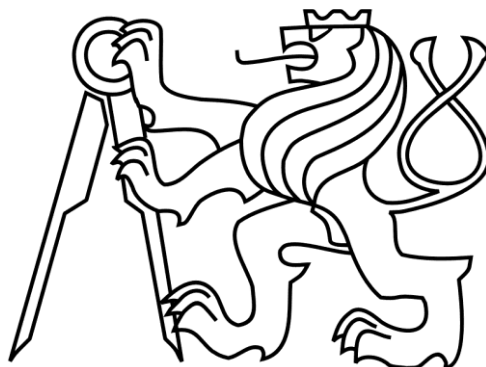


České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



Lávka přes Holoubkovský potok v Mýtě
Footbridge across the Holoubkov brook in Mýto

BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Vypracoval:

Jan Janata

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Michal Netušil PhD.

květen 2017

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze, dne 28.5.2017

Jan Janata

A handwritten signature in cursive script, appearing to read 'Janata Jan', located below the printed name.

Poděkování:

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce p. Ing. Michalu Netušilovi Ph.D. za odborné vedení, věcné a užitečné rady, podklady a čas, jenž věnoval mé práci.

Dále chci poděkovat mé rodině, přítelkyni a přátelům za psychickou a morální podporu při psaní a tvorbě této práce.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Janata Jméno: Jan Osobní číslo: 424409
Zadávací katedra: K134
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: C

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Lávka přes Holoubkovský potok v Mýtě
Název bakalářské práce anglicky: Footbridge across the Holoubkov brook in Mýto

Pokyny pro vypracování:

Vypracování variantního návrhu konstrukčního řešení lávky, vypracování numerického modelu vybraných konstrukcí, statický výpočet a posouzení všech prvků nosné konstrukce vybrané varianty, koncepční návrh klíčových detailů, výkresová dokumentace, krátká technická zpráva.

Seznam doporučené literatury:

Ocelové konstrukce 10, 20, 30, normy pro navrhování ocelových konstrukcí, zatížení staveb

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Michal Netušil, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 20.2.2017 Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2017

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantu je nutně uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

20.2.2017

Datum převzetí zadání

Janata Jan
Podpis studenta(ky)

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Janata** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **424409**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí**
Studijní program: **Stavební inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce pozemních staveb**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Lávka přes Holoubkovský potok v Mýtě

Název bakalářské práce anglicky:

Footbridge across the Holoubkov brook in Mýto

Pokyny pro vypracování:

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Michal Netušil Ph.D., katedra ocelových a dřevěných konstrukcí FSv

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **20.02.2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **28.05.2017**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Anotace:

Předmětem bakalářské práce je statický návrh a posouzení tří různých variantních řešení ocelové či ocelobetonové konstrukce lávky. Na základě podrobného zpracování posudku pro každou variantu konstrukce je pak vypracováno stručné porovnání z hlediska celkové ceny materiálu.

Klíčová slova: *lávka pro pěší, ocelová konstrukce, ocelobetonová spřažená konstrukce, porovnání*

Abstract:

The subject of this bachelor thesis is structural design and structural evaluation of two different steel constructions and one composite steel-concrete construction of footbridge. A brief price comparison of three different constructions is made according to total amount of used material.

Klíčová slova: *footbridge, steel construction, composite steel-concrete construction, comparison*

Lávka přes Holoubkovský potok v Mýtě
Footbridge across the Holoubkov brook in Mýto

BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

1 OBSAH

1	OBSAH.....	2
2	ÚVOD.....	5
3	TECHNICKÁ ZPRÁVA.....	6
3.1	Charakteristika objektu.....	6
3.1.1	Funkce a tvar.....	6
3.1.2	Nosná konstrukce.....	6
3.1.3	Spodní stavba.....	7
3.1.4	Vliv na sousední objekty.....	7
3.2	Uložení objektu na mostní opěry.....	7
3.3	Použité materiály.....	7
3.3.1	Ocel.....	7
3.3.2	Šrouby.....	7
3.3.1	Beton.....	7
3.3.2	Vázaná výztuž.....	7
3.4	Ochrana oceli.....	8
3.5	Dilatace konstrukce.....	8
4	STATICÝ NÁVRH A POSOUZENÍ - OBECNĚ.....	9
4.1	Rozsah statického návrh a posouzení.....	9
4.2	Zatížení.....	9
4.3	Kombinace zatížení.....	9
4.4	Vnitřní síly.....	10
5	VARIANTA Č.1 - KONSTRUKCE S PŘÍHRADOVÝMI NOSNÍKY.....	11
5.1	Výpočtový model.....	11
5.2	Uvažovaná zatížení.....	12
5.2.1	Vlastní tíha.....	12
5.2.2	Ostatní stálé - G_k	12
5.2.3	Proměnné zatížení.....	12
5.2.4	Klimatická zatížení.....	13
5.2.5	Mimořádní zatížení - sanitní vuz - A_{sv}	17
5.3	Zatěžovací stavy.....	20
5.4	Kombinace zatížení.....	20
5.5	Statický návrh a posouzení.....	22
5.5.1	Návrh pochozích pororoštů.....	22
5.5.2	Posouzení podélníku.....	22
5.5.3	Posouzení přípoje podélníku na příčnick.....	27
5.5.4	Posouzení příčnicku.....	31
5.5.5	Posouzení svarového přípoje příčnicku na příhradový nosník.....	35
5.5.6	Posouzení svislice příhradového nosníku.....	37
5.5.7	Posouzení diagonály příhradového nosníku.....	40
5.5.8	Posouzení svarového přípoje diagonály.....	41
5.5.9	Posouzení taženého pásu příhradového nosníku.....	43
5.5.10	Posouzení tlačného pásu příhradového nosníku.....	44
5.5.11	Posouzení ztužidla.....	47
5.5.12	Posouzení svarového přípoje ztužidla.....	48
5.5.13	Posouzení čepového ložiska.....	49
5.5.14	Posouzení MSP - průhyb celé konstrukce.....	51

5.5.15	Posouzení MSP - kmitání konstrukce	52
6	VARIANTA II. - KONSTRUKCE SE STŘEDOVÝM NOSNÍKEM	54
6.1	Výpočtový model	54
6.2	Uvažovaná zatížení	54
6.2.1	Vlastní tíha.....	54
6.2.2	Ostatní stálé - G_k	55
6.2.3	Proměnné zatížení.....	55
6.2.4	Klimatická zatížení.....	58
6.2.5	Mimořádné zatížení - sanitní vůz - A_{sv}	61
6.3	Zatěžovací stavy	62
6.4	Kombinace zatížení.....	62
6.5	Statický návrh a posouzení.....	64
6.5.1	Návrh konstrukce zábradlí - madlo	64
6.5.2	Posouzení a návrh konstrukce zábradlí	64
6.5.3	Návrh pochozích pororoštů.....	66
6.5.4	Návrh a posouzení krajního příhradového pásu	67
6.5.5	Návrh a posouzení diagonály.....	69
6.5.6	Posouzení svarového přípoje diagonál	72
6.5.7	Návrh a posouzení vzpěr	73
6.5.8	Návrh a posouzení středového nosníku	74
6.5.9	Návrh a posouzení příčného nadpodporového nosníku	78
6.5.10	Návrh a posouzení čepového ložiska	80
6.5.11	Posouzení MSP - průhyb celé konstrukce	81
6.5.12	Posouzení MSP - kmitání konstrukce	81
7	VARIANTA III. - SPŘAŽENÁ OCELOBETONOVÁ KONSTRUKCE	83
7.1	Výpočtový model	83
7.2	Uvažovaná zatížení celého mostu	83
7.2.1	Vlastní tíha.....	83
7.2.2	Ostatní stálé - G_k	83
7.2.3	Klimatická zatížení.....	83
7.2.4	Proměnné zatížení.....	86
7.2.5	Mimořádné zatížení - sanitní vůz - A_{sv}	87
7.2.6	Montážní zatížení	87
7.3	Zatěžovací stavy	88
7.4	Kombinace zatížení.....	88
7.5	Statický návrh a posouzení.....	89
7.5.1	Materiál.....	89
7.5.2	Průřez.....	89
7.5.3	Zatřívání průřezu	89
7.5.4	Výpočet zatížení na krajový (1) a středový (2) nosník.....	89
7.5.5	Výpočet vnitřních sil.....	92
7.5.6	Posouzení smykové únosnosti nosníku	93
7.5.7	Posouzení nosníku v MSÚ	93
7.5.8	Posouzení ohybové únosnosti nosníku v montážním stavu	94
7.5.9	Posouzení pro mezní stav použitelnosti.....	95
7.5.10	Návrh spřažení.....	96
7.5.11	Návrh a posouzení ložisek.....	96
8	CENOVÉ ZHODNOCENÍ VARIANT	97
8.1	Varianta č.1	97

8.1	Varianta č.2	98
8.1	Varianta č.3	99
9	ZÁVĚR	100
10	POUŽITÉ NORMY, LITERATURA, SOFTWARE A PODKLADY	101
11	PŘÍLOHY	102

2 ÚVOD

Tato práce představuje celkový návrh a následné statické posouzení nosné jednoplošné konstrukce lávky. Při jejím návrhu vycházím z pevně daných podmínek rozsahu konstrukce.

Mezi nejdůležitější kritéria patří:

- teoretická délka rozponu 10,5 m
- umožnění projetí boxového vozidla zdravotní záchranné služby o rozměrech boxu 3,6x2,25x2,0m (d x š x v)
- zajištění pohodlí chodců

Návrh se realizuje ve třech odlišných variantách nosné konstrukce.

První variantou je ocelová lávka s příhradovými nosníky sloužícími zároveň jako bezpečnostní prvek (zábradlí). Hlavním konstrukčním prvkem je otevřený příčný rám, který zároveň udržuje prostorovou stálost příhradových nosníků.

Jedná se o jednu z typových variant řešení konstrukce ocelové lávky. Předpokládá se tedy jednoduchá proveditelnost, jednoduché styčnickové spoje.

V případě druhé varianty již nelze mluvit o typickém řešení lávkové konstrukce. Ocelová konstrukce je řešena jedním středovým nosníkem. V důsledku toho lze tedy očekávat torzní namáhání nosné konstrukce od zatížení nerovnoměrným provozem.

Ve třetí variantě se využívá principu spřažené ocelového nosníku s betonovou deskou. Využijí se tak pozitivní vlastnosti betonou v tlaku a oceli v tahu. Výsledkem by měla být konstrukce s vysokou příčnou a podélnou tuhostí. Na úkor vyšších technologických nároků se očekává snížení množství použité oceli.

U výše zmíněné první a druhé varianty je posléze proveden podrobný statický výpočet. Ve třetí variantě je vzhledem k povaze konstrukce posudek proveden zjednodušenými výpočtovými metodami.

Výstupem této práce je, na základě dostatečně podrobných výpočtů, porovnání konstrukcí z hlediska proveditelnosti a ceny konstrukčního materiálu.

3 TECHNICKÁ ZPRÁVA

3.1 Charakteristika objektu

3.1.1 Funkce a tvar

Jedná se o lávku pro chodce, jež je spoučástí místní komunikace pro pěší. Konstrukce překlenuje místní vodní tok - Holoubkovský potok.

Konstrukce je tvarově variabilní v závislosti na variantě konstrukce, viz níže.

3.1.2 Nosná konstrukce

-VARIANTA Č.1 - KONSTRUKCE S PŘÍHRADOVÝMI NOSNÍKY

Hlavní nosné prvky jsou v tomto případě dva svislé příhradové nosníky, jež zároveň slouží jako bezpečnostní zábradelní prvek.

Horní tlačенý pás je z profilu TR 100x80x4,0 a dolní tažený pás je z profilu TR 150x100x5,0, svislice z profilu TR 100x100x5,0 a diagonály z profilu TR 40x40x4,0. Příhradové nosníky jsou k sobě připojeny příčnickami z profilu IPE 140.

Příčník a svislice společně tvoří příčný otevřený rám zajišťující stabilitu tlačného pásu.

Konstrukce je v horizontální rovině ztužena táhly kruhového průřezu o průměru 8 mm.

Na příčnicích jsou situovány 4 nosníky z profilů UPE, které přenášejí zatížení ze svrchní pochozí vrstvy.

Ta je řešena pororošty STACO o rozměrech nosných pásků 50x4 mm.

-VARIANTA Č.2 - KONSTRUKCE SE STŘEDOVÝM NOSNÍKEM KRUHOVÉHO PRŮŘEZU

Hlavním nosným prvkem je dutá kruhová trubka TR 406,4x12,5 umístěná pod konstrukcí nesoucí pochozí vrstvu z ocelových pororoštů STACO s rozměry nosných pásků 50x5 mm.

Pororošty jsou uloženy na diagonálních nosnicích z profilů TR 80x50x4,0.

Krajní nosníky jsou z profilů TR 160x80x5,0.

Diagonální nosníky jsou na vzájemných spojích a spojích s krajními nosníky podepřeny vzpěrami z trubkových profilů TR 60x40x4,0.

Vzpěry jsou na druhém konci navařeny na hlavní nosník tak, že osa vzpěr je tečnou ke střednici profilu kruhové trubky.

Zábradlí je uloženo na krajních nosnicích. V místě styku je spoj ztužen styčnickovým plechem.

-VARIANTA Č.3 - KONSTRUKCE SE STŘEDOVÝM NOSNÍKEM KRUHOVÉHO PRŮŘEZU

Jednoduchá spřažená ocelobetonová konstrukce o třech nosnicích. Profil ocelových prvků IPE 240 je spřažen pomocí spřahovacích trnů délky 80 mm s železobetonovou deskou o tloušťce 120 mm.

Zábradlí je kotveno do betonové desky pomocí vhodných kotevních šroubů a chemické malty.

3.1.3 Spodní stavba

Lávka je uložena na dvou identických protihlehlých želožobetonových mostních opěrách. Základová spára opěr se nachází pod úrovní dna potoka. Opěry jsou způsobilé přenášet účinky svislého i vodorovného zatížení do základové pudy.

3.1.4 Vliv na sousední objekty

Konstrukce nemá žádný omezující vliv na okolní prostředí.

3.2 Uložení objektu na mostní opěry

V případě varianty č.1 a č.2, je ocelová konstrukce uložena na základové patky pomocí ocelových čepů.

V případě varianty č.3 je spřažená ocelobetonová konstrukce uložena na elastomerových ložiskách o rozměrech 150x100 mm.

3.3 Použité materiály

3.3.1 Ocel

Konstrukční ocel dle ČSN EN 1993-1-1:2006 dle EN 10025-2; Třída oceli podle ČSN EN 10027.

Pororošty - legovaná nerezová ocel dle ČSN 11373, S235JR - EN10025-1.

Třída oceli	f_y [Mpa]	f_u [Mpa]	f_y [Mpa]	f_u [Mpa]	E_s [Gpa]
Tloušťka [mm]	<40		40 - 80		
S235 J2	235	360	215	360	210
S355 J2	355	490	335	470	210

Poissonova konstanta - 0,3 [-]

Součinitel tepelné roztažnosti - $12 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$

3.3.2 Šrouby

Třída šroubu	f_{yb} [Mpa]	f_{ub} [Mpa]
5.6	500	300

3.3.1 Beton

Dle ČSN EN 206.

Beton použitý na ocelobetonovou spřaženou konstrukci :

C30/37 - XD3, XF4

Ošetřování betonu je nutno zahájit bezprostředně po ztuhnutí. Je třeba dbát na zabránění odpařené záměsové vody a dále je nutno doplnit kropením vodu spotřebovanou hydratací. Poté je třeba beton zakrýt mokrou geotextilií.

3.3.2 Vázaná výztuž

Třída B - ocel B500B.

Ocel musí splňovat podmínky normy ČSN 42 0139 Ocelářská výztuž do betonu

3.4 Ochrana oceli

Ocelovou konstrukci je nutno chránit před korozí. Ta může vzniknout několika způsoby. Stupeň korozní aktivity je stanoven

C3 - pro městské a průmyslové prostředí.

Konstrukce bude mít v případě varianty č.1 a č.2 protikorózní ochranu žárovým zinkováním o minimální tloušťce 85 μm , čímž se zvýší její životnost. Žárové zinkování nevyžaduje žádné dodatečné úpravy.

V případě č. 3 bude konstrukce opatřena nátěrem. Ten bude třeba v průběhu své životnosti minimálně jednou obnovit.

Všechny svary musí být provedeny před pokovením v zinkové lázni. Provádění svarů po galvanizaci naruší ochrannou vrstvu zinku a konstrukce nebude v místech svarů chráněna.

U dutých profilů je třeba pamatovat na přítokové a odtokové otvory.

3.5 Dilatace konstrukce

Dilatace je umožněna pomocí oválných děr v čepových ložiscích, případně dostatečnou vůlí v příčném směru.

V případě varianty č.3 je dilatace umožněna elastomerovými ložisky o vhodné tloušťce.

Ve variantním řešení č.2 a č.3 zábradlí netvoří nosnou konstrukci a musí tak být zajištěno jeho nespolutůsobení s vozovkou a vyvarování se jeho následné deformaci.

4 STATICKÝ NÁVRH A POSOUZENÍ - OBECNĚ

4.1 Rozsah statického návrh a posouzení

Statický návrh a posouzení zahrnuje kompletní návrh a posouzení tří variantních řešení lávky. Pro každý prvek v návrhu jsou metodicky výjádřeny vnitřní síly pomocí výpočetního programu Scia Eng. Pomocí softwaru jsou také prvky předběžně navrženy a na základě návrhu ze zmíněného softwaru jsou prvky posouzeny. Každému variantnímu řešení je následně věnována samostatná kapitola.

4.2 Zatížení

Uvažovaná zatížení se liší pro každou variantu.
Jsou upřesněna vždy pro každou variantu zvlášť.

4.3 Kombinace zatížení

Dle ČSN EN 1990.

Klíč kombinace pro dočasné či trvalé návrhové stavy při posouzení mezního stavu únosnosti.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10)$$

alternativně použijeme

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \\ \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \end{array} \right. \quad (6.10a)$$

$$\left. \begin{array}{l} \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \end{array} \right\} \quad (6.10b)$$

Návrhové situace (6.10a) a (6.10b) vedou k hospodárnějším výsledkům.

Klíč kombinace pro mimořádnou návrhovou situaci při posouzení mezního stavu únosnosti.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + (\psi_{1,1} \text{ nebo } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (6.11b)$$

Klíč kombinace pro návrhovou situaci při posouzení mezního stavu použitelnosti.

Mezní stav budeme posuzovat při charakteristické kombinaci zatížení.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.14b)$$

Uvažované součinitelé spolehlivosti:

$$\begin{array}{ll} \gamma_G = 1,35 & \dots \text{ pro stálé zatížení nepříznivé} \\ \gamma_Q = 1,35 & \dots \text{ pro proměnné zatížení - zatížení dopravou a chodci} \end{array}$$

Uvažované kombinační součinitele :

ZATÍŽENÍ	ZNAČKA	$\psi_{,0}$	$\psi_{,1}$	$\psi_{,2}$
Zatížení dopravou	gr1	0,40	0,40	0
	Q_{fw}	0	0	0
	gr2	0	0	0
Zatížení větrem	F_w	0,3	0,2	0
Zatížení teplotou	T_k	0,6	0,6	0,5

Uvažovaný redukční součinitel:

$$\xi = 0,85 \quad \dots \text{ pro stále zatížení v kombinaci (6.10b)}$$

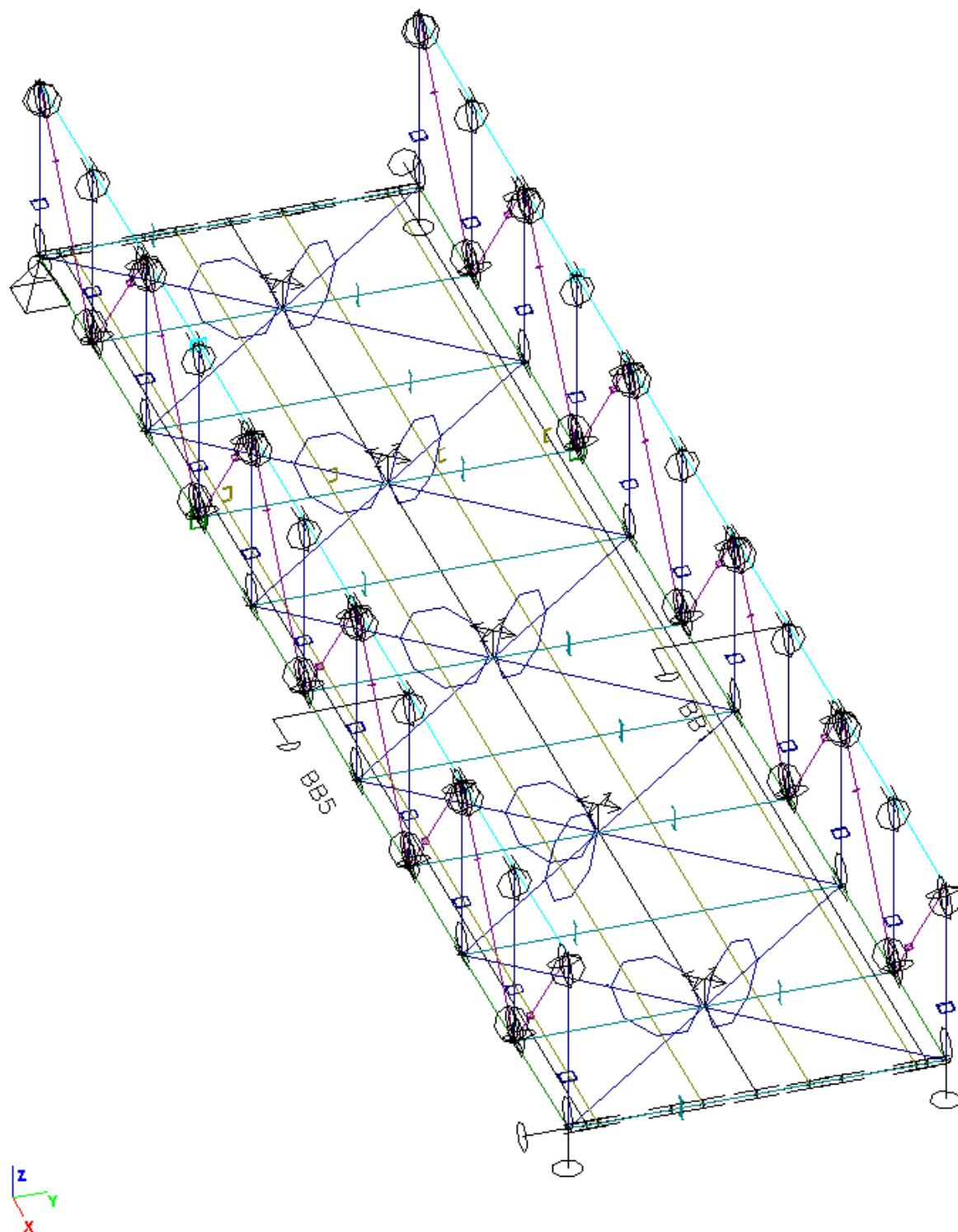
4.4 Vnitřní síly

Vnitřní síly jsou ve variantě č.1 a č.2 převzaty z výpočetního programu SCIA Eng. 2016. Pokud tomu není jinak, jsou uvané síly vždy z nejkritičtější kombinace a v nejjritičtějším místě průřezu posuzovaného prvku.

Ve variantě č.3 jsou vnitřní síly vypočítány ručně.

5 VARIANTA Č.1 - KONSTRUKCE S PŘÍHRADOVÝMI NOSNÍKY

5.1 Výpočtový model



5.2 Uvažovaná zatížení

5.2.1 Vlastní tíha

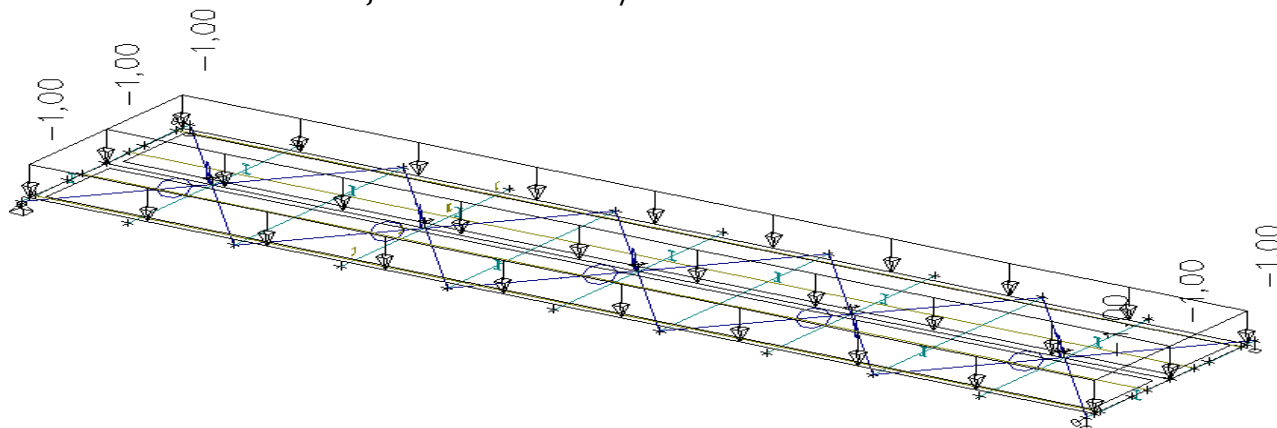
Jde o tíhu konstrukce uvažované ve výpočetním modelu.

5.2.2 Ostatní stálé - G_k

Pochozí vrstva - pororošty Staco - TYP A, rozm. nosných pásků 50x6 mm.

Hmotnost roštů je 70 kg/m^2 .

Uvažované zatížení je s rezervou 1 kN/m^2



5.2.3 Proměnné zatížení

Užitné rovnoměrné - g_{r1}

Uvažujeme rovnoměrné zatížení chodci o hodnotě

$$q_{fk} = 5,0 \text{ kN/m}^2.$$

(dle ČSN 1991 - 2.)

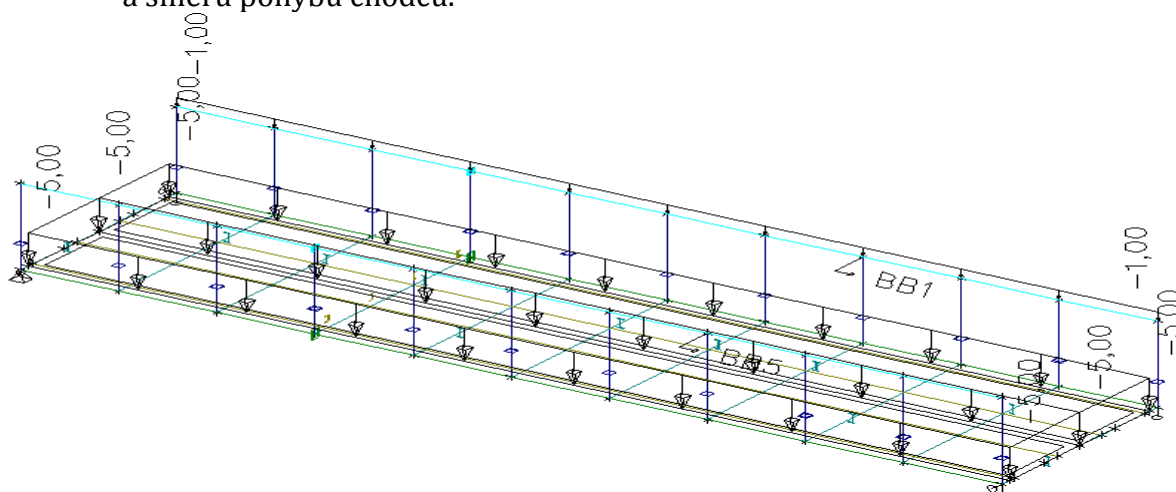
Tato hodnota zatížení uvažuje dav lidí a zahrnuje již dynamický součinitel.

Zároveň zatěžovací model uvažuje vodorovné zatížení od chodců působící

ve stejné ploše o hodnotě

$$q_{flk} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

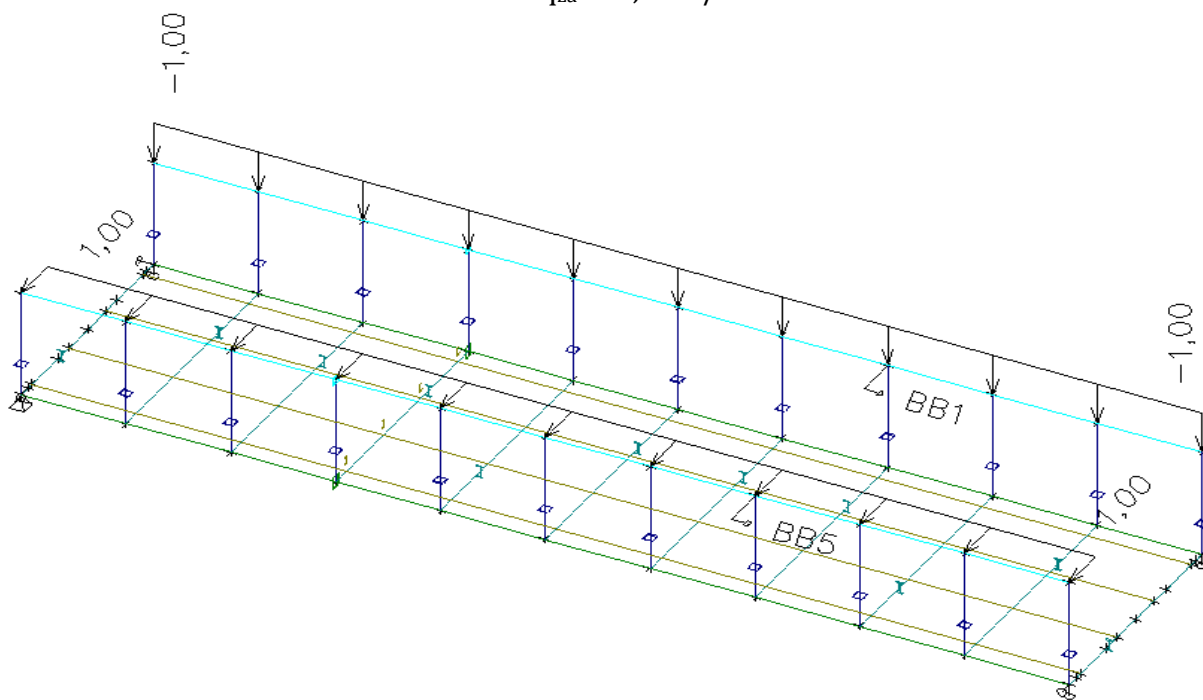
a směru pohybu chodců.



Zábradlí je zatíženo vodorovným nebo svislým líniovým zatížením v horní hraně zábradlí.

Jeho hodnota je

$$q_{za} = 1,0 \text{ kN/m.}$$

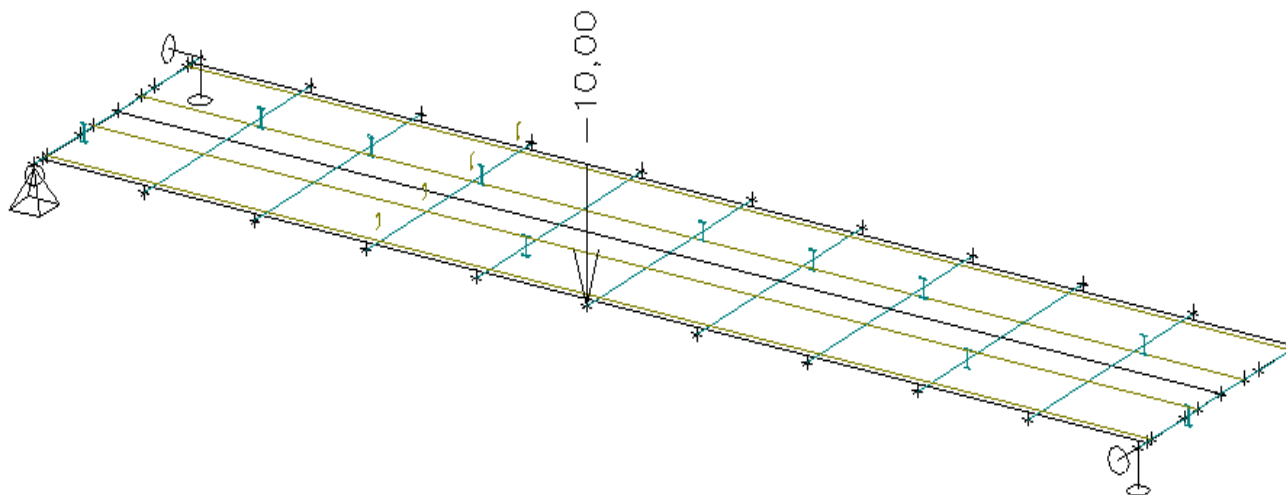


Užitné bodové- Q_{wk}

Hodnota bodového zatížení

$$Q_{wk} = 10,0 \text{ kN}$$

(dle ČSN 1991 - 2.).



5.2.4 Klimatická zatížení

Vítr - Příčný - F_w

Zatížení větrem je uvažováno pouze od větru působícího rovnoběžně se šířkou mostu, resp. kolmo na rozpětí mostu.

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot A_{\text{ref},x} \text{ [kN]}$$

Abychom lépe vystihli zatížení větrem na lávku, nahradíme sílu liniovým zatížením.

$$f_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot h_{\text{ref}} \text{ [kN/m]}$$

ρ měrná hmotnost vzduchu = 1,25 kg/m³

v_b základní rychlost větru

$$v_b = C_{\text{dir}} \cdot C_{\text{season}} \cdot v_{b,0}$$

$$C_{\text{dir}} = 1,0$$

$$C_{\text{season}} = 1,0$$

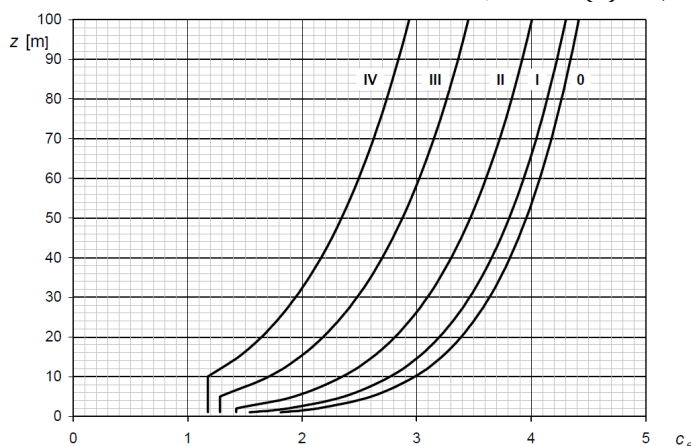
$$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$$

(větrná oblast II.

, kategorie terénu II. - oblast s nízkou vegetací

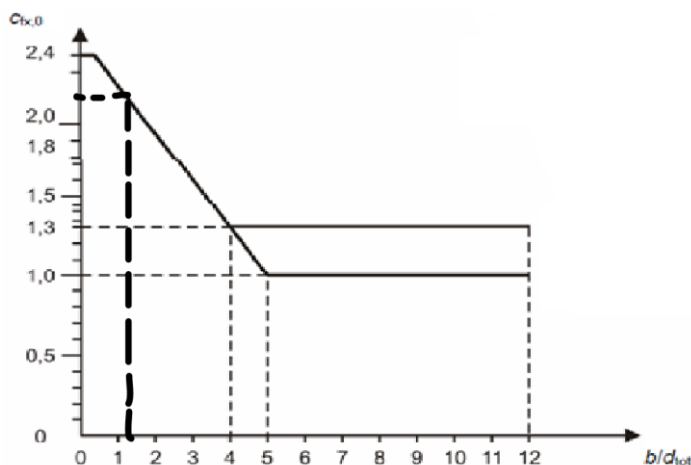
a izolovanými překážkami)

C součinitel zatížení větrem, $C = c_e(z) \cdot c_{f,x}$



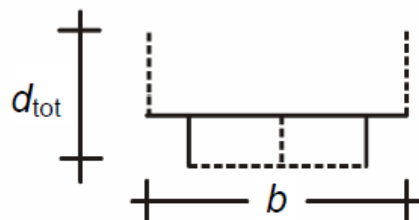
$$z = 2,0 \text{ m}$$

$$c_e(2,0) = 1,4$$



$$c_{f,x,0} = 2,15$$

Závisí na tvaru konstrukce :



$$b = 2,6 \text{ m}$$

$$d_{\text{tot}} = 2,1 \text{ m}$$

(uvažujeme, že lávka je zatížena dopravou, resp. davem osob o výšce odpovídající výšce průměrného člověka, tedy 1,8m a výška pochozí nosné konstrukce 0,3 m)

$$b / d_{\text{tot}} = 2,6 / 2,1 = 1,24$$

h_{ref} referenční výška konstrukce dle tab. 8.2

Silniční záchytný systém	Na jedné straně	Na obou stranách
Prodyšné zábradlí nebo svodidlo se svodnicí	$d + 0,3 \text{ m}$	$d + 0,6 \text{ m}$

$$h_{\text{ref}} = d + 0,6$$

d výška samotné mostovky = 0,3 m

$$v_b = C_{\text{dir}} \cdot C_{\text{season}} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = 25 \text{ m/s}$$

$$C = c_e(z) \cdot c_{f,x} = 1,4 \cdot 2,15 = 3,05$$

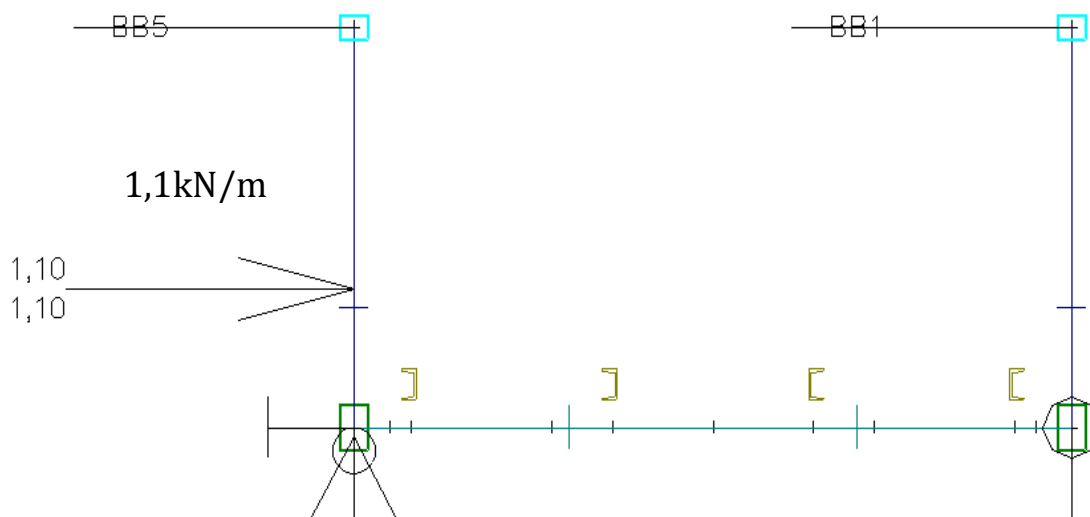
$$h_{\text{ref}} = d + 0,6 = 0,6 + 0,3 = 0,9 \text{ m}$$

$$f_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot h_{\text{ref}} = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 \cdot 3,05 \cdot 0,9 = 1073 \text{ N/m} = \underline{1,1 \text{ kN/m}}$$

Zatížení f_w [kN/m] uvažujeme v celé délce lávky.

S přihlédnutím k rozložení zatěžovacích ploch liniové zatížení uvažujeme 0,5 m nad spodní hranou konstrukce.

Sání větru zanedbáváme.



Teplota - T_K

Je uvažované pouze rovnoměrné zatížení konstrukce teplotou. Ostatní zatížení teplotou, jako např. nerovnoměrné jsou zanedbány.

Při zatížení teplotou se vychází z přibližné průměrné roční teploty v místě stavby, kterážto je rovněž uvažována jako teplota, při které byla konstrukce montována.

$$T_0 = 15^\circ\text{C}.$$

Typ konstrukce : I. typ

$$T_{\min} = -32^\circ\text{C}$$

$$T_{\max} = 40^\circ\text{C} \quad (\text{dle ČSN EN 1991-5, NA})$$

$$T_{e,\max} = T_{\max} + 16^\circ\text{C} = 56^\circ\text{C}$$

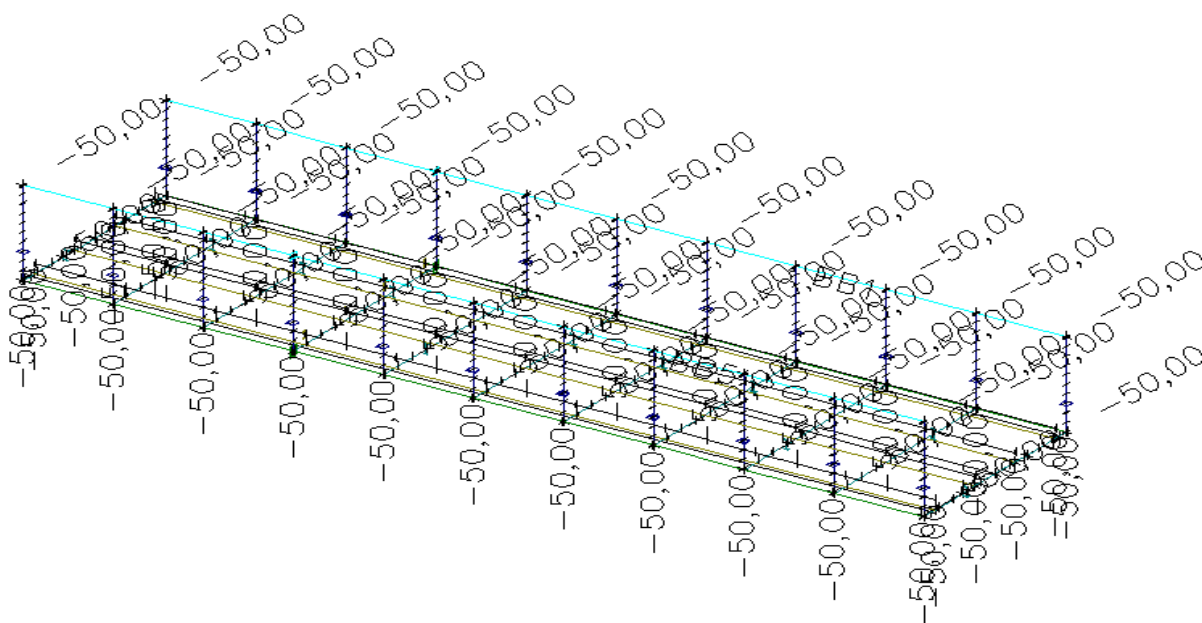
$$T_{e,\min} = T_{\min} - 3^\circ\text{C} = -35^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{N,\text{con}} = T_0 - T_{e,\min} = 15 - (-35) = 50^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{N,\text{exp}} = T_{e,\max} - T_0 = 56 - 15 = 41^\circ\text{C}$$

Pro zatížení teplotou uvažujeme charakteristickou hodnotu maximálního rozsahu zkrácení vlivem rovnn. složky teploty

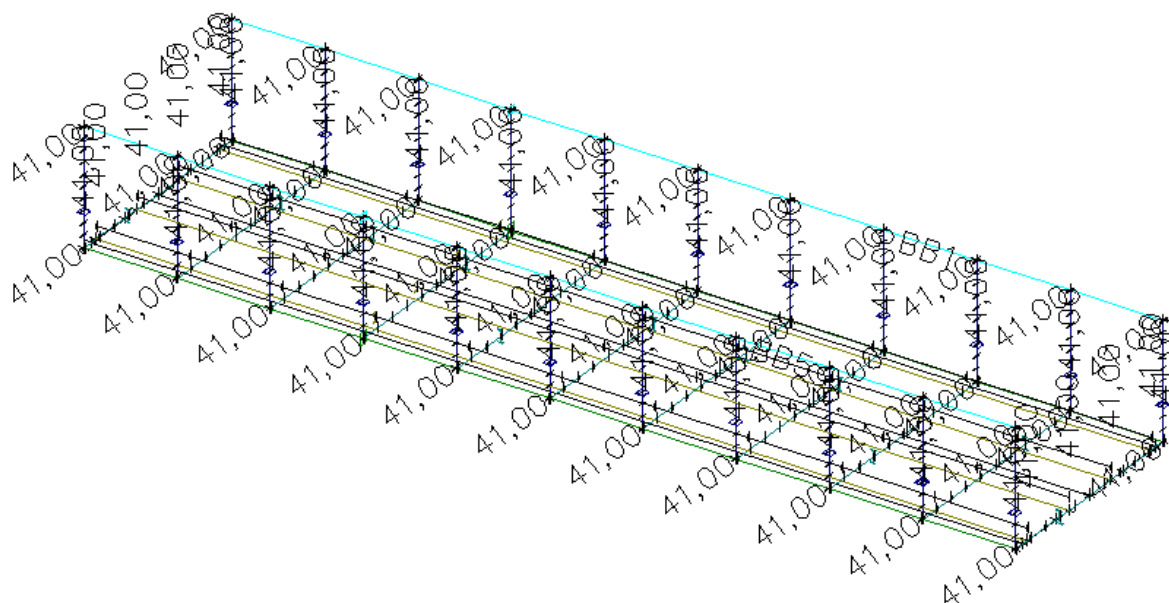
$$\Delta T_{N,\text{con}} = 50^\circ\text{C}.$$



Pro zatížení teplotou uvažujeme charakteristickou hodnotu maximálního rozsahu roztažení vlivem rovnn. složky teploty

$$\Delta T_{N,\text{exp}} = 41^\circ\text{C}.$$

(doporučené hodnoty dle ČSN 1991-1-5)



5.2.5 Mimořádní zatížení - sanitní vuz - A_{sv}

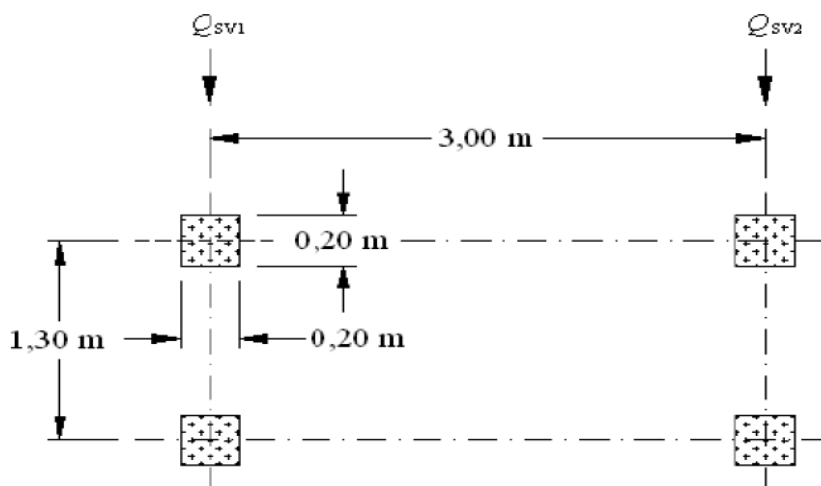
Navrhované vozidlo je zadáno objednatel.

Hodnotu dynamického součinitele uvažujeme $\varphi = 1,0$.

Konstrukce je prostý nosník o jednom poli.

Pomocí Winklerova kritéria je získána poloha vozidla na lávce, ve kterém vyvozuje nejkritičtější zatížení.

Schéma uvažovaného zatížení (dle ČSN 1991 - 2) :



kde $Q_{sv1} = 24,0$ kN a $Q_{sv2} = 12,0$ kN.

Zároveň zatěžovací model uvažuje vodorovné zatížení od brzdícího vozidla působící ve stejné ploše o hodnotě

$$Q_{flk1} = 0,6 \cdot Q_{sv1} = 14,4 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{flk2} = 0,6 \cdot Q_{sv2} = 7,2 \text{ kN/m}^2$$

a směru pohybu vozidla.

Poloha 1. - Největší ohybový moment

Výslednice R :

$$R = Q_{sv1} + Q_{sv2}$$

$$R = 24 + 12 = 36 \text{ kN}$$

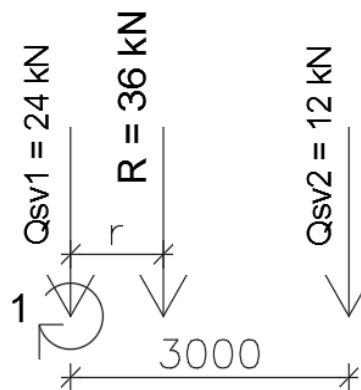
Kritická síla :

$$Q_{sv1} > R/2$$

$$24 \text{ kN} > 36/2 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow Q_{sv1} \text{ je kritické}$$

břemeno

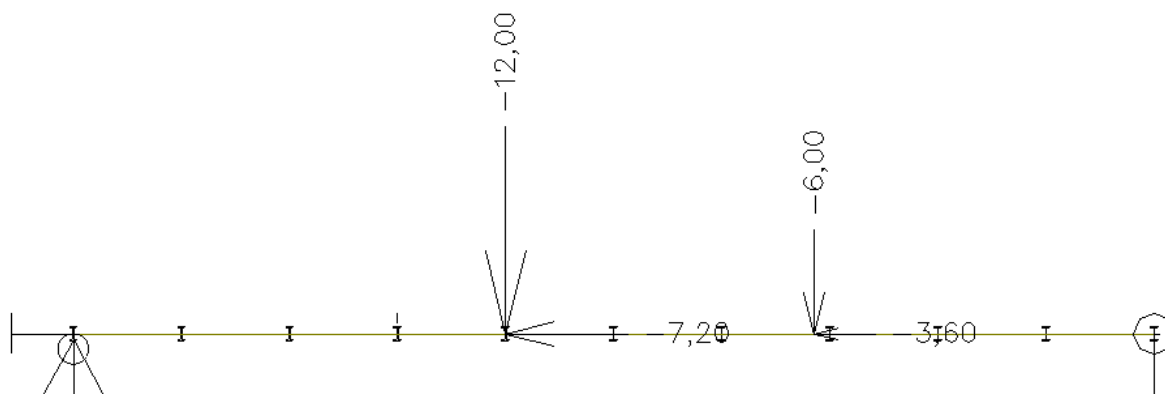
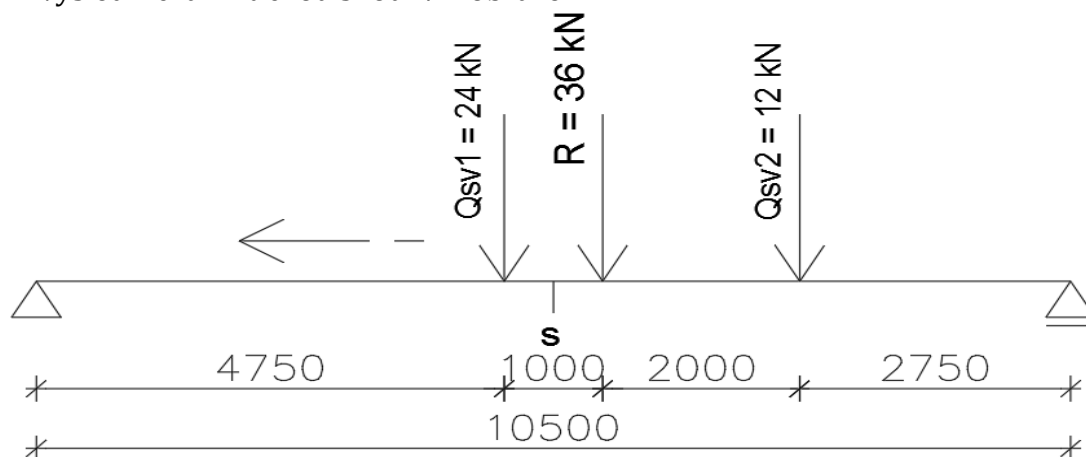


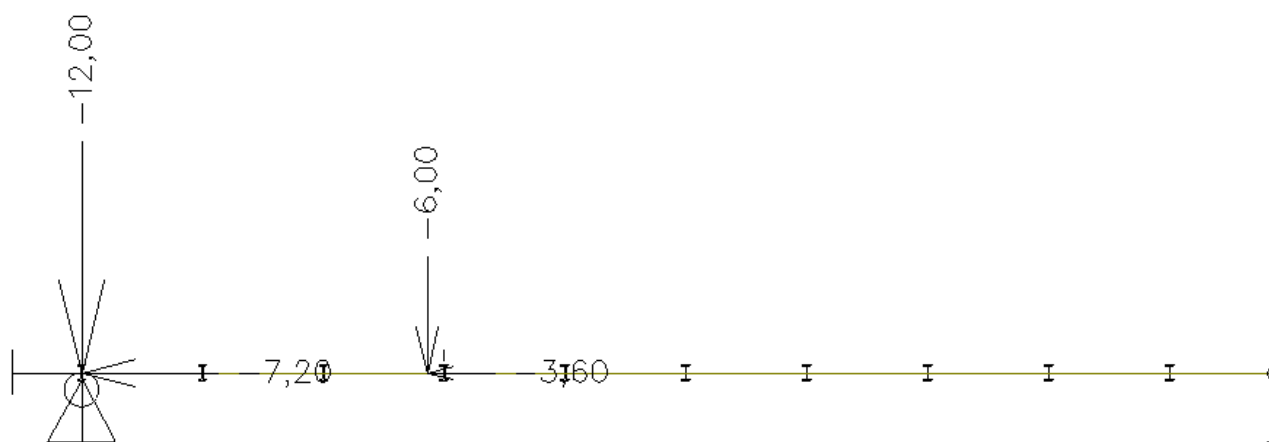
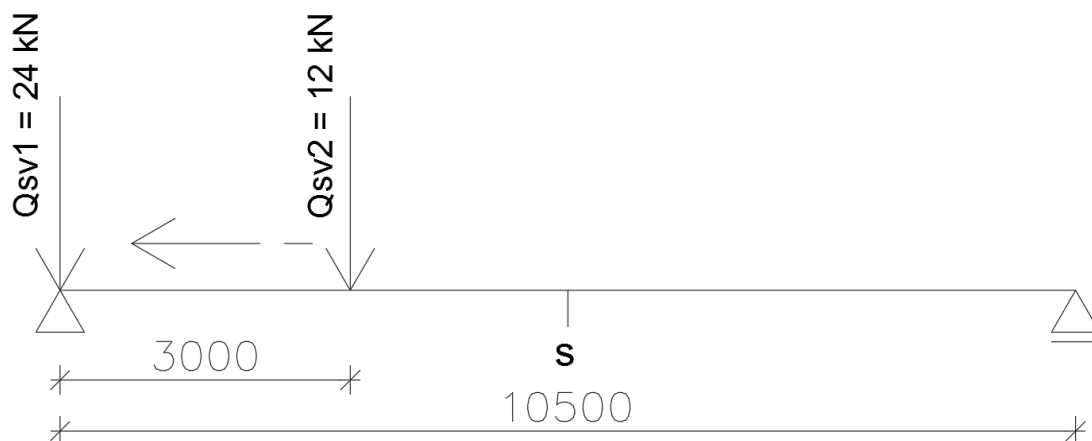
Poloha výslednice :

$$1: r = \frac{Q_{sv2} \cdot 3000}{R}$$

$$r = \frac{12 \cdot 3000}{36} = 1000 \text{ mm} = 1 \text{ m}$$

Soustava břemen je umístěna tak, aby střed nosníku (s) půlil vzdálenost mezi výslednicí a kritickou silou. Viz obrázek :



Poloha 2. - Největší posouvací síla

Vozidlo je v poloze, kdy se přední náprava nachází těsně před podporou nosníku.

V příčném směru je zatížení (resp. sanitní vozidlo) umístěno tak, aby působí síly od kol na jedné straně působilo přímo nad podélným nosníkem.

Pokud je třeba uvažujeme i vozidlo v poloze, kdy je působí síly od přední nápravy nad styčným podélného nosníku a příčného rámu.

5.3 Zatěžovací stavy

ZS	Popis
LC1	Vlastní tíha
LC2	Ostatní stálé
LC3	Užitné rovnoměrné
LC4	Užitné bodové - 10 kN - Q_{fvk}
LC5	Vz - Sanitní vůz
LC6	My - Sanitní vůz
LC7	Vítr Příčný - F_w
LC8	Oteplení
LC9	Ochlazení

5.4 Kombinace zatížení

Mezní stav únosnosti

Zatížení teplotou a větrem se neuvažuje současně. Objekt se nenachází v místě s místě s tak markantním vlivem klimatických podmínek.

Souhrn uvažovaných kombinací zatěžovacích stavů pro trvalé či dočastné návrhové situace :

Kombinace	Stálá nepříznivá	Hlavní proměnné	Vedlejší proměnné	
			nejúčinnější	ostatní
MSU1	$1,35 \times G_k$	$1,35 \times 0,4 \times LC3$	$1,5 \times 0,3 \times F_w$	-
MSU2	$0,85 \times 1,35 \times G_k$	$0,85 \times 1,35 \times LC3$	$1,5 \times 0,3 \times F_w$	-
MSU3	$0,85 \times 1,35 \times G_k$	$1,35 \times 0,4 \times LC3$	$1,5 \times F_w$	-
MSU4	$1,35 \times G_k$	$1,35 \times 0,4 \times LC3$	$1,5 \times 0,6 \times T_c$	-
MSU5	$0,85 \times 1,35 \times G_k$	$1,35 \times LC3$	$1,5 \times 0,6 \times T_h$	-
MSU6	$0,85 \times 1,35 \times G_k$	$1,35 \times 0,4 \times LC3$	$1,5 \times 0,6 \times T_c$	-
MSU7	$0,85 \times 1,35 \times G_k$	$1,35 \times 0,4 \times LC3$	$1,5 \times T_c$	-
MSU8	$0,85 \times 1,35 \times G_k$	$1,35 \times 0,4 \times LC3$	$1,5 \times T_h$	-
MSU9	$1,35 \times G_k$	$1,35 \times 0,4 \times LC3$	$1,5 \times 0,6 \times T_h$	-
MSU10	$1,35 \times G_k$	$1,35 \times LC4$	-	-

$G_k \dots LC1+LC2$

$T_c = -|\Delta T_{N,con}|$

$T_h = \Delta T_{N,exp}$

LC4 - Užitné bodové 10kN - Q_{fvk} , se nekombinuje s větrem ani teplotou.

Souhrn uvažovaných kombinací zatěžovacích stavů pro mimořádné návrhové situace :

Kombinace	Stálá - nepříznivá	Mimořádné zatížení	Vedlejší proměnné	
			nejúčinnější	ostatní
Mim1	$1,00 \times G_k$	$1,00 \times LC6$	$0,2 \times F_w$	-
Mim2	$1,00 \times G_k$	$1,00 \times LC5$	$0,2 \times F_w$	-
Mim3	$1,00 \times G_k$	$1,00 \times LC6$	$0,6 \times T_h$	-
Mim4	$1,00 \times G_k$	$1,00 \times LC6$	$0,6 \times T_c$	-
Mim5	$1,00 \times G_k$	$1,00 \times LC5$	$0,6 \times T_h$	-
Mim6	$1,00 \times G_k$	$1,00 \times LC5$	$0,6 \times T_c$	-

$G_k \dots LC1+LC2$

$T_c = -|\Delta T_{N,con}|$

$T_h = \Delta T_{N,exp}$

Mezní stav použitelnosti

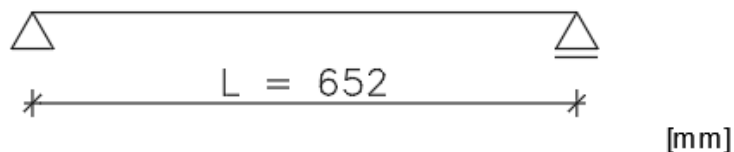
Souhrn uvažovaných kombinací zatěžovacích stavů pro mezní stav použitelnosti.

Kombinace	Stálá nepříznivá	Hlavní proměnné	Vedlejší proměnné	
			nejúčinnější	ostatní
MSP1	$1,35 \times G_k$	LC3	$0,3 \times F_w$	-
MSP2	$1,35 \times G_k$	F_w	$0,4 \times LC3$	-

5.5 Statický návrh a posouzení

5.5.1 Návrh pochozích pororoštů.

Typ a rozměry roštu jsou navrženy dle technických listů výrobce.



Výsek technického listu výrobce STACO :

Rozměry nosného pásu	Rozpětí mezi podporami [mm]			
		500	600	700
40 x 5	F_V	20475	14219	10446
	f_v	0,10	0,14	0,19
	F_p	1670	1336	1113
	f_p	0,10	0,14	0,18
50 x 3	F_V	19200	13333	9796
	f_v	0,08	0,11	0,16
	F_p	1542	1234	1028
	f_p	0,08	0,11	0,15
50 x 4	F_V	25590	17771	13056
	f_v	0,08	0,11	0,16
	F_p	2055	1644	1370
	f_p	0,08	0,11	0,15

F_V = přípustné rovnoměrné zatížení (kg/m^2)

f_v = průhyb (f_v) v cm při zatížení F_V

F_p = přípustné zatížení osamělým břemenem (F_p) v kg
plocha zatížení 200x200 mm

f_p = průhyb (f_p) v cm při zatížení F_p

Rozhoduje zatížení osamělým břemenem

$F_p = 1200 \text{ kg}$ (odpovídá bodovému zatížení od sanitního vozu)

NÁVRH : STACO, svařované pororošty TYP A, rozm. nosného pásu 50x4 mm

$$F_p < F_{p,\max}$$

$$1200 \text{ N} < 1370 \text{ N}$$

VYHOVÍ

5.5.2 Posouzení podélníku

Materiál

S355 J2

$f_y = 355 \text{ MPa}$

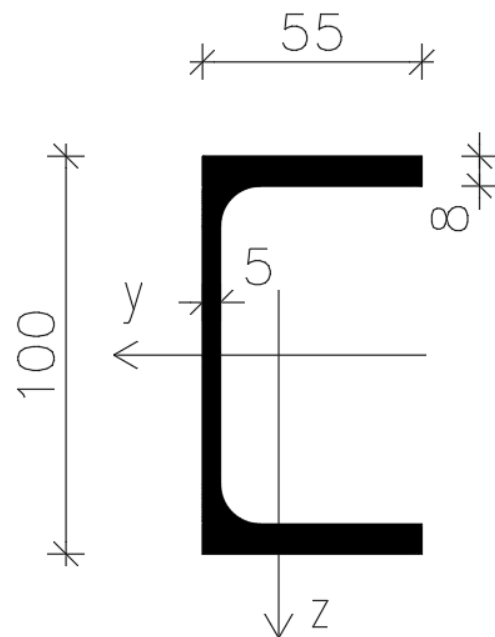
$E = 210 \text{ GPa}$

$G = 81000 \text{ MPa}$

Charakteristika průřezu

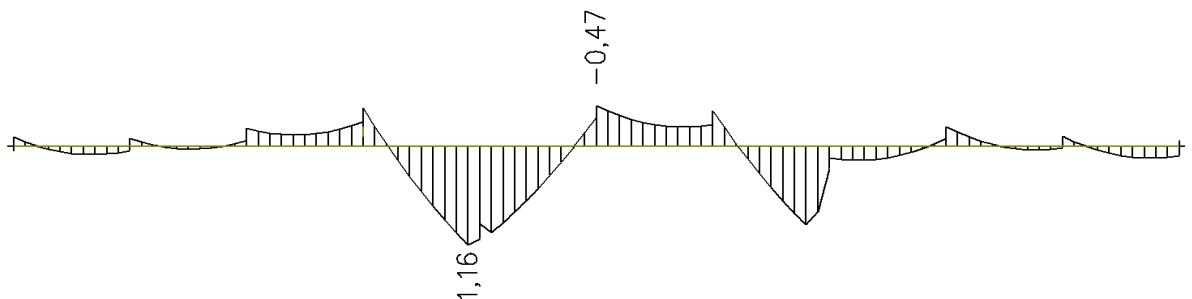
UPE 100

$$\begin{aligned}
 t_f &= 7,5 \text{ mm} & I_y &= 2,06 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \\
 t_w &= 4,5 \text{ mm} & I_z &= 38,21 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 \\
 h &= 100 \text{ mm} & i_y &= 40,7 \text{ mm} \\
 b &= 55 \text{ mm} & i_z &= 17,5 \text{ mm} \\
 r &= 10 \text{ mm} & & \\
 A &= 1250 \text{ mm}^2 & I_t &= 2,01 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 \\
 & & I_w &= 530 \cdot 10^6 \text{ mm}^6 \\
 W_{pl,y} &= 48,01 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 & & \\
 W_{el,y} &= 0 \text{ mm}^3 & & \\
 W_{pl,z} &= 19,34 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 & & \\
 W_{el,z} &= 0 \text{ mm}^3 & &
 \end{aligned}$$

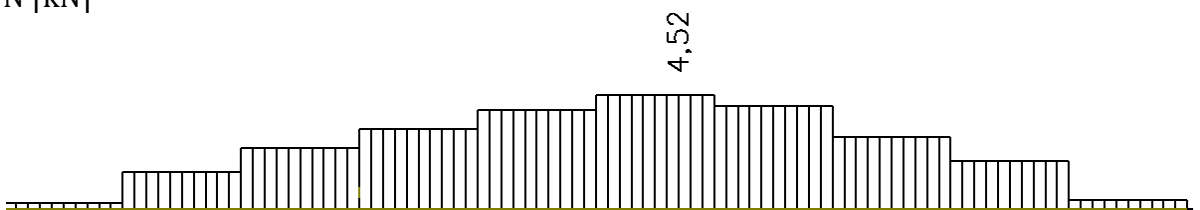


Vnitřní síly

My [kNm]



N [kN]



Pro nejkritičtější kombinaci zatížení. Zatěžovací stav MIM1.

$$N_{Ed} = 3,56 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 1,16 \text{ kNm}$$

Pro největší smyk. Osa nápravy vozidla nad příčným rámem.

$$V_{z,Ed} = 12,89 \text{ kN}$$

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} MPa} = 0,8136 \quad c = 65$$

$$t = 4,5$$

Vnitřní část

Tlačená část

$$\frac{c}{t} \leq 72 \cdot \varepsilon$$

$$14,44 \leq 58,82 \quad \text{TŘÍDA I.}$$

Přečnávající část pásnice

$$c = 40,5$$

$$t = 7,5$$

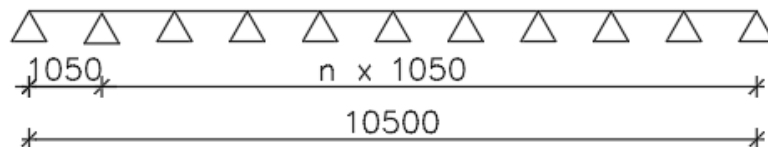
$$\frac{c}{t} \leq 72 \cdot \varepsilon$$

$$5,4 \leq 7,3225 \quad \text{TŘÍDA I.}$$

PRŮŘEZ TŘÍDY I.

POSOUZENÍ - MSÚ

Profil U je obecně náchylný ke klopení. Proto jej budeme posuzovat na zatížení ohybem při ztrátě stability.

**Smyková únosnost v místě šroubového spoje**

- p rozteč středů šroubů v sousedních řadách
- s vzdálenost středu dvou děr rovnoběžně s osou prutu
- n počet děr v lomené čáře
- x počet nevystřídáných děr (v jednom kolmém řezu)
- d_o průměr otvoru

$$p = 35 \text{ mm} \quad s = 50 \text{ mm} \quad m = 1 \quad n = 2 \quad d_o = 13 \text{ mm}$$

Plocha oslabení

$$\max \left(\left[\begin{array}{l} m \cdot d_o \cdot t_f \\ t_f \left(n \cdot d_o - \frac{s}{4 \cdot p} \right) \end{array} \right] \right) = 97,5 \text{ mm}^2$$

Smyková plocha

$$A_v = (A - 2 \cdot b \cdot t_f + t_w \cdot t_f + 2 \cdot r \cdot t_f) = 608,75 \text{ mm}^2$$

$$A_{eff} = 608,75 - 97,5 = 510,25 \text{ mm}^2$$

Návrhová únosnost

$$V_{Rd} = \frac{A_{eff} f_y}{\gamma_{M0} \sqrt{3}} = 1,0458 \cdot 10^5 \text{ N}$$

$$V_{z,Ed} = 12,89 \text{ kN}$$

$V_{Ed} < V_{Rd}$

$$12,89 \text{ kN} < 104,58 \text{ kN}$$

VYHOVÍ

Únosnost na ohyb při ztrátě stability

Posuzujeme v poli, blízko příčnicku.

$$L = 1,05 \text{ m}$$

Vzpěrnostní součinitelé

$$k_z = 1,0 \quad k_y = 1,0$$

Vzpěrné délky

$$L_{cr,y} = k_y L = 1,05 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = k_z L = 1,05 \text{ m}$$

Součinitelé pro klopení dle tab NB.3.2 (ČSN 1993-1-1)

$$C_1 = 0,96 \quad C_2 = 0,76$$

Souřadnice působíště zatížení vzhledem ke středu smyku

$$z_g = 37,1 \text{ mm}$$

Bezrozměrný parametr působíště zatížení vzhl. ke středu smyku

$$\zeta_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z L} \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = 0,7793$$

Součinitel vzpěrnosti pro klopení

$$k_w = 1$$

Bezrozměrný parametr kroucení

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = 0,7823$$

Bezrozměrný kritický moment

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \left(\sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \zeta_g)^2} - C_2 \zeta_g \right) = 1,1239$$

Kritický moment

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z G \cdot I_t}}{L} = 38,4 \text{ kNm}$$

Štíhlost při klopení

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = 0,6659$$

$$\frac{h}{b} = 1,8182 \quad \text{křivka klopení...d}$$

Součinitel imperfekce $\alpha_{LT} = 0,76$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left(1 + \alpha_{LT} (\lambda_{LT}^2 + 0,2) + \lambda_{LT}^2 \right) = 0,8988$$

Součinitel příčné a torzní stability

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} = 0,6656$$

Návrhový moment únosnosti při namáhání ohybem při ztrátě stability

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_{pl,y} \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 11,3443 \text{ kNm}$$

Únosnost na rovinný vzpěr

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_Y} \text{ MPa}} \quad \lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 76,3986$$

křivka klopení...d

Součinitel imperfekce $\alpha = 0,76$

KOLMO K Z-Z

$$\lambda_{cr,z} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = 60$$

$$\lambda_{-z} = \frac{\lambda_{cr,z}}{\lambda_1} = 0,7854$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\lambda_{-z} - 0,2) + \lambda_{-z}^2 \right] = 1,0308$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_{-z}^2}} = 0,5887$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_Y}{\gamma_{M1}} = 2,6126 \cdot 10^5 \text{ N}$$

Kombinace namáhání

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_Y = 17,0436 \text{ kNm}$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_Y = 4,4375 \cdot 10^5 \text{ N}$$

Ekvivalentní konstantní moment (dle TAB. B.3, ČSN 1993-1-1)

$$c_{my} = 1$$

Interakční součinitel

$$k_{YY} = c_{my} \cdot \left[1 + (\lambda_{-y} - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] = 1,0022$$

$$k_{YY} \leq c_{my} \cdot \left[1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right]$$

$$c_{my} \cdot \left[1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] = 1,0128$$

$$1,0022 < 1,0128$$

$$k_{YY} = 1,0022$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{YY} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0,2204$$

$$0,2204 \leq 1,00$$

VYHOVÍ

Profil U100 vyhoví.

5.5.3 Posouzení přípoje podélníku na příčník

Spojovací prvky

ŠROUB

M10 5.6

$$f_{yb} = 300 \text{ MPa}$$

$$f_{ub} = 500 \text{ MPa}$$

$$A = 113 \text{ mm}^2 \quad \text{průřez dříkem}$$

$$A_s = 84,3 \text{ mm}^2 \quad \text{průřez jádra šroubu}$$

$$d = 12 \text{ mm}$$

S355 J2

$$f_u = 490 \text{ MPa}$$

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

Vnitřní síly

$$V_{z, Ed} = 12,89 \text{ kN}$$

Rozteče, rozměry pro šrouby

$$t = 4,5 \text{ mm}$$

$$d_o = 13 \text{ mm}$$

$$e_1 = 25 \text{ mm}$$

$$e_2 = 25 \text{ mm}$$

$$p_1 = 35 \text{ mm}$$

$$p_2 = 50 \text{ mm}$$

POSOUZENÍ ŠROUBŮ

n počet šroubů

$$n = 2$$

 $a_v = 0,6$ tř. 5.6, rovina stříhu prochází závitem

Jedna střížná rovina.

STŘIH

$$F_{v, Rd} = \left(\frac{a_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} \right) \cdot n = 40,464 \text{ kN}$$

$$F_{v, Ed} = V_{z, Ed}$$

$$F_{v, Ed} = 12,89 \text{ kN}$$

$$F_{v, Ed} \leq F_{v, Rd}$$

$$12,89 \text{ kN} < 40,464 \text{ kN}$$

VYHOVÍ

OTLAČENÍ a_b

šrouby na konci

$$\min \left(\begin{array}{c} \frac{e_1}{3 \cdot d_o} \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \\ 1,0 \end{array} \right) = 0,641$$

$$a_b = 0,641$$

$$F_{b,Ed} = V_{z,Ed}$$

$$F_{b,Ed} = 12,89 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \left(\frac{k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} \right) = 33,9217 \text{ kN}$$

$$F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$12,89 \text{ kN} < 33,9217 \text{ kN}$$

VYHOVÍ k_1

šrouby u okraje

$$\min \left(\begin{array}{c} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_o} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right) = 2,5$$

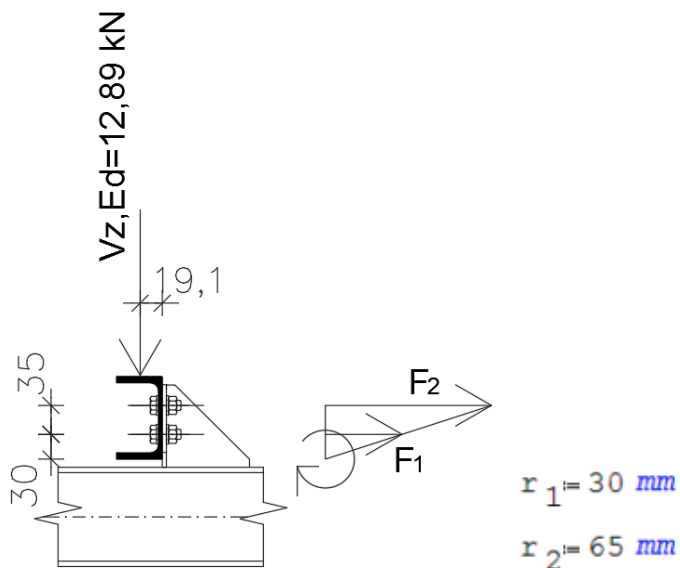
$$k_1 = 2,5$$

TAHVliv páčení zanedbáváme. $\gamma_p = 1,0$

Posouvací síla působí v těžišti podélníku

$$e_{V,z,Ed} = 19,1 \text{ mm}$$

Určení velikosti tahu od posouvající síly nejzatíženějšího šroubu



Momentová výminka

$$V_{z,Ed} \cdot e_{V,z,Ed} = F_1 \cdot r_1 + F_2 \cdot r_2$$

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot r_2}{r_1}$$

$$F_1 = \frac{V_{z,Ed} \cdot e_{V,z,Ed} \cdot r_1}{r_1 + r_2} = 1,4412 \text{ kN}$$

$$F_2 = 3,1225 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = F_2$$

$$F_{t,Ed} = 3,1225 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = Y_p \cdot \left(\frac{0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} \right) = 30,348 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$$

$$3,1225 \text{ kN} < 30,348 \text{ kN}$$

VYHOVÍ

KOMBINACE STŘÍH + TAH

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} = 0,392$$

$$0,392 < 1,0$$

VYHOVÍ

POSOUZENÍ SVARU

$$a_w = 3 \text{ mm}$$

$$L_{ws} = 90 \text{ mm}$$

Pro posouzení neuvažujeme ztužení rámového rohu.

 $\gamma_{M2} = 1,25$ unosnost šroubů, prvků v otláčení, svarů

Korelační součinitel

pro S355 $\beta_w = 0,9$ **Posouzení svaru stojiny**

Napětí od posuvací síly

$$\tau_r = \frac{V_{z,Ed}}{2 \cdot a_w \cdot L_{ws}} = 23,8704 \text{ MPa}$$

Napětí od ohybového momentu

Moment setrvačnosti svaru

$$I_w = 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot L_{ws}^3 \cdot a_w + 2 \cdot L_{ws} \cdot a_w \left(\frac{L_{ws}}{2} \right)^2 = 1,458 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Svar je nejvíce namáhán v nejvyšší místě

$$z_s = 90 \text{ mm}$$

$$\sigma_M = \frac{V_{z,Ed} \cdot e_{V,z,Ed}}{I_w} \cdot z_s = 15,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_k = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = 10,7462 \text{ MPa}$$

$$\tau_k = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = 10,7462 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_k^2 + 3 \cdot (\tau_k^2 + \tau_r^2)} = 46,5973 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 435,5556 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_k^2 + 3 \cdot (\tau_k^2 + \tau_r^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$46,60 \text{ MPa} < 435,55 \text{ MPa}$$

VYHOVÍ

$$\sigma_k \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

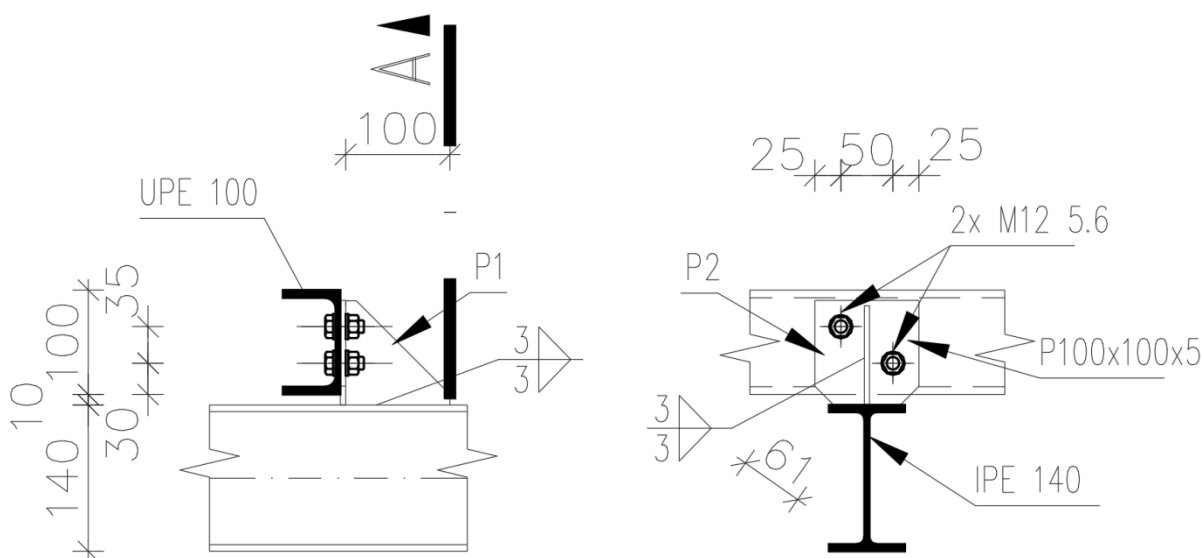
$$\sigma_k = 10,7462 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 392 \text{ MPa}$$

$$10,75 \text{ MPa} < 392,00 \text{ MPa}$$

VYHOVÍ

Spoj vyhoví.



5.5.4 Posouzení příčniku

Materiál

S355 J2

$f_y = 355 \text{ MPa}$

$E = 210 \text{ GPa}$

$G = 81000 \text{ MPa}$

$\gamma_{M0} = 1,00$

Charakteristika průřezu

IPE 140

$t_f = 6,9 \text{ mm}$

$t_w = 4,7 \text{ mm}$

$h = 140 \text{ mm}$

$b = 73 \text{ mm}$

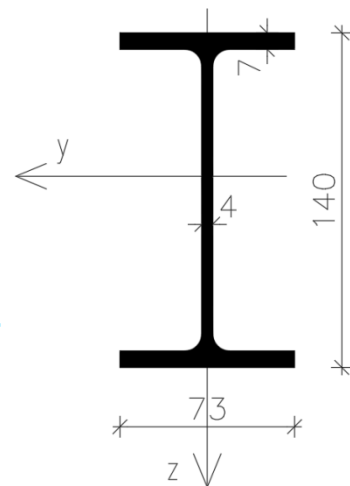
$r = 7 \text{ mm}$

$A = 1643 \text{ mm}^2$

$I_y = 5,41 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

$i_y = 57,4 \text{ mm}$

$W_{pl,y} = 88,34 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

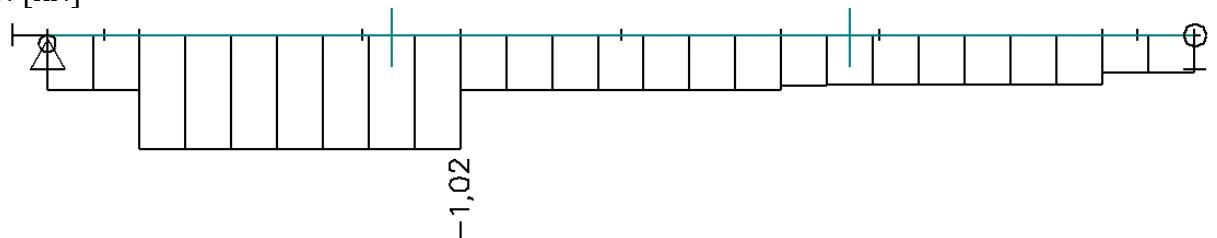


Vnitřní síly

Zatěžovací stav - MIM2

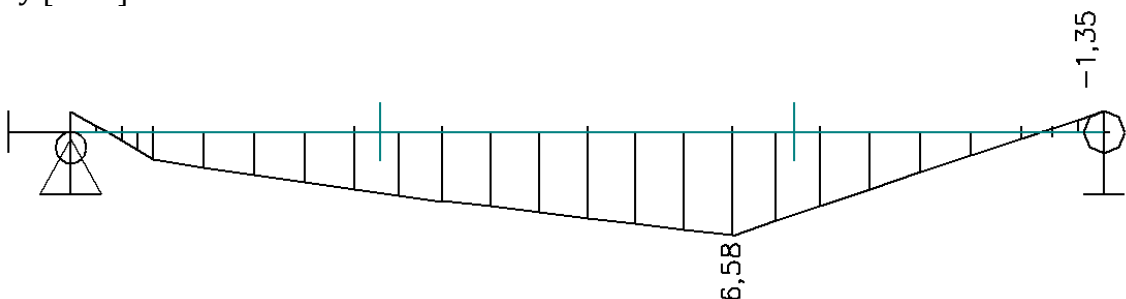
Pro posouzení ohybové únosnosti.

N [kN]



$N_{Ed} = 1,02 \text{ kN}$

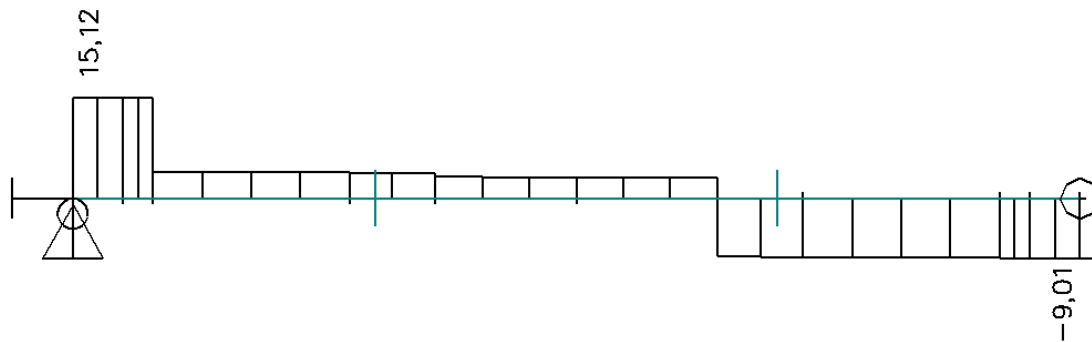
My [kNm]



$M_{y,Ed} = 5,2 \text{ kNm}$

Pro posouzení smykové únosnosti.

Vz [kN]



$$V_{z,Ed} = 15,12 \text{ kN}$$

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \text{ MPa} = 0,8136$$

Ohýbaní část

$$c = 112$$

$$\frac{c}{t} \leq 72 \cdot \varepsilon$$

$$t = 4,7$$

$$23,8 \leq 58,5$$

TŘÍDA I.

Přečnávající tlačená část

$$c = 27,1$$

$$\frac{c}{t} \leq 9 \cdot \varepsilon$$

$$t = 6,9$$

$$3,9 \leq 7,3$$

TŘÍDA I.

PRŮŘEZ TŘÍDA I.

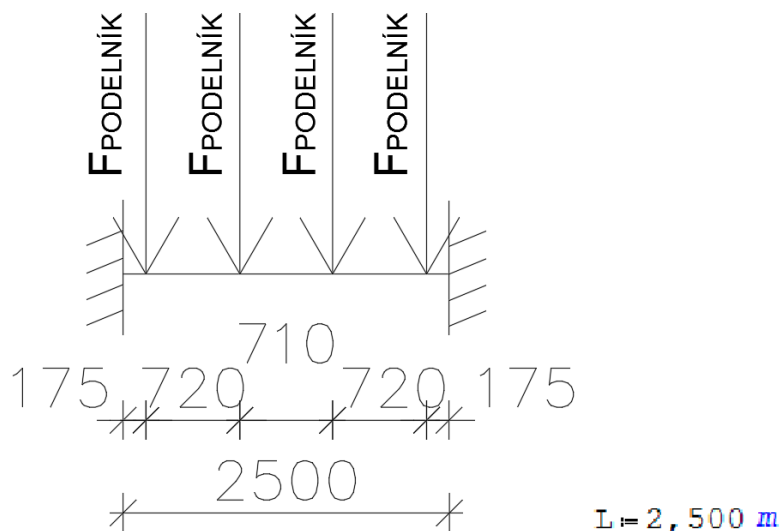
POSOUZENÍ -MSÚ

Do příčníků jsou přenášeny síly od dopravy přes podélníky. Přípoj je šroubový.

Nepřenáší tedy žádný moment do příčniku.

Příčnky jsou posuzovány z hlediska únosnosti smykové a momentové.

Příčný rám je navržený tak, aby byl dostatečně tuhý pro zachycení tlačeného pásu příhradového nosníku vůči vybočení z roviny.



Smyková únosnost

Smyk je posouzen v místě těsně u napojení přičle na svislici příhradového nosníku. Ztužující prvek rámového rohu je při posuzování zanedbán.

Smyková plocha

$$A_v = (A - 2 \cdot b \cdot t_f + t_w \cdot t_f + 2 \cdot r \cdot t_f) = 764,63 \text{ mm}^2 \quad \gamma_{M0} = 1,00$$

Návrhová únosnost

$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = 156,7181 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} < V_{Rd}$$

$$15,12 \text{ kN} \leq 156,72 \text{ kN}$$

VYHOVÍ

Únosnost při kombinaci zatížení

Pokud $V_{Rd} \leq 2 \cdot V_{Ed}$ je třeba redukovat momentovou únosnost

$$\frac{V_{Rd}}{2 \cdot V_{z,Ed}} = 5,1825$$

Jedná se o malý smyk,

není třeba redukovat moment

$$L_y = 2,5 \text{ m}$$

Vzpěrnostní součinitelé

$$\beta_y = 1,0$$

Vzpěrné délky

$$L_{cr,y} = \beta_y \cdot L_y = 2,5 \text{ m}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} \text{ MPa}} \quad \lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 76,3986$$

křivka vzpěrnosti...a

$$\text{Součinitel imperfekce } \alpha = 0,21$$

KOLMO K Y-Y

$$\lambda_{cr,y} = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = 43,554$$

$$\lambda_{-y} = \frac{\lambda_{cr,y}}{\lambda_1} = 0,5701$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot \left(1 + \alpha \cdot (\lambda_{-y} - 0,2) + \lambda_{-y}^2 \right) = 0,7014$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_{-y}^2}} = 0,901$$

$$\chi_{LT} = 1,0$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 583,265 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 31,3607 \text{ kNm}$$

Ekvivalentní konstantní moment (dle TAB. B.3, ČSN 1993-1-1)

$$C_{my} = 1,0$$

Interakční součinitel

$$k_{YY} = C_{my} \left[1 + (\lambda_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] = 1,0007$$

$$k_{YY} \leq C_{my} \left[1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right]$$

$$C_{my} \left[1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] = 1,0016$$

$$k_{YY} = 1,0007$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{YY} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0,1679$$

$$0,168 \leq 1,00$$

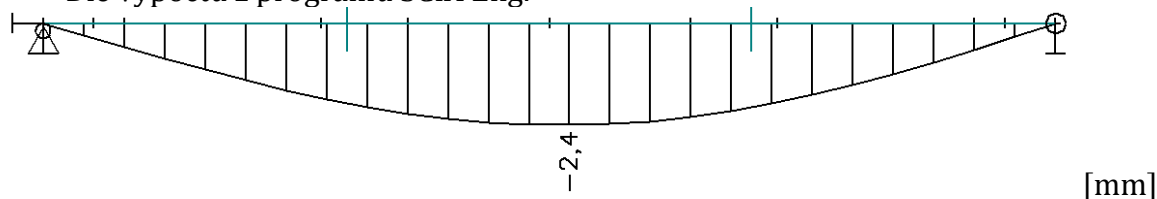
VYHOVÍ

Profil IPE 140 z hlediska únosnosti vyhoví.

Navržený průřez je z hlediska využití při posouzení na únosnost neekonomický. Příčnick je však součástí příčného ztužujícího otevřeného rámu, jenž má zásadní vliv na stabilitu tlačného příhradového pásu.

POSOUZENÍ -MSP

Dle výpočtu z programu SCIA Eng.



Průhyb je

$$\delta = 2,4 \text{ mm}$$

Maximální přípustný průhyb

$$\delta_{LIM} = \frac{L}{300} = 8,3333 \text{ mm}$$

$$\delta \leq \delta_{LIM}$$

$$2,4 \text{ mm} \leq 8,3 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

5.5.5 Posouzení svarového přípoje příčnicku na příhradový nosník

Spojovací prvky

S355 J2

$$f_u = 490 \text{ MPa}$$

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

Vnitřní síly

$$V_{z, Ed} = 15,12 \text{ kN}$$

$$M_{y, Ed} = 1,89 \text{ kNm}$$

Rozměry svarů

$$a_w = 3 \text{ mm}$$

$$L_{ws} = 112 \text{ mm}$$

$$L_{w1} = 73 \text{ mm}$$

$$L_{w2} = 26 \text{ mm}$$

POSOUZENÍ SVARU

Pro posouzení neuvažujeme ztužení rámového rohu.

$\gamma_{M2} = 1,25$ unosnost šroubů, prvků v otláčení, svarů

Korelační součinitel

pro S355 $\beta_w = 0,9$

Posouzení svaru stojiny

Napětí od posouvací síly

$$\tau_r = \frac{V_{z, Ed}}{2 \cdot a_w \cdot L_{ws}} = 22,5 \text{ MPa}$$

Napětí od ohybového momentu

Moment setrvačnosti svaru

$$I_w = 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot a_w \cdot L_{ws}^3 + 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot a_w \cdot L_{w1}^3 + 2 \cdot L_{w1} \cdot a_w \left(\frac{h}{2} - \frac{a_w}{2} \right)^2 + 4 \cdot \frac{1}{12} \cdot a_w \cdot L_{w2}^3 + 4 \cdot a_w \left(\frac{b - t_w}{2} \right) \left(\frac{h}{2} - t_f - \frac{a_w}{2} \right)^2 = 3,2931 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Svar je nejvíce namáhán na konci stojiny, svar v zaoblení neuvažujeme

$$z_s = 56 \text{ mm}$$

$$\sigma_M = \frac{M_{y, Ed}}{I_w} \cdot z_s = 32,14 \text{ MPa}$$

$$\sigma_k = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = 22,7264 \text{ MPa}$$

$$\tau_k = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = 22,7264 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_k^2 + 3 \cdot \left(\tau_k^2 + \tau_r^2 \right)} = 59,8725 \text{ MPa} \quad \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 435,5556 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_k^2 + 3 \cdot \left(\tau_k^2 + \tau_r^2 \right)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$59,88 \text{ MPa} < 435,55 \text{ MPa}$$

VYHOVÍ

Posouzení svaru pásnice

Nejvíce namáhaný svár nad horní pásnicí

$$z_p = 71 \text{ mm}$$

$$\sigma_M = \frac{M_{y, Ed}}{I_w} \cdot z_p = 40,75 \text{ MPa}$$

$$\sigma_k = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = 28,8139 \text{ MPa}$$

$$\tau_k = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = 28,8139 \text{ MPa}$$

$$\tau_r = 0$$

$$\sqrt{\sigma_k^2 + 3 \cdot \left(\tau_k^2 + \tau_r^2 \right)} = 57,6278 \text{ MPa} \quad \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 435,5556 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_k^2 + 3 \cdot \left(\tau_k^2 + \tau_r^2 \right)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$57,63 \text{ MPa} < 435,55 \text{ MPa}$$

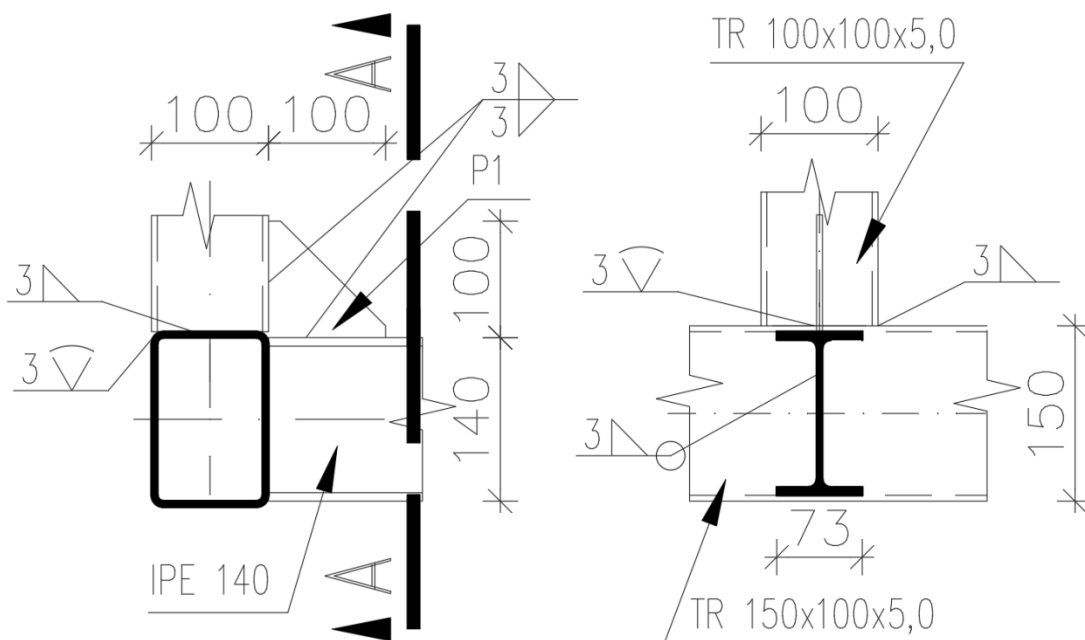
VYHOVÍ

$$\sigma_k \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\sigma_k = 28,8139 \text{ MPa} \quad \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 392 \text{ MPa}$$

$$28,81 \text{ MPa} < 392,00 \text{ MPa}$$

VYHOVÍ



5.5.6 Posouzení svislíce příhradového nosníku

Materiál

S355 J2

$f_y = 355 \text{ MPa}$

$E = 210 \text{ GPa}$

$G = 81000 \text{ MPa}$

Charakteristika průřezu

TR 100x100x5,0

$h = 100 \text{ mm}$

$b = 100 \text{ mm}$

$r = 8 \text{ mm}$

$s = 5 \text{ mm}$

$A = 1870 \text{ mm}^2$

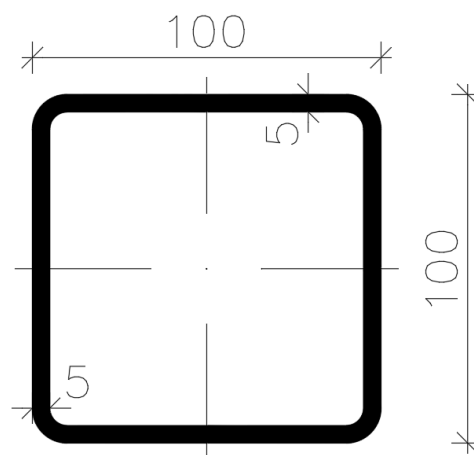
$I_y = 2,79 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

$I_z = 2,79 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

$i_y = 39 \text{ mm}$

$i_z = 39 \text{ mm}$

$W_{pl,y} = 6,64 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$



Vnitřní síly

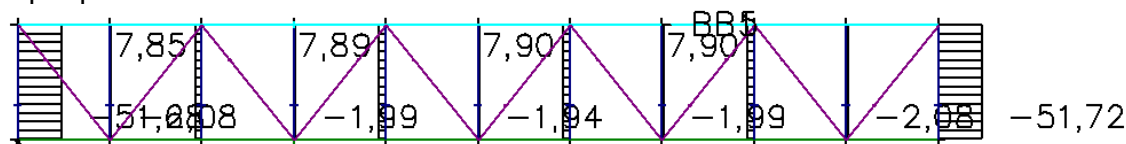
Posouzení prostřední svislíce

$N_{Ed} = 13,05 \text{ kN}$

$M_{y,Ed} = 1,364 \text{ kNm}$

V případě momentu jde o namáhání od tlačného pásu, viz. posouzení tlačného pásu příhradového nosníku.

N [kN]



Posouzení nejnamáhanější svislice

$$N_{Ed} = 51,72 \text{ kN}$$

Zatřetíení průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} \text{ MPa}} = 0,8136 \quad c = 80 \quad t = 5$$

Tlačená část

$$\frac{c}{t} \leq 33 \cdot \varepsilon$$

$$16,00 \leq 26,85$$

TRÍDA I.

POSOUZENÍ - MSÚ

Únosnost na rovinný vzpěr - nejnamáhanější svislice

$$L = 1,3 \text{ m}$$

Součinitel vzpěrnostních délek

$$\beta_y = 2,0$$

Vzpěrné délky

$$L_{cr,y} = \beta_y \cdot L = 2,6 \text{ m}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} \text{ MPa}} \quad \lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 76,3986$$

křivka vzpěrnosti...a

Součinitel imperfekce $\alpha = 0,21$

KOLMO K Y-Y

vybočení z roviny příh. nosníku

$$\lambda_{cr,y} = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = 66,6667$$

$$\lambda_y = \frac{\lambda_{cr,y}}{\lambda_1} = 0,8726$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2 \right] = 0,9514$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y \cdot \sqrt{\frac{\lambda_y^2}{2} - \lambda_y}} = 0,7517$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 499,0148 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$104,92 \text{ kN} \leq 499,01 \text{ kN}$$

VYHOVÍ

Únosnost při namáhání kombinací ohybu a osově síly - prostřední svislice

$$M_{Y,Rk} = W_{p1,y} \cdot f_y = 23,572 \text{ kNm}$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 663,85 \text{ kN}$$

$$\chi_{LT} = 1,0$$

Ekvivalentní konstantní moment (dle TAB. B.3, ČSN 1993-1-1)

$$C_{my} = 0,9$$

Interakční součinitel

$$k_{YY} = C_{my} \left[1 + (\lambda_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right] = 0,9158$$

$$k_{YY} \leq C_{my} \left[1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right]$$

$$C_{my} \left[1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right] = 0,9188$$

$$0,9158 < 0,9188$$

$$k_{YY} = 0,9158$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + k_{YY} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} = 0,0791$$

$$0,0791 \leq 1,00$$

VYHOVÍ

KOLMO K Y-Y

vybočení z roviny příh. nosníku

$$\lambda_{cr,y} = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = 68,4211$$

$$\lambda_y = \frac{\lambda_{cr,y}}{\lambda_1} = 0,8956$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2 \right] = 0,9741$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^2}} = 0,7368$$

Prvek je náchylnější pro vybočení z roviny příhradového nosníku.

$$Y_{M1} = 1,00$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{Y_{M1}} = 3,5575 \cdot 10^5 \text{ N}$$

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{Y_{M1}}$$

$$46 \text{ kN} \leq 355,75 \text{ kN}$$

VYHOVÍ

Průřez TR 100x80x4,0 bezpečně vyhoví.
Svislice se podílí na stabilitě tlačенého pásu příhradového nosníku.

5.5.7 Posouzení diagonály příhradového nosníku

Materiál

S355 J2

$f_y = 355 \text{ MPa}$

$E = 210 \text{ GPa}$

$G = 81000 \text{ MPa}$

Charakteristika průřezu

TR 40x40x4,0

$h = 40 \text{ mm}$

$b = 40 \text{ mm}$

$s = 4,0 \text{ mm}$

$r = 6 \text{ mm}$

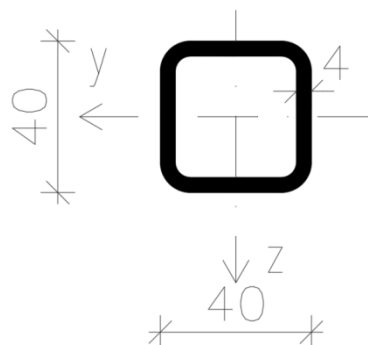
$A = 559 \text{ mm}^2$

$I_y = 1,18 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$

$I_z = 1,18 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$

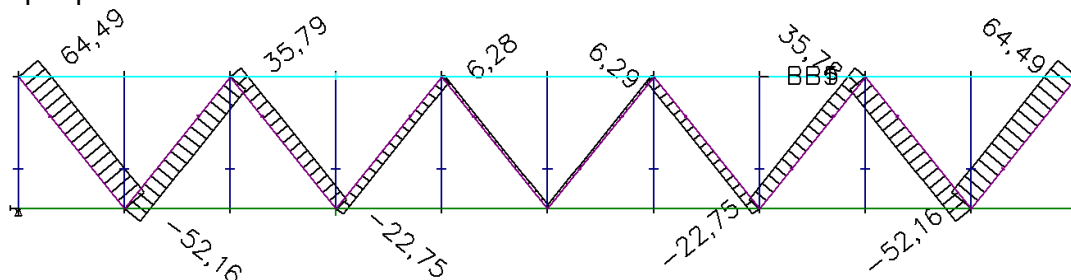
$i_y = 15 \text{ mm}$

$i_z = 15 \text{ mm}$



Vnitřní síly

N [kN]



$N_{Ed} = 52,16 \text{ kN}$ TLAK

$N_{Ed} = 64,49 \text{ kN}$ TAH

Zatřetíení průřezu

$$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,8136 \quad c = 29,6$$

$$t = 4,0$$

Tlačená část

$\frac{c}{t} \leq 33 \cdot \epsilon$

$7,4 \leq 26,85$

TRÍDA I.

POSOUZENÍ -MSÚ

Únosnost na rovinný vzpěr

$L = 1,67 \text{ m}$

Součinitelé vzpěrnostních délek

$\beta_y = 1,0$

$\beta_z = 1,0$

Vzpěrné délky

$L_{cr,y} = \beta_y L = 1,67 \text{ m}$

$L_{cr,z} = 0,9 \cdot \beta_z L = 1,503 \text{ m}$

Kritické je vybočení z roviny nosníku

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} \text{ MPa}} \quad \lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 76,3986$$

křivka vzpěrnosti...a

Součinitel imperfekce $\alpha = 0,21$

$$\lambda_{cr,y} = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = 111,3333$$

$$\lambda_{-y} = \frac{\lambda_{cr,y}}{\lambda_1} = 1,4573$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot \left(1 + \alpha \cdot (\lambda_{-y} - 0,2) + \lambda_{-y}^2 \right) = 1,6938$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_{-y}^2}} = 0,3911$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 77,6021 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$52,16 \text{ kN} \leq 77,60 \text{ kN}$$

VYHOVÍ

Únosnost v tahu

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 198,445 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

$$64,49 \text{ kN} \leq 198,445 \text{ kN}$$

VYHOVÍ

Průřez TR 40x40x4,0 vyhoví.

5.5.8 Posouzení svarového přípoje diagonály

Spojovací prvky

S355 J2

$$f_u = 490 \text{ MPa}$$

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

Vnitřní síly

$$N_{Ed} = 64,49 \text{ kN}$$

Rozměry svarů

$$a_w = 3 \text{ mm}$$

$$L_w = 64 \text{ mm}$$

POSOUZENÍ SVARU

$\gamma_{M2}=1,25$ unosnost šroubů, prvků v otláčení, svarů

Korelační součinitel

pro S355 $\beta_w=0,9$

$$\tau_r = \frac{N_{Ed}}{4 \cdot a_w \cdot L_w} = 83,9714 \text{ MPa}$$

$$\sigma_k = 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_k = 0 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_k^2 + 3 \cdot (\tau_k^2 + \tau_r^2)} = 145,4427 \text{ MPa}$$

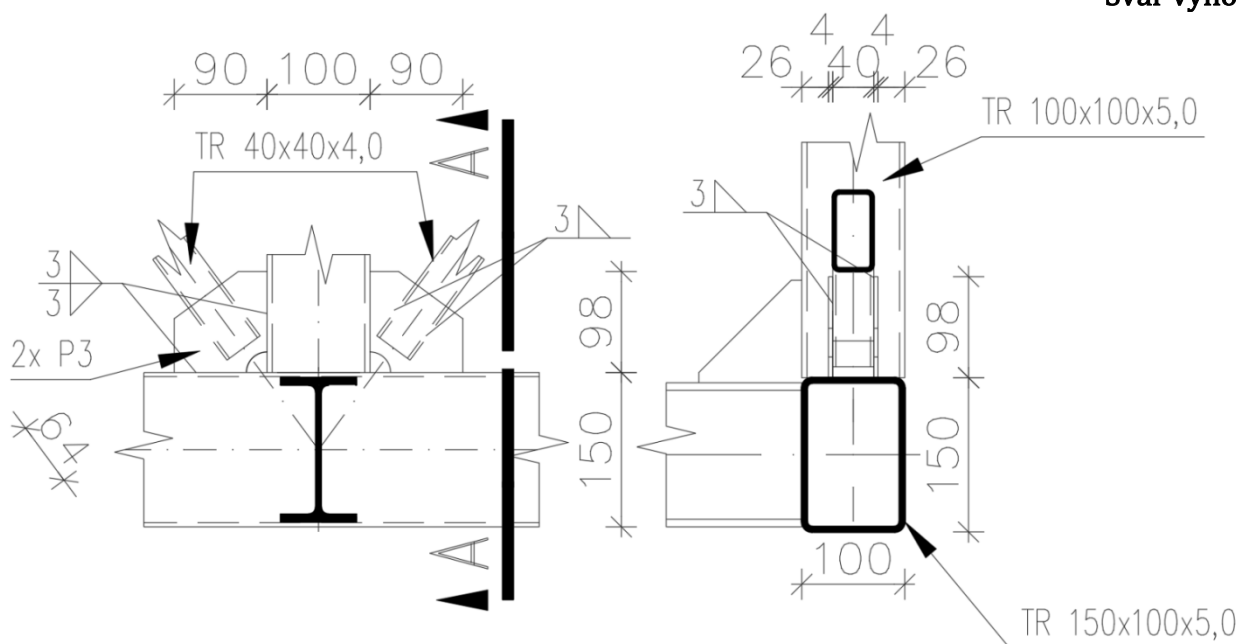
$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 435,5556 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_k^2 + 3 \cdot (\tau_k^2 + \tau_r^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$145,44 \text{ MPa} < 435,55 \text{ MPa}$$

VYHOVÍ

Svar vyhoví.



5.5.9 Posouzení taženého pásu příhradového nosníku

Materiál

S355 J2

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$G = 81000 \text{ MPa}$$

Charakteristika průřezu

TR 150x100x5,0

$$h = 150 \text{ mm}$$

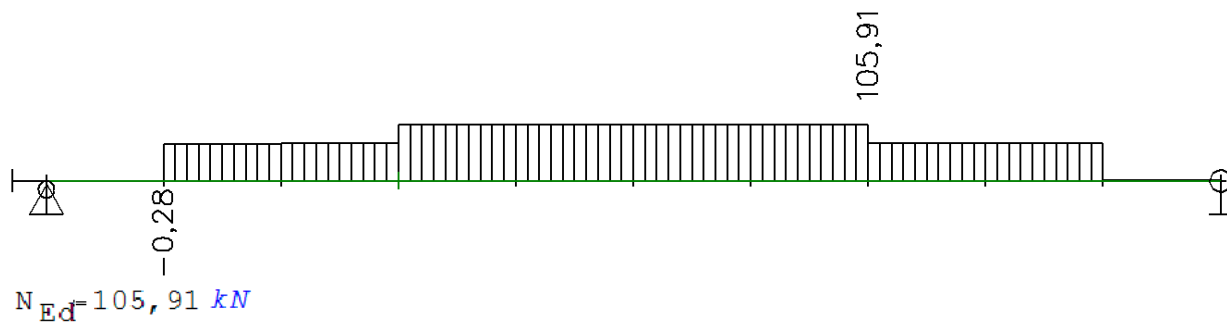
$$b = 100 \text{ mm}$$

$$s = 5,0 \text{ mm}$$

$$A = 2370 \text{ mm}^2$$

Vnitřní síly

N [kN]

POSOUZENÍ -MSÚ

Únosnost v tahu

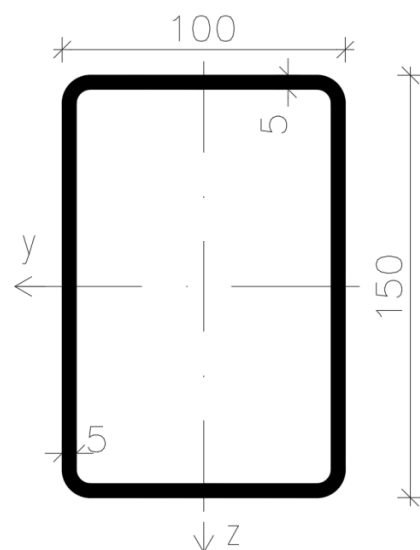
$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 841,35 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} < N_{t,Rd}$$

$$105,91 \text{ kN} < 841,35 \text{ kN}$$

VYHOVÍ



Průřez TR 150x100x5,0 vyhoví.

5.5.10 Posouzení tlačeneho pásu příhradového nosníku

Posouzení je provedeno pomocí výpočtu pružného odporu příčných rámců. Na základě toho určíme součinitel vzpěrné délky při vybočení pásu z roviny příhradové konstrukce.

Materiál

S355 J2

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$G = 81000 \text{ MPa}$$

Charakteristika průřezu

TR 100x80x4,0

$$h = 100 \text{ mm}$$

$$b = 80 \text{ mm}$$

$$s = 4,0 \text{ mm}$$

$$r = 6 \text{ mm}$$

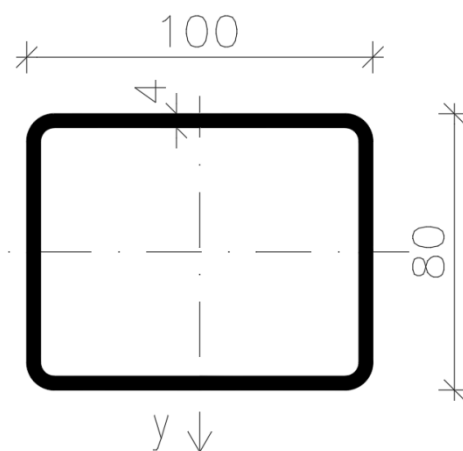
$$A = 1360 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 1,95 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 1,38 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

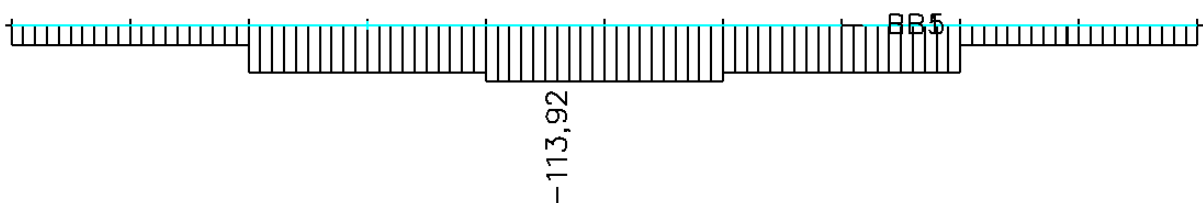
$$i_y = 38 \text{ mm}$$

$$i_z = 32 \text{ mm}$$



Vnitřní síly

N [kN]



$$N_{Ed} = 113,92 \text{ kN} \quad \text{TLAK}$$

$$V_{z,Ed} = 0 \text{ kN} \quad V_{y,Ed} = 0,54 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 0,26 \text{ kNm} \quad M_{z,Ed} = 0,27 \text{ kNm}$$

Vliv momentů zanedbáváme vzhledem k jejich hodnotám

Zatřívění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} \text{ MPa}} = 0,8136 \quad c = 80$$

$$t = 4,0$$

Tlačená část

$$\frac{c}{t} \leq 33 \cdot \varepsilon$$

$$20,00 \leq 26,85$$

TŘÍDA I.

POSOUZENÍ -MSÚ**Únosnost v rovinném vzpěru****Výpočet pružného odporu příčných rámu :**

$h_v = 1192 \text{ mm}$...délka svislice s přihlédnutím ke ztužením

$h = 1300 \text{ mm}$...délka svislice

$b = 2500 \text{ mm}$...vzdálenost těžišťové osy příčnicku od těžiště tlačného pásu hl nosníku

Moment setrvačnosti svislice - TR 100x100x5,0

Moment setrvačnosti svislice - TR 100x100x5,0

$$I_v = 2,79 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Moment setrvačnosti příčnicku- IPE 140

$$I_p = 5,41 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Průžný odpor příčného otevřeného rámu

$$C = \frac{E}{\frac{h_v^3}{3 \cdot I_v} + b \cdot \frac{h^2}{3 \cdot I_p}} = 0,4539 \frac{MN}{m}$$

$N_{Sd,max} = 104,92 \text{ kN}$...extrémní návrhová síla v tlačném pásu

Vzhledem k povaze konstrukce se průřez tlačného pásu v celé své délce nemění.

Posouzení nejnamáhanějšího prutu pásu 5,6 (středová pole)

$$N_{Sd,5} = 104,92 \text{ kN}$$

$$\chi_5 = \frac{N_{Sd,5}}{A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} = 0,2173 \quad \dots \text{nejnižší přípustný součinitel vzpěrnosti}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \text{ MPa}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 76,3986$$

$$\lambda_{-5} = 2,03$$

$$\lambda_{5,max} = \lambda_1 \cdot \lambda_{-5} = 155,0891 \quad \dots \text{štíhlostní poměr}$$

$$i_y = 38 \text{ mm}$$

$$L_{max} = \lambda_{5,max} \cdot i_y = 5,8934 \text{ m} \quad \dots \text{největší přípustná délka prutu}$$

$$s_5 = 1,050 \text{ m} \quad \dots \text{skutečná délka prutu (vzdálenost příčných rámu)}$$

$$\beta_5 = \frac{L_{max}}{s_5} = 5,6127 \quad \dots \text{poměr největší přípustné a skutečné délky všech prutů}$$

$$(1,2 < \beta_i) \wedge (\beta_i < 3,0)$$

Z výpočtu vyplývá, že pro žádný prut pásu není hodnota β_i menší než 3, proto

$\beta_m = 3$...aritmetický průměr poměrů všech tlačných prutů

$s_{min} = 1,05 \text{ m}$...nejmenší stukečná délka jednoho prutu

Nutný průřzný odpor mezilehlého příčného otevřeného rámu

$$C_{min} = 3 \cdot \frac{N_{Sd,5}}{2} \cdot \gamma_{M1} = 0,0333 \frac{MN}{m} \quad \dots \text{nutný pružný odpor vnitřních rámu}$$

$$\beta_m \cdot s_{min} > C > C_{min}$$

$$0,45 \frac{MN}{m} > 0,033 \frac{MN}{m}$$

NUTNÝ ODPOR MEZILEHLÝCH PŘÍČNÝCH RÁMU JE DOSTATEČNÝ

Pro koncové rámy je požadována dostatečná tuhost

$$8 \cdot C_{min} = 0,2665 \frac{MN}{m}$$

$$C > 8 \cdot C_{min}$$

$$0,45 \frac{MN}{m} > 0,27 \frac{MN}{m}$$

KONCOVÉ PŘÍČNÉ RÁMY JSOU DOSTATEČNĚ TUHÉ

Vzpěrnou délku lze uvažovat vzdálenost mezi dvěma sousedními příčnými rámy pokud

$$C_{lim} = 4,5 \cdot \frac{N_{Sd,5}}{s_{min}} \cdot \gamma_{M1} = 0,4497 \frac{MN}{m}$$

$$C > C_{lim}$$

$$0,454 \frac{MN}{m} > 0,450 \frac{MN}{m}$$

Vzpěrnou délku lze uvažovat vzdálenost dvou rámu

Namáhání rámu od tlačného pásu

$$F_{Sd} = \frac{N_{Sd,max}}{100} = 1,0492 \text{ kN}$$

Vzniklý moment namáhající přípoj styčnicku

$$M_{y,Sd} = F_{Sd} \cdot h = 1,364 \text{ kN m}$$

Posouzení rovinného vzpěru :

$$L = 1,05 \text{ m}$$

Součinitelé vzpěrnostních délek

$$\beta_y = 1,0$$

$$\beta_z = 0,5$$

Vzpěrné délky

$$L_{cr,y} = \beta_y \cdot L = 1,05 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = \beta_z \cdot L = 0,525 \text{ m}$$

křivka vzpěrnosti...a

Součinitel imperfekce $\alpha = 0,21$

KOLMO K Y-Y

vybočení z roviny příh. nosníku

$$\lambda_{cr,y} = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = 27,6316$$

$$\lambda_{-y} = \frac{\lambda_{cr,y}}{\lambda_1} = 0,3617$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot \left(1 + \alpha \cdot (\lambda_{-y}^{0,2}) + \lambda_{-y}^2 \right) = 0,5824$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_{-y}^2}} = 0,9626$$

KOLMO K Z-Z

vybočení v rovině příh. nosníku

$$\lambda_{cr,z} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = 16,4062$$

$$\lambda_{-z} = \frac{\lambda_{cr,z}}{\lambda_1} = 0,2147$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot \left(1 + \alpha \cdot (\lambda_{-z}^{0,2}) + \lambda_{-z}^2 \right) = 0,5246$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_{-z}^2}} = 0,9968$$

Dříve nastane vybočení z roviny nosníku

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 464,7477 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$104,92 \text{ kN} \leq 464,75 \text{ kN}$$

VYHOVÍ

Při zohlednění momentových zatížení prvek stále bezpečně vyhoví.
Průřez TR 100x80x4,0 vyhoví.

5.5.11 Posouzení ztužidla

Materiál

S355 J2

 $f_y = 355 \text{ MPa}$ $E = 210 \text{ GPa}$ $G = 81000 \text{ MPa}$

Charakteristika průřezu

RD 8

 $d = 8 \text{ mm}$ $A = 50,27 \text{ mm}^2$ 

Vnitřní síly

$$N_{Ed} = 10,76 \text{ kN}$$

POSOUZENÍ -MSÚ**Únosnost v tahu**

$$Y_{M0} = 1,00$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{Y_{M0}} = 17,8458 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} < N_{t,Rd}$$

$$10,76 \text{ kN} < 17,85 \text{ kN}$$

VYHOVÍ

Průřez RD 8 vyhoví.

5.5.12 Posouzení svarového přípoje ztužidla**Spojovací prvky**

S355 J2

$$f_u = 490 \text{ MPa}$$

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

Vnitřní síly

$$N_{Ed} = 6,89 \text{ kN}$$

Rozměry svarů

$$a_w = 3 \text{ mm}$$

$$L_w = 30 \text{ mm}$$

POSOUZENÍ SVARU
 $Y_{M2} = 1,25$ unosnost šroubů, prvků v otláčení, svarů

Korelační součinitel

pro S355 $\beta_w = 0,9$

Napětí od osově síly

$$\tau_r = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot L_w} = 38,2778 \text{ MPa}$$

$$\sigma_k = 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_k = 0 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_k^2 + 3 \cdot (\tau_k^2 + \tau_r^2)} = 66,2991 \text{ MPa} \quad \frac{f_u}{\beta_w \cdot Y_{M2}} = 435,5556 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_k^2 + 3 \cdot (\tau_k^2 + \tau_r^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot Y_{M2}}$$

$$66,30 \text{ MPa} < 435,55 \text{ MPa}$$

VYHOVÍ

5.5.13 Posouzení čepového ložiska

Spojovací prvky

ČEP	SPOJOVACÍ PRVKY
$d = 25 \text{ mm}$	$f_y = 355 \text{ MPa}$
$f_{yp} = 355 \text{ MPa}$	$f_u = 490 \text{ MPa}$
$f_{up} = 490 \text{ MPa}$	$t = 10 \text{ mm}$
$A = 490,88 \text{ mm}^2$	
$W_{e1} = 1,502 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$	

Vnitřní síly

$$R_z = 56,15 \text{ kN}$$

Návrh rozměru oválného otvoru

$$L = 10,5 \text{ m}$$

$$\Delta T_{N, \text{con}} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{N, \text{exp}} = 41 \text{ }^\circ\text{C}$$

Součinitel délkové roztažnosti

$$\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

Uvažované zkrácení vlivem ochlazení

$$\Delta L_c = L \cdot \alpha \cdot \Delta T_{N, \text{con}} = 6,3 \text{ mm}$$

Uvažované prodloužení vlivem oteplení

$$\Delta L_h = L \cdot \alpha \cdot \Delta T_{N, \text{exp}} = 5,166 \text{ mm}$$

Celové délka otvoru

$$l_o = d_o + \Delta L_c + \Delta L_h = 36,466 \text{ mm}$$

Výška otvoru

$$d_o = 25 \text{ mm}$$

Vůle v příčném směru v ložisku (v obou směrech)

$$\text{Šířka lávky} \quad l = 2,500 \text{ m}$$

Uvažované zkrácení vlivem ochlazení

$$\Delta l_c = l \cdot \alpha \cdot \Delta T_{N, \text{con}} = 1,5 \text{ mm}$$

Uvažované prodloužení vlivem oteplení

$$\Delta l_h = l \cdot \alpha \cdot \Delta T_{N, \text{exp}} = 1,23 \text{ mm}$$

$$\text{Vůle} \quad v = 2 \text{ mm}$$

na obě strany.

POSOUZENÍ ČEPU**STŘIH**

$$F_{v,Rd} = \left(0,6 \cdot \frac{A \cdot f_{up}}{Y_{M2}} \right) = 115,455 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = R_z$$

$$F_{v,Ed} = 56,15 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$56,15 \text{ kN} < 115,455 \text{ kN}$$

VYHOVÍ**OTLAČENÍ**Otvor je prodloužený $0,6 \cdot F_{b,Rd}$

$$F_{b,Rd} = 0,6 \cdot \left(\frac{1,5 \cdot f_y \cdot d \cdot t}{Y_{M0}} \right) = 79,875 \text{ kN}$$

$$F_{b,Ed} = R_z$$

$$F_{b,Ed} = 56,15 \text{ kN}$$

$$F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$56,15 \text{ kN} < 79,875 \text{ kN}$$

VYHOVÍ**OHYB**

$$M_{Ed} = \frac{R_z}{8} \cdot (t + 4 \cdot v + 2 \cdot t) = 0,2667 \text{ kN m}$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{yp}}{Y_{M0}} = 0,7998 \text{ kN m}$$

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

$$0,27 \text{ kN m} < 0,80 \text{ kN m}$$

VYHOVÍ**KOMBINACE STŘIHU A OHYBU**

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^2 \leq 1$$

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^2 = 0,3477$$

$$0,35 < 1,00$$

VYHOVÍ

Posouzení spojovacích plechů při zatížení vodorovnými silami
vzhledem k jejich velikost neprovádíme.

Při dodržení minimálních rozměrů plechů bezpečně vyhoví.

Čep Ø 25 mm vyhoví.

Rozměry spojovacího plechu

Rozměry spojovacího plechu

Šířka plechu nad čepem

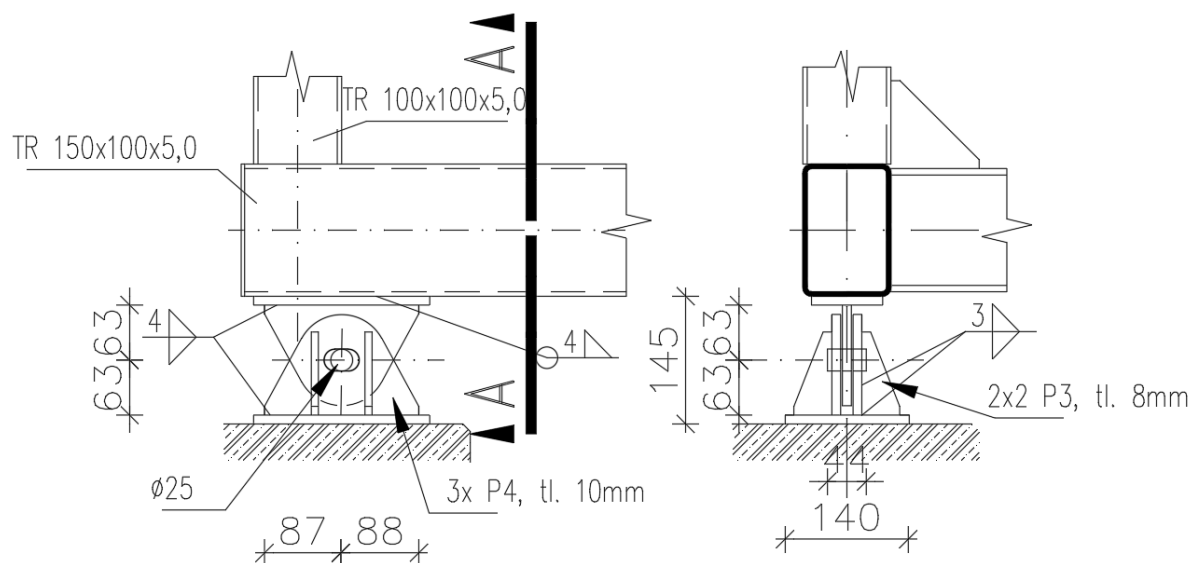
$$a \geq \frac{R_z \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_o}{3}$$

$$\frac{R_z \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_o}{3} = 24,5751 \text{ mm}$$

Šířka plechu po stranách čepu

$$c \geq \frac{R_z \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_o}{3}$$

$$\frac{R_z \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_o}{3} = 16,2418 \text{ mm}$$

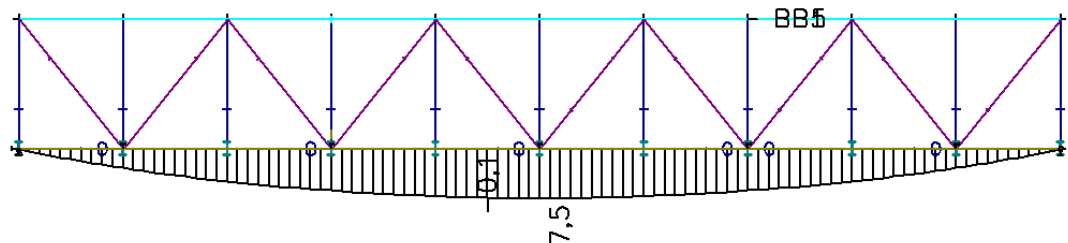
**5.5.14 Posouzení MSP - průhyb celé konstrukce**

Dle výpočtu z programu SCIA Eng. pro délku

$$L = 10,5 \text{ m}$$

je maximální průhyb

$$\delta := 7,5 \text{ mm}$$



Maximální přípustný průhyb dle ČSN EN 1993-2.

$$\delta_{LIM} = \frac{L}{250} = 42 \text{ mm}$$

$$\delta \leq \delta_{LIM}$$

$$7,5 \text{ mm} \leq 42 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

5.5.15 Posouzení MSP - kmitání konstrukce

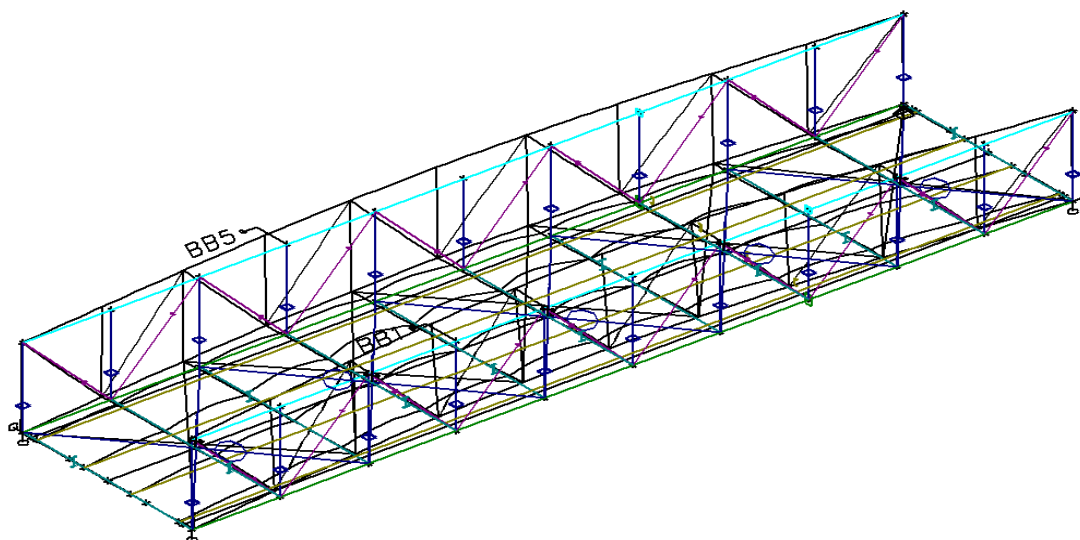
Při návrhu je také brán ohled na 1. vlastní tvary kmitání vyvolané provozem na lávce. Kmitání je nezbytným aspektem pro pohodlí chodců.

Návrh považuje podmínku pohodlí chodců za splněnou, při vzniku prvních vlastních tvarů kmitání od provozu při překročení vlastní frekvence konstrukce **3Hz**.

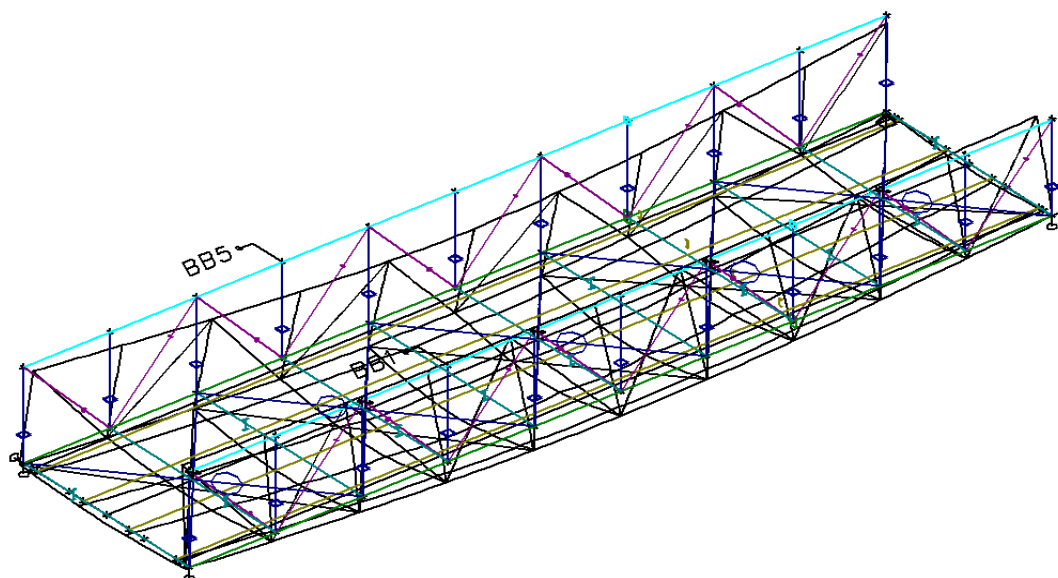
Kombinace hmot jsou spjaté se zatěžovacími stavy

LC3	Užitné rovnoměrné
LC4	Užitné bodové - 10 kN - Q_{fvk}

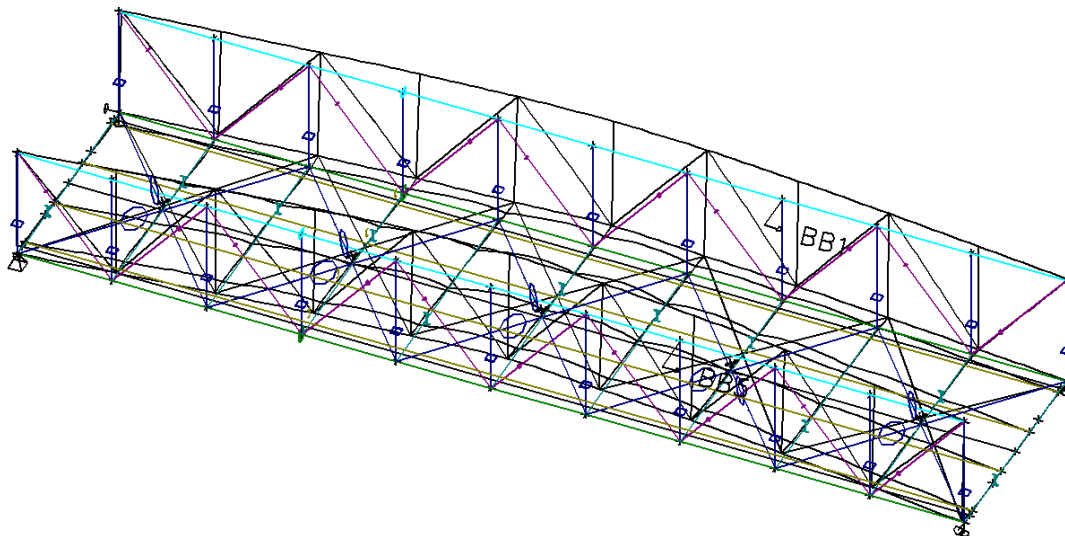
LC3 - 1.vlastní tvar - 3,86 Hz - ohybový vodorovný



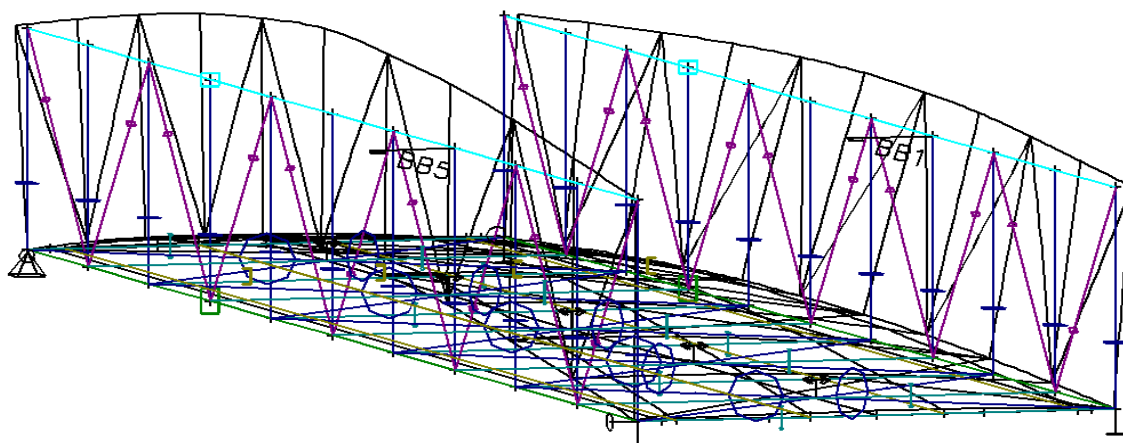
LC3 - 1.vlastní tvar - 5,75 Hz - ohybový svislý



LC4 - 1.vlastní tvar - 6,69 Hz - ohybový vodorovný



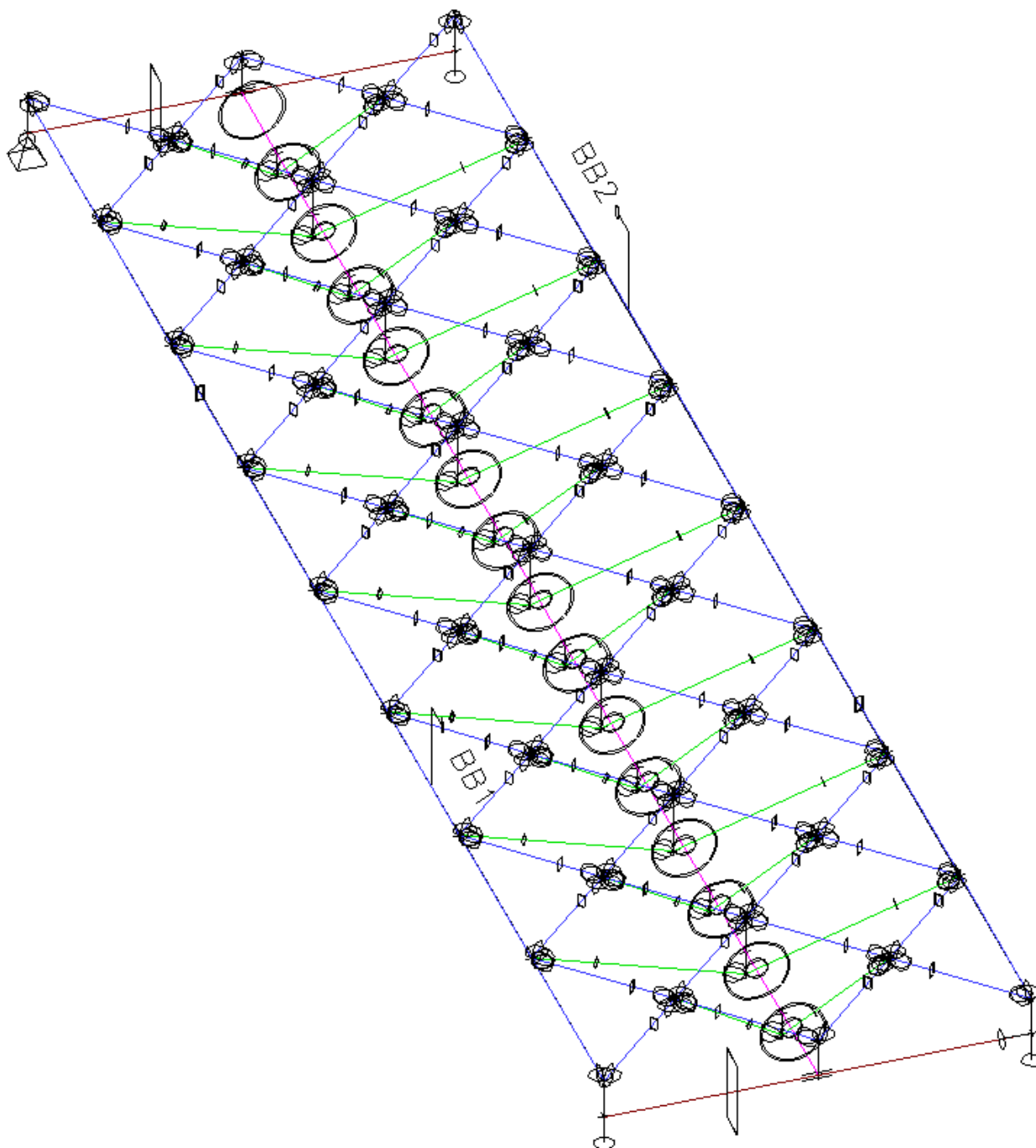
LC4 - 1.vlastní tvar - 6,69 Hz - torzní první



Požadavek je splněn. Návrh z hlediska kmitání konstrukce vyhoví.

6 VARIANTA II. - KONSTRUKCE SE STŘEDOVÝM NOSNÍKEM

6.1 Výpočtový model



6.2 Uvažovaná zatížení

6.2.1 Vlastní tíha

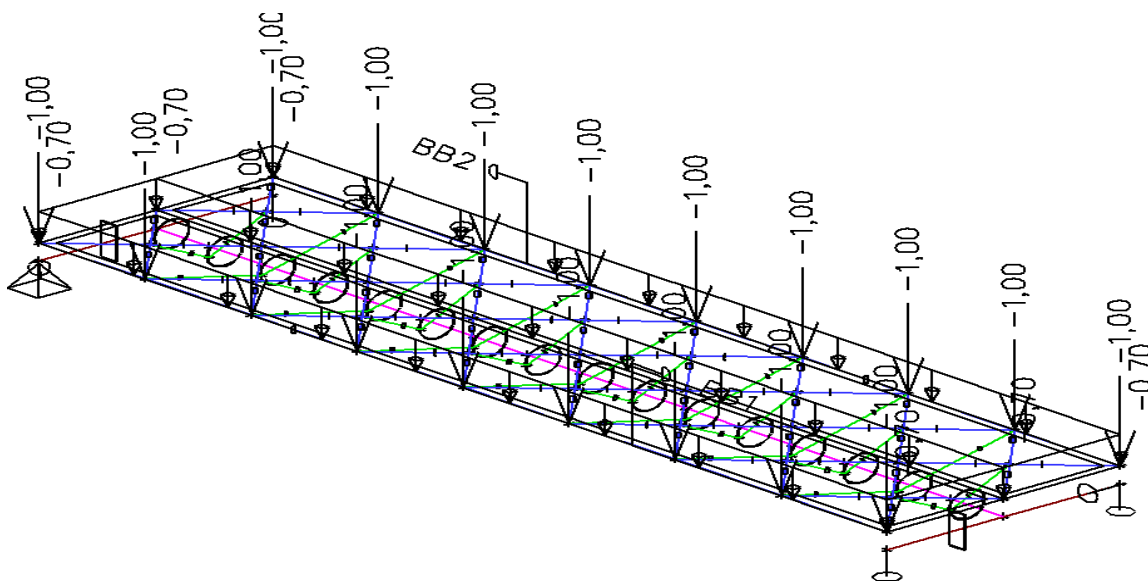
Jde o tíhu uvažované konstrukce ve výpočtovém modelu. Ostatní konstrukční prvky jsou nahrazeny stálým zatížením a jeho příčnou velikostí.

6.2.2 Ostatní stálé - G_k

Pochozí vrstva - pororošty Staco - TYP A, rozm. nosných pásků 50x5 mm.

Hmotnost roštů je 70 kg/m^2

Uvažované zatížení je s rezervou 1 kN/m^2



6.2.3 Proměnné zatížení

Užitné rovnoměrné - g_{r1}

Uvažujeme rovnoměrné zatížení chodci o hodnotě

$$q_{fk} = 5,0 \text{ kN/m}^2.$$

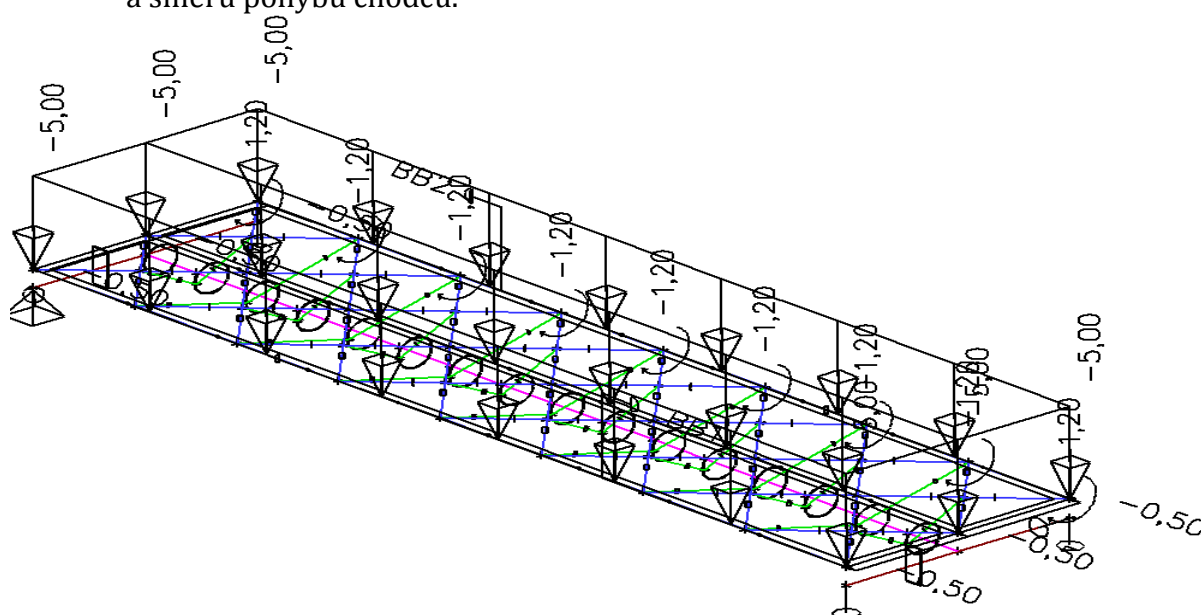
(dle ČSN 1991 - 2.)

Tato hodnota zatížení uvažuje dav lidí a zahrnuje již dynamický součinitel.

Zároveň zatěžovací model uvažuje vodorovné zatížení od chodců působící ve stejné ploše o hodnotě

$$q_{fk} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

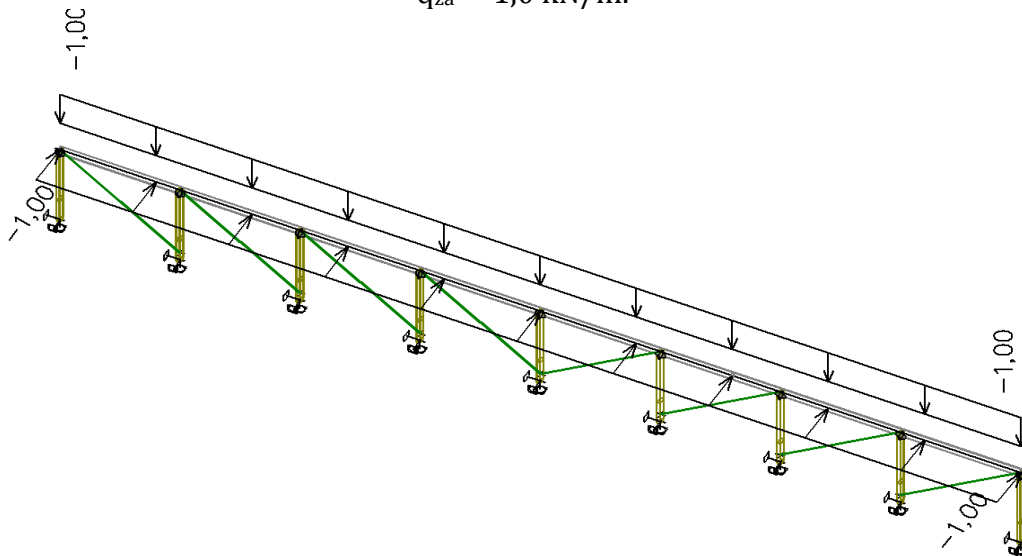
a směru pohybu chodců.



Zábradlí je zatíženo vodorovným nebo svislým liniovým zatížením v horní hraně zábradlí.

Jeho hodnota je

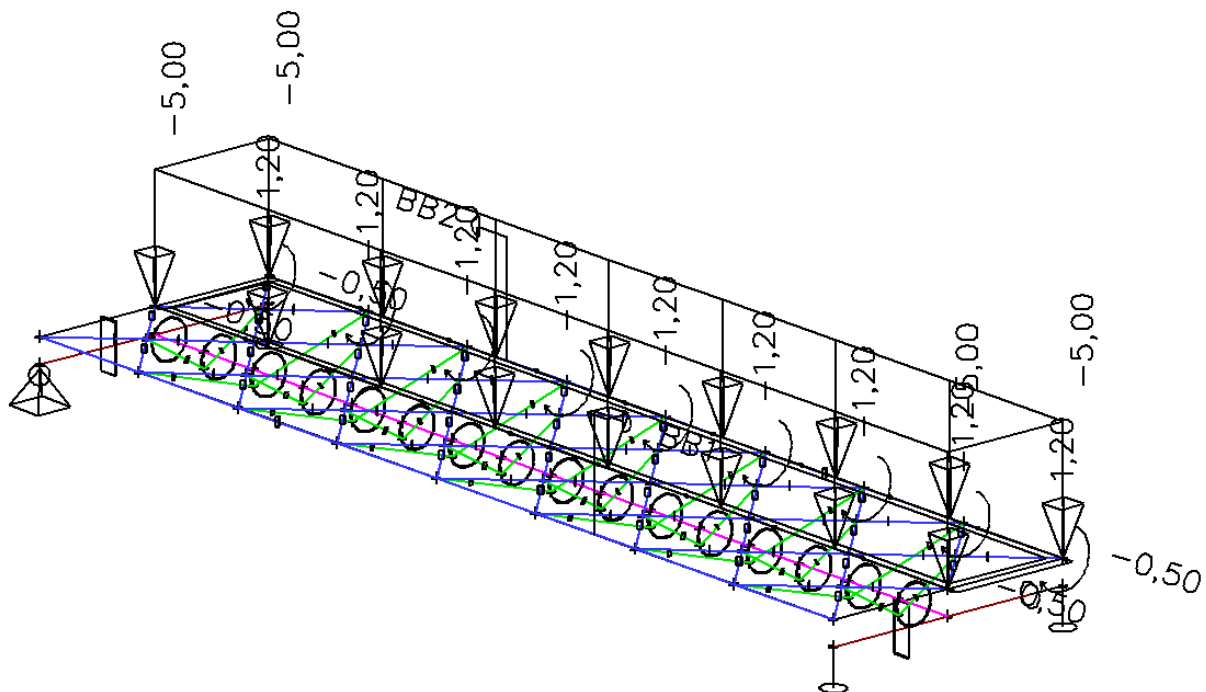
$$q_{za} = 1,0 \text{ kN/m.}$$



Zatížení zábradlí od provozu je v daném případě nahrazeno momentovým zatížením ve styčnicích o velikosti 1,2 kNm.

Užitné rovnoměrné - pouze na jedné straně - gr1

Uvažujeme rovnoměrné zatížení chodci o hodnotě $q_{fk} = 5,0 \text{ kN/m}^2$ pouze na jedné straně konstrukce.



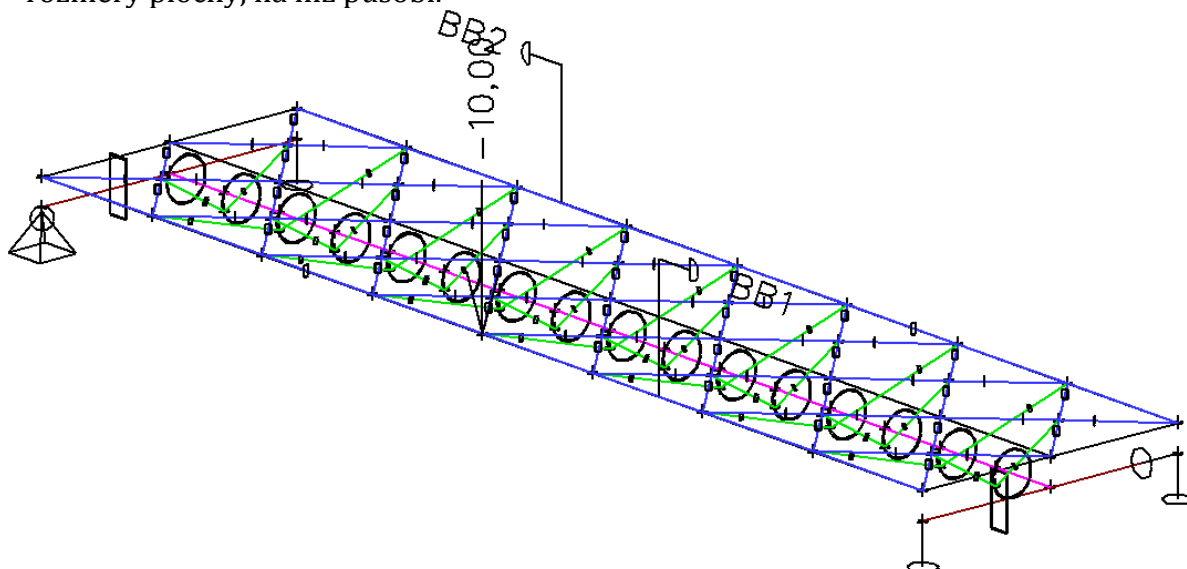
Užitné bodové- Q_{wk}

Hodnota bodového zatížení

$$Q_{wk} = 10,0 \text{ kN}$$

(dle ČSN 1991 - 2.)

je uvažována na na ploše $0,1 \times 0,1 \text{ m}$. Zde je však zjednodušená a zanedbáváme rozměry plochy, na níž působí.



6.2.4 Klimatická zatížení

Větr - Příčný - F_w

Zatížení větrem je uvažováno pouze od větru působícího rovnoběžně se šířkou mostu, resp. kolmo na rozpětí mostu.

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot A_{\text{ref},x} \text{ [kN]}$$

Abychom lépe vystihli zatížení větrem na lávku, nahradíme sílu liniovým zatížením.

$$f_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot h_{\text{ref}} \text{ [kN/m]}$$

ρ měrná hmotnost vzduchu = 1,25 kg/m³
 v_b základní rychlost větru

$$v_b = C_{\text{dir}} \cdot C_{\text{season}} \cdot v_{b,0}$$

$$C_{\text{dir}} = 1,0$$

$$C_{\text{season}} = 1,0$$

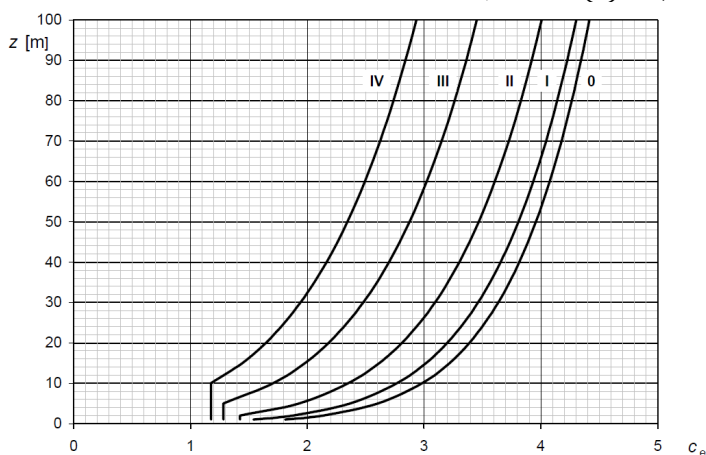
$$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$$

(větrná oblast II.

, kategorie terénu II. - oblast s nízkou vegetací

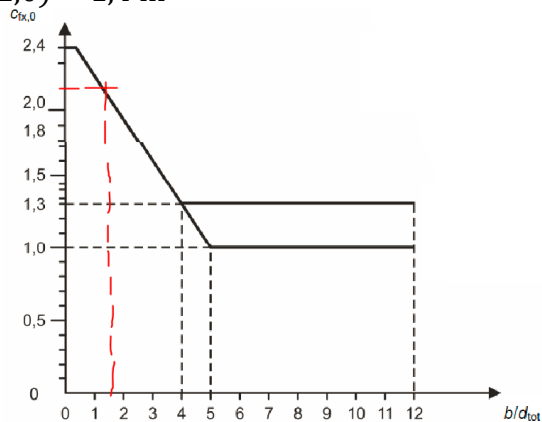
a izolovanými překážkami)

C součinitel zatížení větrem, $C = c_e(z) \cdot c_{f,x}$



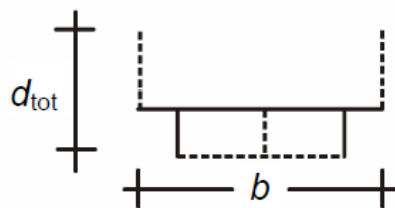
$$z = 2,0 \text{ m}$$

$$c_e(2,0) = 1,4$$



$$c_{f,x,0} = 2,25$$

Závisí na tvaru konstrukce :



$$b = 2,6 \text{ m}$$

$$d_{\text{tot}} = 1,6 \text{ m}$$

(uvažujeme, že lávka je zatížena dopravou, resp. davem osob o výšce odpovídající výšce průměrného člověka, tedy 1,8m a výška pochozí nosné konstrukce 0,3 m)

$$b / d_{\text{tot}} = 2,6 / 2,1 = 1,62$$

h_{ref} referenční výška konstrukce dle tab. 8.2

Silniční záchytný systém	Na jedné straně	Na obou stranách
Prodyšné zábradlí nebo svodidlo se svodnicí	$d + 0,3 \text{ m}$	$d + 0,6 \text{ m}$

$$h_{\text{ref}} = d + 0,6$$

d výška samotné mostovky = 0,4 m

$$v_b = C_{\text{dir}} \cdot C_{\text{season}} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = 25 \text{ m/s}$$

$$C = c_e(z) \cdot c_{f,x} = 1,4 \cdot 2,25 = 3,15$$

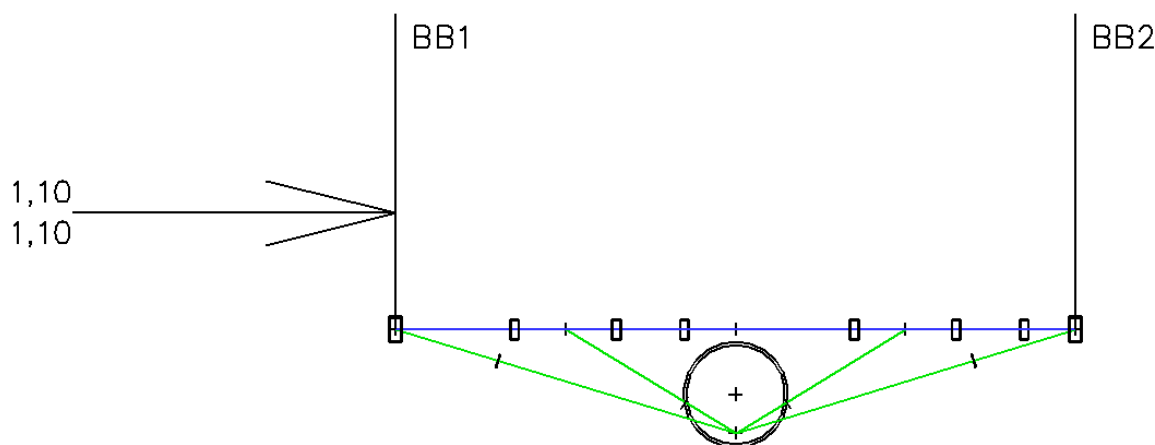
$$h_{\text{ref}} = d + 0,6 = 0,6 + 0,4 = 1,0 \text{ m}$$

$$f_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot h_{\text{ref}} = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 \cdot 3,15 \cdot 0,9 = 1073 \text{ N/m} = \underline{1,1 \text{ kN/m}}$$

Zatížení f_w [kN/m] uvažujeme v celé délce lávky.

S přihlédnutím k rozložení zatěžovacích ploch liniové zatížení uvažujeme 0,5 m nad spodní hranou konstrukce.

Sání větru zanedbáváme.



Teplota - T_K

Je uvažované pouze rovnoměrné zatížení konstrukce teplotou. Ostatní zatížení teplotou, jako např. nerovnoměrné jsou zanedbány.

Při zatížení teplotou se vychází z přibližné průměrné roční teploty v místě stavby, kterážto je rovněž uvažována jako teplota, při které byla konstrukce montována.

$$T_0 = 15^\circ\text{C}.$$

Typ konstrukce : I. typ

$$T_{\min} = -32^\circ\text{C}$$

$$T_{\max} = 40^\circ\text{C} \quad (\text{dle ČSN EN 1991-5, NA})$$

$$T_{e,\max} = T_{\max} + 16^\circ\text{C} = 56^\circ\text{C}$$

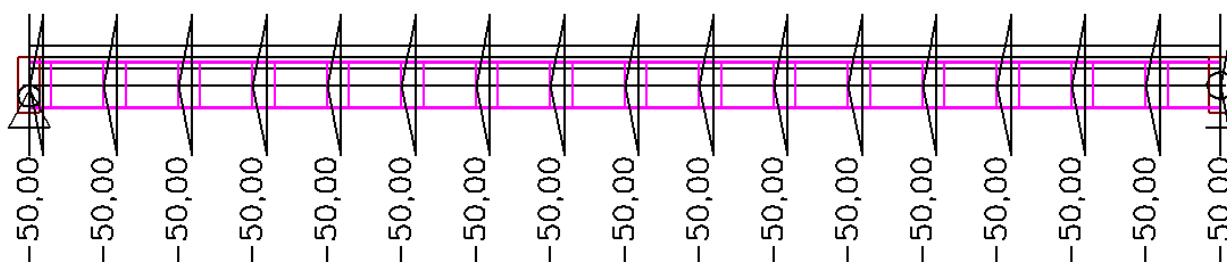
$$T_{e,\min} = T_{\min} - 3^\circ\text{C} = -35^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{N,\text{con}} = T_0 - T_{e,\min} = 15 - (-35) = 50^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{N,\text{exp}} = T_{e,\max} - T_0 = 56 - 15 = 41^\circ\text{C}$$

Pro zatížení teplotou uvažujeme charakteristickou hodnotu maximálního rozsahu zkrácení vlivem rovn. složky teploty

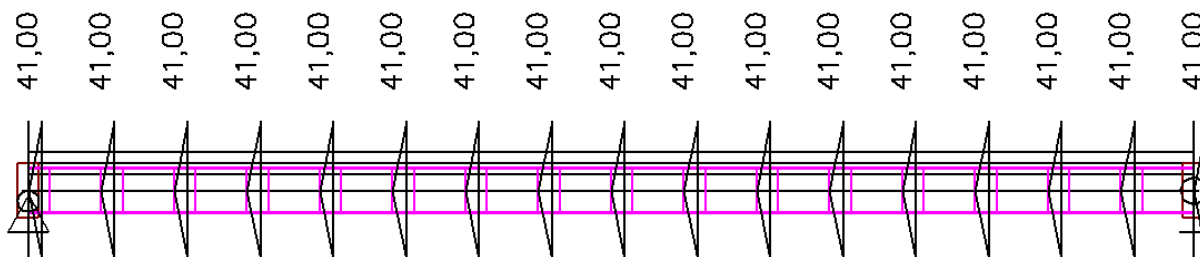
$$\Delta T_{N,\text{con}} = 50^\circ\text{C}.$$



Pro zatížení teplotou uvažujeme charakteristickou hodnotu maximálního rozsahu roztažení vlivem rovn. složky teploty

$$\Delta T_{N,\text{exp}} = 41^\circ\text{C}.$$

(doporučené hodnoty dle ČSN 1991-1-5)



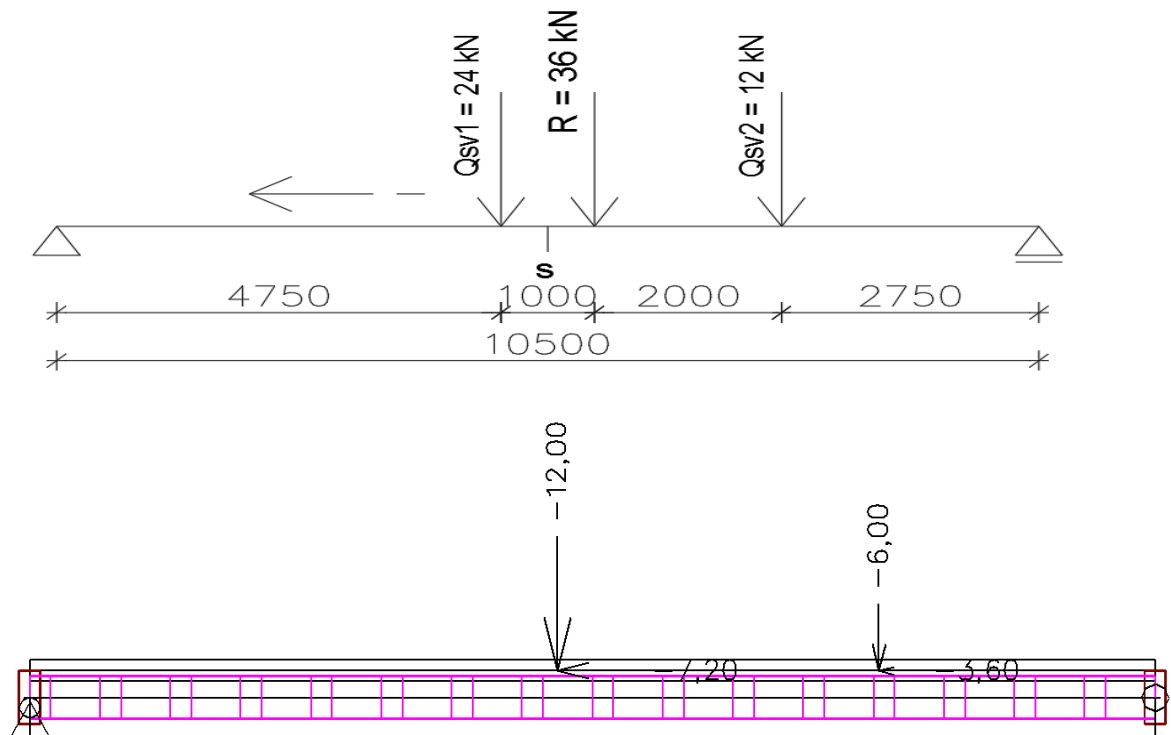
6.2.5 Mimořádné zatížení - sanitní vůz - A_{sv}

Navrhované vozidlo je zadáno objednatelem.

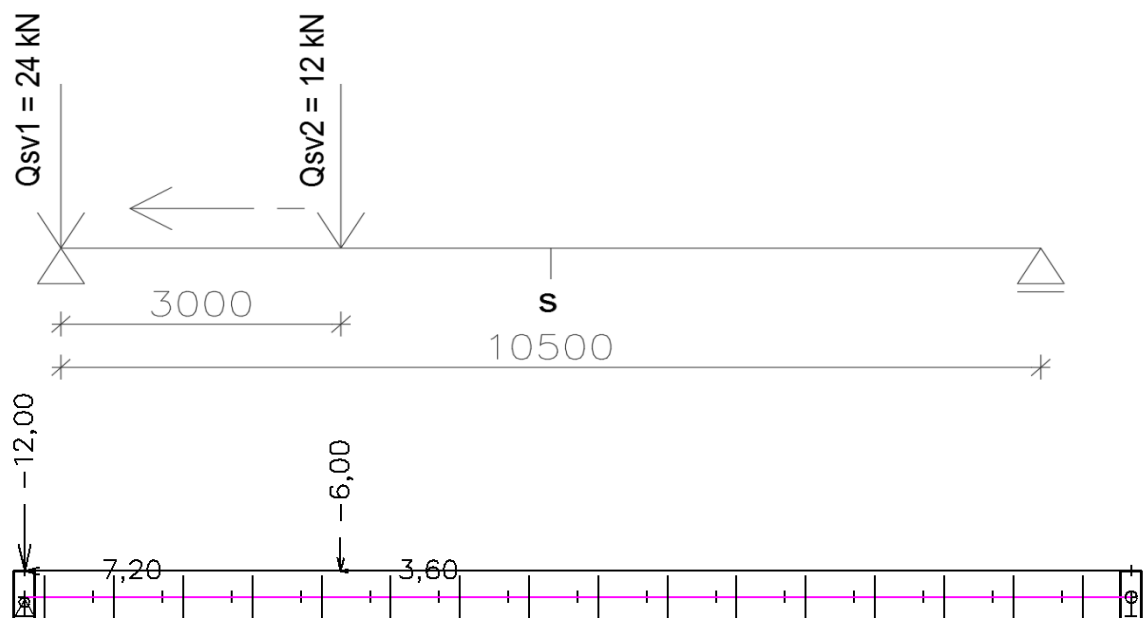
Hodnotu dynamického součinitele uvažujeme $\varphi = 1,0$.

Mimořádní zatížení sanitním vozidlem je uvažováno stejné jako v případě zatížení ve variantě č. I.

Poloha 1. - Největší ohybový moment



Poloha 2. - Největší posouvací síla



Vozidlo je v poloze, kdy se přední náprava nachází těsně před podporou nosníku.

6.3 Zatěžovací stavy

ZS	Popis
LC1	Vlastní tíha
LC2	Ostatní stálé
LC3	Užitné rovnoměrné
LC4	Užitné rovnoměrné - jednostranné
LC5	Užitné bodové - 10 kN - Q_{fvk}
LC6	Vz - Sanitní vůz
LC7	My - Sanitní vůz
LC8	Vítr Příčný - F_w
LC9	Oteplení
LC10	Ochlazení

6.4 Kombinace zatížení

Mezní stav únosnosti

Zatížení teplotou a větrem se neuvažuje současně. Objekt se nenachází v místě s místě s tak markantním vlivem klimatických podmínek, aby byli uvažovány společně.

Souhrn uvažovaných kombinací zatěžovacích stavů pro trvalé či dočastné návrhové situace (skutečný počet kombinací je mnohem větší, zde jsou však ty, jež jsou považovány za kombinace, jež vytváří obálku vnitřních sil) :

Kombinace	Stálá nepříznivá	Hlavní proměnné	Vedlejší proměnné	
			nejúčinnější	ostatní
MSU1	$0,85 \times 1,35 \times G_k$	$1,35 \times LC3$	$1,5 \times 0,3 \times F_w$	-
MSU2	$0,85 \times 1,35 \times G_k$	$1,35 \times LC4$	$1,5 \times 0,3 \times F_w$	-
MSU3	$0,85 \times 1,35 \times G_k$	$1,35 \times 0,4 \times LC3$	$1,5 \times F_w$	-
MSU4	$0,85 \times 1,35 \times G_k$	$1,35 \times LC3$	$1,5 \times 0,6 \times T_h$	-
MSU5	$0,85 \times 1,35 \times G_k$	$1,35 \times LC3$	$1,5 \times 0,6 \times T_c$	-
MSU6	$0,85 \times 1,35 \times G_k$	$1,35 \times LC4$	$1,5 \times 0,6 \times T_h$	-
MSU7	$0,85 \times 1,35 \times G_k$	$1,35 \times LC4$	$1,5 \times 0,6 \times T_c$	-

$G_k \dots LC1+LC2$

$T_c = -|\Delta T_{N,con}|$

$T_h = \Delta T_{N,exp}$

LC4 - Užitné bodové 10kN - Q_{fvk} , se nekombinuje s větrem ani teplotou.

Souhrn uvažovaných kombinací zatěžovacích stavů pro mimořádné návrhové situace (skutečný počet kombinací je mnohem větší, zde jsou však ty, jež jsou považovány za kombinace jež vytváří obálku vnitřních sil) :

Kombinace	Stálá - nepříznivá	Mimořádné zatížení	Vedlejší proměnné	
			nejúčinnější	ostatní
Mim1	$1,00 \times G_k$	$1,00 \times LC6$	$0,2 \times F_w$	-
Mim2	$1,00 \times G_k$	$1,00 \times LC5$	$0,2 \times F_w$	-
Mim3	$1,00 \times G_k$	$1,00 \times LC6$	$0,6 \times T_h$	-
Mim4	$1,00 \times G_k$	$1,00 \times LC6$	$0,6 \times T_c$	-
Mim5	$1,00 \times G_k$	$1,00 \times LC5$	$0,6 \times T_h$	-
Mim6	$1,00 \times G_k$	$1,00 \times LC5$	$0,6 \times T_c$	-

$G_k \dots LC1+LC2$

$T_c = -|\Delta T_{N,con}|$

$T_h = \Delta T_{N,exp}$

Mezní stav použitelnosti

Souhrn uvažovaných kombinací zatěžovacích stavů pro mezní stav použitelnosti (skutečný počet kombinací je mnohem větší, zde jsou však ty, jenž jsou považovány za kombinace jenž vytváří obálku vnitřních sil):

Kombinace	Stálá nepříznivá	Hlavní proměnné	Vedlejší proměnné	
			nejúčinnější	ostatní
MSP1	$1,35 \times G_k$	LC3	$0,3 \times F_w$	-
MSP2	$1,35 \times G_k$	F_w	$0,4 \times LC3$	-
MSP3	$1,35 \times G_k$	LC4	$0,3 \times F_w$	-
MSP4	$1,35 \times G_k$	F_w	$0,4 \times LC4$	-

6.5 Statický návrh a posouzení

Výpočet vnitřních sil byl proveden pomocí programu SCIA Eng. Vnitřní síly byly vypočteny lineárním výpočtem.

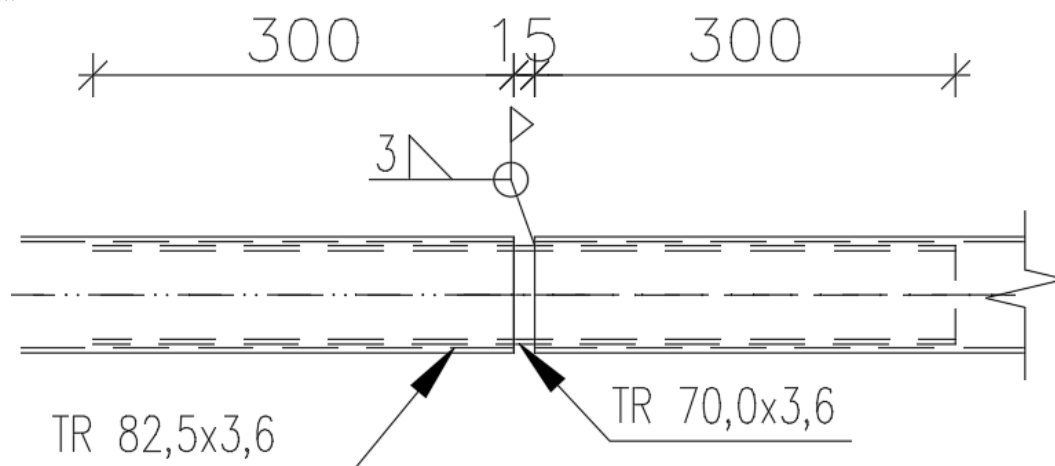
V případě prutů, jenž jsou tlačené a uvažuje se jejich selhání vybočením či klopením, byl výpočet proveden pomocí stabilitního výpočtu programu SCIA Eng.

6.5.1 Návrh konstrukce zábradlí - madlo

Návrh : TR 82,5/3,6

Vzhledem k rozměrovým poměrům prvku není třeba statické posouzení. Profil je navržený tak, aby působil komfortně při uchopení chodci.

Pro zajištění nespolutůsobení zábradlí a nosné konstrukce a pro možnost volného dilatování je ve středu madelního prvku umožněna dilatace typu „trubka v trubce,, viz. detail :



6.5.2 Posouzení a návrh konstrukce zábradlí

Materiál

S355 J2

$f_y = 355 \text{ MPa}$

$E = 210 \text{ GPa}$

$G = 81000 \text{ MPa}$

Charakteristika průřezu

TR 80x40x3,6

$t = 3,6 \text{ mm}$

$h = 80 \text{ mm}$

$b = 40 \text{ mm}$

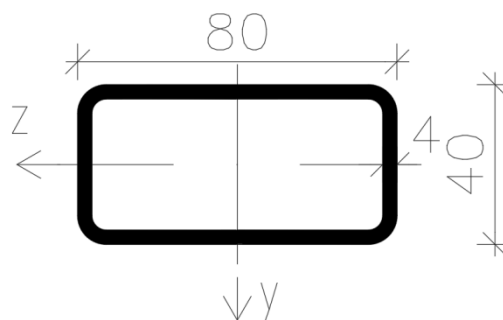
$r = 5 \text{ mm}$

$A = 798 \text{ mm}^2$

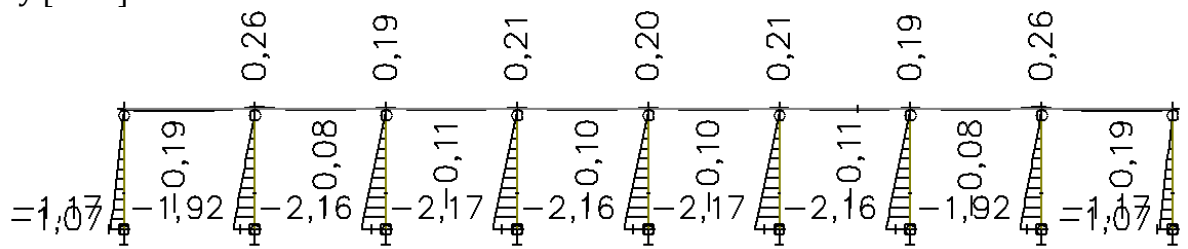
$I_y = 3,87 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$

$i_y = 18,0 \text{ mm}$

$W_{pl,y} = 2,0 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$



Vnitřní síly
My [kNm]



Zatřetíení průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} \text{ MPa}} = 0,8136$$

Ohýbaná část

$$\frac{c}{t} \leq 72 \cdot \varepsilon$$

$$19,4 \leq 58,6 \quad \text{TŘÍDA I.}$$

PRŮŘEZ TŘÍDA I.

POSOUZENÍ - MSÚ

Ohybová únosnost

Předpokládáme montážní šroubový spoj se šrouby 2x M12.

Ověříme, zda je třeba zohlednit oslabení průřezu otvorem pro šroub.

$$\frac{A_{f,w,net} \cdot 0,9 \cdot f_u}{Y_{M2}} \geq \frac{A_{f,w} \cdot f_y}{Y_{M0}} \quad f_u = 490 \text{ MPa}$$

$$d_o = 13 \text{ mm}$$

$$A_{f,w} = \frac{A}{2} = 399 \text{ mm}^2$$

$$A_{f,w,net} = A_{f,w} - d_o \cdot t = 352,2 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{f,w,net} \cdot 0,9 \cdot f_u}{Y_{M2}} = 124,2562 \text{ kN} \quad \frac{A_{f,w} \cdot f_y}{Y_{M0}} = 141,645 \text{ kN}$$

$$124,26 \text{ kN} < 141,64 \text{ kN}$$

Je třeba zohlednit oslabení průřezu otvory pro šrouby

Plastický průřezový modul oslabeného průřezu

$$S_y = 33,5 \cdot 3,6 \cdot 36,4 + 2 \cdot 3,6 \cdot 29,9 \cdot 23,25 = 9395,1 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,y,eff} = 2 \cdot S_y = 18790,2 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rd} = \frac{W_{pl,y,eff} \cdot f_y}{Y_{M0}} = 6,6705 \text{ kN m}$$

$$2,17 \text{ kN m} \leq 6,67 \text{ kN m}$$

VYHOVÍ

Profil TR 80x40x3,6 vyhoví.

POSOUZENÍ - MSP

Pro komfort a pocit bezpečí chodců na lávce uvažujeme limitní vychýlení konstrukce zábradlí z roviny

$$\delta_{LIM} = 15 \text{ mm}$$

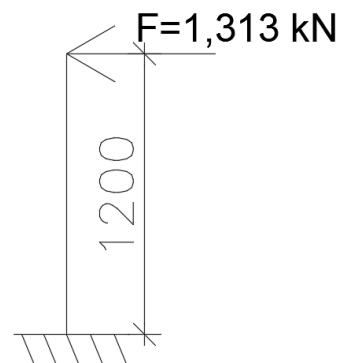
Vychýlení z roviny

$$L = 1,2 \text{ m}$$

$$\delta = \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I_Y} = 12,8283 \text{ mm}$$

$$\delta \leq \delta_{LIM}$$

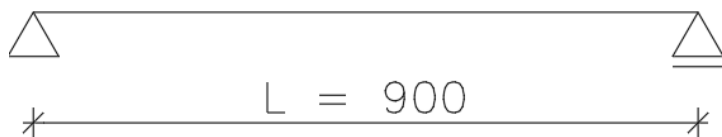
$$12,8 \text{ mm} \leq 15 \text{ mm}$$



VYHOVÍ

6.5.3 Návrh pochozích pororoštů

Typ a rozměry roštu jsou navrženy dle technických listů výrobce.



[mm]

Výsek technického listu výrobce STACO :

Rozměry nosného pásu	Rozpětí mezi podporami [mm]					
	500	600	700	800	900	
50 x 5	F_V	31995	22219	16324	12498	9875
	f_V	0,08	0,11	0,16	0,20	0,26
	F_p	2569	2056	1713	1469	1285
	f_p	0,08	0,11	0,15	0,19	0,23

F_V = přípustné rovnoměrné zatížení (kg/m^2)

f_V = průhyb (f_V) v cm při zatížení F_V

F_p = přípustné zatížení osamělým břemenem (F_p) v kg
plocha zatížení 200x200 mm

f_p = průhyb (f_p) v cm při zatížení F_p

Rozhoduje zatížení osamělým břemenem

$$F_p = 1200 \text{ kg (odpovídá bodovému zatížení od sanitního vozu)}$$

NÁVRH : STACO, svařované pororošty TYP A, rozm. nosného pásu 50x5 mm

$$F_p < F_{p,max}$$

$$1200 \text{ N} < 1285 \text{ N}$$

VYHOVÍ

6.5.4 Návrh a posouzení krajního příhradového pásu

Materiál

S355 J2

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$G = 81000 \text{ MPa}$$

Charakteristika průřezu

TR 160x80x5.0

$$t = 5 \text{ mm} \quad I_y = 7,44 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$h = 160 \text{ mm} \quad I_z = 2,49 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

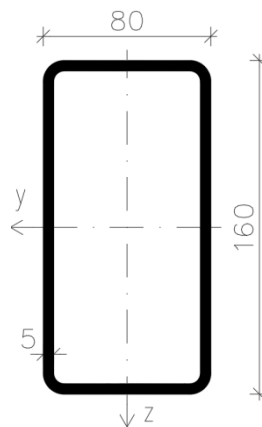
$$b = 80 \text{ mm} \quad i_y = 57 \text{ mm}$$

$$r = 8 \text{ mm} \quad i_z = 33 \text{ mm}$$

$$A = 2270 \text{ mm}^2$$

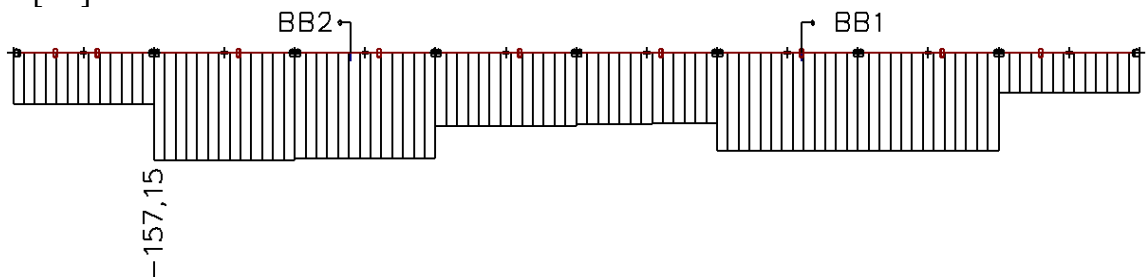
$$W_{pl,y} = 1,16 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 7,11 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

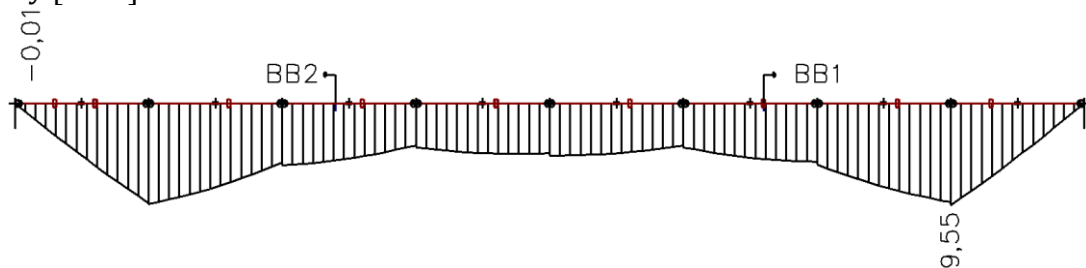


Vnitřní síly

N [kN]



My [kNm]



$$N_{Ed} = 157,65 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 9,56 \text{ kNm}$$

Zatřídění průřezu

$$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,8136$$

Tlačená část

$$c = 144$$

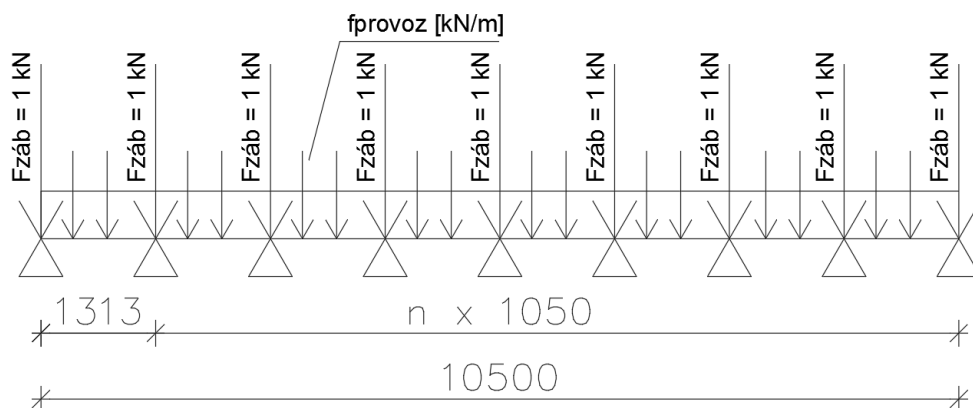
$$t = 5$$

$$\frac{c}{t} \leq 33 \cdot \epsilon$$

$$28,8 \leq 30,9$$

TŘÍDA II.

PRŮŘEZ TŘÍDY II.

POSOUZENÍ - MSÚ**Posouzení při kombinaci namáhání**

Osově napětí je do profilu vneseno diagonálami.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} \text{ MPa}} \quad \lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 76,3986$$

křivka vzpěrnosti...a

Součinitel imperfekce $\alpha = 0,76$

$$L_y = 10,5 \text{ m} \quad L_z = 1,313 \text{ m}$$

Vzpěrnostní součinitelé

$$\beta_z = 1,0$$

$$\beta_y = 0,28$$

hodnota převzata ze stabilitního výpočtu provedeného ve vypočetním programu Scia Eng.

Vzpěrné délky

$$L_{cr,y} = \beta_y \cdot L_y = 2,94 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = \beta_z \cdot L_z = 1,313 \text{ m}$$

KOLMO K Y-Y

$$\lambda_{cr,y} = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = 51,5789$$

$$\lambda_y = \frac{\lambda_{cr,y}}{\lambda_1} = 0,6751$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot \left(1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2 \right) = 0,9084$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^2}} = 0,6595$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 805,85 \text{ kN}$$

$$\chi_{LT} = 1,0$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 41,18 \text{ kN m}$$

Ekvivalentní konstantní moment (dle TAB. B.3, ČSN 1993-1-1)

$$c_{my} = 0,9$$

Interakční součinitel

$$k_{YY} = C_{my} \left[1 + (\lambda - \gamma - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{X_Y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right] = 1,0268$$

$$k_{YY} \leq C_{my} \left[1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{X_Y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right]$$

$$C_{my} \left[1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{X_Y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right] = 1,1136$$

$$1,027 < 1,114$$

$$k_{YY} = 1,0268$$

$$\frac{N_{Ed}}{X_Y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} + k_{YY} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{X_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} = 0,535$$

$$0,535 \leq 1,00$$

VYHOVÍ

Průřez TR 160x80x5,0 vyhoví.

6.5.5 Návrh a posouzení diagonály

Materiál

S355 J2

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$G = 81000 \text{ MPa}$$

Charakteristika průřezu

TR 80x50x4,0

$$t = 4,0 \text{ mm}$$

$$I_Y = 7,98 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$h = 80 \text{ mm}$$

$$I_Z = 3,77 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$b = 50 \text{ mm}$$

$$i_Y = 29,0 \text{ mm}$$

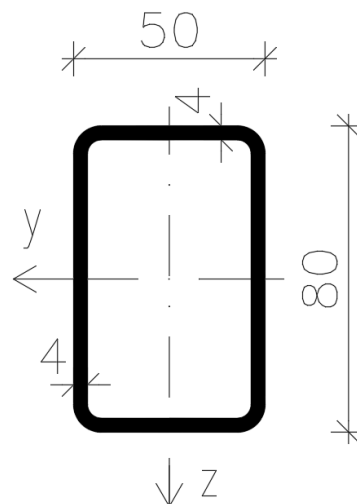
$$r = 5 \text{ mm}$$

$$i_Z = 20,0 \text{ mm}$$

$$A = 959 \text{ mm}^2$$

$$W_{p1,Y} = 2,49 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

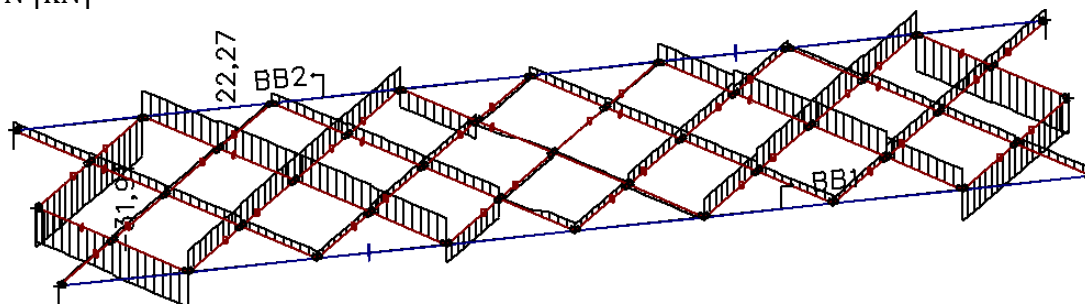
$$W_{p1,Z} = 1,78 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$



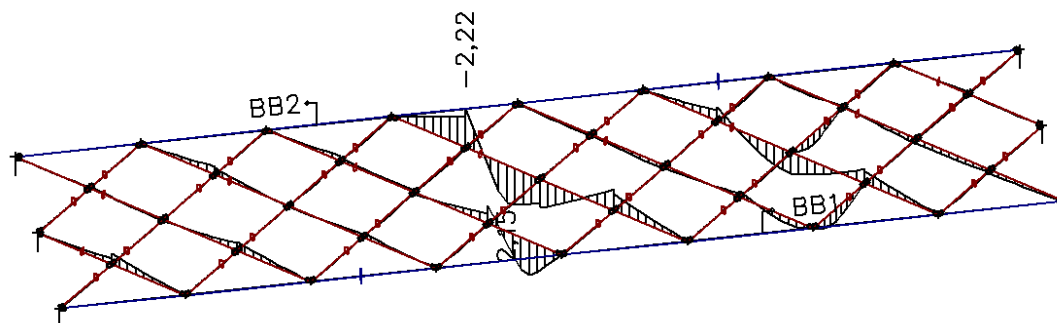
Vnitřní síly

V diagonálách se vyskytují i velké normálové síly, viz níže. Prvek je však posouzen při kombinaci ohybových momentů v zatěžovacím stavu MIM2

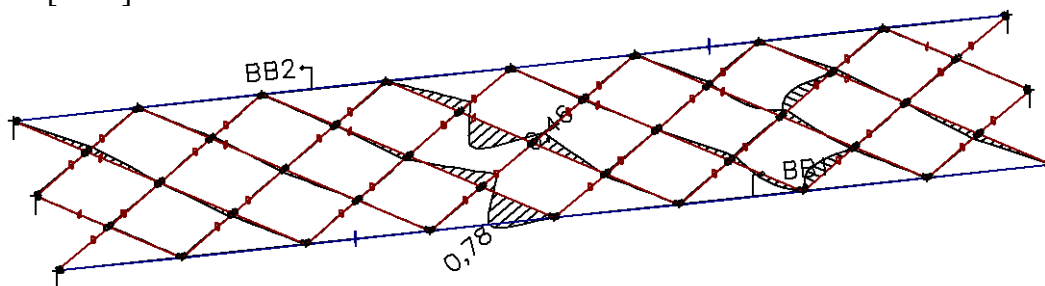
N [kN]



My [kNm]



Mz [kNm]



zatěžovací stav MIM2

$$N_{Ed} = 0,64 \text{ kN} \quad (\text{TAH})$$

$$M_{z,Ed} = 0,89 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 2,88 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = 0,14 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 2,55 \text{ kN}$$

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} \text{ MPa}} = 0,8136$$

Ohýbaná část

$$\frac{c}{t} \leq 72 \cdot \varepsilon$$

$$17,5 \leq 58,82$$

TŘÍDA I.

PRŮŘEZ TŘÍDY I.

POSOUZENÍ - MSÚ**Posouzení smykové únosnosti**

$$t_w = 4,0 \text{ mm}$$

$$h_w = 72,8 \text{ mm}$$

Smyková plocha

$$A_v = 2 \cdot h_w \cdot t_w = 582,4 \text{ mm}^2$$

Návrhová únosnost

$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = 119,3683 \text{ kN}$$

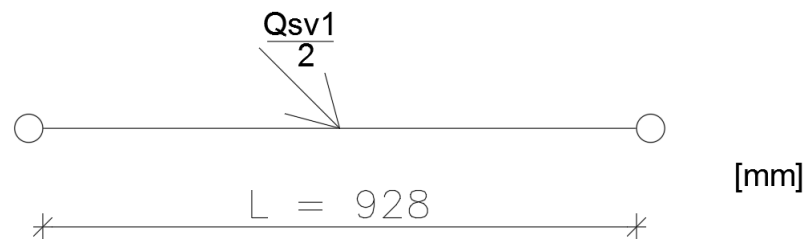
$$V_{z,Ed} = 2,55 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} < V_{Rd}$$

$$2,55 \text{ kN} < 119,37 \text{ kN}$$

VYHOVÍ

Profil vyhoví.

Posouzení při namáhání šikmým ohybem

$$N_{pl,Rd} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 340,445 \text{ kN}$$

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 8,8395 \text{ kN m}$$

$$M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 6,319 \text{ kN m}$$

Redukovaná hodnota únosnosti v důsledku osových sil

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = 0,0019$$

$$a_w = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t}{A} = 0,5829$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \left(\frac{1-n}{1-0,5 \cdot a_w} \right) = 12,452 \text{ kN m}$$

$$\text{ale } M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \left(\frac{1-n}{1-0,5 \cdot a_f} \right) = 7,5654 \text{ kN m}$$

$$\text{ale } M_{N,z,Rd} \leq M_{pl,z,Rd}$$

Šikmý ohyb

$$\alpha = \frac{1,66}{1 - 1,13 \cdot n} = 1,66 \quad \alpha \leq 6$$

$$\beta \leq 6$$

pro výpočet

$$\beta = \alpha$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd}$$

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} \right)^\beta \leq 1$$

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \right)^{1,66} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} \right)^{1,66} = 0,1941$$

VYHOVÍ

Profil vyhoví.

6.5.6 Posouzení svarového přípoje diagonál

Vnitřní síly

Zatěžovací stav MIM1

$$V_{z,Ed} = 6,39 \text{ kN}$$

Posouzení svarového přípoje

 $\gamma_{M2} = 1,25$ unosnost šroubů, prvků v otláčení, svarů

Korelační součinitel

pro S355 $\beta_w = 0,9$

$$a_w = 3 \text{ mm}$$

$$L_{ws} = 70 \text{ mm}$$

Posouzení svaru stojiny

Napětí od posouvací síly

$$\tau_r = \frac{V_{z,Ed}}{2 \cdot a_w \cdot L_{ws}} = 15,2143 \text{ MPa}$$

$$\sigma_k = 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_k = 0 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_k^2 + 3 \cdot (\tau_k^2 + \tau_r^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{\sigma_k^2 + 3 \cdot (\tau_k^2 + \tau_r^2)} = 26,3519 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = 435,5556 \text{ MPa}$$

$$15,21 \text{ MPa} < 435,55 \text{ MPa}$$

VYHOVÍ

6.5.7 Návrh a posouzení vzpěr

Materiál

S355 J2

$f_y = 355 \text{ MPa}$

$E = 210 \text{ GPa}$

$G = 81000 \text{ MPa}$

Charakteristika průřezu

TR 60x40x4,0

$h = 60 \text{ mm}$

$b = 40 \text{ mm}$

$t = 4,0 \text{ mm}$

$r = 6 \text{ mm}$

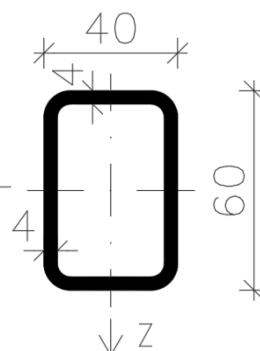
$A = 719 \text{ mm}^2$

$I_y = 3,28 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$

$I_z = 1,7 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$

$i_y = 21 \text{ mm}$

$i_z = 15 \text{ mm}$



Vnitřní síly

$N_{Ed} = 20,31 \text{ kN}$ TLAK

Zatřívění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} \text{ MPa}} = 0,8136 \quad c = 48$$

$$t = 4,0$$

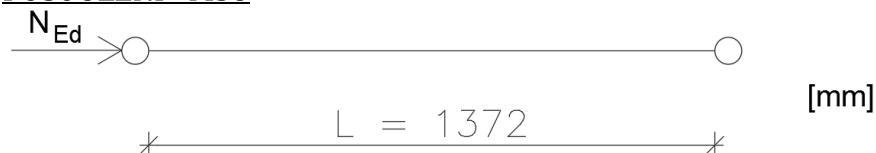
Tlačená část

$\frac{c}{t} \leq 33 \cdot \varepsilon$

$12 \leq 26,85$

TŘÍDA I.

POSOUZENÍ - MSÚ



Posouzení vzpěrné únosnosti

$L = 1,372 \text{ m}$

Součinitelé vzpěrnostních délek

$\beta_y = 1,0$

$\beta_z = 1,0$

Vzpěrné délky

$L_{cr,y} = \beta_y \cdot L = 1,372 \text{ m}$

$L_{cr,z} = \beta_z \cdot L = 1,372 \text{ m}$

Vzhledem k momentům setrvačnosti, vzpěra vybočí dříve kolmo na osu z-z.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} \text{ MPa}} \quad \lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 76,3986$$

křivka vzpěrnosti...a

Součinitel imperfekce $\alpha = 0,21$

KOLMO K Z-Z

$$\lambda_{cr,z} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = 91,4667$$

$$\lambda_{-z} = \frac{\lambda_{cr,z}}{\lambda_1} = 1,1972$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot \left(1 + \alpha \cdot (\lambda_{-z} - 0,2) + \lambda_{-z}^2 \right) = 1,3214$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_{-z}^2}} = 0,5317$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 135,7258 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$20,31 \text{ kN} \leq 135,73 \text{ kN}$$

VYHOVÍ

6.5.8 Návrh a posouzení středového nosníku

Materiál

S355 J2

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$G = 81000 \text{ MPa}$$

Charakteristika průřezu

TR 406, 4x12, 5

$$t = 12,5 \text{ mm}$$

$$d = 406 \text{ mm}$$

$$A = 15500 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 3,03 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 3,03 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

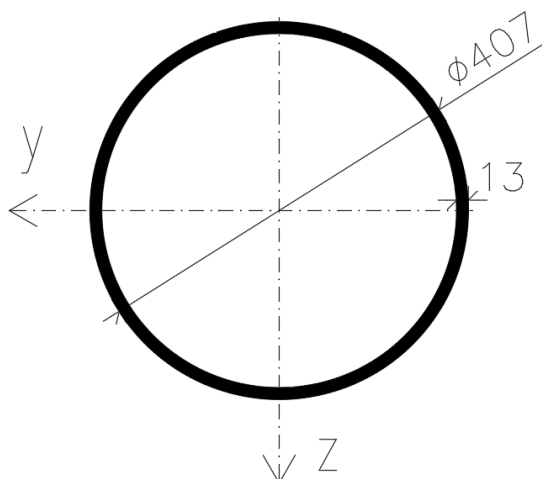
$$i_y = 139 \text{ mm}$$

$$i_z = 139 \text{ mm}$$

$$I_t = 6,01 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

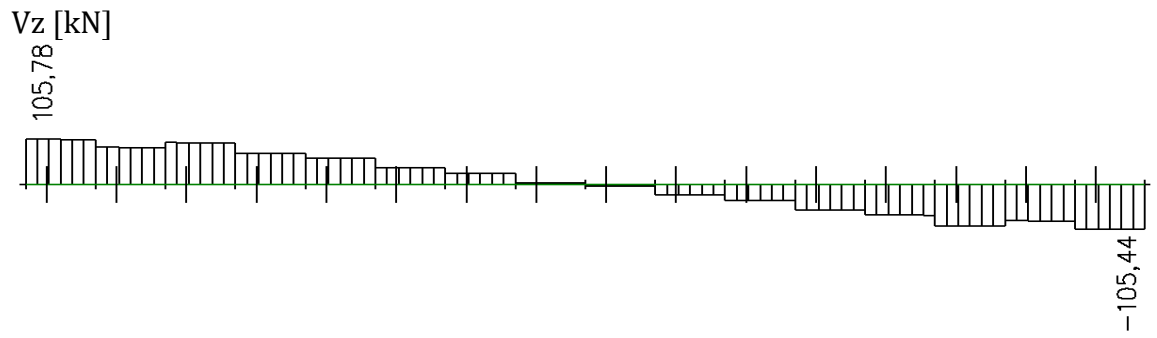
$$W_{p1,y} = 1,93 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_{p1,z} = 1,93 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$



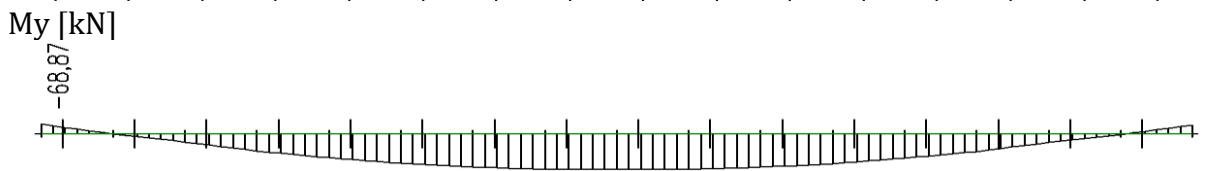
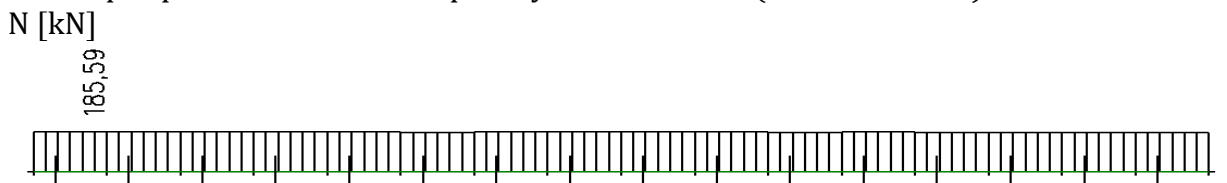
Vnitřní síly

pro posouzení únosnosti ve smyku (zat. stav MSÚ1)



$$V_{z,Ed} = 105,78 \text{ kN}$$

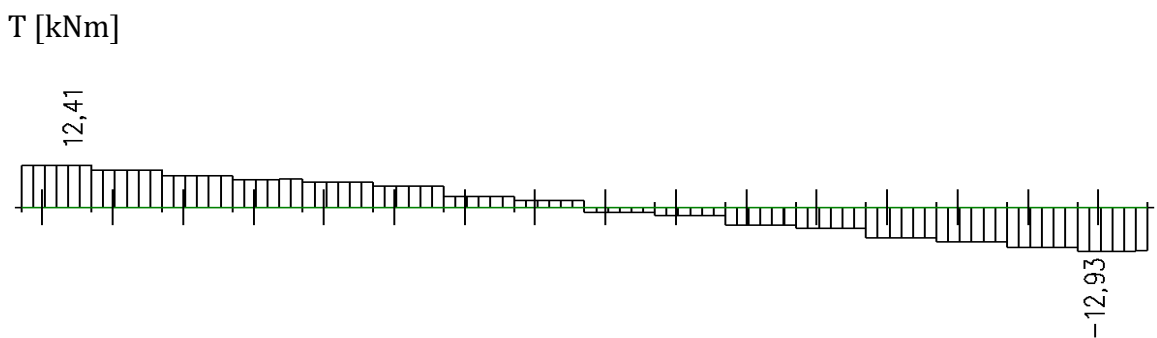
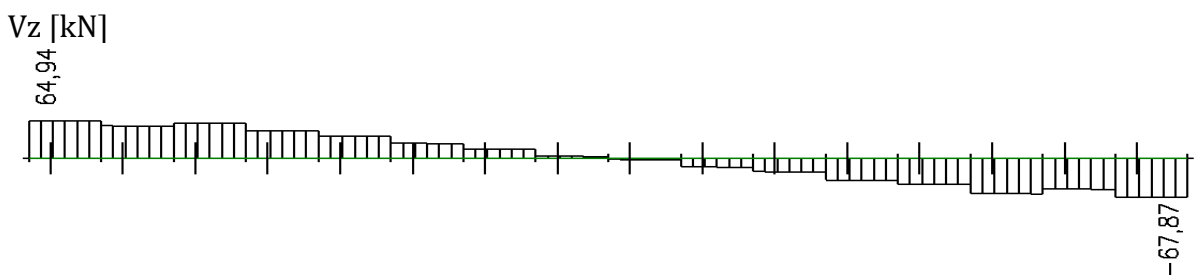
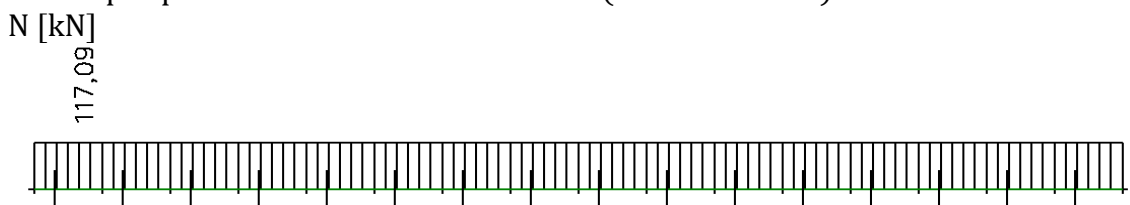
pro posouzení únosnosti při ohybu a osové síle (zat. stav MSÚ1)



$$N_{Ed} = 185,59 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 254,21 \text{ kNm}$$

pro posouzení únosnosti v kroucení (zat. stav MSÚ2)



$$N_{Ed} = 117,09 \text{ kN} \quad \text{TAH}$$

$$T_{Ed} = 12,93 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 67,87 \text{ kN}$$

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \text{ MPa} = 0,8136$$

$$d = 406 \text{ mm}$$

$$t = 12,5 \text{ mm}$$

Ohýbaná část

$$\frac{d}{t} \leq 50 \cdot \varepsilon^2$$

$$32,48 \leq 47,62$$

PRŮŘEZ TŘÍDY I.

POSOUZENÍ - MSÚ**Posouzení smykové únosnosti**

- zat. stav MSÚ1

Smyková plocha

$$A_v = 2 \cdot \frac{A}{\pi} = 9867,6065 \text{ mm}^2$$

Návrhová únosnost

$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \sqrt{3}} = 2022,4582 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} < V_{Rd}$$

$$105,78 \text{ kN} \leq 2022,46 \text{ kN}$$

VYHOVÍ

Posouzení ohybové únosnosti při působení osově síly

- zat. stav MSÚ1

Posouvající síla je nulová, není třeba redukovat moment

Vzhledem k typu průřezu není třeba redukovat momentovou

únosnost za účinku působení osově síly.

$$N_{p1,Rd} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 5502,5 \text{ kN}$$

$$M_{p1,y,Rd} = \frac{W_{p1,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 685,15 \text{ kNm}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{p1,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{p1,y,Rd}} = 0,4048$$

$$0,405 < 1,00$$

VYHOVÍ

Posouzení při kroucení

- zat. stav MSÚ2

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y}\right) + 3 \cdot \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y}\right)^2 \leq 1,00$$

$$\sigma_{z,Ed} = 0 \text{ MPa}$$

Uzavřený průřez - kroucení prosté,
napětí od bimomentu jsou zanedbatelná.

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{N_{Ed}}{A} = 7,5542 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y}\right)^2 \leq 1,00$$

$$\tau_{Ed} = \tau_t$$

Plocha opsaná střednicí

$$A_s = \frac{\pi \cdot \left(d - \frac{t}{2}\right)^2}{4} = 1,2551 \cdot 10^5 \text{ mm}^2$$

$$\Omega = 2 \cdot A_s = 2,5101 \cdot 10^5 \text{ mm}^2$$

$$\delta_s = t$$

$$\tau_t = \frac{T_{Ed}}{\delta_s \cdot \Omega} = 4,1209 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y}\right)^2 = 0,0009$$

$$0,0009 \leq 1,00$$

VYHOVÍ

Posouzení redukované smykové síly při kroucení

- zat. stav MSÚ2

Redukovaná smyková únosnost při kroucení

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

Smyková plocha

$$A_v = 2 \cdot \frac{A}{\pi} = 9867,6065 \text{ mm}^2$$

$$V_{p1,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \sqrt{3}} = 2022,4582 \text{ kN}$$

$$V_{p1,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_t}{\frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}} \right] \cdot V_{p1,Rd} = 1981,7948 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{p1,T,Rd}} = 0,0342$$

$$67,87 \text{ kN} \leq 2022,46 \text{ kN}$$

VYHOVÍ

6.5.9 Návrh a posouzení příčného nadpodporového nosníku

Materiál

S355 J2

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$G = 81000 \text{ MPa}$$

Charakteristika průřezu

TR 500x200x8,0

$$t = 8 \text{ mm}$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$b = 200 \text{ mm}$$

$$r = 12 \text{ mm}$$

$$A = 10900 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 3,41 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

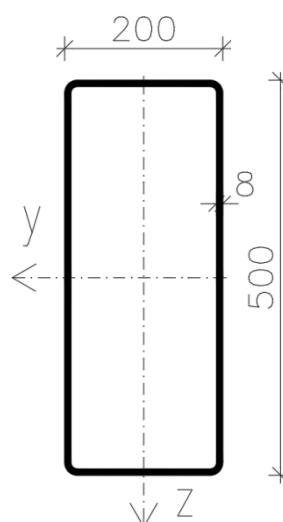
$$I_z = 8,14 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$i_y = 139 \text{ mm}$$

$$i_z = 139 \text{ mm}$$

$$W_{e1,y} = 1,36 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

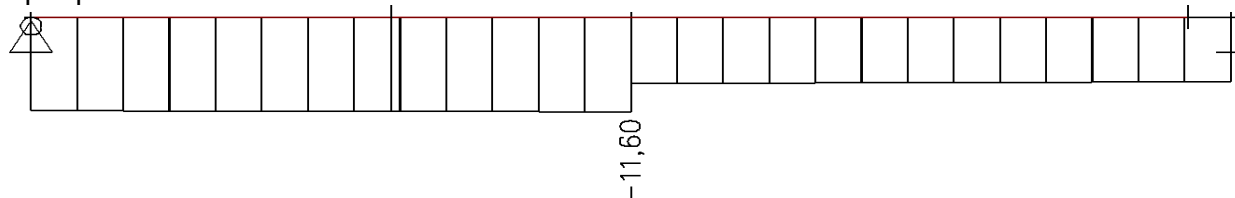
$$W_{e1,z} = 8,14 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$



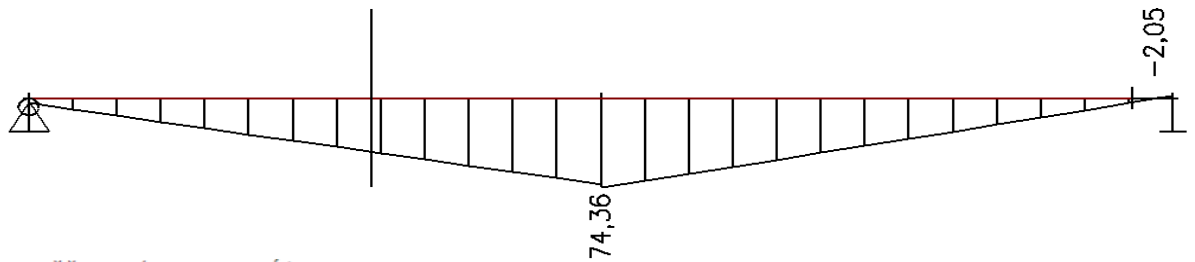
Vnitřní síly

Pro posudek v místě nejneprůzračnější kombinace (v prostřed nosníku)

N [kN]



My [kNm]

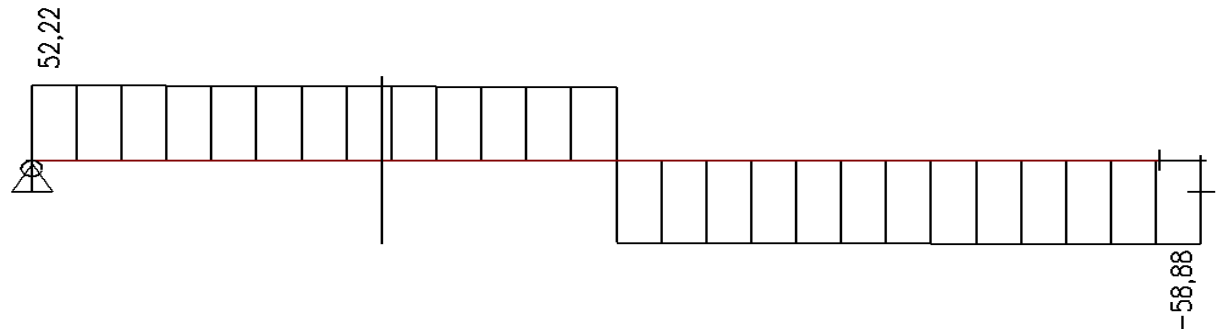


zatěžovací stav MSÚ1

$$N_{Ed} = 11,6 \text{ kN} \quad (\text{TLAK})$$

$$M_{y,Ed} = 74,36 \text{ kNm}$$

Pro posudek v místě největšího smyku (v místě u podpory)



zatěžovací stav MSÚ1

$$V_{z,Ed} = 58,88 \text{ kN}$$

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} \text{ MPa}} = 0,8136 \quad c = 476 \text{ mm}$$

$$t = 8 \text{ mm}$$

Tlačená a ohýbaná část

Napětí v horních vláknech

$$z_h = 250 \text{ mm}$$

$$\sigma_h = \frac{M_{y,Ed}}{I_y} \cdot z_h + \frac{N_{Ed}}{A} = 55,5803 \text{ MPa}$$

Napětí v horních vláknech

$$z_d = (-250) \text{ mm}$$

$$\sigma_d = \frac{M_{y,Ed}}{I_y} \cdot z_d + \frac{N_{Ed}}{A} = -53,4519 \text{ MPa}$$

$$\psi = \frac{\sigma_d}{\sigma_h} = -0,9617$$

pro průřez třídy 3.

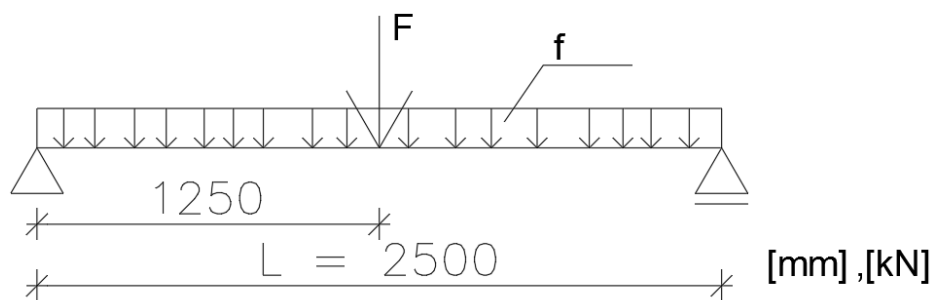
$$\frac{c}{t} = 59,5$$

$$\frac{42 \cdot \varepsilon}{0,67 + 0,33 \cdot \psi} = 96,9038$$

$$59,5 \leq 96,9$$

PRŮŘEZ TŘÍDY III.

POSOUZENÍ - MSÚ

**Posouzení únosnosti při ohybu**

Vzhledem k typu průřezu a velikosti normálové síly není třeba redukovat návrhovou momentovou únosnost.

$$M_{el,y,Rd} = \frac{W_{el,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 482,8 \text{ kN m}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} = 0,154$$

$$0,154 \leq 1,00$$

VYHOVÍ

Posouzení smykové únosnosti

$$t_w = 8,0 \text{ mm}$$

$$h_w = 476 \text{ mm}$$

Smyková plocha

$$A_v = 2 \cdot h_w \cdot t_w = 7616 \text{ mm}^2$$

Návrhová únosnost

$$V_{Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0} \sqrt{3}} = 1560,9704 \text{ kN}$$

$V_{Ed} < V_{Rd}$

$$58,88 \text{ kN} \leq 1560,97 \text{ kN}$$

VYHOVÍ

6.5.10 Návrh a posouzení čepového ložiska

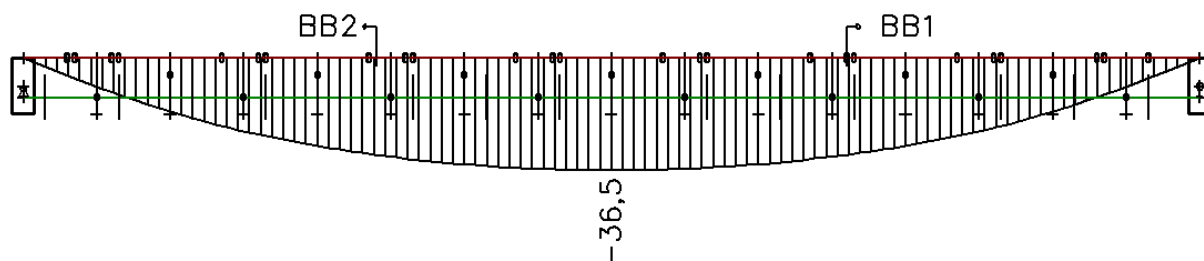
Návrh čepového ložiska viz VAR.1. kap. 5.5.13.

6.5.11 Posouzení MSP - průhyb celé konstrukce

Dle výpočtu z programu SCIA Eng. pro délku

$$L = 10,5 \text{ m}$$

je skutečný maximální průhyb



$$\delta = 36,5 \text{ mm}$$

Maximální přípustný průhyb dle ČSN EN 1993-2.

$$\delta_{LIM} = \frac{L}{250} = 42 \text{ mm}$$

$$\delta \leq \delta_{LIM}$$

$$36,5 \text{ mm} \leq 42 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

Konstrukce z hlediska průhybu vyhoví.

6.5.12 Posouzení MSP - kmitání konstrukce

Při návrhu je brán ohled na vlastní tvary kmitání vyvolané provozem na lávce.

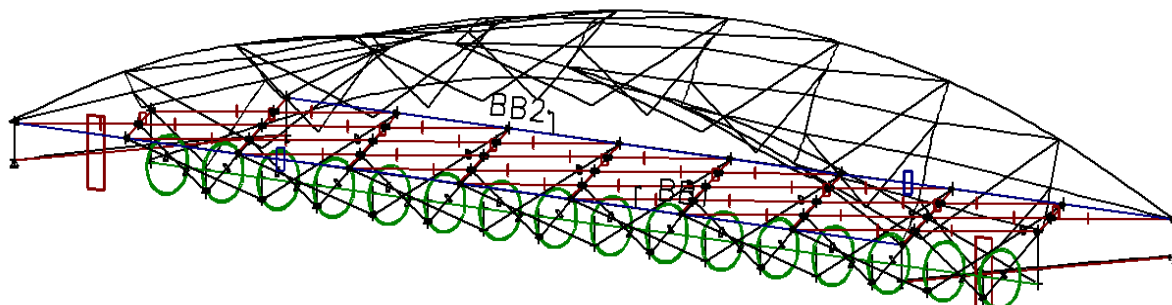
Kmitání je nezbytným aspektem pro pohodlí chodců.

Návrh považuje pohodlí chodců za splněné při vzniku prvních vlastních tvarů kmitání při překročení vlastní frekvence konstrukce **3Hz**.

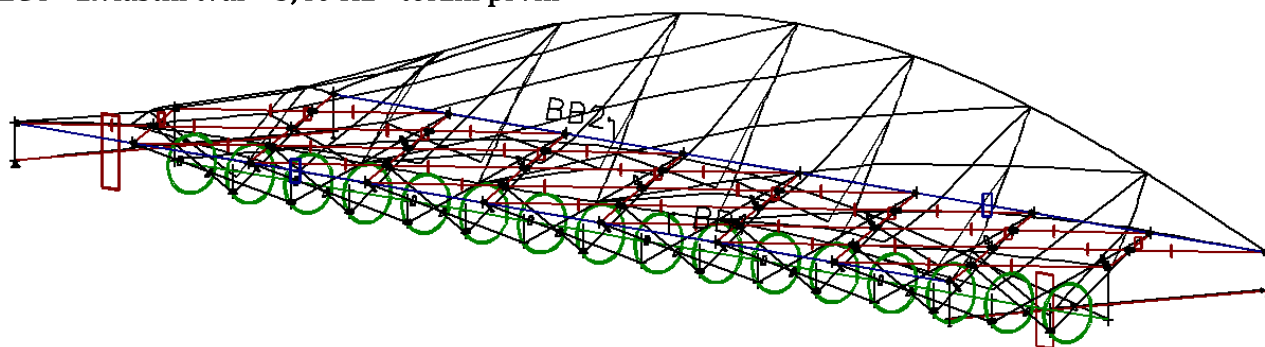
Kombinace hmot jsou spjaté se zatěžovacími stavy

LC3	Užitné rovnoměrné
LC4	Užitné rovnoměrné - jednostranné
LC5	Užitné bodové - 10 kN - Q_{fvk}

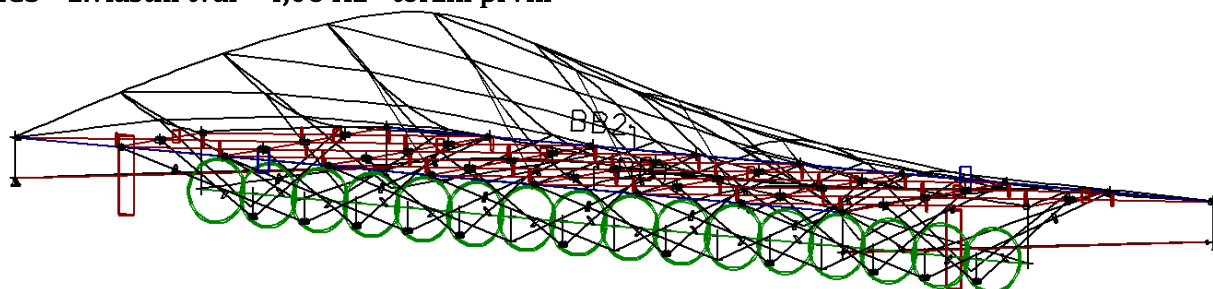
LC3 - 1.vlastní tvar - 3,01 Hz - ohybový svislý



LC4 - 1.vlastní tvar - 3,40 Hz - torzní první



LC5 - 1.vlastní tvar - 4,06 Hz - torzní první



Požadavek je splněn. Návrh z hlediska kmitání konstrukce vyhoví.

7 VARIANTA III. - SPŘAŽENÁ OCELOBETONOVÁ KONSTRUKCE

7.1 Výpočtový model

Výpočtový model uvažuje konstrukci, jenž je v příčném směru nekonečně tuhá. Při výpočtu nezohledňujeme kroutící účinky zatížení na celou konstrukci. Zanedbáváme mírné nerovnoměrnosti v rozložení konstrukce. Výpočet je proveden na nejzatíženějším nosníku konstrukce.

7.2 Uvažovaná zatížení celého mostu

7.2.1 Vlastní tíha

Jde o hmotnost všech vlastních dílců uvažovaných ve výpočtovém modelu.

7.2.2 Ostatní stálé - G_k

Uvažuje se bezpečnostní vybavení lávky (zábradlí apod.)
 $q_z = 1,0 \text{ kN/m}^2$.

7.2.3 Klimatická zatížení

Sníh

Zatížení sněhem se nekombinuje s žádným jiným užitným zatížením.

sněhová oblast II

$$s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

$$s = \mu \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$$

C_e součinitel expozice -> normální krajina -> 1,0

C_t tepelný součinitel -> 1,0

μ tvarový součinitel -> 0,8

$$s = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

Vítr - Příčný - F_w

Zatížení větrem je uvažováno pouze od větru působícího rovnoběžně se šířkou mostu, resp. kolmo na rozpětí mostu.

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot A_{ref,x} \text{ [kN]}$$

Abychom lépe vystihli zatížení větrem na lávku, nahradíme sílu liniovým zatížením.

$$f_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot h_{ref} \text{ [kN/m]}$$

ρ měrná hmotnost vzduchu = $1,25 \text{ kg/m}^3$

v_b základní rychlost větru

$$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0}$$

$$C_{dir} = 1,0$$

$$C_{season} = 1,0$$

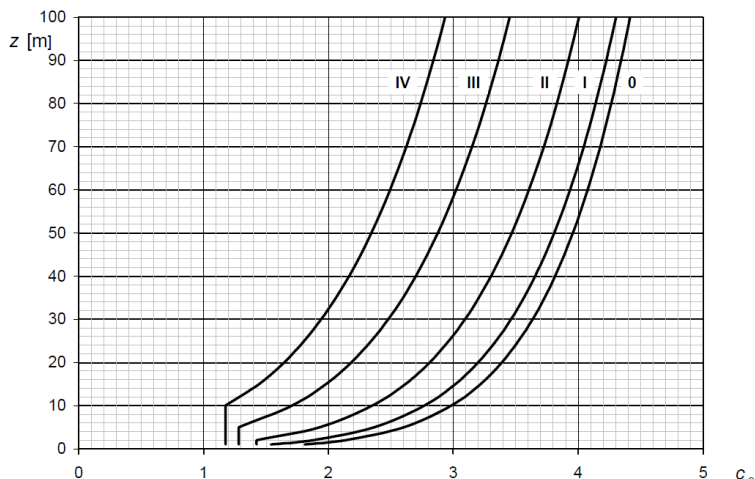
$$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$$

(větrná oblast II.

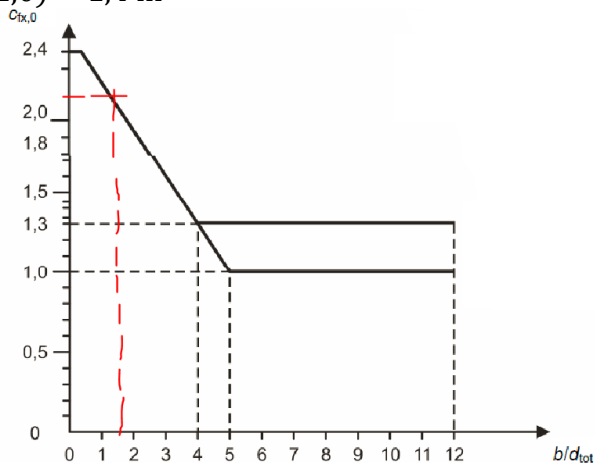
, kategorie terénu II. - oblast s nízkou vegetací a izolovanými

překážkami)

C součinitel zatížení větrem, $C = c_e(z) \cdot c_{f,x}$

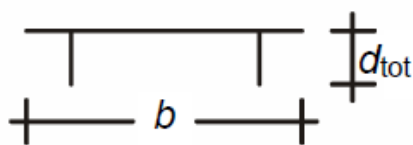


$z = 2,0 \text{ m}$
 $c_e(2,0) = 1,4$



$c_{f_x,0} = 2,25$

Závisí na tvaru konstrukce :



$b = 2,6 \text{ m}$
 $d_{tot} = 1,55 \text{ m}$

(uvažujeme, že lávka je zatížena dopravou, resp. davem osob o výšce odpovídající výšce průměrného člověka, tedy 1,8m a výška pochozí nosné konstrukce 0,3 m)

$b / d_{tot} = 2,6 / 2,1 = 1,62$

h_{ref} referenční výška konstrukce dle tab. 8.2

Silniční záchytný systém	Na jedné straně	Na obou stranách
Prodyšné zábradlí nebo svodidlo se svodnicí	$d + 0,3 \text{ m}$	$d + 0,6 \text{ m}$

$h_{ref} = d + 0,6$

d výška samotné mostovky = 0,4 m

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = 25 \text{ m/s}$$

$$C = c_e(z) \cdot c_{f,x} = 1,4 \cdot 2,25 = 3,15$$

$$h_{ref} = d + 0,6 = 0,6 + 0,4 = 1,0 \text{ m}$$

$$f_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot h_{ref} = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 \cdot 3,15 \cdot 0,9 = 1073 \text{ N/m} = \underline{1,1 \text{ kN/m}}$$

Zatížení f_w [kN/m] uvažujeme v celé délce lávky.

S přihlédnutím k rozložení zatěžovacích ploch liniové zatížení uvažujeme 0,5 m nad spodní hranou konstrukce.

Sání větru zanedbáváme.

Zatížení větrem není při zjednodušeném výpočtu uvažováno. Je však zohledněn při posouzení a návrhu ložisek.

Teplota - T_K

Je uvažované pouze rovnoměrné zatížení konstrukce teplotou. Ostatní zatížení teplotou, jako např. nerovnoměrné jsou zanedbány.

Při zatížení teplotou se vychází z přibližné průměrné roční teploty v místě stavby, kterážto je rovněž uvažována jako teplota, při které byla konstrukce montována.

$$T_0 = 15^\circ\text{C}$$

Typ konstrukce : I. typ

$$T_{min} = -32^\circ\text{C}$$

$$T_{max} = 40^\circ\text{C} \quad (\text{dle ČSN EN 1991-5, NA})$$

$$T_{e,max} = T_{max} + 16^\circ\text{C} = 56^\circ\text{C}$$

$$T_{e,min} = T_{min} - 3^\circ\text{C} = -35^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{e,min} = 15 - (-35) = 50^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0 = 56 - 15 = 41^\circ\text{C}$$

Pro zatížení teplotou uvažujeme charakteristickou hodnotu maximálního rozsahu zkrácení vlivem rovn. složky teploty

$$\Delta T_{N,con} = 50^\circ\text{C}$$

Pro zatížení teplotou uvažujeme charakteristickou hodnotu maximálního rozsahu roztažení vlivem rovn. složky teploty

$$\Delta T_{N,exp} = 41^\circ\text{C}$$

(doporučené hodnoty dle ČSN 1991-1-5)

7.2.4 Proměnné zatížení

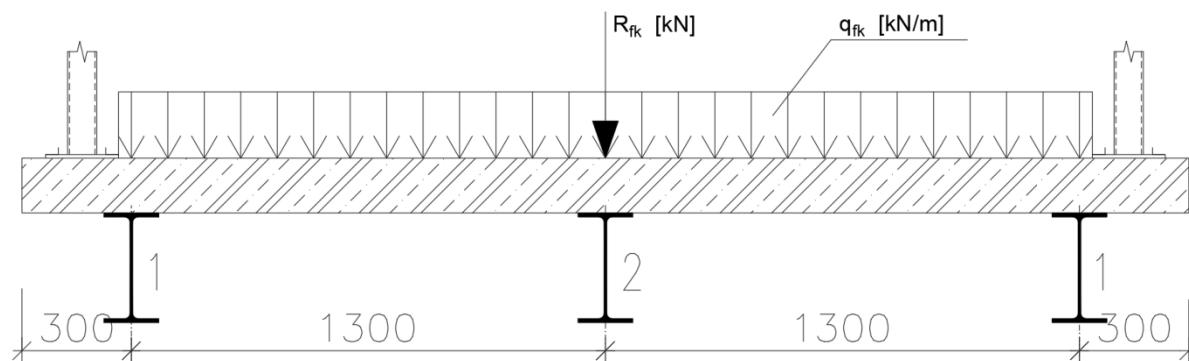
Užitné rovnoměrné - gr1

Uvažujeme rovnoměrné zatížení chodci o hodnotě

$$q_{fk} = 5,0 \text{ kN/m}^2.$$

(dle ČSN 1991 - 2.)

Tato hodnota zatížení uvažuje dav lidí a zahrnuje již dynamický součinitel.



pozn. R_{fk} ... výslednice spojitého zatížení q_{fk}

Zábradlí je zatíženo vodorovným nebo svislým liniovým zatížením v horní hraně zábradlí.

Jeho hodnota je

$$q_{za} = 1,0 \text{ kN/m.}$$

Zábradlí není součástí výpočetního modelu a je nahrazeno příslušnými silami. Zatížení od zábradlí je uvažováno pouze na krajní nosník konstrukce.

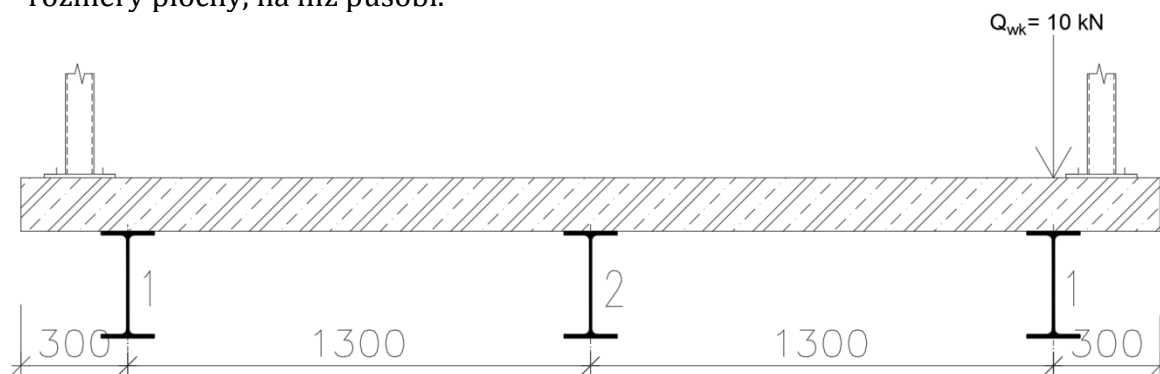
Užitné bodové- Q_{wk}

Hodnota bodového zatížení

$$Q_{wk} = 10,0 \text{ kN}$$

(dle ČSN 1991 - 2.)

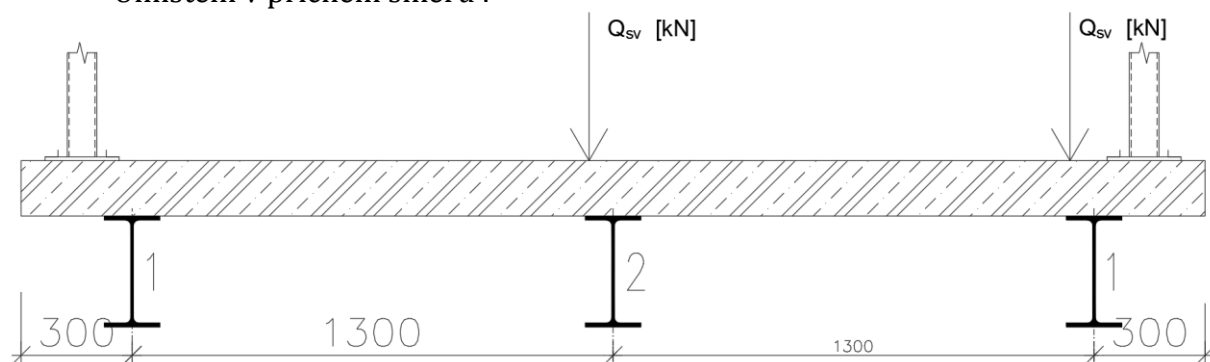
je uvažována na ploše $0,1 \times 0,1$ m. Zde je však zjednodušena a zanedbáváme rozměry plochy, na níž působí.



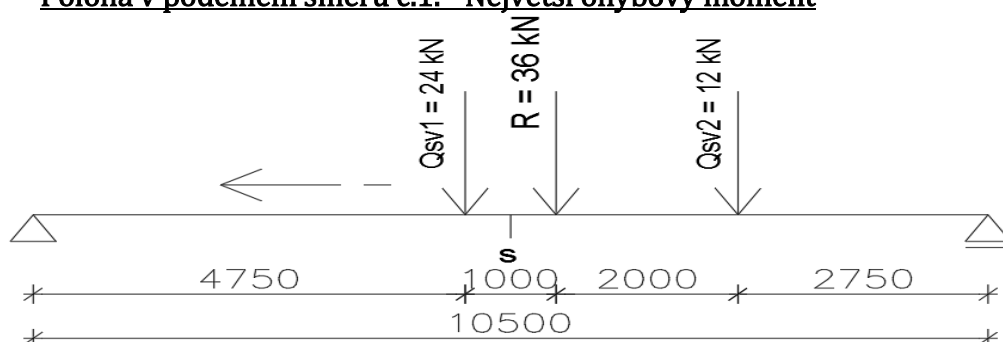
7.2.5 Mimořádné zatížení - sanitní vůz - A_{sv}

Hodnota mimořádného zatížení sanitním vozidlem je uvažována stejná jako v případě zatížení ve variantě č. I. a II.

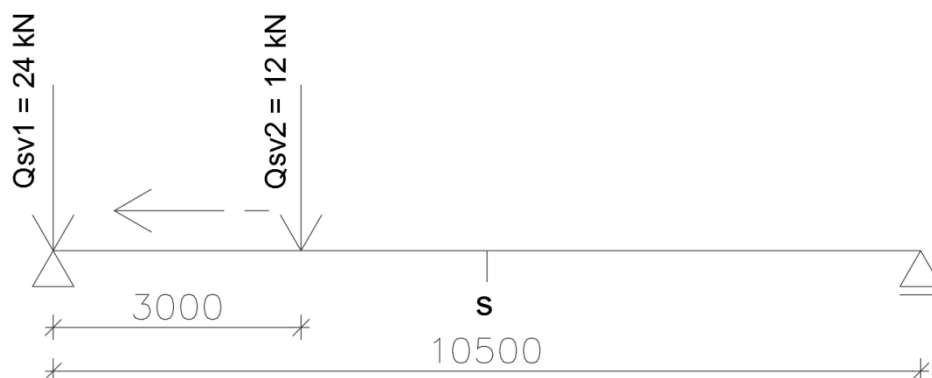
Umístění v příčném směru :



Poloha v podélném směru č.1. - Největší ohybový moment



Poloha v podélném směru č.2. - Největší posouvací síla



Vozidlo je v poloze, kdy se přední náprava nachází těsně před podporou nosníku.

Konstrukce je uvažována v příčném směru jako nekonečně tuhá. Umístění náhradních břemen v příčném směru nemá tedy vliv na zatížení středového nosníku.

7.2.6 Montážní zatížení

V montážním stavu konstrukce navíc uvažujeme

zatížení bedněním (odhadem 50 kg/m^2)

$$g_{\text{bed}} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

montážní zatížení

$$q_{\text{mont}} = 0,75 \text{ kN/m}^2.$$

7.3 Zatěžovací stavy

ZS	Popis
LC1	Vlastní tíha
LC2	Ostatní stálé
LC3	Užitné rovnoměrné
LC4	Užitné bodové - 10 kN - Q_{fvk}
LC5	Vz - Sanitní vůz
LC6	My - Sanitní vůz

7.4 Kombinace zatížení

Mezní stav únosnosti

Zatížení teplotou a větrem se neuvažuje současně. Objekt se nenachází v místě s místě s tak markantním vlivem klimatických podmínek, aby byli uvažováni společně.

Souhrn uvažovaných kombinací zatěžovacích stavů pro trvalé či dočasně návrhové situace (skutečný počet kombinací je mnohem větší, zde jsou však ty, jenž jsou považovány za kombinace, kteréžto vytváří obálku vnitřních sil):

Kombinace	Stálá nepříznivá	Hlavní proměnné	Vedlejší proměnné	
			nejúčinnější	ostatní
MSU1	$1,35 \times G_k$	$1,35 \times 0,4 \times LC3$	-	-
MSU2	$0,85 \times 1,35 \times G_k$	$1,35 \times LC4$	-	-
MSU3	$0,85 \times 1,35 \times G_k$	$1,35 \times LC3$	-	-

Pozn. $G_k \dots LC1+LC2$

Souhrn uvažovaných kombinací zatěžovacích stavů pro mimořádné návrhové situace (skutečný počet kombinací je mnohem větší, zde jsou však ty, jenž jsou považovány za kombinace, kteréžto vytváří obálku vnitřních sil) :

Kombinace	Stálá - nepříznivá	Mimořádné zatížení	Vedlejší proměnné	
			nejúčinnější	ostatní
Mim1	$1,00 \times G_k$	$1,00 \times LC6$	-	-
Mim2	$1,00 \times G_k$	$1,00 \times LC5$	-	-

Pozn. $G_k \dots LC1+LC2$

Mezní stav použitelnosti

Souhrn uvažovaných kombinací zatěžovacích stavů pro mezní stav použitelnosti (skutečný počet kombinací je mnohem větší, zde jsou však ty, jenž jsou považovány za kombinace kteréžto vytváří obálku vnitřních sil):

Kombinace	Stálá nepříznivá	Hlavní proměnné	Vedlejší proměnné	
			nejúčinnější	ostatní
MSP1	G_k	LC3	-	-

7.5 Statický návrh a posouzení

7.5.1 Materiál

ocel	S355 J2	beton	C 30/37	
	$f_y = 355 \text{ MPa}$		$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$	$\gamma_c = 1,5$
	$E = 210 \text{ GPa}$		$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 20 \text{ MPa}$	
	$G = 81000 \text{ MPa}$		$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$	
	$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 355 \text{ MPa}$			

7.5.2 Průřez

IPE 240		ŽB deska, tl. 120 mm
$t_f = 9,8 \text{ mm}$	$I_a = 3,89 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$	výška desky $h_d = 120 \text{ mm}$
$t_w = 6,2 \text{ mm}$	$W_{pl,a} = 3,66 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$	šířka desky $B = 3,1 \text{ m}$
$h = 240 \text{ mm}$		délka nosníku $L = 10,5 \text{ m}$
$b = 120 \text{ mm}$		zatěžovací šířka $B_q = 2,6 \text{ m}$
$r = 15 \text{ mm}$		
$A_a = 3912 \text{ mm}^2$		

7.5.3 Zatřídění průřezu

Při posouzení nosníku v mezním stavu únosnosti předpokládáme, že celý ocelový nosník je celý tažený (neutrální osa se nachází v betonové desce).

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} \text{ MPa}} = 0,8136 \quad c = 190$$

$$t = 6,2$$

Ohýbaná část

$$\frac{c}{t} \leq 72 \cdot \varepsilon$$

$$30,65 \leq 58,82$$

PRŮŘEZ TŘÍDY I.

Zatřídění průřezu ocelového nosníku je tedy nezbytné pouze pro posouzení ohybové únosnosti při montážním stavu.

7.5.4 Výpočet zatížení na krajový (1) a středový (2) nosník

VLASTNÍ TÍHA

betonová deska

$$g_c = \frac{\rho_c \cdot B \cdot h_d}{3} = 3,1 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

ocelový nosník

$$g_A = A_a \cdot \rho_A = 0,3071 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

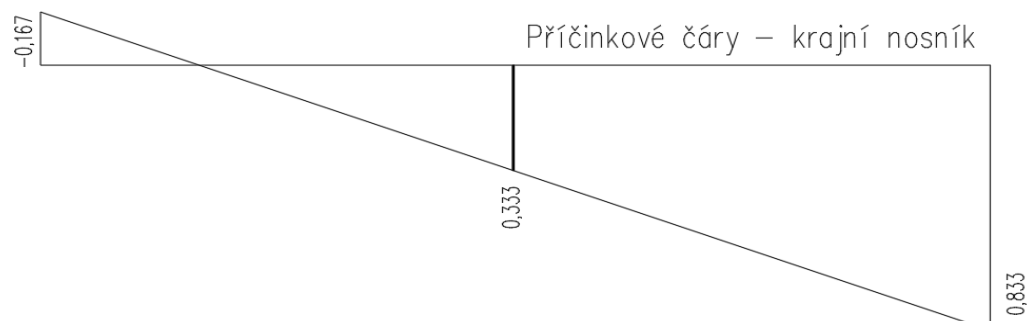
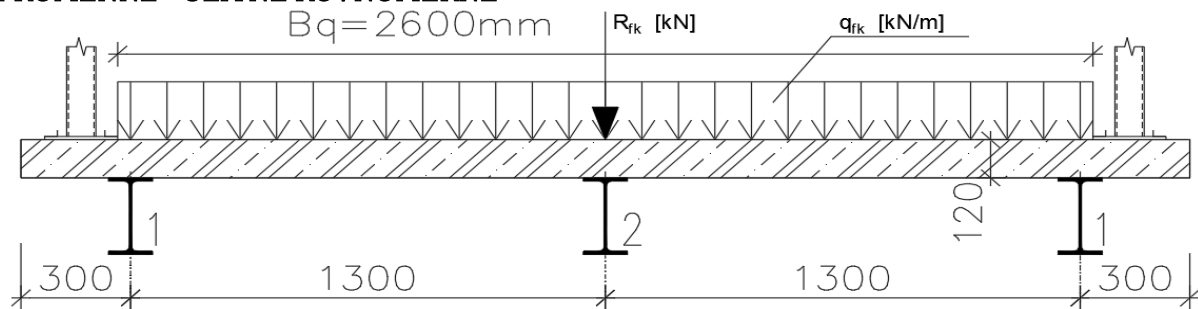
STÁLÉ OSTATNÍ

bezpečnostní vybavení lávky

$$g_{zi} = 1,0 \frac{kN}{m}$$

PROMĚNNÉ - UŽITNÉ ROVNOMĚRNÉ

$$B_q = 2600 \text{ mm}$$



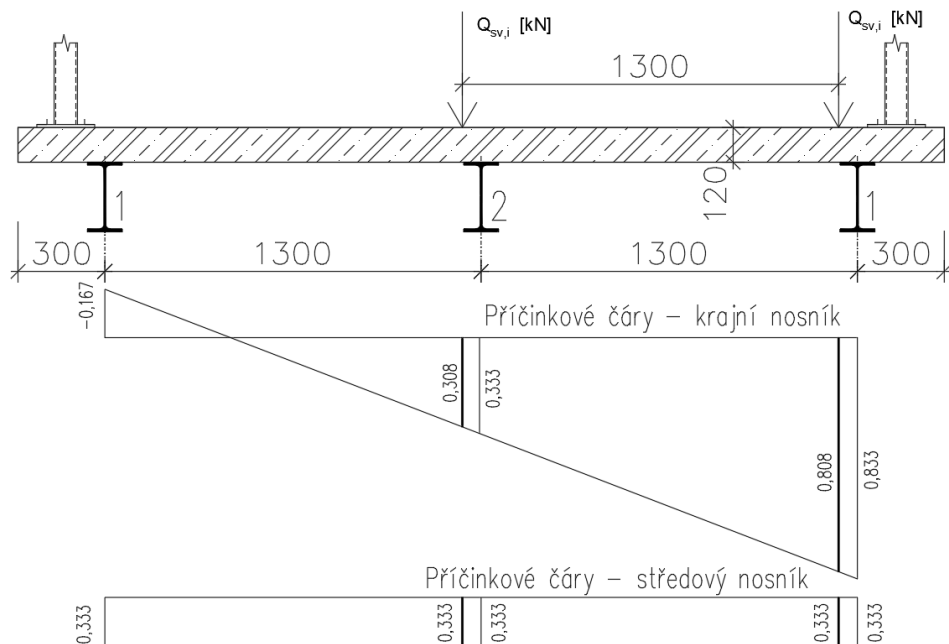
krajní nosník (1)

$$q_{fk,1} = \frac{B_q \cdot q_{fk}}{3} = 4,3333 \frac{kN}{m}$$

středový nosník (2)

$$q_{fk,2} = q_{fk,1} = 4,3333 \frac{kN}{m}$$

MIMOŘÁDNÉ



krajní nosník (1)

$$Q_{sv1,1} = \frac{Q_{sv1}}{2} \cdot 0,308 + \frac{Q_{sv1}}{2} \cdot 0,808 = 13,392 \text{ kN}$$

$$Q_{sv2,1} = \frac{Q_{sv2}}{2} \cdot 0,308 + \frac{Q_{sv2}}{2} \cdot 0,808 = 6,696 \text{ kN}$$

středový nosník (2)

$$Q_{sv1,2} = \frac{Q_{sv1}}{2} \cdot 0,333 + \frac{Q_{sv1}}{2} \cdot 0,333 = 7,992 \text{ kN}$$

$$Q_{sv2,2} = \frac{Q_{sv2}}{2} \cdot 0,333 + \frac{Q_{sv2}}{2} \cdot 0,333 = 3,996 \text{ kN}$$

PŘIDANÁ ZATÍŽENÍ V MONTÁŽNÍM STAVU

zatížení bednění

$$q_{\text{mont}} = 0,75 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

montážní zatížení

$$g_{\text{bed}} = 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

7.5.5 Výpočet vnitřních sil

Je zřejmé, že na krajní nosník působí větší zatížení. Dále budeme v návrh pokračovat pouze s posouzením krajního nosníku.

NÁVRHOVÝ MOMENT PŘI PROVOZNÍM STAVU

Celkové stálé provozní zatížení

$$g_{\text{prov}} = g_c + g_A + g_Z = 4,4071 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Moment od kombinace MSU3



$$M_{\text{Ed,MSU3}} = \frac{1}{8} \cdot \left(\gamma_G \cdot \xi \cdot g_{\text{prov}} + \gamma_Q \cdot q_{\text{fk},1} \right) \cdot L^2 = 150,314 \text{ kN m}$$

Moment od kombinace MIM1

Reakce ve vnější podpoře krajního nosníku od zatížení vozidlem

$$R_1 = \frac{Q_{\text{sv}1,1} \cdot 5,75 + Q_{\text{sv}2,1} \cdot 2,75}{10,5} = 9,0874 \text{ kN}$$



$$M_{\text{Ed,MIM}} = \frac{1}{8} \cdot g_{\text{prov}} \cdot L^2 + R_1 \cdot \frac{L}{2} - Q_{\text{sv}1,1} \cdot \frac{L}{42} = 105,0962 \text{ kN m}$$

-> největší návrhový moment je od kombinace MSU3

$$M_{\text{Ed,prov}} = M_{\text{Ed,MSU3}}$$

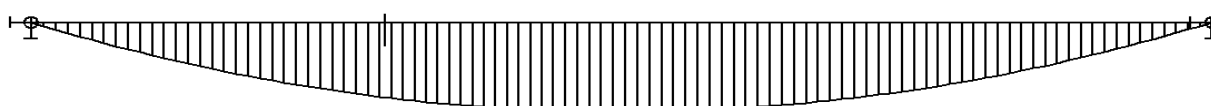
$$M_{\text{Ed,prov}} = 150,314 \text{ kN m}$$

NÁVRHOVÝ MOMENT PŘI MONTÁŽNÍM STAVU

Celkové stálé montážní zatížení

$$g_{\text{mont}} = g_c + g_A + g_{\text{bed}} \cdot \frac{B}{3} = 3,9238 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Moment od kombinace MSU3

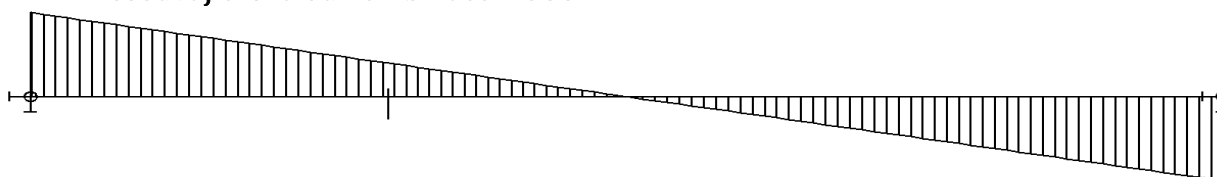


$$M_{\text{Ed,mont}} = \frac{1}{8} \cdot \left(\gamma_G \cdot g_{\text{mont}} + \gamma_Q \cdot q_{\text{mont}} \cdot \frac{B}{3} \right) \cdot L^2 = 89,021 \text{ kN m}$$

NÁVRHOVÁ POSOUVAJÍCÍ SÍLA

Při výpočtu posouvající síly nerozlišujeme stav zatížení. Veškerou posouvající sílu nad podporou přenáší vždy pouze ocelový nosník.

Posouvající síla od kombinace MSU3



$$V_{\text{Ed,MSU3}} = \frac{1}{2} \cdot \left(\gamma_Q \cdot q_{\text{fk},1} + \gamma_G \cdot g_{\text{prov}} \right) \cdot L = 61,9478 \text{ kN}$$

Posouvající síla od kombinace MIM2

V daném případě uvažujeme podpory pro sílu od přední nápravy Q_{sv1} jako nepoddajné.

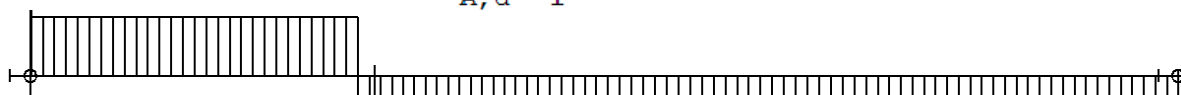
Pro sílu od zadní nápravy stále uvažujeme poddajnost podpor.

$$Q_{sv2,1} = \frac{Q_{sv2}}{2} \cdot 0,308 + \frac{Q_{sv2}}{2} \cdot 0,808 = 6,696 \text{ kN}$$

Reakce ve vnější podpoře krajního nosníku od zatížení vozidlem

$$R_1 = \frac{\frac{Q_{sv1}}{2} \cdot 10,5 + Q_{sv2,1} \cdot 7,5}{10,5} = 16,7829 \text{ kN}$$

$$V_{A,d} = R_1 = 16,7829 \text{ kN}$$



$$V_{Ed,MIM2} = \frac{1}{2} \cdot g_{prov} \cdot L + V_{A,d} = 39,9201 \text{ kN}$$

-> největší návrhová posouvající síla je od kombinace MSU3

$$V_{Ed} = V_{Ed,MSU3} = 61,9478 \text{ kN}$$

7.5.6 Posouzení smykové únosnosti nosníku

Smyková plocha

$$A_{v,z} = 1914 \text{ mm}^2$$

Návrhová smyková únosnost

$$V_{p1,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 392,2922 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \leq V_{p1,Rd}$$

$$61,95 \text{ kN} < 392,3 \text{ kN}$$

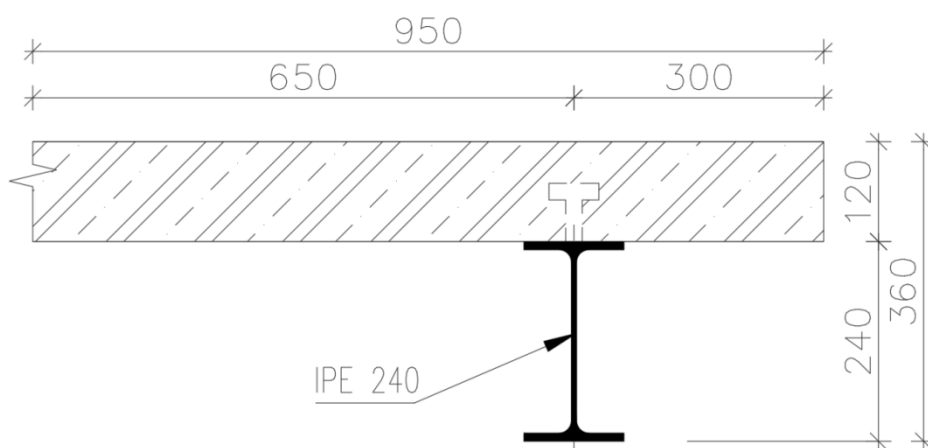
VYHOVÍ

Redukce mezního ohybového momentu

$$\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{p1,Rd}} = 0,3158$$

$$0,24 < 1,0$$

Není třeba redukovat ohyb na mezi únosnosti.

7.5.7 Posouzení nosníku v MSÚ

Účinná šířka betonové desky

$$b_{eff} = b_0 + b_{ef1} + b_{ef2}$$

$$b_0 = 0 \text{ mm}$$

$$b_{e1} = \frac{L}{8} = 1,3125 \text{ m} \quad b_{e1} > 650 \text{ mm}$$

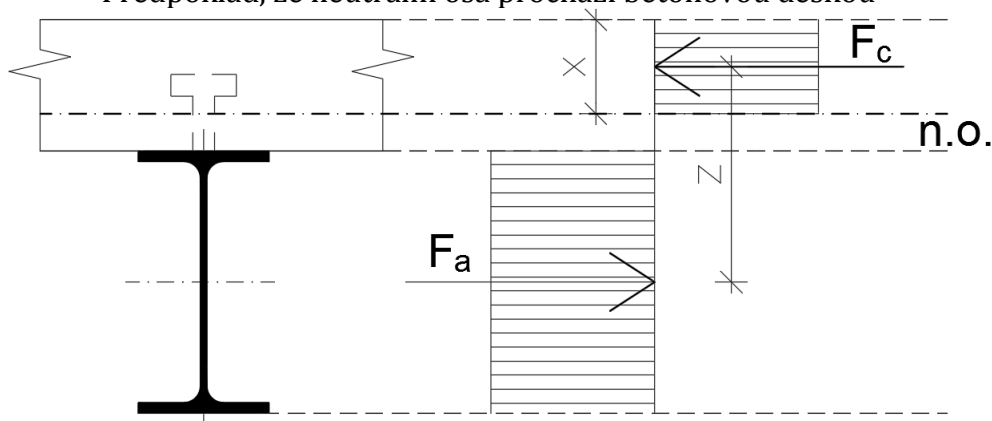
$$b_{e2} = \frac{L}{8} = 1,3125 \text{ m} \quad b_{e2} > 300 \text{ mm}$$

$$b_{ef1} = 650 \text{ mm}$$

$$b_{ef2} = 300 \text{ mm}$$

$$b_{eff} = 0,95 \text{ m}$$

Předpoklad, že neutrální osa prochází betonovou deskou



Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{A_a \cdot f_{yd}}{b_{eff} \cdot 0,85 \cdot f_{cd}} = 85,9913 \text{ mm}$$

neutrální osa se nachází v desce

Rameno vnitřních sil

$$z = h_d - \frac{x}{2} + \frac{h}{2} = 0,197 \text{ m}$$

Návrhový moment únosnosti

$$M_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} \cdot z = 273,5917 \text{ kN m}$$

$$M_{Ed,prov} \leq M_{pl,Rd}$$

$$150,3 \text{ kN m} < 273,6 \text{ kN m}$$

VYHOVÍ

7.5.8 Posouzení ohybové únosnosti nosníku v montážním stavu

Napětí v nosníku

horní vlákna

$$z_h = -\frac{h}{2} = -0,12 \text{ m}$$

$$\sigma_h = \frac{M_{Ed,mont}}{I_a} \cdot z_h = -274,6149 \text{ MPa} \quad \text{TLAK}$$

dolní vlákna

$$z_d = \frac{h}{2} = 0,12 \text{ m}$$

$$\sigma_d = \frac{M_{Ed, \text{mont}}}{I_a} \cdot z_d = 274,6149 \text{ MPa} \quad \text{TAH}$$

$$\sigma_d \leq f_y$$

$$\sigma_h \leq f_y$$

$$274,61 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa}$$

VYHOVÍ

7.5.9 Posouzení pro mezní stav použitelnosti

Průhyb ocelového nosníku (montážní zatížení)

$$M_{k, \text{mont}} = \frac{1}{8} \cdot \left(g_{\text{mont}} + q_{\text{mont}} \cdot \frac{B}{3} \right) \cdot L^2 = 64,7548 \text{ kN m}$$

$$\delta_a = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_{k, \text{mont}}}{E \cdot I_a} \cdot L^2 = 0,091 \text{ m}$$

$$\delta_a = 91,0354 \text{ mm}$$

Průhyb spřaženého nosníku - od ostatního stálého

$$M_{k, g, \text{ost}} = \frac{1}{8} \cdot g_z \cdot L^2 = 13,7812 \text{ kN m}$$

určení těžiště průřezu a moment setrvačnosti průřezu

$$y_T = \frac{\frac{x}{2} \cdot x \cdot b_{\text{eff}} + A_a \cdot \left(h_d + \frac{h}{2} \right)}{A_a + x \cdot b_{\text{eff}}} = 0,052 \text{ m}$$

.....zanedbáváme taženou část betonové desky.

$$I_y = 1,816 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$\delta_{g, \text{ost}} = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_{k, g, \text{ost}}}{E \cdot I_y} \cdot L^2 = 0,0042 \text{ m}$$

$$\delta_{g, \text{ost}} = 4,1501 \text{ mm}$$

Průhyb spřaženého nosníku - od zatížení provozem (chodci).

$$M_{k, \text{MSU3}} = \frac{1}{8} \cdot q_{fk, 1} \cdot L^2 = 59,7188 \text{ kN m}$$

$$\delta_{\text{prov}} = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_{k, \text{MSU3}}}{E \cdot I_y} \cdot L^2 = 0,018 \text{ m}$$

$$\delta_{\text{prov}} = 17,9839 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{prov}} < \frac{L}{300}; \frac{L}{300} = 35 \text{ mm}$$

$$18 \text{ mm} < 35 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

Celkový průhyb nosníku

$$\Delta = \delta_a + \delta_{g, \text{ost}} + \delta_{\text{prov}}$$

$$\Delta = 113,1694 \text{ mm}$$

pozn. při výpočtu celkového průhybu jsme zanedbali vliv reologických změn betonu, které se také značně projeví na velikosti průhybu

Dle celkového průhybu stanovíme navrhované nadvýšení při montáži.

$$\Delta = 113,1694 \text{ mm}$$

7.5.10 Návrh spřažení

Materiál spřahovacích trnů

ocel S235 ; $f_u = 360$ Mpa

$d = 18$ mm ...průměr spřahovacích trnů
 $h_{sc} = 80$ mm ...délka spřahovacích trnů

Charakteristické únosnost spřahovacího trnu

$$P_{Rk,s} = 0,8 \cdot f_u \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 73,2871 \text{ kN}$$

$$P_{Rk,c} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}} = 92,0616 \text{ kN}$$

$$\frac{h_{sc}}{d} = 4,4444 \text{ ; pro } \frac{h_{sc}}{d} > 4,0 \quad \alpha = 1,0$$

Pro návrh dále uvažujeme menší z hodnot $\{P_{Rk,s}; P_{Rk,c}\}$

Návrhová únosnost spřahovacího trnu

$$\gamma_v = 1,25$$

$$P_{Rd} = P_{Rk,s} \cdot \gamma_v = 91,6088 \text{ kN}$$

Posouzení spřažení

$$N_{cf} = N_c$$

$$N_c = 0,85 \cdot x \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}$$

$$N_{cf} = 1388,76 \text{ kN}$$

Počet tažných trnů

$$n_f = \frac{N_{cf}}{P_{Rd}} = 15,1597$$

Celkový počet spřahovacích trnů

$$2 \cdot n_f = 30,3193 \rightarrow 31 \text{ trnů}$$

Vzdálenost mezi trny

$$e_1 = 350 \text{ mm}$$

7.5.11 Návrh a posouzení ložisek

Návrh : FREYSSINET elastomerové ložisko 100x150 mm

výška ložiska $t = 30$ mmpřípustná deformace $\delta_{max} = 21$ mmmaximální namáhání v tlaku $F_{max} = 121$ kN

Maximální reakce podpory

$$R_z = V_{Ed} = 61,95 \text{ kN}$$

$$R_z < F_{max}$$

$$61,95 \text{ kN} < 121 \text{ kN}$$

VYHOVÍ

Posouzení z hlediska maximální přípustné deformace

Uvažování deformace vlivem teplot (viz. VAR I.) :

$$\delta = 11,5 \text{ mm}$$

$$\delta < \delta_{max}$$

$$11,5 \text{ mm} < 21 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

8 CENOVÉ ZHODNOCENÍ VARIANT

Orientační ceny materiálů:

MATERIÁL	MJ	Cena/MJ [Kč]
S335J2-profilý	kg	65,0
Beton-C30/37 XD3,XF4	m3	3521,0
Výztuž do betonu B500B	kg	11,0

Orientační cena protikorózní ochrany: zinkování 18,0 Kč/kg.
nátěr 300 Kč/m²

Orientační cena pororoštů STACO:

jedná se o zakázkovou výrobu, cena byla přibližně určena přepočtením cen typizovaných roštů na cenu za m²

8.1 Varianta č.1

VÝKAZ KONSTRUKČNÍ OCELI							
Položka	Typ	Délka [m]	Ks	Celková délka [m]	Třída oceli	Hmotnost	
						běžný metr	celkem
						[kg/m]	[kg]
01	TR 100x80x4,0	10,620	2	21,240	S 355	10,68	226,84
02	TR 150x100x5,0	10,620	2	21,240	S 355	18,60	395,06
03	TR 100x100x5,0	1,185	22	26,070	S 355	14,68	382,71
04	TR 40x40x4,0	1,583	20	31,660	S 355	4,39	138,99
05	IPE140	2,400	11	26,400	S 355	12,90	340,56
06	U100	10,620	4	42,480	S 355	10,60	450,29
07	R8	3,265	10	32,650	S 355	0,39	12,73
Hmotnost konstrukční oceli [kg]					S 355	1947,18	
Spojovací prvky [kg]					5,00%	97,36	
Celková hmotnost oceli [kg]						2045	

Rozpis cen materiálu:

Položka	%	MJ	Množství	Cena/MJ	Cena celkem
materiálový vstup	-	kg	2045,0	65,00	132925,00
prořez	5	kg	102,25	65,00	6646,25
svarový kov	1,5	kg	30,675	40,00	1227,00
zinkování	-	kg	2045,0	18	36810,00
pororošty STACO 50/5		m2	24,4	2230	54412,00
CELKEM			2045,0		232020,25

Celková cena materiálu včetně protikorózních úprav : 232 020 Kč.

8.1 Varianta č.2

VÝKAZ KONSTRUKČNÍ OCELI							
Položka	Typ	Délka [m]	Ks	Celková délka [m]	Třída oceli	Hmotnost	
						běžný metr [kg/m]	celkem [kg]
01	TR 82,5x3,6	10,700	2	21,400	S 355	7,00	149,80
02	TR 80x40x3,6	1,260	18	22,680	S 355	6,26	141,98
03	TR 80x40x3,6	1,272	32	40,704	S 355	6,26	254,81
04	TR 60x40x4,0	1,372	14	19,208	S 355	5,64	108,33
05	TR 60x40x4,0	0,825	16	13,200	S 355	5,64	74,45
06	TR 160x80x5,0	10,400	2	20,800	S 355	17,82	370,66
07	TR 406,4x12,5	10,400	1	10,400	S 355	121,70	1265,68
08	TR 500x200x8,0	2,705	2	5,410	S 355	85,57	462,93
Hmotnost konstrukční oceli [kg]					S 355	2828,63	
Spojovací prvky [kg]					5,00%	141,43	
Celková hmotnost oceli [kg]						2970	

Rozpis cen materiálu:

Položka	%	MJ	Množství	Cena/MJ	Cena celkem
materiálový vstup	-	kg	2970,0	65,00	193050,00
prořez	5	kg	148,5	65,00	9652,50
svarový kov	1,5	kg	44,55	40,00	1782,00
zinkování	-	kg	2970,0	18	53460,00
pororošty STACO 50/5		m2	28,9	2930	84677,00
CELKEM			2970,0		342621,50

Celková cena materiálu včetně protikorózních úprav : **342 621 Kč.**

8.1 Varianta č.3

VÝKAZ KONSTRUKČNÍ OCELI							
Položka	Typ	Délka [m]	Ks	Celková délka [m]	Třída oceli	Hmotnost	
						běžný metr [kg/m]	celkem [kg]
01	TR 82,5x3,6	10,700	2	21,400	S235	7,00	149,80
02	TR 80x40x3,6	1,260	18	22,680	S 235	6,26	141,98
03	TR 80x40x3,6	1,272	32	40,704	S 235	6,26	254,81
04	IPE240	10,840	3	32,520	S 355	30,70	998,36
05	IPE80	2,600	7	18,200	S 355	6,00	109,20
Hmotnost konstrukční oceli [kg]					S 235	546,58	
					S 355	1107,56	
Spojovací prvky [kg]					5,00%	82,71	
Celková hmotnost oceli [kg]						1737	

Rozpis cen materiálu:

Položka	%	MJ	Množství	Cena/MJ	Cena celkem
materiálový vstup	-	kg	1737,0	65,00	112905,00
prořez	5	kg	86,85	65,00	5645,25
svarový kov	1,5	kg	26,055	40,00	1042,20
smykové trny		kg	27,7	40,00	1108,00
nátěr (včetně otrýskání)	-	m2	30,6	300	9192,00
beton C30/37	-	m3	3,91	3521,00	13767,11
výztuž B500B	-	kg	459,9	11	5059,25
CELKEM			1737,0		148718,81

pozn. 1) procento vyztužení uvažujeme 1,5%

Celková cena materiálu včetně protikorózních úprav : **148 719 Kč.**

9 ZÁVĚR

Vypracovaný návrh a následně podrobné statické posouzení prokazuje proveditelnost všech tří variantních řešení konstrukce. Variantní řešení zároveň splňují všechna požadovaná kritéria, viz kapitola 2..

Předpokládané výsledky pro první variantu se vyplnily.

Varianta s hlavním prvkem příčného otevřeného rámu je poměrně lehce proveditelná. Na konstrukci nenacházíme žádné komplikované spoje, kterým by bylo třeba věnovat zvýšenou opatrnost. Tuhosti příčného rámu bylo dosaženo zvětšením dimenzí prvků, které onen rám tvoří. Vhodným alternativním řešením by bylo zajištění stability tlačného pásu vzpěrami umístěnými na konzolkách na vnější straně konstrukce.

Varianta č.2 splnila očekávání pouze částečně. Konstrukce se středovým nosníkem vyžaduje složitější řešení spojů, často pomocí styčnickových plechů. Celkové dosažené výsledky pro mezní stavy použitelnosti odpovídají zvolenému řešení. Lávka je v tomto případě omezena velkým průhybem konstrukce a bylo třeba zvolit větší profily. Vhodným řešením by bylo zvýšení rozteče středového nosníku a nosné konstrukce pochozí vrstvy a to např. umístěním středového nosníku níže.

U varianty spřažené ocelobetonové konstrukce nelze z hlediska statického vytknout žádné závažné nedostatky. Nespornou výhodou je poměrně malá výška nosné konstrukce.

Rozdíl ve výsledných cenách použitého materiálu pro jednotlivé varianty je poměrně velký.

Nejmarkantnější rozdíl je u varianty č.2. Při celkové spotřebě oceli 2970kg je téměř o polovinu větší než v případě. Lze to přisuzovat atypickému řešení konstrukce.

Nejlevnější variantou je varianta č.3. Její cena 1 48 179 Kč je ovlivněna minimální potřebou oceli. Nutno podotknout, že cena je stanovena pouze za materiál.

Varianta č.1	232 020	Kč
Varianta č.2	342 621	Kč
Varianta č.3	148 719	Kč

Nelze si nepovšimnout významného podílu ceny pochozích pororoštů na celkové ceně. Toto řešení není zdaleka tak vhodné pro konstrukce lávek, kde se očekává průjezd vozidla. Tento požadavek maximalizuje nároky na pochozí vrstvu, a ta je tak pro běžný provoz poměrně zbytečně předimenzovaná.

10 POUŽITÉ NORMY, LITERATURA, SOFTWARE A PODKLADY

- použité normy:

- [1] ČSN EN 206:2014 - Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda
- [2] ČSN EN 1090-2+A1 - Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí – Část 2: Technické požadavky na ocelové konstrukce
- [3] ČSN EN 1990 - Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí – oprava 1,2,3,4; změny A1,Z1,Z2,Z3, Z4; NA ed.A; ed. 2
- [4] ČSN EN 1991-2-1 - Eurokód 1: Zatížení konstrukcí. Část: Zatížení mostů dopravou ed.2
- [5] ČSN EN 1991-1-3 - Eurokód 1: Zatížení konstrukcí. Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem – oprava 1; změny A1, Z1,Z2,Z3,Z4, Z5; NA ed.A; ed.2 – změna A1
- [6] ČSN EN 1991-1-4 - Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem – oprava 1,2,3; změny Z1,Z2,Z3; NA ed.A - změna A1; ed. 2
- [7] ČSN EN 1991-1-5 - Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-5: Obecná zatížení – Zatížení teplotou – oprava 1,2; změny Z1,Z2; NA ed.A
- [8] ČSN EN 1991-1-7 - Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-7: Obecná zatížení – Mimořádná zatížení – oprava 1; změny A1, Z1; NA ed.A
- [9] ČSN EN 1992-1-1 - Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby – oprava 1,2; změny A1, Z1,Z2, Z3; ed. 2 – změna A1, Z1; NA ed.A
- [10] ČSN EN 1993-2-1 - Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 2: Ocelové mosty
- [11] ČSN EN 1993-1-1 - Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby – oprava 1,2; změna A1, Z1, Z2, Z3; NA ed.A, ed. 2 – oprava 1, změna A1
- [12] ČSN EN 1993-1-8 - Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků – oprava 1,2; změna Z1,Z2,Z3; NA ed.A; ed. 2
- [13] ČSN EN ISO 12944 - Nátěrové hmoty – Protikorozi ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy - Část 5: Ochranné nátěrové systémy
- [14] ČSN EN ISO 14713-1 - Zinkové povlaky – Směrnice a doporučení pro ochranu ocelových a litinových konstrukcí proti korozi– Část 1: Všeobecné zásady pro navrhování a odolnost proti korozi
- [15] ČSN EN ISO 14713-2 - Zinkové povlaky – Směrnice a doporučení pro ochranu ocelových a litinových konstrukcí proti korozi– Část 2: Žárové zinkování ponorem

- použitá literatura:

- [16] Sokol, Z.: Wald, F.: Ocelové konstrukce - tabulky, Vydavatelství ČVUT, 2013
- [17] Studnička, J.: Ocelové konstrukce, Vydavatelství ČVUT, 2004
- [18] Ryjáček, P: Ocelové mosty - Cvičení, Vydavatelství ČVUT, 2015
- [19] Eliášová, M.: Sokol, Z: Ocelové konstrukce - příklady, Vydavatelství ČVUT, 2005
- [20] Rotter, T.: Studnička, J.: Ocelové konstrukce 30 - Ocelové mosty, Vydavatelství ČVUT, 2001
- [21] Vraná, T.: Jandera, M.: Eliášová, M.: Ocelové konstrukce 2 - cvičení, ČVUT 2009

- použitý software:

- [22] SMath, matematický výpočetní procesor, Andrey Ivashov
- [23] MS Excel 2007, tabulkový procesor, Microsoft, 2006
- [24] Scia Engineer v.16.1, MKP software, Nemetschek Company, 2017
- [25] Autocad 2017, Autodesk, Inc

-použité podklady:

- [26] Pomůcky k předmětu OK1
(<http://people.fsv.cvut.cz/~machacek/prednaskyOK01.htm>)
- [27] Pomůcky k předmětu NNK- část ocelové konstrukce
(<http://people.fsv.cvut.cz/~machacek/prednaskyNNK.htm>)
- [28] Pomůcky k předmětu OK3
(<http://people.fsv.cvut.cz/www/machacek/>)
- [29] Podklady společnosti STACO
(<http://www.staco-rosty.cz/svarovane-podlahove-rosty/>)
- [30] Podklady společnosti Feron
(<http://www.ferona.cz/cze/sortiment/sortiment.php>)
- [32] Podklady společnosti Cemex
(http://www.cemex.cz/UserFiles/dokumenty/Ceniky%20Beton/Cenik_CEMEX_betonarna_Olomouc_Naklo.pdf)
- [33] Podklady společnosti Freyssinet
(http://www.freyssinet.cz/gallery/technicky_list_lozisek_neoflon.pdf)
- [34] Podklady společnosti Hilti
(<https://www.hilti.cz/kotevn%C3%AD-technika/kotevn%C3%AD-%C5%A1rouby-a-prvky>)
- [35] Podklady společnosti Kondor
(<http://www.kondor.cz/zarove-zinkovani/t-159/>)
- [35] Podklady společnosti FK system
(<http://www.fksystem.cz/povrchove-upravu/tryskani-natery>)
- [36] Podklady pro cenové relace
(<http://people.fsv.cvut.cz/~machacek/prednaskyOK01/OK01-ceny.pdf>)

11 PŘÍLOHY

- Příloha č.1 - Výkresová dokumentace varianty č.1 až varianty č.3