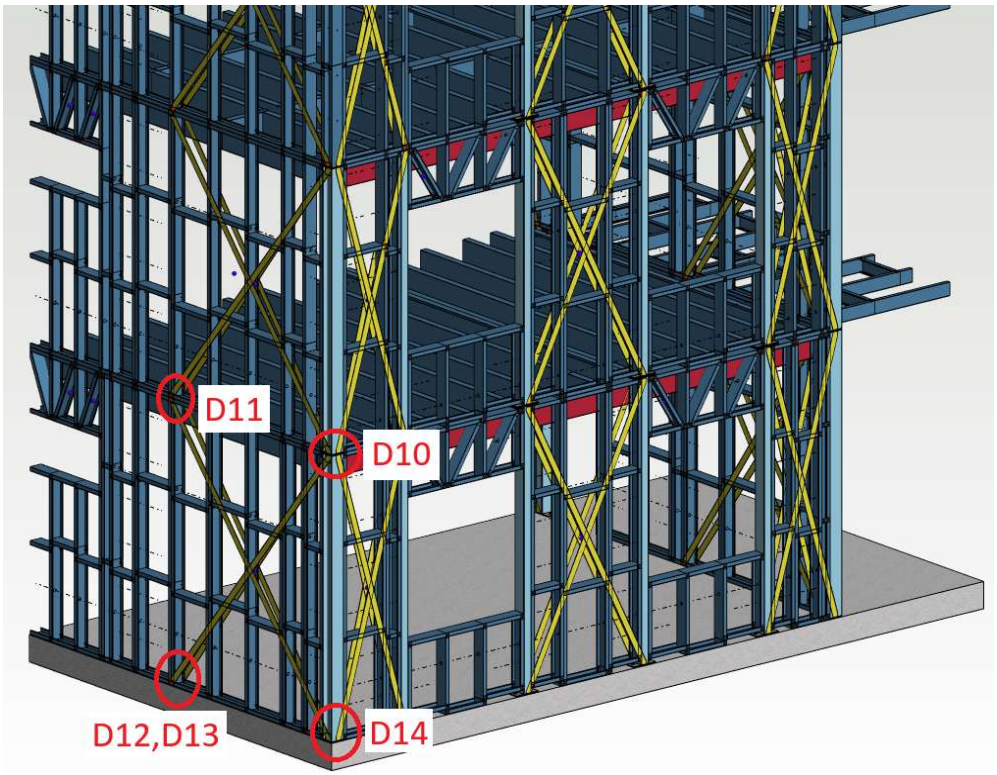
Posouzení: $\frac{N_{ed1}}{F_{t,Rd}} = \frac{34,90}{48,26} = 0,72$ **VYHOVUJE**

Posouzení: $\frac{N_{ed2}}{F_{t,Rd}} = \frac{22,67}{24,13} = 0,94$ **VYHOVUJE**

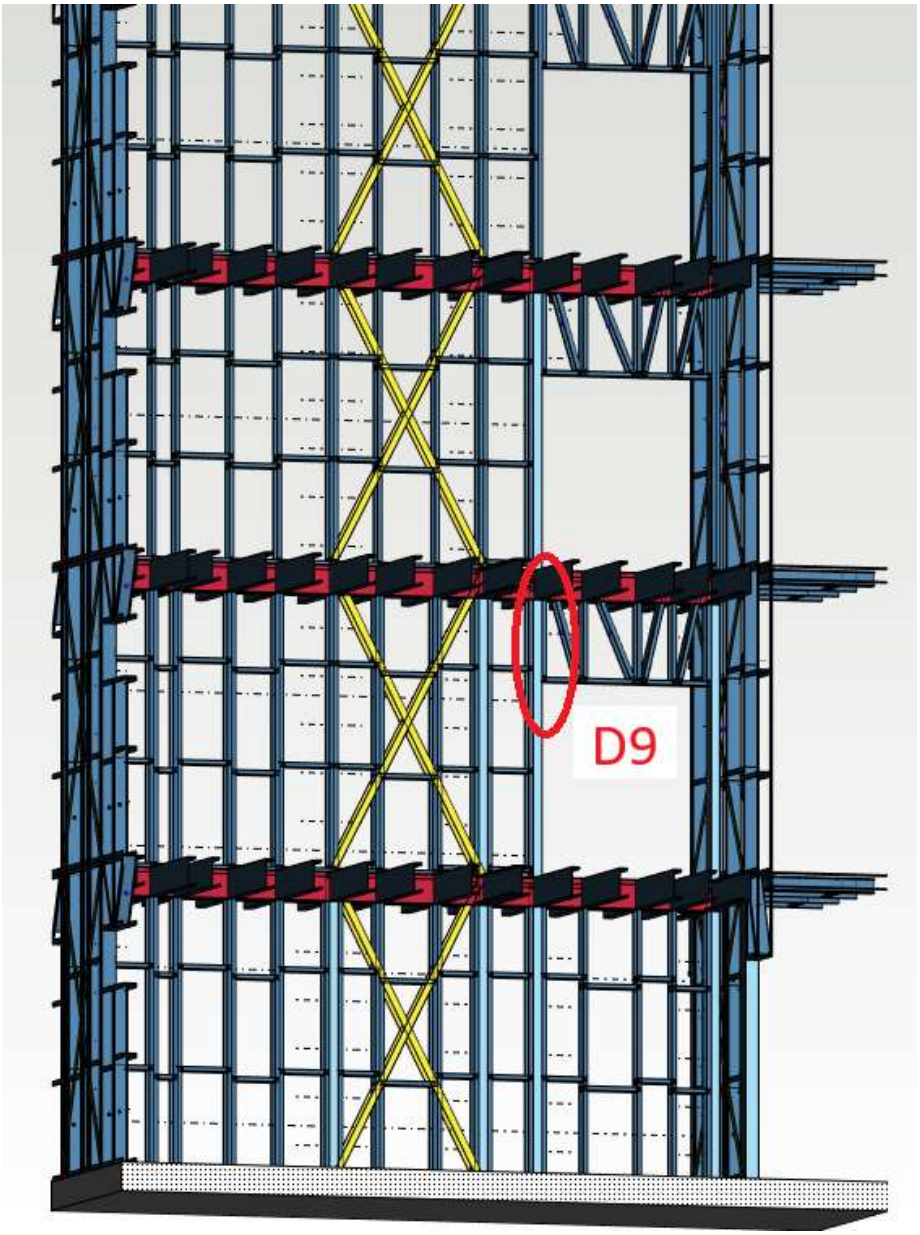
Přehled detailů v konstrukci



Přehled detailů



Přehled detailů



Vodorovní ztužení stropní a střešní konstrukce OSB deskama

Vlastnosti materiálu - ocel

Mez kluzu	f_{yk}=	350	MPa
Mez pevnosti	f_{uk}=	420	MPa
Modul pružnosti	E=	210000	MPa
Smykový modul	G=	80800	MPa
Poissonova konstanta	ν=	0,3	-

Geometrie ocelového průřezu

Výška průřezu	h=	41,3	mm
Šířka pásnice	b=	100	mm
Výška výztuhy	c=	10	mm
Nominální tloušťka	t_{nom}=	1,2	mm
Výpočetní tloušťka (bez vrstvy zinku Z275 = 0,04mm)	t=	1,16	mm
Poloměr zaoblení	r=	1,5	mm

Vlastnosti materiálu - OSB deska

Charakteristická pevnost v ohybu	$f_{m,k}$=	16,4	MPa
Char. pevnost v tahu rovnob. s vlákny	$f_{t,0,k}$=	9,4	MPa
Modul pružnosti	$E_{0,m}$=	4930	MPa
Char. pevnost v tlaku rovnob. s vlákny	$f_{c,0,k}$=	15,4	MPa
Charakteristická hustota	ρ_k=	550	kg/m^3
Průměrná hustota	ρ_m=	550	kg/m^3

Geometrie panelu

Tloušťka OSB desky	t=	36	mm
Šířka panelu	b_i=	1250	mm
Délka panelu	L=	7050	mm

Spojovací prostředky

Samovrtné šrouby s křídlovým hrotem

Průměr šroubu	d =	5,5	mm
Délka šroubu	l =	50	mm
Rozteč spojovacích prostředků	s =	125	mm

Vytažení - plech tl. 1,6mm

Mez pevnosti plechu	$f_{u,sup}$ =	420	Mpa
Tloušťka plechu	t_{sup} =	1,6	mm

$$F_{ax,Rk} = 0{,}65 d t_{sup} f_{u,sup} = 2{,}402 \text{ kN}$$

Návrhová výztužná únosnost panelu

$$F_{i,v,Rd} = \frac{F_{f,Rd} \times b_i \times c_i}{s}$$

$$b_0 = \frac{L}{2} = 3525$$

$$c_i = \begin{cases} 1 & \text{pro } b_i \geq b_0 \\ \frac{b_i}{b_0} & \text{pro } b_i < b_0 \end{cases} \quad 0{,}3546$$

Spoj deska – ocel

- pro tenkou ocelovou desku jednostřižně namáhanou:

$$F_{f,Rk} = \min \begin{cases} 0{,}4\ f_{h,k}\ t_1\ d \\ 1{,}15\sqrt{2\ M_{y,Rk}\ f_{h,k}\ d} \end{cases} \quad 1{,}9307 \quad kN$$

$$f_{h,k} = 65\ d^{-0,7}\ t_{OSB}^{\ 0,1} = 28{,}2 \quad N/mm^2$$

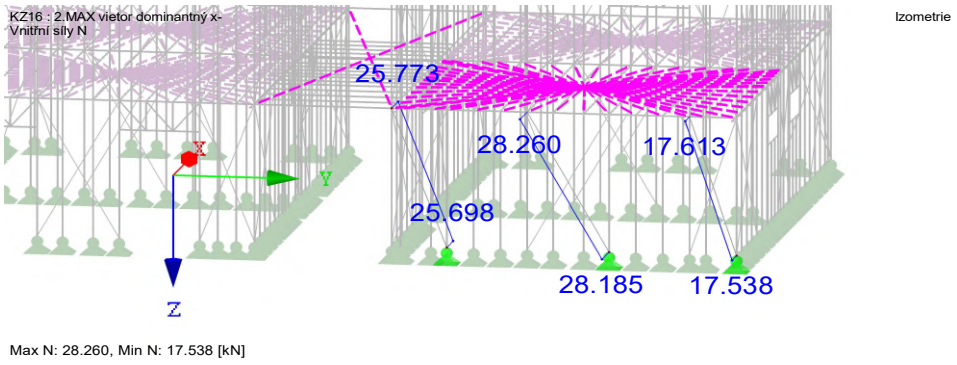
$f_u = 360$ Mpa

$$M_{y,Rk} = 0{,}3\ f_u\ d^{2,6} = 9085{,}9 \quad N/mm$$

Návrhová výztužná únosnost panelu 1

$$F_{1,v,Rd} = \frac{F_{f,Rd} \times b_1 \times c_1}{s} = 6{,}8466 \quad kN$$

Návrhová síla $F_{v,Ed}$



$F_1 = 17{,}613$ kN

$F_2 = 28{,}26$ kN

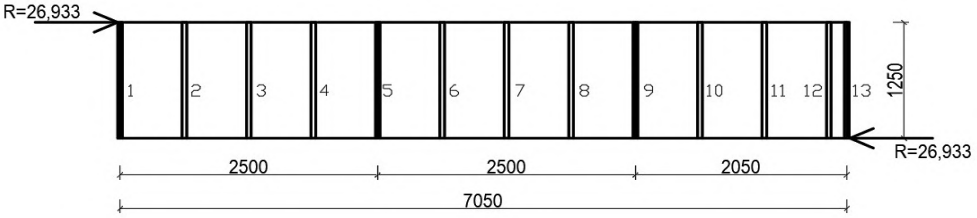
$F_3 = 25{,}773$ kN

$$F_{y1} = \cos\alpha \times F_1 = 5{,}104 \quad kN$$

$$F_{y2} = \cos\alpha \times F_2 = 13{,}212 \quad kN$$

$$F_{y3} = \cos\alpha \times F_3 = 8{,}617 \quad kN$$

$$\mathbf{R = F_{y1} + F_{y2} + F_{y3} = 26{,}93 \quad kN}$$



$$M = R \times 1{,}25 = 33{,}67 \quad kNm$$

počet nosníkov:

$n_n = 13$ ks

počet šroubů:

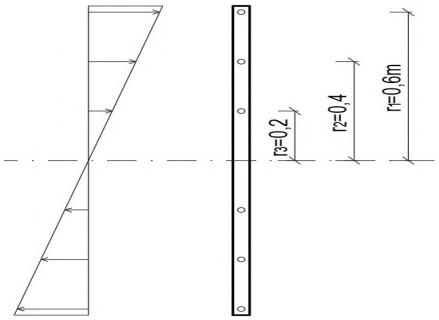
$n_š = 6$ ks

$$F = \frac{M \times r_1}{n \times \sum r_i^2} = 1{,}39 \text{ kN}$$

$r_1 = 0{,}6$ m

$r_2 = 0{,}4$ m

$r_3 = 0{,}2$ m



$n_{celk,š} = n_n \times n_š$

$n_{celk,š} = 78$ ks

$$\mathbf{F_{v,ed} = F + \frac{R}{n_{celk,š}} = 1{,}73 \text{ kN}}$$

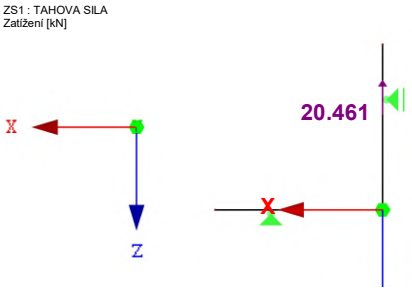
Posouzení: $\mathbf{\frac{F_{v,ed}}{F_{1,v,Rd}} = \frac{1{,}73}{6{,}85} = 0{,}25}$ **VYHOVUJE**

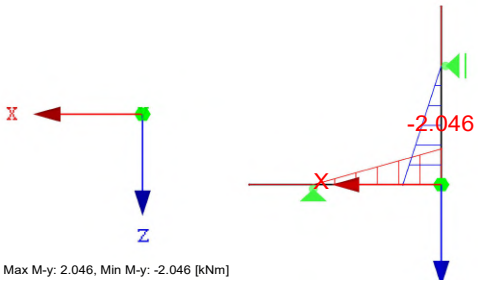
7.Kotvení

Kotvení sloupku C150-1,6 přes uhelník D13
Posouzení L150x18

Návrhové síly:

V_{ed} = 20,46 kN
N_{ed} = 20,5 kN
M_{ed} = 2,05 kNm





2x obdélník 150x18

h = 140 mm
t = 18 mm
W_y = 11340 mm^3

f_{yk} = 235 Mpa
γ_{M1} = 1

Moment únosnosti

$$M_{y,Rd} = W_y \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}} = 2{,}6649 \text{ kNm}$$

Posouzení: $\frac{M_{ed}}{M_{Rd}} = \frac{2{,}05}{2{,}66} = 0{,}77$ **VYHOVUJE**

Návrh kotev pomocí programu Hilti PROFIS Engineering na následujících stránkách:

1. Kotvení sloupku C150-1,6
2. Kotvení sloupu HEA 160
3. Kotvení sloupu JKL 150x100-4,0

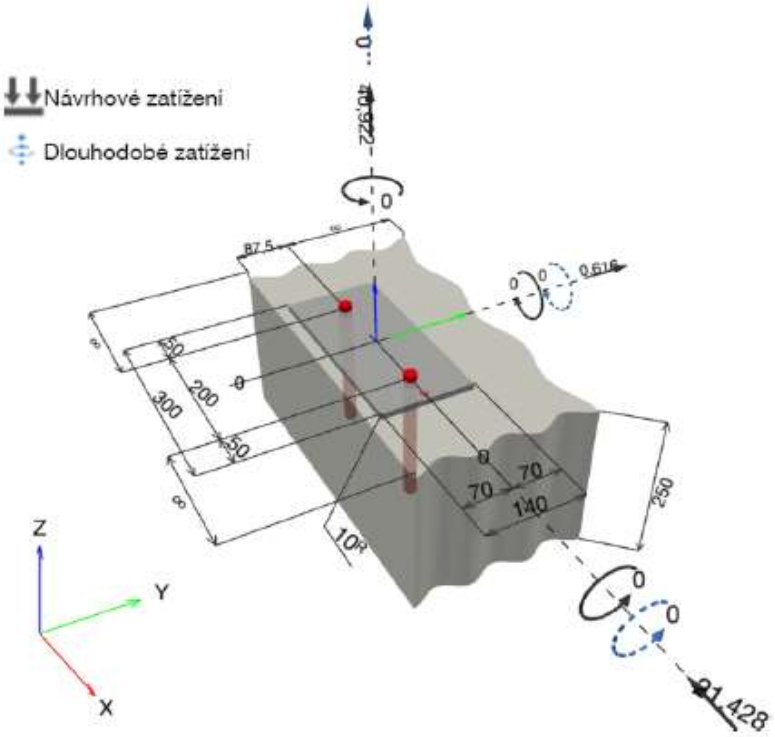
Kotvení sloupu C150-1,6

1 Vstupní data

Typ a velikost kotvy:	**HIT-RE 500 V4 + HAS-U 5.8 M20**
Předpokládaná životnost (životnost v letech):	50
Číslo artiklu:	2223876 HAS-U 5.8 M20x260 (vložit) / 2287552 HIT-RE 500 V4 (chemická hmota)
Insert item # alternative:	2390211 HAS 5.8 M20x260
Efektivní kotvení hloubka:	$h_{ef,opti}$ = 203,0 mm ($h_{ef,limit}$ = 206,0 mm)
Materiál:	5.8
Certifikát č.:	ETA 20/0541
Vydaný I Platný:	09.06.2023 | -
Posouzení:	Návrhová metoda EN 1992-4, Chemické
Distanční montáž:	e_b = 0,0 mm (bez distanční montáže); t = 10,0 mm
Kotevní deska[R] :	l_x x l_y x t = 300,0 mm x 140,0 mm x 10,0 mm; (Doporučená tloušťka kotevní desky: nepočítána)
Profil:	žádný profil
Základní materiál:	s trhlinami beton, C25/30, $f_{c,cyl}$ = 25,00 N/mm²; h = 250,0 mm, teplota krátkodobá/dlouhodobá: 40/24 °C, Uživatelem definovaný parciální bezpečnostní součinitel materiálu γ_c = 1,500
Montáž:	**automaticky čištěný kotevní otvor, montážní podmínky: suché**
Výztuž:	Rozteč výztuže < 150 mm (jakýkoliv Ø) nebo < 100 mm (Ø <= 10 mm) s podélnou výztuží okraje d >= 12,0 [mm] + uzavřená síť (třmínky, háky) s <= 100,0 [mm] Je přítomna výztuž bránící rozštěpení betonu podle EN 1992-4, 7.2.1.7 (2) b) 2)

[R] - Výpočet kotvy je proveden na základě předpokladu tuhé kotevní desky.

Geometrie [mm] & Zatížení [kN, kNm]



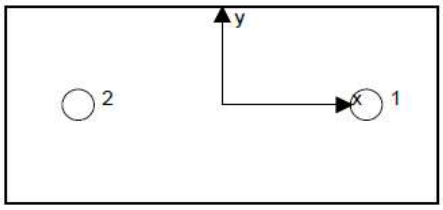
1.1 Kombinace zatížení

Stav	Popis	Síly [kN] / Momenty [kNm]	Seizmický	Požár	Max. využití kotvy [%]
1	Kombinace 1	N = 40,922; V_x = -21,428; V_y = 0,616; M_x = 0,000; M_y = 0,000; M_z = 0,000; N_{sus} = 0,000; $M_{x,sus}$ = 0,000; $M_{y,sus}$ = 0,000;	Ne	ne	100

2 Zatěžovací stav/Výsledné síly na kotvu

Reakce kotvy [kN]
Tahová síla: (+ Tah, - Tlak)

Kotva	Tahová síla	Smyková síla	Smyková síla x	Smyková síla y
1	20,461	10,718	-10,714	0,308
2	20,461	10,718	-10,714	0,308



max. tlakové přetvoření betonu: - [‰]
max. tlakové napětí v betonu: - [N/mm^2]
výsledná tahová síla v (x/y)=(0,0/0,0): 0,000 [kN]
výsledná tlaková síla v (x/y)=(0,0/0,0): 0,000 [kN]

Kotevní síly jsou vypočítány na základě předpokladu tuhé kotevní desky.

3 Tahové zatížení (EN 1992-4, kap.7.2.1)

	Zatížení [kN]	Únosnost [kN]	Využití β_N [%]	Stav
Porušení oceli*	20,461	81,667	26	OK
Kombinované porušení vytažením - vytržením betonového kuželu**	40,922	59,917	69	OK
Porušení vytržením betonového kuželu**	40,922	49,906	82	OK
Porušení rozštěpením**	Není k dispozici	Není k dispozici	Není k dispozici	Není k dispozici

* nejnepříznivější kotva ** skupina kotev (kotvy v tahu)

3.1 Porušení oceli

$N_{Ed} \leq N_{Rd,s} = \frac{N_{Rk,s}}{\gamma_{M,s}}$ EN 1992-4, Tabulka 7.1

$N_{Rk,s}$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$N_{Rd,s}$ [kN]	N_{Ed} [kN]
122,500	1,500	81,667	20,461

3.2 Kombinované porušení vytažením - vytržením betonového kuželu

$$N_{Ed} \le N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{M,p}}$$ EN 1992-4, Tabulka 7.1

$$N_{Rk,p} = N^0_{Rk,p} \cdot \frac{A_{p,N}}{A^0_{p,N}} \cdot \psi_{g,Np} \cdot \psi_{s,Np} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec1,Np} \cdot \psi_{ec2,Np}$$ EN 1992-4, Eq. (7.13)

$$N^0_{Rk,p} = \psi_{sus} \cdot \tau_{Rk} \cdot \pi \cdot d \cdot h_{ef}$$ EN 1992-4, Eq. (7.14)

$$\psi_{sus} = 1$$ EN 1992-4, Eq. (7.14a)

$$s_{cr,Np} = 7{,}3 \cdot d \cdot \sqrt{\psi_{sus} \cdot \tau_{Rk}} \le 3 \cdot h_{ef}$$ EN 1992-4, Eq. (7.15)

$$\psi_{g,Np} = \psi^0_{g,Np} - \left(\frac{s}{s_{cr,Np}}\right)^{0,5} \cdot \left(\psi^0_{g,Np} - 1\right) \ge 1{,}00$$ EN 1992-4, Eq. (7.17)

$$\psi^0_{g,Np} = \sqrt{n} - (\sqrt{n} - 1) \cdot \left(\frac{\tau_{Rk}}{\tau_{Rk,c}}\right)^{1,5} \ge 1{,}00$$ EN 1992-4, Eq. (7.18)

$$\tau_{Rk,c} = \frac{k_3}{\pi \cdot d} \cdot \sqrt{h_{ef} \cdot f_{ck}}$$ EN 1992-4, Eq. (7.19)

$$\psi_{s,Np} = 0{,}7 + 0{,}3 \cdot \frac{c}{c_{cr,Np}} \le 1{,}00$$ EN 1992-4, Eq. (7.20)

$$\psi_{ec1,Np} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{c1,N}}{s_{cr,Np}}\right)} \le 1{,}00$$ EN 1992-4, Eq. (7.21)

$$\psi_{ec2,Np} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{c2,N}}{s_{cr,Np}}\right)} \le 1{,}00$$ EN 1992-4, Eq. (7.21)

$A_{p,N}$ [mm^2]	$A^0_{p,N}$ [mm^2]	$\tau_{Rk,ucr,20}$ [N/mm^2]	$s_{cr,Np}$ [mm]	$c_{cr,Np}$ [mm]	c_{min} [mm]	$f_{c,cyl}$ [N/mm^2]
297 528	341 056	16,00	584,0	292,0	87,5	25,00

ψ_c	$\tau_{Rk,cr}$ [N/mm^2]	k_3	$\tau_{Rk,c}$ [N/mm^2]	$\psi^0_{g,Np}$	$\psi_{g,Np}$
1,023	10,23	7,700	8,73	1,000	1,000

$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,Np}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,Np}$	$\psi_{s,Np}$	$\psi_{re,Np}$
0,0	1,000	0,0	1,000	0,790	1,000

ψ^0_{sus}	α_{sus}	ψ_{sus}
0,880	0,000	1,000

$N^0_{Rk,p}$ [kN]	$N_{Rk,p}$ [kN]	$\gamma_{M,p}$	$N_{Rd,p}$ [kN]	N_{Ed} [kN]
130,427	89,875	1,500	59,917	40,922

ID skupiny kotev
1, 2

3.3 Porušení vytržením betonového kuželu

$$N_{Ed} \le N_{Rd,c} = \frac{N_{Rk,c}}{\gamma_{M,c}}$$ EN 1992-4, Tabulka 7.1

$$N_{Rk,c} = N^0_{Rk,c} \cdot \frac{A_{c,N}}{A^0_{c,N}} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec1,N} \cdot \psi_{ec2,N} \cdot \psi_{M,N}$$ EN 1992-4, Eq. (7.1)

$$N^0_{Rk,c} = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef}^{1,5}$$ EN 1992-4, Eq. (7.2)

$$A^0_{c,N} = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N}$$ EN 1992-4, Eq. (7.3)

$$\psi_{s,N} = 0{,}7 + 0{,}3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} \le 1{,}00$$ EN 1992-4, Eq. (7.4)

$$\psi_{ec1,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{N,1}}{s_{cr,N}}\right)} \le 1{,}00$$ EN 1992-4, Eq. (7.6)

$$\psi_{ec2,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{N,2}}{s_{cr,N}}\right)} \le 1{,}00$$ EN 1992-4, Eq. (7.6)

$$\psi_{M,N} = 1$$ EN 1992-4, Eq. (7.7)

$A_{c,N}$ [mm^2]	$A^0_{c,N}$ [mm^2]	$c_{cr,N}$ [mm]	$s_{cr,N}$ [mm]	$f_{c,cyl}$ [N/mm^2]
317 128	370 881	304,5	609,0	25,00

$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,N}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$
0,0	1,000	0,0	1,000	0,786	1,000

z [mm]	$\psi_{M,N}$	k_1	$N^0_{Rk,c}$ [kN]	$\gamma_{M,c}$	$N_{Rd,c}$ [kN]	N_{Ed} [kN]
0,0	1,000	7,700	111,354	1,500	49,906	40,922

ID skupiny kotev
1, 2

4 Smykové zatížení (EN 1992-4, kap. 7.2.2)

	Zatížení [kN]	Únosnost [kN]	Využití β_V [%]	Stav
Porušení oceli (bez distanční montáže)*	10,718	58,848	19	OK
Porušení oceli (s distanční montáží)*	Není k dispozici	Není k dispozici	Není k dispozici	Není k dispozici
Porušení vylomením betonu**	21,437	99,811	22	OK
Porušení okraje betonu ve směru y-**	21,428	53,631	40	OK

* nejnepříznivější kotva ** skupina kotev (rovnocenné kotvy)

4.1 Porušení oceli (bez distanční montáže)

$V_{Ed} \le V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{M,s}}$ EN 1992-4, Tabulka 7.2

$V_{Rk,s} = k_7 \cdot V^0_{Rk,s}$ EN 1992-4, Eq. (7.35)

$V^0_{Rk,s}$ [kN]	k_7	$V_{Rk,s}$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$V_{Rd,s}$ [kN]	V_{Ed} [kN]
73,560	1,000	73,560	1,250	58,848	10,718

4.2 Porušení vylomením betonu (relevantní k vytažení)

$V_{Ed} \le V_{Rd,cp} = \frac{V_{Rk,cp}}{\gamma_{M,c,p}}$ EN 1992-4, Tabulka 7.2

$V_{Rk,cp} = k_8 \cdot \min\{N_{Rk,c}; N_{Rk,p}\}$ EN 1992-4, Eq. (7.39c)

$N_{Rk,c} = N^0_{Rk,c} \cdot \frac{A_{c,N}}{A^0_{c,N}} \cdot \Psi_{s,N} \cdot \Psi_{re,N} \cdot \Psi_{ec1,N} \cdot \Psi_{ec2,N} \cdot \Psi_{M,N}$ EN 1992-4, Eq. (7.1)

$N^0_{Rk,c} = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef}^{1,5}$ EN 1992-4, Eq. (7.2)

$A^0_{c,N} = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N}$ EN 1992-4, Eq. (7.3)

$\Psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} \le 1,00$ EN 1992-4, Eq. (7.4)

$\Psi_{ec1,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{V,1}}{s_{cr,N}}\right)} \le 1,00$ EN 1992-4, Eq. (7.6)

$\Psi_{ec2,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{V,2}}{s_{cr,N}}\right)} \le 1,00$ EN 1992-4, Eq. (7.6)

$\Psi_{M,N} = 1$ EN 1992-4, Eq. (7.7)

$A_{c,N}$ [mm²]	$A^0_{c,N}$ [mm²]	$c_{cr,N}$ [mm]	$s_{cr,N}$ [mm]	k_8	$f_{c,cyl}$ [N/mm²]
317 128	370 881	304,5	609,0	2,000	25,00

$e_{c1,V}$ [mm]	$\Psi_{ec1,N}$	$e_{c2,V}$ [mm]	$\Psi_{ec2,N}$	$\Psi_{s,N}$	$\Psi_{re,N}$	$\Psi_{M,N}$
0,0	1,000	0,0	1,000	0,786	1,000	1,000

k_1	$N^0_{Rk,c}$ [kN]	$\gamma_{M,c,p}$	$V_{Rd,cp}$ [kN]	V_{Ed} [kN]
7,700	111,354	1,500	99,811	21,437

ID skupiny kotev
1, 2

4.3 Porušení okraje betonu ve směru y-

$V_{Ed} \le V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}}{\gamma_{M,c}}$ EN 1992-4, Tabulka 7.2

$V_{Rk,c} = k_T \cdot V^0_{Rk,c} \cdot \frac{A_{c,V}}{A^0_{c,V}} \cdot \psi_{s,V} \cdot \psi_{h,V} \cdot \psi_{\alpha,V} \cdot \psi_{ec,V} \cdot \psi_{re,V}$ EN 1992-4, Eq. (7.40)

$V^0_{Rk,c} = k_g \cdot d_{nom}^{\alpha} \cdot l_f^{\beta} \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot c_1^{1,5}$ EN 1992-4, Eq. (7.41)

$\alpha = 0,1 \cdot \left(\frac{l_f}{c_1}\right)^{0,5}$ EN 1992-4, Eq. (7.42)

$\beta = 0,1 \cdot \left(\frac{d_{nom}}{c_1}\right)^{0,2}$ EN 1992-4, Eq. (7.43)

$A^0_{c,V} = 4,5 \cdot c_1^2$ EN 1992-4, Eq. (7.44)

$\psi_{s,V} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c_2}{1,5 \cdot c_1} \le 1,00$ EN 1992-4, Eq. (7.45)

$\psi_{h,V} = \left(\frac{1,5 \cdot c_1}{h}\right)^{0,5} \ge 1,00$ EN 1992-4, Eq. (7.46)

$\psi_{ec,V} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_V}{3 \cdot c_1}\right)} \le 1,00$ EN 1992-4, Eq. (7.47)

$\psi_{\alpha,V} = \sqrt{\frac{1}{(\cos \alpha_V)^2 + (0,5 \cdot \sin \alpha_V)^2}} \ge 1,00$ EN 1992-4, Eq. (7.48)

l_f [mm]	d_{nom} [mm]	k_g	α	β	$f_{c,cyl}$ [N/mm^2]
203,0	20,00	1,700	0,152	0,074	25,00

c_1 [mm]	$A_{c,V}$ [mm^2]	$A^0_{c,V}$ [mm^2]
87,5	60 703	34 453

$\psi_{s,V}$	$\psi_{h,V}$	α_V [°]	$\psi_{\alpha,V}$	$e_{c,V}$ [mm]	$\psi_{ec,V}$	$\psi_{re,V}$
1,000	1,000	90,00	2,000	0,0	1,000	1,400

$V^0_{Rk,c}$ [kN]	k_T	$\gamma_{M,c}$	$V_{Rd,c}$ [kN]	V_{Ed} [kN]
16,307	1,0	1,500	53,631	21,428

5 Kombinace zatížení tah/smyk (EN 1992-4, oddíl 7.2.3)

Selhání oceli

β_N	β_V	α	Využití $\beta_{N,V}$ [%]	Stav
0,251	0,182	2,000	10	OK

$\beta_N^{\alpha} + \beta_V^{\alpha} \le 1,0$

Porušení betonu

β_N	β_V	α	Využití $\beta_{N,V}$ [%]	Stav
0,820	0,400	1,500	100	OK

$\beta_N^{\alpha} + \beta_V^{\alpha} \le 1,0$

Upevnění je bezpečné!

Kotvení sloupu HEA 160

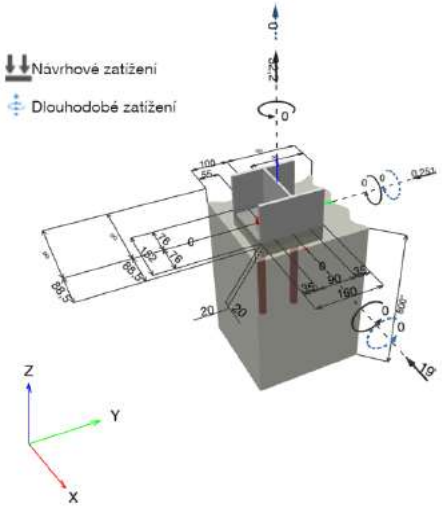
1 Návrh kotvy

1.1 Vstupní data

Typ a velikost kotvy:	**HIT-HY 200-A V3 + HAS-U 5.8 M20**
Předpokládaná životnost (životnost v letech):	50
Číslo artiklu:	2223878 HAS-U 5.8 M20x350 (vložit) / 2378171 HIT-HY 200-A V3 (chemická hmota)
Efektivní kotvení hloubka:	$h_{ef,opti}$ = 248,0 mm ($h_{ef,limit}$ = 400,0 mm)
Materiál:	5.8
Certifikát č.:	ETA 19/0601
Vydaný I Platný:	02.06.2023 | -
Posouzení:	SOFA na základě EN 1992-4, chem. kotvy
Distanční montáž:	bez upnutí (kotva); stupeň zadržení (kotevní deska): 2,00; e_b = 20,0 mm; t = 20,0 mm
	Hilti podlití: CB-G EG, epoxidová, $f_{c,Grout}$ = 120,00 N/mm^2
Kotevní deska[CBFEM] :	l_x x l_y x t = 152,0 mm x 160,0 mm x 20,0 mm;
Profil:	IPBi/HEA profil, IPBI 160 / HE 160 A; (V x Š x T x T) = 152,0 mm x 160,0 mm x 6,0 mm x 9,0 mm
Základní materiál:	bez trhlin beton, C25/30, $f_{c,cyl}$ = 25,00 N/mm^2; h = 800,0 mm, teplota krátkodobá/dlouhodobá: 40/24 °C, Uživatelem definovaný parciální bezpečnostní součinitel materiálu γ_c = 1,500
Montáž:	**automaticky čištěný kotevní otvor, montážní podmínky: suché**
Výztuž:	Rozteč výztuže < 150 mm (jakýkoliv Ø) nebo < 100 mm (Ø <= 10 mm)
	s podélnou výztuží okraje d >= 12,0 [mm] + uzavřená síť (třmínky, háky) s <= 100,0 [mm]
	Je přítomna výztuž bránící rozštěpení betonu podle EN 1992-4, 7.2.1.7 (2) b) 2)

[CBFEM] - Výpočet kotev je založen na metodě konečných prvků (CBFEM)

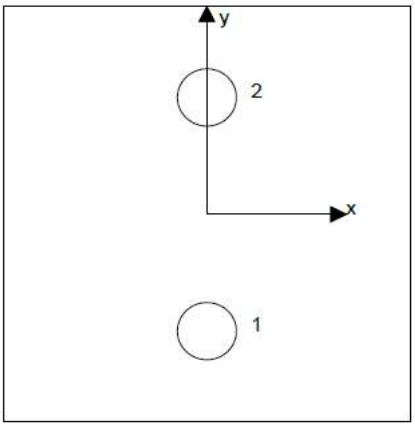
Geometrie [mm] & Zatížení [kN, kNm]



1.1.1 Kombinace zatížení

Stav	Popis	Síly [kN] / Momenty [kNm]	Seizmický	Požár	Max. využití kotvy [%]
1	Kombinace 1	N = 32,200; V_x = -19,000; V_y = -0,251; M_x = 0,000; M_y = 0,000; M_z = 0,000; N_{sus} = 0,000; $M_{x,sus}$ = 0,000; $M_{y,sus}$ = 0,000;	Ne	ne	100

1.2 Zatěžovací stav/Výsledné síly na kotvu



Reakce kotvy [kN]
Tahová síla: (+ Tah, - Tlak)

Kotva	Tahová síla	Smyková síla	Smyková síla x	Smyková síla y
1	16,287	9,501	-9,500	-0,115
2	16,286	9,501	-9,500	-0,136

výsledná tahová síla v (x/y)=(0,0/0,0): 0,000 [kN]
výsledná tlaková síla v (x/y)=(0,0/0,0): 0,000 [kN]

Síla v kotvě je vypočtena pomocí metody konečných prvků (CBFEM)

1.3 Tahové zatížení EN 1992-4, kap.7.2.1

	Zatížení [kN]	Únosnost [kN]	Využití β_N [%]	Stav
Porušení oceli*	16,287	81,667	20	OK
Kombinované porušení vytažením - vytržením betonového kuželu**	32,573	67,972	48	OK
Porušení vytržením betonového kuželu**	32,573	45,846	72	OK
Porušení rozštěpením**	32,573	64,084	51	OK

* nejnepříznivější kotva ** skupina kotev (kotvy v tahu)

1.3.1 Porušení oceli

$$N_{Ed} \le N_{Rd,s} = \frac{N_{Rk,s}}{\gamma_{M,s}}$$ EN 1992-4, Tabulka 7.1

$N_{Rk,s}$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$N_{Rd,s}$ [kN]	N_{Ed} [kN]
122,500	1,500	81,667	16,287

1.3.2 Kombinované porušení vytažením - vytržením betonového kuželu

$$N_{Ed} \le N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{M,p}}$$ EN 1992-4, Tabulka 7.1

$$N_{Rk,p} = N^0_{Rk,p} \cdot \frac{A_{p,N}}{A^0_{p,N}} \cdot \psi_{g,Np} \cdot \psi_{s,Np} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec1,Np} \cdot \psi_{ec2,Np}$$ EN 1992-4, Eq. (7.13)

$$N^0_{Rk,p} = \psi_{sus} \cdot \tau_{Rk} \cdot \pi \cdot d \cdot h_{ef}$$ EN 1992-4, Eq. (7.14)

$$\psi_{sus} = 1$$ EN 1992-4, Eq. (7.14a)

$$s_{cr,Np} = 7{,}3 \cdot d \cdot \sqrt{\psi_{sus} \cdot \tau_{Rk}} \le 3 \cdot h_{ef}$$ EN 1992-4, Eq. (7.15)

$$\psi_{g,Np} = \psi^0_{g,Np} - \left(\frac{s}{s_{cr,Np}}\right)^{0,5} \cdot \left(\psi^0_{g,Np} - 1\right) \ge 1{,}00$$ EN 1992-4, Eq. (7.17)

$$\psi^0_{g,Np} = \sqrt{n} - (\sqrt{n} - 1) \cdot \left(\frac{\tau_{Rk}}{\tau_{Rk,c}}\right)^{1,5} \ge 1{,}00$$ EN 1992-4, Eq. (7.18)

$$\tau_{Rk,c} = \frac{k_3}{\pi \cdot d} \cdot \sqrt{h_{ef} \cdot f_{ck}}$$ EN 1992-4, Eq. (7.19)

$$\psi_{s,Np} = 0{,}7 + 0{,}3 \cdot \frac{c}{c_{cr,Np}} \le 1{,}00$$ EN 1992-4, Eq. (7.20)

$$\psi_{ec1,Np} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{c1,N}}{s_{cr,Np}}\right)} \le 1{,}00$$ EN 1992-4, Eq. (7.21)

$$\psi_{ec2,Np} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{c2,N}}{s_{cr,Np}}\right)} \le 1{,}00$$ EN 1992-4, Eq. (7.21)

$A_{p,N}$ [mm²]	$A^0_{p,N}$ [mm²]	$\tau_{Rk,ucr,20}$ [N/mm²]	$s_{cr,Np}$ [mm]	$c_{cr,Np}$ [mm]	c_{min} [mm]	$f_{c,cyl}$ [N/mm²]
181 072	383 688	18,00	619,4	309,7	55,0	25,00

ψ_c	$\tau_{Rk,ucr}$ [N/mm²]	k_3	$\tau_{Rk,c}$ [N/mm²]	$\psi^0_{g,Np}$	$\psi_{g,Np}$
1,023	18,41	11,000	13,79	1,000	1,000

$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,Np}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,Np}$	$\psi_{s,Np}$	$\psi_{re,Np}$
0,0	1,000	0,0	1,000	0,753	1,000

ψ^0_{sus}	α_{sus}	ψ_{sus}
0,740	0,000	1,000

$N^0_{Rk,p}$ [kN]	$N_{Rk,p}$ [kN]	$\gamma_{M,p}$	$N_{Rd,p}$ [kN]	N_{Ed} [kN]
286,811	101,958	1,500	67,972	32,573

ID skupiny kotev
1, 2

1.3.3 Porušení vytržením betonového kuželu

$$N_{Ed} \le N_{Rd,c} = \frac{N_{Rk,c}}{\gamma_{M,c}}$$ EN 1992-4, Tabulka 7.1

$$N_{Rk,c} = N^0_{Rk,c} \cdot \frac{A_{c,N}}{A^0_{c,N}} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec1,N} \cdot \psi_{ec2,N} \cdot \psi_{M,N}$$ EN 1992-4, Eq. (7.1)

$$N^0_{Rk,c} = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef}^{1,5}$$ EN 1992-4, Eq. (7.2)

$$A^0_{c,N} = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N}$$ EN 1992-4, Eq. (7.3)

$$\psi_{s,N} = 0{,}7 + 0{,}3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} \le 1{,}00$$ EN 1992-4, Eq. (7.4)

$$\psi_{ec1,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{N,1}}{s_{cr,N}}\right)} \le 1{,}00$$ EN 1992-4, Eq. (7.6)

$$\psi_{ec2,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{N,2}}{s_{cr,N}}\right)} \le 1{,}00$$ EN 1992-4, Eq. (7.6)

$$\psi_{M,N} = 1$$ EN 1992-4, Eq. (7.7)

$A_{c,N}$ [mm²]	$A^0_{c,N}$ [mm²]	$c_{cr,N}$ [mm]	$s_{cr,N}$ [mm]	$f_{c,cyl}$ [N/mm²]
238 078	553 536	372,0	744,0	25,00

$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,N}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$
0,0	1,000	0,0	1,000	0,744	1,000

z [mm]	$\psi_{M,N}$	k_1	$N^0_{Rk,c}$ [kN]	$\gamma_{M,c}$	$N_{Rd,c}$ [kN]	N_{Ed} [kN]
24,7	1,000	11,000	214,803	1,500	45,846	32,573

ID skupiny kotev
1, 2

1.3.4 Porušení rozštěpením

$$N_{Ed} \le N_{Rd,sp} = \frac{N_{Rk,sp}}{\gamma_{Msp}} \qquad \text{EN 1992-4, Tabulka 7.1}$$

$$N_{Rk,sp} = N^0_{Rk,sp} \cdot \frac{A_{c,N}}{A^0_{c,N}} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec1,N} \cdot \psi_{ec2,N} \cdot \psi_{h,sp} \qquad \text{EN 1992-4, Eq. (7.23)}$$

$$N^0_{Rk,sp} = \min\left(N^0_{Rk,p}, N^0_{Rk,c}\right)$$

$$A^0_{c,N} = s_{cr,sp} \cdot s_{cr,sp} \qquad \text{EN 1992-4, Eq. (7.3)}$$

$$\psi_{s,N} = 0{,}7 + 0{,}3 \cdot \frac{c}{c_{cr,sp}} \le 1{,}00 \qquad \text{EN 1992-4, Eq. (7.4)}$$

$$\psi_{ec1,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{N,1}}{s_{cr,sp}}\right)} \le 1{,}00 \qquad \text{EN 1992-4, Eq. (7.6)}$$

$$\psi_{ec2,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{N,2}}{s_{cr,sp}}\right)} \le 1{,}00 \qquad \text{EN 1992-4, Eq. (7.6)}$$

$$\psi_{h,sp} = \left(\frac{h}{h_{min}}\right)^{2/3} \le \max\left\{1; \left(\frac{h_{ef} + 1{,}5 \cdot c_1}{h_{min}}\right)^{2/3}\right\} \le 2{,}00 \qquad \text{EN 1992-4, Eq. (7.24)}$$

$A_{c,N}$ [mm^2]	$A^0_{c,N}$ [mm^2]	$c_{cr,sp}$ [mm]	$s_{cr,sp}$ [mm]	$\psi_{h,sp}$	$f_{c,cyl}$ [N/mm^2]
132 244	246 016	248,0	496,0	1,086	25,00

$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,N}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$	k_1
0,0	1,000	0,0	1,000	0,767	1,000	11,000

$N^0_{Rk,sp}$ [kN]	$\gamma_{M,sp}$	$N_{Rd,sp}$ [kN]	N_{Ed} [kN]
214,803	1,500	64,084	32,573

ID skupiny kotev
1, 2

1.4 Smykové zatížení EN 1992-4, kap. 7.2.2

	Zatížení [kN]	Únosnost [kN]	Využití β_V [%]	Stav
Porušení oceli (bez distanční montáže)*	9,501	58,800	17	OK
Porušení oceli (s distanční montáží)*	9,501	10,392	92	OK
Porušení vylomením betonu**	19,002	91,692	21	OK
Porušení okraje betonu ve směru y-**	9,503	17,483	55	OK

* nejnepříznivější kotva ** skupina kotev (rovnocenné kotvy)

1.4.1 Porušení oceli (bez distanční montáže)

$$V_{Ed} \le V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{M,s}} \qquad \text{EN 1992-4, Tabulka 7.2}$$

$$V_{Rk,s} = k_7 \cdot V^0_{Rk,s} \qquad \text{EN 1992-4, Eq. (7.35)}$$

$V^0_{Rk,s}$ [kN]	k_7	$V_{Rk,s}$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$V_{Rd,s}$ [kN]	V_{Ed} [kN]
73,500	1,000	73,500	1,250	58,800	9,501

1.4.2 Porušení oceli (s distanční montáží)

$$V_{Ed} \le V_{Rd,s,M} = \frac{V_{Rk,s,M}}{\gamma_{M,s}} \qquad \text{EN 1992-4, Tabulka 7.2}$$

$$V_{Rk,s,M} = \frac{\alpha_M \cdot M_{Rk,s}}{l_a} \qquad \text{EN 1992-4, Eq. 7.37}$$

$$M_{Rk,s} = M^0_{Rk,s} \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{Rd,s}}\right) \qquad \text{EN 1992-4, Eq. 7.38}$$

$$l_a = e_c + \frac{t}{2} + a_3 \qquad \text{EN 1992-4, Eq. 6.2}$$

l [mm]	α_M
40,0	2,00

$N_{Ed} / N_{Rd,s}$	$1 - N_{Ed} / N_{Rd,s}$	$M^0_{Rk,s}$ [kNm]	$M_{Rk,s} = M^0_{Rk,s} (1 - N_{Ed}/ N_{Rd,s})$ [kNm]
0,199	0,801	0,325	0,260

$V^M_{Rk,s} = \alpha_M * M_{Rk,s} / l$ [kN]	γ_{Ms}	$V^M_{Rd,s}$ [kN]	V_{Ed} [kN]
12,989	1,250	10,392	9,501

1.4.3 Porušení vylomením betonu (relevantní k vytažení)

$V_{Ed} \le V_{Rd,cp} = \frac{V_{Rk,cp}}{\gamma_{M,c,p}}$ EN 1992-4, Tabulka 7.2

$V_{Rk,cp} = k_8 \cdot \min\{N_{Rk,c}; N_{Rk,p}\}$ EN 1992-4, Eq. (7.39c)

$N_{Rk,c} = N^0_{Rk,c} \cdot \frac{A_{c,N}}{A^0_{c,N}} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec1,N} \cdot \psi_{ec2,N} \cdot \psi_{M,N}$ EN 1992-4, Eq. (7.1)

$N^0_{Rk,c} = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef}^{1,5}$ EN 1992-4, Eq. (7.2)

$A^0_{c,N} = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N}$ EN 1992-4, Eq. (7.3)

$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} \le 1,00$ EN 1992-4, Eq. (7.4)

$\psi_{ec1,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{V,1}}{s_{cr,N}}\right)} \le 1,00$ EN 1992-4, Eq. (7.6)

$\psi_{ec2,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{V,2}}{s_{cr,N}}\right)} \le 1,00$ EN 1992-4, Eq. (7.6)

$\psi_{M,N} = 1$ EN 1992-4, Eq. (7.7)

$A_{c,N}$ [mm²]	$A^0_{c,N}$ [mm²]	$c_{cr,N}$ [mm]	$s_{cr,N}$ [mm]	k_8	$f_{c,cyl}$ [N/mm²]
238 078	553 536	372,0	744,0	2,000	25,00

$e_{c1,V}$ [mm]	$\psi_{ec1,N}$	$e_{c2,V}$ [mm]	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$	$\psi_{M,N}$
0,0	1,000	0,0	1,000	0,744	1,000	1,000

k_1	$N^0_{Rk,c}$ [kN]	$\gamma_{M,c,p}$	$V_{Rd,cp}$ [kN]	V_{Ed} [kN]
11,000	214,803	1,500	91,692	19,002

ID skupiny kotev
1, 2

1.4.4 Porušení okraje betonu ve směru y-

$V_{Ed} \le V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}}{\gamma_{M,c}}$ EN 1992-4, Tabulka 7.2

$V_{Rk,c} = k_T \cdot \psi_{b,g} \cdot V^0_{Rk,c} \cdot \frac{A_{c,V}}{A^0_{c,V}} \cdot \psi_{s,V} \cdot \psi_{h,V} \cdot \psi_{\alpha,V} \cdot \psi_{ec,V} \cdot \psi_{re,V}$ EN 1992-4, Eq. (7.40)

$\psi_{b,g} = \frac{1}{\alpha_{b,g}} = \frac{1}{1 + \frac{C\, t_g}{d^{\frac{3}{4}}}}$ Hilti Method for anchor design in grouted stand-off connections, Hilti, 2023

$V^0_{Rk,c} = k_9 \cdot d_{nom}^{\alpha} \cdot l_f^{\beta} \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot c_1^{1,5}$ EN 1992-4, Eq. (7.41)

$\alpha = 0,1 \cdot \left(\frac{l_f}{c_1}\right)^{0,5}$ EN 1992-4, Eq. (7.42)

$\beta = 0,1 \cdot \left(\frac{d_{nom}}{c_1}\right)^{0,2}$ EN 1992-4, Eq. (7.43)

$A^0_{c,V} = 4,5 \cdot c_1^2$ EN 1992-4, Eq. (7.44)

$\psi_{s,V} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c_2}{1,5 \cdot c_1} \le 1,00$ EN 1992-4, Eq. (7.45)

$\psi_{h,V} = \left(\frac{1,5 \cdot c_1}{h}\right)^{0,5} \ge 1,00$ EN 1992-4, Eq. (7.46)

$\psi_{ec,V} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_V}{3 \cdot c_1}\right)} \le 1,00$ EN 1992-4, Eq. (7.47)

$\psi_{\alpha,V} = \sqrt{\frac{1}{(\cos \alpha_V)^2 + (0,5 \cdot \sin \alpha_V)^2}} \ge 1,00$ EN 1992-4, Eq. (7.48)

l_f [mm]	d_{nom} [mm]	k_9	α	β	$f_{c,cyl}$ [N/mm²]
240,0	20,00	2,400	0,209	0,082	25,00

$\psi_{b,g}$	$C\,[\frac{1}{mm^4}]$	d [mm]	t_g [mm]
0,917	0,043	20,0	20,0

c_1 [mm]	$A_{c,V}$ [mm²]	$A^0_{c,V}$ [mm²]
55,0	13 612	13 612

$\psi_{s,V}$	$\psi_{h,V}$	α_V [°]	$\psi_{\alpha,V}$	$e_{c,V}$ [mm]	$\psi_{ec,V}$	$\psi_{re,V}$
1,000	1,000	88,49	1,998	0,0	1,000	1,000

$V^0_{Rk,c}$ [kN]	k_T	$\gamma_{M,c}$	$V_{Rd,c}$ [kN]	V_{Ed} [kN]
14,319	1,0	1,500	17,483	9,503

1.5 Kombinace zatížení tah/smyk (EN 1992-4, oddíl 7.2.3)

Selhání oceli

β_N	β_V	α	Využití $\beta_{N,V}$ [%]	Stav
0,199	0,162	2,000	7	OK

$\beta_N^\alpha + \beta_V^\alpha \leq 1,0$

Porušení betonu

β_N	β_V	α	Využití $\beta_{N,V}$ [%]	Stav
0,710	0,544	1,500	100	OK

$\beta_N^\alpha + \beta_V^\alpha \leq 1,0$

2 Návrh kotevní desky

2.1 Vstupní data

Kotevní deska:	Tvar: Obdélníková l_x x l_y x t = 152,0 mm x 160,0 mm x 20,0 mm Výpočet: Reálné chování - metoda CBFEM Materiál: S 235; F_y = 235,00 N/mm²; ε_{lim} = 5,00%
Typ a velikost kotvy:	HIT-HY 200-A V3 + HAS-U 5.8 M20, h_{ef} = 248,0 mm
Tuhost kotvy:	Kotva se modeluje s ohledem na hodnoty tuhosti určené křivkou zobrazující závislost deformace na zatížení ze zkoušek v nezávislé laboratoři. Upozorňujeme, že není možná jednoduchá záměna kotvy, protože tuhost kotvy má zásadní vliv na výsledné rozložení zatížení.
Návrhová metoda:	Návrh podle EN použití komponentní metody konečných prvků
Distanční montáž:	e_b = 20,0 mm (Distanční montáž s podlitím); t = 20,0 mm
Profil:	IPBI 160 / HE 160 A; (L x W x T x FT) = 152,0 mm x 160,0 mm x 6,0 mm x 9,0 mm Materiál: S 235; F_y = 235,00 N/mm²; ε_{lim} = 5,00% Excentricita x: 0,0 mm Excentricita z: 0,0 mm
Základní Materiál:	Beton bez trhlin; C25/30; $f_{c,cyl}$ = 25,00 N/mm²; h = 800,0 mm; E = 31 000,00 N/mm²; G = 12 916,67 N/mm²; v = 0,20
Svary (profil ke kotevní desce):	Typ redistribuce: Plastický Materiál: S 235
Rozměr sítě:	Počet prvků na okraji: 8 Min. rozměr prvku: 10,0 mm Max. rozměr prvku: 50,0 mm

2.2 Shrnutí

	Popis	Profil		Patní deska			Svary [%]
		σ_{Ed} [N/mm²]	ε_{Pl} [%]	σ_{Ed} [N/mm²]	ε_{Pl} [%]	Typ otvoru [%]	
1	Kombinace 1	70,46	0,00	68,30	0,00	4	19

2.3 Klasifikace kotevní desky

Následující výsledky jsou uvažované pro rozhodující kombinace zatížení: Kombinace 1

Tahové síly v kotvách	Ekvivalent tuhé kotevní desky (FEM)	Pružná kotevní deska (FEM)
Kotva 1	16,166 kN	16,287 kN
Kotva 2	16,164 kN	16,286 kN

2.4.1 Ekvivalentní napětí a plastické přetvoření

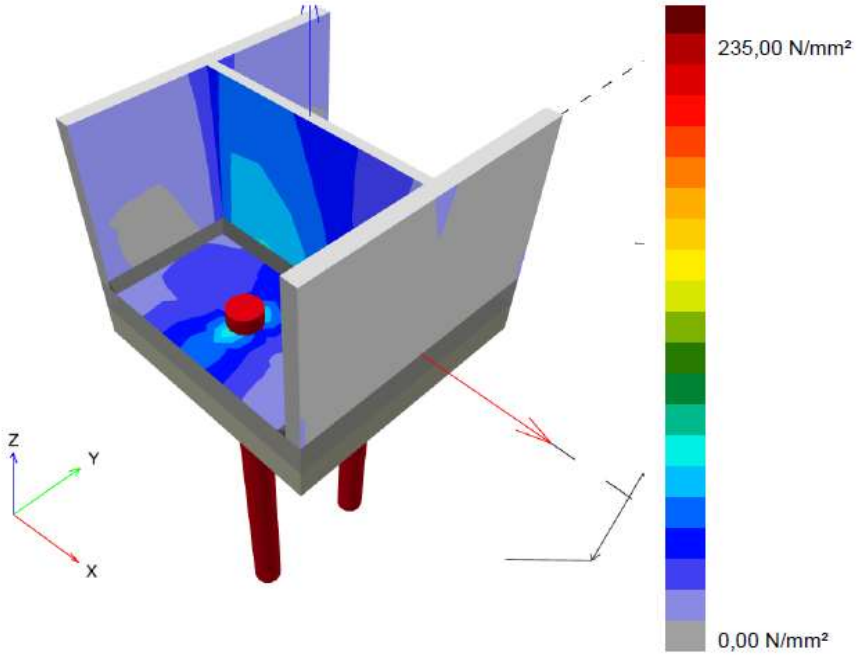
Limitní kritéria stavu dle EN1993-1-5 příloha C.8, (1) 2.

Výsledky

Část	Kombinace zatížení	Materiál	σ_{Ed} [N/mm²]	ε_{Pl} [%]	f_y [N/mm²]	γ_{M0}	f_y/γ_{M0} [N/mm²]	ε_{lim} [%]	Status
Deska	Kombinace 1	S 235	68,30	0,00	235,00	1,00	235,00	5,00	OK
Profil	Kombinace 1	S 235	28,13	0,00	235,00	1,00	235,00	5,00	OK
Profil	Kombinace 1	S 235	45,95	0,00	235,00	1,00	235,00	5,00	OK
Profil	Kombinace 1	S 235	70,46	0,00	235,00	1,00	235,00	5,00	OK

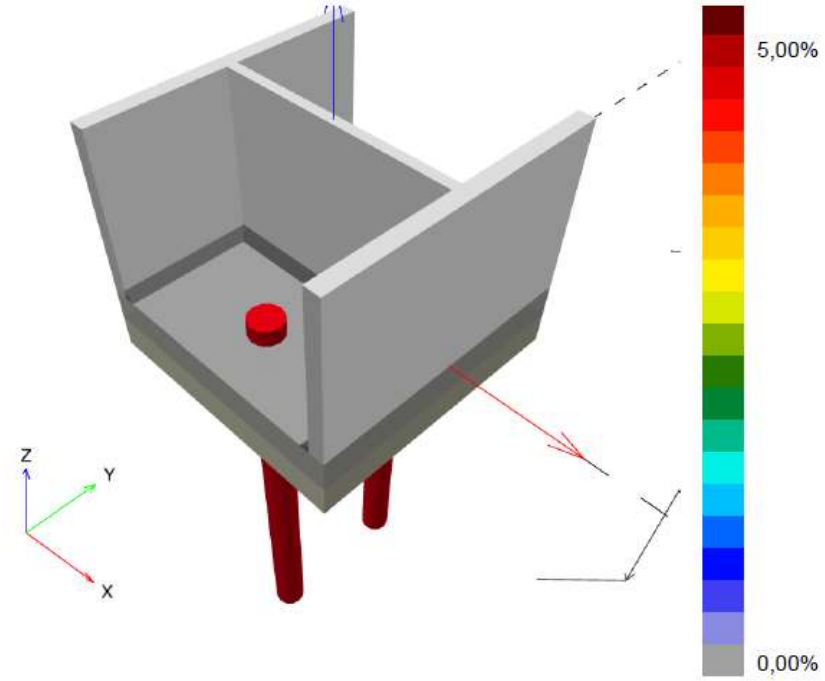
2.4.1.1 Odpovídající napětí

Následující výsledky jsou uvažované pro rozhodující kombinace zatížení: 1 - Kombinace 1



2.4.1.2 Plastické přetvoření

Následující výsledky jsou uvažované pro rozhodující kombinace zatížení: 1 - Kombinace 1



2.4.2 Typ otvoru

Rozhodující kombinace zatížení: 1 - Kombinace 1

Odolnost otvoru v desce, EN1993-1 - 8 část 3.6.1:

Rovnice

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 a_b f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

$$\text{Využití} = \frac{V_{Ed}}{F_{b,Rd}}$$

Proměnné

	k_1	a_b	f_u [N/mm²]	d [mm]	t [mm]	γ_{M2}
Kotva 1	2,50	1,00	360,00	20,0	20,0	1.25
Kotva 2	2,50	1,00	360,00	20,0	20,0	1.25

Výsledky

	V_{Ed} [kN]	$F_{b,Rd}$ [kN]	Využití [%]	Status
Kotva 1	9,501	288,000	4	OK
Kotva 2	9,501	288,000	4	OK

2.5 Svary

Profily se modelují bez zohlednění poloměru rohu. Speciální pravidla pro svařování (např. pro profily tvarované za studena ...) nejsou softwarem zohledněny.

2.5.1 Kotevní deska k profilu

Rozhodující kombinace zatížení: 1 - Kombinace 1

Návrh svaru, EN1993-1-8 část 4.5.3.2

Minimální tloušťka svaru stojiny (a_{min}): 4,0 mm

Minimální tloušťka svaru příruby (a_{min}): 4,0 mm

Rovnice

$$\sigma_{w,Ed} = (\sigma_\perp^2 + 3(\tau_\perp^2 + \tau_\parallel^2))^{0.5}$$

$$\sigma_{w,Rd} = \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$\sigma_{\perp,Rd} = 0.9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\text{Využití} = \max\left(\frac{\sigma_{w,Ed}}{\sigma_{w,Rd}} ; \frac{|\sigma_\perp|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right)$$

Proměnné

Svar	β_w	f_u [N/mm²]	γ_{M2}
Stojina	0,80	360,00	1,25
Příruba	0,80	360,00	1,25

Okraj	a [mm]	L [mm]	ε_{Pl} [%]	$\sigma_\perp$ [N/mm²]	$\tau_\parallel$ [N/mm²]	$\tau_\perp$ [N/mm²]
Member 1-bfl 1	◢4,0	160,0	0,00	19,28	9,83	18,36
Member 1-tfl 1	4,0◣	160,0	0,00	21,52	-10,34	-20,18
Member 1-w 1	◢4,0◣	143,0	0,00	27,98	20,64	27,95
Member 1-w	◢4,0◣	143,0	0,00	27,93	-20,66	-27,96

Výsledky

Okraj	$\sigma_{w,Ed}$ [N/mm²]	$\sigma_{w,Rd}$ [N/mm²]	$\sigma_{\perp,Rd}$ [N/mm²]	Využití [%]	Využitíc [%]	Status
Member 1-bfl 1	40,89	360,00	259,20	12	5	OK
Member 1-tfl 1	44,78	360,00	259,20	13	6	OK
Member 1-w 1	66,37	360,00	259,20	19	12	OK
Member 1-w	66,38	360,00	259,20	19	12	OK

3 Souhrn výsledků

Návrh kotevní desky, kotev, svarů a dalších prvků je založen na CBFEM (metoda konečných prvků) a pravidel Eurokódu.

	Kombinace zatížení	Max. využití	Status
Kotvy	Kombinace 1	100%	OK
Patní deska	Kombinace 1	30%	OK
Svary	Kombinace 1	19%	OK
Profil	Kombinace 1	30%	OK

Upevnění je bezpečné!

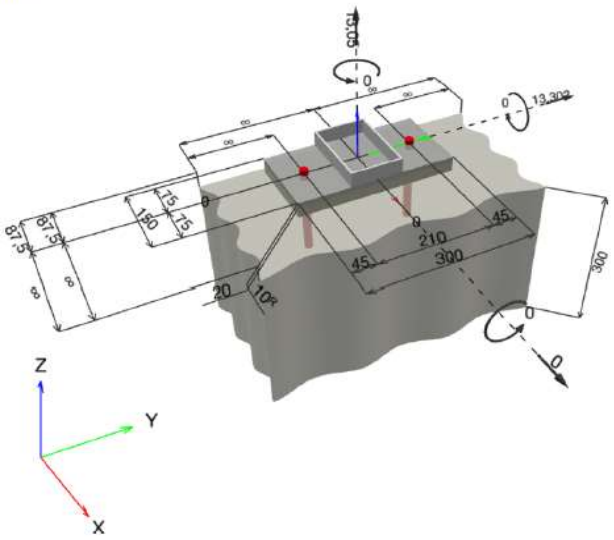
Kotvení sloupu JKL 150x100-4,0

1 Vstupní data

Typ a velikost kotvy:	**HIT-HY 200-A V3 + HIT-Z 100 Years M16**
Předpokládaná životnost (životnost v letech):	100
Číslo artiklu:	2018418 HIT-Z M16x205 (vložit) / 2378171 HIT-HY 200-A V3 (chemická hmota)
Efektivní kotvení hloubka:	$h_{ef,opti}$ = 140,0 mm ($h_{ef,limit}$ = 192,0 mm)
Materiál:	DIN EN ISO 4042
Certifikát č.:	ETA 19/0632
Vydaný I Platný:	08.06.2023 | -
Posouzení:	SOFA na základě EN 1992-4, mech. kotvy
Distanční montáž:	bez upnutí (kotva); stupeň zadržení (kotevní deska): 2,00; e_b = 20,0 mm; t = 10,0 mm
	Hilti podlití: CB-G EG, epoxidová, $f_{c,Grout}$ = 120,00 N/mm^2
Kotevní deska^R :	l_x x l_y x t = 150,0 mm x 300,0 mm x 10,0 mm; (Doporučená tloušťka kotevní desky: nepočítána)
Profil:	Obdélníkový dutý profil, 150 x 100 x 4,0; (V x Š x T) = 150,0 mm x 100,0 mm x 4,0 mm
Základní materiál:	bez trhlin beton, C25/30, $f_{c,cyl}$ = 25,00 N/mm^2; h = 300,0 mm, teplota krátkodobá/dlouhodobá: 40/24 °C, Uživatelem definovaný parciální bezpečnostní součinitel materiálu γ_c = 1,500
Montáž:	**kotevní otvor vrtaný příklepem, montážní podmínky: suché**
Výztuž:	Rozteč výztuže < 150 mm (jakýkoliv Ø) nebo < 100 mm (Ø <= 10 mm)
	s podélnou výztuží okraje d >= 12,0 [mm] + uzavřená síť (třmínky, háky) s <= 100,0 [mm]
	Je přítomna výztuž bránící rozštěpení betonu podle EN 1992-4, 7.2.1.7 (2) b) 2)

^{R} - Výpočet kotvy je proveden na základě předpokladu tuhé kotevní desky.

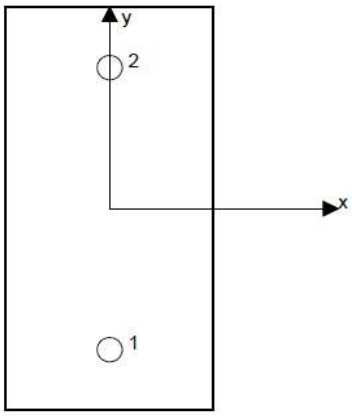
Geometrie [mm] & Zatížení [kN, kNm]



1.1 Kombinace zatížení

Stav	Popis	Síly [kN] / Momenty [kNm]	Seizmický	Požár	Max. využití kotvy [%]
1	Kombinace 1	N = 13,050; V_x = 0,000; V_y = 13,302; M_x = 0,000; M_y = 0,000; M_z = 0,000;	Ne	ne	76

2 Zatěžovací stav/Výsledné síly na kotvu



Reakce kotvy [kN]
Tahová síla: (+ Tah, - Tlak)

Kotva	Tahová síla	Smyková síla	Smyková síla x	Smyková síla y
1	6,525	6,651	0,000	6,651
2	6,525	6,651	0,000	6,651

max. tlakové přetvoření betonu: - [‰]
max. tlakové napětí v betonu: - [N/mm^2]
výsledná tahová síla v (x/y)=(0,0/0,0): 0,000 [kN]
výsledná tlaková síla v (x/y)=(0,0/0,0): 0,000 [kN]

Kotevní síly jsou vypočítány na základě předpokladu tuhé kotevní desky.

3 Tahové zatížení (EN 1992-4, kap.7.2.1)

	Zatížení [kN]	Únosnost [kN]	Využití β_N [%]	Stav
Porušení oceli*	6,525	64,000	11	OK
Porušení vytažením*	6,525	76,667	9	OK
Porušení vytržením betonového kuželu**	13,050	53,241	25	OK
Porušení rozštěpením**	13,050	48,543	27	OK

* nejnepříznivější kotva ** skupina kotev (kotvy v tahu)

3.1 Porušení oceli

$$N_{Ed} \le N_{Rd,s} = \frac{N_{Rk,s}}{\gamma_{M,s}}$$ EN 1992-4, Tabulka 7.1

$N_{Rk,s}$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$N_{Rd,s}$ [kN]	N_{Ed} [kN]
96,000	1,500	64,000	6,525

3.2 Porušení vytažením

$$N_{Ed} \le N_{Rd,p} = \frac{\psi_c \cdot N_{Rk,p}}{\gamma_{M,p}}$$ EN 1992-4, Tabulka 7.1

$N_{Rk,p}$ [kN]	ψ_c	$\gamma_{M,p}$	$N_{Rd,p}$ [kN]	N_{Ed} [kN]
115,000	1,000	1,500	76,667	6,525

3.3 Porušení vytržením betonového kuželu

$$N_{Ed} \le N_{Rd,c} = \frac{N_{Rk,c}}{\gamma_{M,c}}$$ EN 1992-4, Tabulka 7.1

$$N_{Rk,c} = N^0_{Rk,c} \cdot \frac{A_{c,N}}{A^0_{c,N}} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec1,N} \cdot \psi_{ec2,N} \cdot \psi_{M,N}$$ EN 1992-4, Eq. (7.1)

$$N^0_{Rk,c} = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef}^{1,5}$$ EN 1992-4, Eq. (7.2)

$$A^0_{c,N} = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N}$$ EN 1992-4, Eq. (7.3)

$$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} \le 1,00$$ EN 1992-4, Eq. (7.4)

$$\psi_{ec1,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{N,1}}{s_{cr,N}}\right)} \le 1,00$$ EN 1992-4, Eq. (7.6)

$$\psi_{ec2,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{N,2}}{s_{cr,N}}\right)} \le 1,00$$ EN 1992-4, Eq. (7.6)

$$\psi_{M,N} = 1$$ EN 1992-4, Eq. (7.7)

$A_{c,N}$ [mm²]	$A^0_{c,N}$ [mm²]	$c_{cr,N}$ [mm]	$s_{cr,N}$ [mm]	$f_{c,cyl}$ [N/mm²]
187 425	176 400	210,0	420,0	25,00

$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,N}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$
0,0	1,000	0,0	1,000	0,825	1,000

z [mm]	$\psi_{M,N}$	k_1	$N^0_{Rk,c}$ [kN]	$\gamma_{M,c}$	$N_{Rd,c}$ [kN]	N_{Ed} [kN]
0,0	1,000	11,000	91,108	1,500	53,241	13,050

ID skupiny kotev
1, 2

3.4 Porušení rozštěpením

$$N_{Ed} \le N_{Rd,sp} = \frac{N_{Rk,sp}}{\gamma_{Msp}}$$ EN 1992-4, Tabulka 7.1

$$N_{Rk,sp} = N^0_{Rk,sp} \cdot \frac{A_{c,N}}{A^0_{c,N}} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec1,N} \cdot \psi_{ec2,N} \cdot \psi_{h,sp}$$ EN 1992-4, Eq. (7.23)

$$N^0_{Rk,sp} = \min\left(N_{Rk,p}, N^0_{Rk,c}\right)$$

$$A^0_{c,N} = s_{cr,sp} \cdot s_{cr,sp}$$ EN 1992-4, Eq. (7.3)

$$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c}{c_{cr,sp}} \le 1,00$$ EN 1992-4, Eq. (7.4)

$$\psi_{ec1,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{N,1}}{s_{cr,sp}}\right)} \le 1,00$$ EN 1992-4, Eq. (7.6)

$$\psi_{ec2,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{N,2}}{s_{cr,sp}}\right)} \le 1,00$$ EN 1992-4, Eq. (7.6)

$$\psi_{h,sp} = \left(\frac{h}{h_{min}}\right)^{2/3} \le \max\left\{1; \left(\frac{h_{ef} + 1,5 \cdot c_1}{h_{min}}\right)^{2/3}\right\} \le 2,00$$ EN 1992-4, Eq. (7.24)

$A_{c,N}$ [mm²]	$A^0_{c,N}$ [mm²]	$c_{cr,sp}$ [mm]	$s_{cr,sp}$ [mm]	$\psi_{h,sp}$	$f_{c,cyl}$ [N/mm²]
265 203	287 296	268,0	536,0	1,085	25,00

$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,N}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$	k_1
0,0	1,000	0,0	1,000	0,798	1,000	11,000

$N^0_{Rk,sp}$ [kN]	$\gamma_{M,sp}$	$N_{Rd,sp}$ [kN]	N_{Ed} [kN]
91,108	1,500	48,543	13,050

ID skupiny kotev
1, 2

4 Smykové zatížení (EN 1992-4, kap. 7.2.2)

	Zatížení [kN]	Únosnost [kN]	Využití β_V [%]	Stav
Porušení oceli (bez distanční montáže)*	6,651	38,400	18	OK
Porušení oceli (s distanční montáží)*	6,651	8,839	76	OK
Porušení vylomením betonu**	13,302	136,297	10	OK
Porušení okraje betonu ve směru x-**	13,302	42,969	31	OK

* nejnepříznivější kotva ** skupina kotev (rovnocenné kotvy)

4.1 Porušení oceli (bez distanční montáže)

$V_{Ed} \le V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{M,s}}$ EN 1992-4, Tabulka 7.2

$V_{Rk,s} = k_7 \cdot V^0_{Rk,s}$ EN 1992-4, Eq. (7.35)

$V^0_{Rk,s}$ [kN]	k_7	$V_{Rk,s}$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$V_{Rd,s}$ [kN]	V_{Ed} [kN]
48,000	1,000	48,000	1,250	38,400	6,651

4.2 Porušení oceli (s distanční montáží)

$V_{Ed} \le V_{Rd,s,M} = \frac{V_{Rk,s,M}}{\gamma_{M,s}}$ EN 1992-4, Tabulka 7.2

$V_{Rk,s,M} = \frac{\alpha_M \cdot M_{Rk,s}}{l_a}$ EN 1992-4, Eq. 7.37

$M_{Rk,s} = M^0_{Rk,s} \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{Rd,s}}\right)$ EN 1992-4, Eq. 7.38

$l_a = e_c + \frac{t}{2} + a_3$ EN 1992-4, Eq. 6.2

l [mm]	α_M
33,0	2,00

$N_{Ed} / N_{Rd,s}$	$1 - N_{Ed} / N_{Rd,s}$	$M^0_{Rk,s}$ [kNm]	$M_{Rk,s} = M^0_{Rk,s} (1 - N_{Ed}/ N_{Rd,s})$ [kNm]
0,102	0,898	0,203	0,182

$V^M_{Rk,s} = \alpha_M * M_{Rk,s} / l$ [kN]	γ_{Ms}	$V^M_{Rd,s}$ [kN]	V_{Ed} [kN]
11,049	1,250	8,839	6,651

4.3 Porušení vylomením betonu

$V_{Ed} \le V_{Rd,cp} = \frac{V_{Rk,cp}}{\gamma_{M,c,p}}$ EN 1992-4, Tabulka 7.2

$V_{Rk,cp} = k_8 \cdot N_{Rk,c}$ EN 1992-4, Eq. (7.39a)

$N_{Rk,c} = N^0_{Rk,c} \cdot \frac{A_{c,N}}{A^0_{c,N}} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec1,N} \cdot \psi_{ec2,N} \cdot \psi_{M,N}$ EN 1992-4, Eq. (7.1)

$N^0_{Rk,c} = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef}^{1,5}$ EN 1992-4, Eq. (7.2)

$A^0_{c,N} = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N}$ EN 1992-4, Eq. (7.3)

$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} \le 1,00$ EN 1992-4, Eq. (7.4)

$\psi_{ec1,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{V,1}}{s_{cr,N}}\right)} \le 1,00$ EN 1992-4, Eq. (7.6)

$\psi_{ec2,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{V,2}}{s_{cr,N}}\right)} \le 1,00$ EN 1992-4, Eq. (7.6)

$\psi_{M,N} = 1$ EN 1992-4, Eq. (7.7)

$A_{c,N}$ [mm^2]	$A^0_{c,N}$ [mm^2]	$c_{cr,N}$ [mm]	$s_{cr,N}$ [mm]	k_8	$f_{c,cyl}$ [N/mm^2]
187 425	176 400	210,0	420,0	2,560	25,00

$e_{c1,V}$ [mm]	$\psi_{ec1,N}$	$e_{c2,V}$ [mm]	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$	$\psi_{M,N}$
0,0	1,000	0,0	1,000	0,825	1,000	1,000

k_1	$N^0_{Rk,c}$ [kN]	$\gamma_{M,c,p}$	$V_{Rd,cp}$ [kN]	V_{Ed} [kN]
11,000	91,108	1,500	136,297	13,302

ID skupiny kotev
1, 2

4.4 Porušení okraje betonu ve směru x-

$V_{Ed} \le V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}}{\gamma_{M,c}}$ EN 1992-4, Tabulka 7.2

$V_{Rk,c} = k_T \cdot \psi_{b,g} \cdot V^0_{Rk,c} \cdot \frac{A_{c,V}}{A^0_{c,V}} \cdot \psi_{s,V} \cdot \psi_{h,V} \cdot \psi_{\alpha,V} \cdot \psi_{ec,V} \cdot \psi_{re,V}$ EN 1992-4, Eq. (7.40)

$\psi_{b,g} = \frac{1}{\alpha_{b,g}} = \frac{1}{1+\frac{C\, t_g}{d^{\frac{3}{4}}}}$ Hilti Method for anchor design in grouted stand-off connections, Hilti, 2023

$V^0_{Rk,c} = k_g \cdot d_{nom}^{\alpha} \cdot l_f^{\beta} \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot c_1^{1,5}$ EN 1992-4, Eq. (7.41)

$\alpha = 0,1 \cdot \left(\frac{l_f}{c_1}\right)^{0,5}$ EN 1992-4, Eq. (7.42)

$\beta = 0,1 \cdot \left(\frac{d_{nom}}{c_1}\right)^{0,2}$ EN 1992-4, Eq. (7.43)

$A^0_{c,V} = 4,5 \cdot c_1^2$ EN 1992-4, Eq. (7.44)

$\psi_{s,V} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c_2}{1,5 \cdot c_1} \le 1,00$ EN 1992-4, Eq. (7.45)

$\psi_{h,V} = \left(\frac{1,5 \cdot c_1}{h}\right)^{0,5} \ge 1,00$ EN 1992-4, Eq. (7.46)

$\psi_{ec,V} = \frac{1}{1+\left(\frac{2 \cdot e_V}{3 \cdot c_1}\right)} \le 1,00$ EN 1992-4, Eq. (7.47)

$\psi_{\alpha,V} = \sqrt{\frac{1}{(\cos \alpha_V)^2 + (0,5 \cdot \sin \alpha_V)^2}} \ge 1,00$ EN 1992-4, Eq. (7.48)

l_f [mm]	d_{nom} [mm]	k_g	α	β	$f_{c,cyl}$ [N/mm²]
140,0	16,00	2,400	0,126	0,071	25,00

$\psi_{b,g}$	C [$\frac{1}{mm^4}$]	d [mm]	t_g [mm]
0,903	0,043	16,0	20,0

c_1 [mm]	$A_{c,V}$ [mm²]	$A^0_{c,V}$ [mm²]
87,5	62 016	34 453

$\psi_{s,V}$	$\psi_{h,V}$	α_V [°]	$\psi_{\alpha,V}$	$e_{c,V}$ [mm]	$\psi_{ec,V}$	$\psi_{re,V}$
1,000	1,000	90,00	2,000	0,0	1,000	1,000

$V^0_{Rk,c}$ [kN]	k_T	$\gamma_{M,c}$	$V_{Rd,c}$ [kN]	V_{Ed} [kN]
19,828	1,0	1,500	42,969	13,302

5 Kombinace zatížení tah/smyk (EN 1992-4, oddíl 7.2.3)

Selhání oceli

β_N	β_V	α	Využití $\beta_{N,V}$ [%]	Stav
0,102	0,173	2,000	5	OK

$\beta_N^{\alpha} + \beta_V^{\alpha} \le 1,0$

Porušení betonu

β_N	β_V	α	Využití $\beta_{N,V}$ [%]	Stav
0,269	0,310	1,500	32	OK

$\beta_N^{\alpha} + \beta_V^{\alpha} \le 1,0$

Upevnění je bezpečné!