



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Prohlídka a přechodnost železničního mostu v Praze Čakovicích

The inspection and load capacity assessment of the railway bridge in Praha Čakovice

Vypracoval: Michael Zörkler

Vedoucí práce: doc. Ing. Pavel Ryjáček, Ph.D.

Květen 2017



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Zörkler Jméno: Michael Osobní číslo: 424221
Zadávající katedra: K134
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Prohlídka a přechodnost železničního mostu v Praze Čakovicích

Název bakalářské práce anglicky: The inspection and load capacity assesment of the railway bridge in Praha Čakovice

Pokyny pro vypracování:

Prohlídka železničního mostu na TU0901, km 20,198, studium archivní dokumentace a ověření základních rozměrů, vytvoření výpočetního modelu a stanovení zatížitelnosti a přechodnosti pro traťovou třídu, prověření C3/90

Seznam doporučené literatury:

- ČSN EN 1991-2, ČSN EN 1993-2
- Metodický pokyn pro určování zatížitelnosti železničních mostních objektů, SŽDC, 2015

Jméno vedoucího bakalářské práce: doc. Ing. Pavel Ryjáček, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 22.2.2017 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 konzultantů je nutné 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“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Mladé Boleslavi, 28. května 2017

.....
Michael Zörkler

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych v této části poděkoval vedoucímu práce panu doc. Ing. Pavlu Ryjáčkovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky, které mi pomohly k vypracování této bakalářské práce. Zároveň bych chtěl poděkovat za čas, který vyhradil konzultacím a byl kdykoliv připraven poradit s veškerými problémy. Dále bych chtěl rovněž poděkovat společnosti SŽDC, a.s. za poskytnuté materiály a informace. V neposlední řadě bych také rád poděkoval Bc. Vojtěchu Zejvalovi, který mi pomohl se zaměřením objektu a prohlídkou mostu.

ANOTACE

Cílem této bakalářské práce je podrobná prohlídka, stanovení zatížitelnosti a přechodnosti železničního mostu v Praze Čakovících.

Podrobná prohlídka slouží ke zjištění současného stavu mostního objektu, stávajícího se z ocelové nýtované konstrukce s mostnicemi a kamenných opěr, k popisu vad a poruch, které vedly ke klasifikaci stavebního stavu.

Výpočet zatížitelnosti byl proveden na základě podrobné prohlídky. Byl vytvořen výpočet model, posouzení jednotlivých prvků a vypočtena jejich zatížitelnost Z_{LM71} . Přechodnost byla stanovena pro rozhodující zatížitelnost.

KLÍČOVÁ SLOVA

mostní prohlídka, železniční most, ocelový, nýtovaný, zatížitelnost, Z_{LM71} , přechodnost

ANNOTATION

The goal of this bachelor thesis is the inspection and load capacity assessment of the railway bridge in Prague Čakovice.

The detailed inspection serves to documentation of actual state of the bridge composed of riveted steel construction with wood ties and stone abutments to description of defects which led to classification of building condition.

The calculation of the load capacity was accomplished on the basis of the detailed inspection. The computing model was created and load capacity Z_{LM71} was calculated. The ability was determined for deciding load capacity.

KEY WORDS

inspection, railway bridge, steel, riveted, load capacity Z_{LM71} , ability



OBSAH

OBSAH	3
1. ÚVOD	6
2. PROTOKOL O PODROBNÉ PROHLÍČE MOSTU	7
2.1. Identifikační údaje mostního objektu	7
2.2. Celkový popis objektu	8
2.2.1. Základní údaje o mostu	8
2.2.2. Údaje o parametrech trati a železničním svršku	9
2.2.3. Popis vybavení mostu	9
2.2.4. Popis nosné konstrukce	10
2.2.5. Popis spodní stavby	11
2.2.6. Popis prostorového uspořádání na objektu a pod ním	12
2.2.7. Cizí zařízení a okolí mostu	12
2.3. Popis poruch a závad	12
2.3.1. Mostní svršek	12
2.3.2. K01 – Nosná konstrukce	12
2.3.3. O01 – Opěra	13
2.3.4. O02 – Opěra	13
2.4. Návrh hodnocení stavebního stavu	14
3. STANOVENÍ ZATÍŽITELNOSTI	15
3.1. Konstrukce	15
3.1.1. Výpočetní model	15
3.1.2. Rozměry konstrukce	17
3.2. Materiály	18
3.2.1. Konstruktivní ocel	18
3.3. Zatížení	19
3.3.1. Zatížení stálá	19



3.3.2.	Zatížení proměnná.....	20
3.3.3.	Dynamické účinky.....	24
3.3.4.	Zatěžovací stavy.....	25
3.4.	Vnitřní síly.....	28
3.4.1.	Kombinace vnitřních sil a sestavy zatížení dopravou	28
3.4.2.	Součinitele spolehlivosti zatížení	29
3.4.3.	Součinitele kombinace.....	31
3.4.4.	Levý hlavní nosník.....	31
3.4.5.	Pravý hlavní nosník	34
3.4.6.	Příčník	37
3.4.7.	Vodorovné ztužení.....	41
3.4.8.	Přehled účinků vnitřních sil.....	42
3.5.	Výpočet zatížitelnosti – MSÚ.....	43
3.5.1.	Levý hlavní nosník.....	43
3.5.1.1.	Tah.....	45
3.5.1.2.	Smyk.....	46
3.5.1.3.	Ohyb s vlivem klopení.....	48
3.5.1.4.	Kombinace osově síly, posouvající síly a ohybového momentu	50
3.5.2.	Pravý hlavní nosník	54
3.5.2.1.	Tah.....	56
3.5.2.2.	Smyk.....	57
3.5.2.3.	Ohyb s vlivem klopení.....	58
3.5.2.4.	Kombinace osově síly, posouvající síly a ohybového momentu	60
3.5.3.	Příčník	64
3.5.3.1.	Tah.....	65
3.5.3.2.	Smyk.....	65
3.5.3.3.	Ohyb s vlivem klopení.....	66
3.5.3.4.	Kombinace osově síly, posouvající síly a ohybového momentu	67
3.5.4.	Vodorovné ztužení.....	69
3.5.4.1.	Vzpěrný tlak	69
3.5.4.2.	Tah.....	71



3.6.	Výpočet zatížitelnosti – MSP.....	72
3.6.1.	Levý hlavní nosník.....	72
3.6.1.1.	Svislé přetvoření konstrukce.....	72
3.6.2.	Pravý hlavní nosník.....	73
3.6.2.1.	Svislé přetvoření konstrukce.....	73
4.	OVĚŘENÍ PŘECHODNOSTI.....	75
4.1.	Zatížení.....	75
4.1.1.	Třída traťového zatížení.....	75
4.1.2.	Dynamický součinitel.....	75
4.2.	Vnitřní síly.....	76
4.2.1.	Třída traťového zatížení.....	76
4.2.2.	Pravý hlavní nosník.....	76
4.3.	Přechodnost.....	77
4.3.1.	Pravý hlavní nosník.....	77
5.	STABILITA KONSTRUKCE.....	79
5.1.	Zatížení.....	79
5.1.1.	Stabilizující zatížení.....	79
5.1.2.	Destabilizující zatížení.....	79
5.1.3.	Součinitele spolehlivosti zatížení.....	79
5.2.	Posouzení stability polohy konstrukce.....	80
6.	ZÁVĚR.....	81
6.1.	Použitá literatura.....	81
6.2.	Použité programy.....	81
6.3.	Závěrečné shrnutí.....	81
	SEZNAM PŘÍLOH.....	82



1. ÚVOD

Náplní této bakalářské práce je podrobná prohlídka, výpočet zatížitelnosti a přechodnosti železničního mostu v ev. km 20,194 na TÚ 0901 Praha hl. n. (mimo) – Turnov (mimo), v DÚ 10 Praha Čakovice – Měšice u Prahy. Nejprve byla provedena podrobná prohlídka mostu, která měla za cíl zjistit současný stav nosné konstrukce a spodní stavby, ověřit základní rozměry konstrukce a vytvořit podklad pro výpočetní model. Konstrukce byla modelována v programu SCIA Engineer 16.0. Výstupem z modelu byly vnitřní síly na konstrukci, které vstupovaly do posouzení a výpočtu zatížitelnosti Z_{LM71} jednotlivých částí nosné konstrukce. Následně byla pro rozhodující zatížitelnost ověřena přechodnost pro TTZ C3/90.

Zatížitelnost byla stanovena dle ČSN EN 1990-1993 s upřesněním dle předpisu SŽDC „Směrnice pro určování zatížitelnosti železničních mostních objektů“ (dále jen “Směrnice”).

Účelem celé této práce bylo vypracování zprávy a podrobnějšího výpočtu, který by sloužil správci trati jako informace o aktuálním stavu celého objektu. Zadavatelem této práce byla společnost Správa železniční dopravní cesty, a.s.



2. PROTOKOL O PODROBNÉ PROHLÍCE MOSTU

dle vyhlášky Ministerstva dopravy č.177/95 Sb. a předpisu SŽDC S5 Správa mostních objektů

2.1. Identifikační údaje mostního objektu



Obrázek 1 - Most přes Červenomlýnský potok

Traťový úsek	TÚ 0901 Praha hl. n. (mimo) – Turnov (mimo)
Definiční úsek	DÚ 10 Praha Čakovice – Měšice u Prahy
Evidenční km	km 20,198
Traťová třída zatížení	C3/90
Širá trať/staniční obvod	širá trať
Vžitý název	-----
Délka mostu	16,40 m
Počet otvorů	1 otvor
Počet kolejí na mostě	1 kolej
Elektrizace	neelektrizovaná
Rychlost na mostě/rychlost traťová (km/h)	90/90
Objekt	železniční most
Návrh hodnocení stavebního stavu objektu	1
Rok podrobné prohlídky	2017

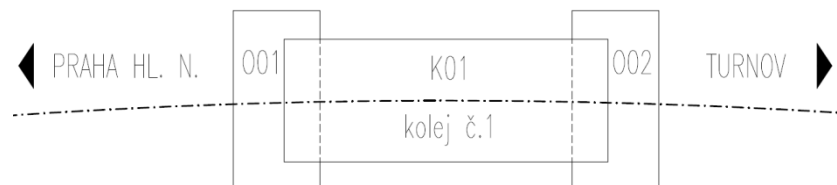


2.2. Celkový popis objektu

Podmínky při podrobné prohlídce objektu:

zataženo, +6°C

Schema mostního objektu:



2.2.1. Základní údaje o mostu

délka mostu: 16,400 m

obec: Hlavní město Praha

délka přemostění: 4,700 m

městská část: Praha Čakovice

šířka mostu: 6,500 m

k.ú. Čakovice

stavební výška: 0,880 m

konstrukční výška: 0,612 m

rozpětí: 5,300 m

úhel křížení: 90° - most kolmý

přemostovaná překážka: Červenomlýnský potok, vtok
vlevo



2.2.2. Údaje o parametrech trati a železničním svršku

Trat'

pravý oblouk

poloměr $R = 571$ m, převýšení $D = 114$ mm

Mostní svršek

- kolejnice S49

- dřevěné mostnice, připevněné k hlavní nosné konstrukci mostnicovými šrouby

- pevné podkladnicové upevnění typu K



Obrázek 2 - Kolejnice s upevněním typu K



Obrázek 3 - Připevnění mostnic mostnicovými šrouby

2.2.3. Popis vybavení mostu

Most je vybaven po obou stranách pochozími chodníky se zábradlím. Na levé straně je šířka chodníku 1,950m, na pravé 1,710 m. Chodník je nesen dvěma ocelovými válcovanými profily U200, které jsou kotvené do římsy na opěře, dále podlahovými plechy tl. 6 mm s výztuhami z plechů tl. 5 mm. Podlahové plechy jsou k profilům připevněny šroubovými spoji M12.



Obrázek 4 - Chodníky se zábradlím



Obrázek 5 - Kotvení podlahových nosníků U200



Třídílné zábradlí z úhelníků L70x6 a sloupků z úhelníků L70x8 je k nosné konstrukci připevněno přes podlahové nosníky, na opěrách je kotveno do říms. Na podlahový nosník je z boku přivařen styčnickový plech tl. 10 mm a k němu je přišroubován sloupek zábradlí dvěma šrouby M16. Výplň zábradlí je přivařena ke sloupkům. Výška zábradlí je 1,140 m.



Obrázek 6 - Upevnění zábradlí na podlahové nosníky

2.2.4. Popis nosné konstrukce

Jedná se o ocelovou nýtovanou trámovou konstrukci s horní mostovkou, tvořenou dvěma nestejně vysokými hlavními nosníky s výztuhami z úhelníků, příčnický s proměnlivou výškou a vodorovným horním ztužením.



Obrázek 7 - Pohled na nosnou konstrukci zespodu

Hlavní nosníky jsou nýtované vždy tvořené stojinou z plechu tl. 16 mm a odstupňovanými pásnicemi ze třech plechů. Plechy na horní a dolní pásnici jsou shodné. Pásnice a stojina jsou spojené přes úhelník L100x12. Výztuhy v místě příčníků tvoří úhelníky L80x8.

Levý hlavní nosník má stojinu z plechu P16x540x5600, první pásnici je z plechu P12x250x5600, druhou z P12x250x4260 a třetí z P12x250x3120. Celková výška levého hlavního nosníku je 0,612 m.

Pravý hlavní nosník má stojinu z plechu P16x440x5600, první pásnici je z plechu P10x250x5600, druhou z P12x250x4070 a třetí z P10x250x2740. Celková výška pravého hlavního nosníku je 0,504 m.



Obrázek 10 - Podélně posuvné ložisko na opěře O1



Obrázek 9 - Pevné ložisko na opěře O2

Nosná konstrukce je uložena přes ložiska na spodní stavbu. Na opěře O1 jsou dvě podélně posuvná ocelová ložiska, na opěře O2 dvě pevná ocelová ložiska.

Příčnky jsou rovněž nýtované a jejich průřez tvoří stojina lichoběžníkového tvaru z plechu tl. 10 mm, délky 1770 mm a výšky 506 mm na levé straně a 406 mm na pravé straně, Horní a dolní pásnice je stejná z dvojice úhelníků L70x8. K hlavním nosníkům jsou příčnky připojeny přes úhelníky L80x8.



Obrázek 8 - Připojení vodorovného ztužení k hlavnímu nosníku a příčnku

Horní příhradové vodorovné ztužení je tvořeno dvěma úhelníky L70x8 a je připojeno přes styčnickový plech k horním pásnicím hlavního nosníku a příčnku.

2.2.5. Popis spodní stavby

Spodní stavbu tvoří dvě kamenné opěry s kamennými rovnoběžnými křídly, železobetonovou monolitickou římsou, kamennými žulovými úložnými prahy a podložiskovými bločky. Díky obou opěr jsou příčně stažené dvěma ocelovými táhly.



Obrázek 11 - Pohled na opěru O1



Obrázek 12 - Pohled na opěru O2



2.2.6. Popis prostorového uspořádání na objektu a pod ním

Prostorové uspořádání na mostě odpovídá VMP 2,5. Pod mostem protéká Červenomlýnský potok. Volná výška pod mostem vztažená k normální hladině je 3,200 m.

2.2.7. Cizí zařízení a okolí mostu

Na levém zábradlí je vně umístěn kabelový žlab v plastové chrániče.

2.3. Popis poruch a závad

2.3.1. Mostní svršek

Většina mostnic na mostě je popraskaná a mostnicové šrouby, které je spojují s hlavními nosníky, jsou prorezlé. U mostnic číslo 3 a 6 (ve směru staničení) jsou prasklé ocelové pásky a u mostnic číslo 2 a 10 chybí vrtule v upevnění. Pozednice jsou rovněž popraskané.

2.3.2. K01 – Nosná konstrukce

Na horních pásnicích obou hlavních nosníků chybí horní vrstva protikorozní ochrany. Na koncovém příčniku u upěry O02 a prostředním příčniku jsou zvlněné dolní pásnice z úhelníků. Vodorovné ztužení a ložiska jsou bez závad.

Hlavní nosníky: na horních pásnicích obou nosníků místy chybí horní vrstva PKO

Příčníky: na koncovém příčniku (opěra O02) a prostředním příčniku zvlněné dolní pásnice z úhelníků

Vodorovné ztužení: bez závad

Ložiska: bez závad



Obrázek 14 - Chybějící vrtule



Obrázek 13 - Rez na mostnicovém šroubu, odloupaná PKO na pásnicích hlavního nosníku



Obrázek 16 - Zvlněná pásnice příčniku



Obrázek 17 - Mostnice č. 5

2.3.3. O01 – Opěra

Opěra O01 byla nedávno sanována a přespárována v rámci rekonstrukce celého objektu v roce 2015. Při podrobné prohlídce nebyly zjištěny žádné závady.

Dřík opěry: bez závad

Úložný práh: bez závad

Závěrná zídka: bez závad

Křídla: bez závad

Římsa: bez závad

2.3.4. O02 – Opěra

Opěra O02 byla nedávno sanována a přespárována v rámci rekonstrukce celého objektu v roce 2015. Jedinou zjištěnou vadou při podrobné prohlídce byla odprýskaná vrstva betonu na závěrné zídce.

Dřík opěry: bez závad

Úložný práh: bez závad

Závěrná zídka: odprýskaná vrstva betonu na kamenné zídce

Křídla: bez závad

Římsa: bez závad



Obrázek 15 - Odprýskaná vrstva betonu na opěře O02



2.4. Návrh hodnocení stavebního stavu

Na základě provedené prohlídky navrhuji následující klasifikaci stavebního stavu:

NOSNÁ KONSTRUKCE

K 1

z těchto důvodů:

vzhledem k nedávné rekonstrukci celého objektu je nosná konstrukce i přes některé drobné závady ve velmi dobrém stavu a není nutné zavádět žádná zvláštní opatření

SPODNÍ STAVBA

S 1

z těchto důvodů:

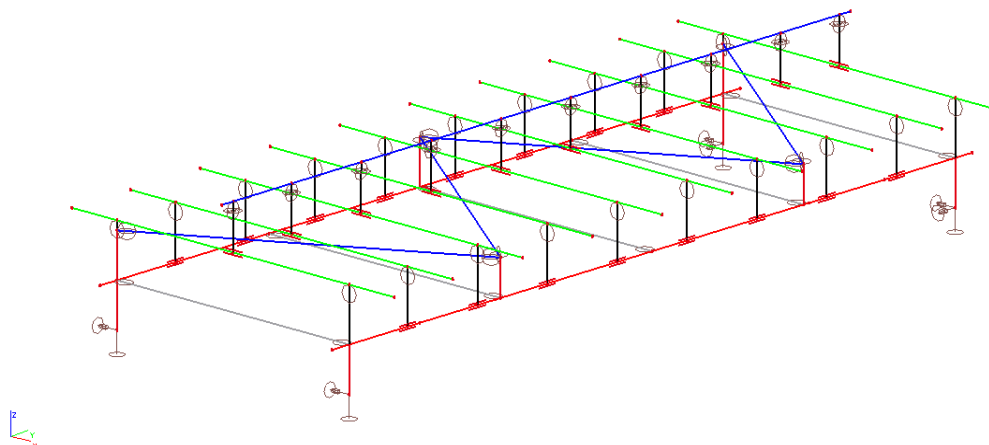
vzhledem k nedávné rekonstrukci celého objektu a provedené sanaci opěr je spodní ve velmi dobrém stavu a není nutné zavádět žádná zvláštní opatření



3. STANOVENÍ ZATÍŽITELNOSTI

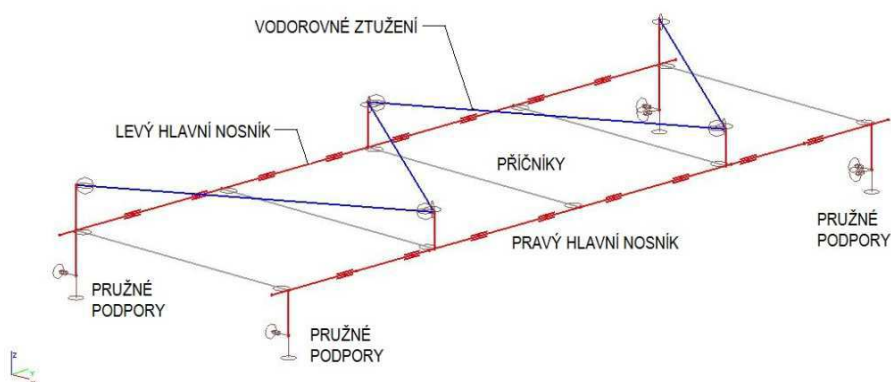
3.1. Konstrukce

3.1.1. Výpočetní model



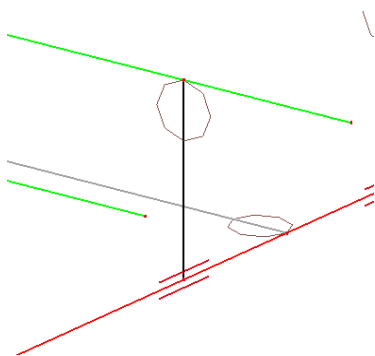
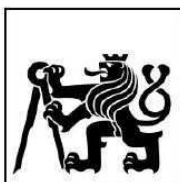
Obrázek 18 - Prutový 3D model

Výpočetní model nosné konstrukce mostu byl vytvořen v programu SCIA Engineer. Jedná se o 3D prutový model, který je tvořen jak nosnou konstrukcí, tak i mostnicemi a kolejí, které s nosnou konstrukcí spolupůsobí. Nosná konstrukce sestává z levého a pravého hlavního nosníku (ve směru staničení), uložených na pružných podporách; příčnicku, který je spojen s oběma hlavními nosníky a je mu umožněno natočení okolo lokální osy z; vodorovného ztužení, které je spojeno s hlavním nosníkem přes tuhá ramena a je mu umožněno natočení okolo lokální osy y a z.

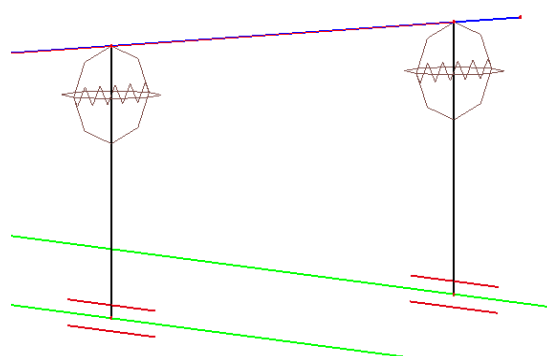


Obrázek 19 - Prutový 3D model nosné konstrukce

Další součástí modelu jsou mostnice, připojené na hlavní nosník přes fiktivní pruty, které vytváří excentricitu připojení mostnic na hlavní nosníky. Mostnicím je umožněno pootočení okolo lokální osy y. Poslední částí modelu je kolej, tvořená jedním prutem. Kolej je připojena k mostnicím přes fiktivní pruty a je jí umožněno natočení okolo lokální osy y a z. Kolej je také pružně podepřena v podélném směru. Tuhost podepření je 7 MN/m a reprezentuje tuhost v upevnění koleje.

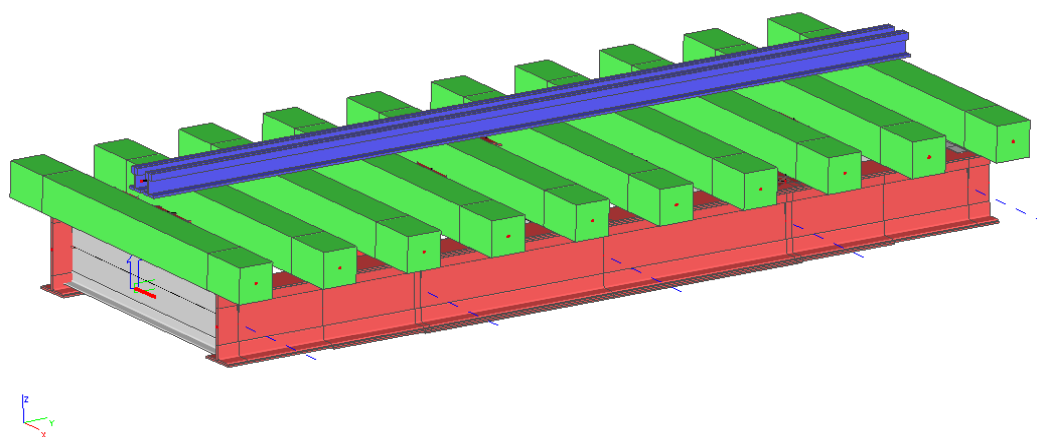


Obrázek 20 - Detail připojení mostnice (zelená) přes fiktivní prut (černá) k hlavnímu nosníku (červená)



Obrázek 21 - Detail připojení koleje (modrá) přes fiktivní prut (černá) na mostnicí (zelená)

Aby bylo zohledněno skutečné chování konstrukce a roznos veškerého zatížení, je postupně zatěžován prut reprezentující kolej.



Obrázek 22 - Rendrovaný 3D model nosné konstrukce

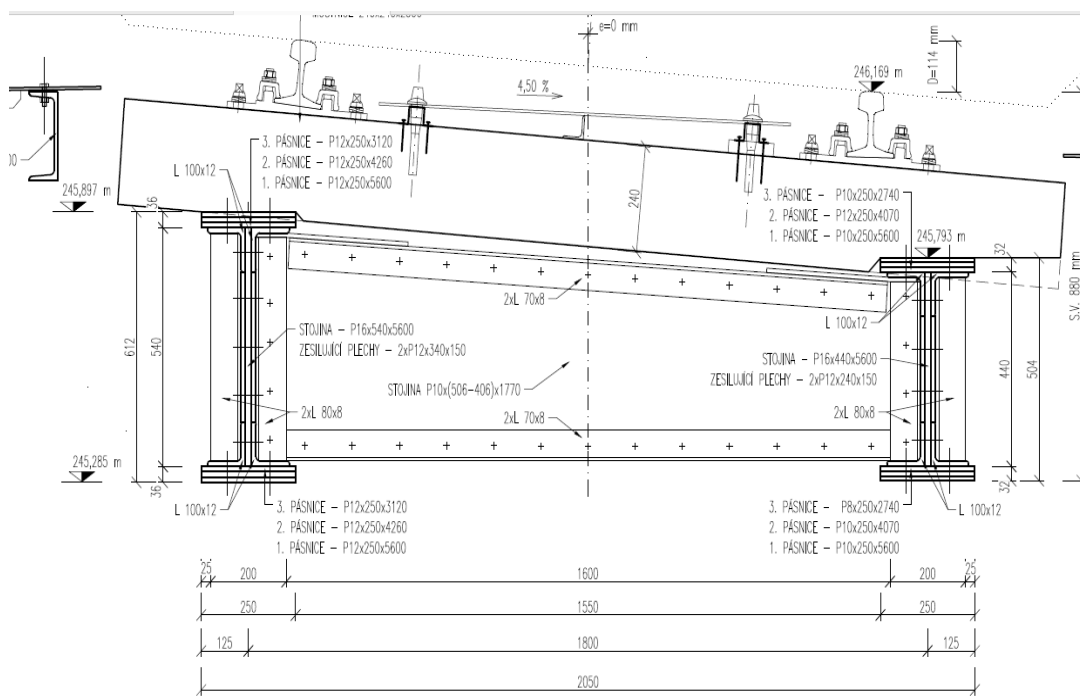
Jak již bylo zmíněno výše, hlavní nosníky jsou podepřeny pružnými podporami reprezentujícími uložení na ložiska. Při podrobné prohlídce mostu byly naměřeny vůle jednotlivých ložisek, které byly vstupními hodnotami pro stanovení tuhosti jednotlivých podpor. Na opěře O01 (směr Praha hl.n.) se nachází podélně posuvná ložiska: směr z - tuhý, směr y - volný, směr x - pružný s tuhostí 36 MN/m. Na opěře O02 (směr Turnov) se nachází pevná ložiska: směr z - tuhý, směr y - pružný s tuhostí 60 MN/m, směr x - pružný s tuhostí 95 MN/m.



3.1.2. Rozměry konstrukce

$L_m = 16,400$ m	délka mostu	$h_s = 0,88$ m	stavební výška
$L_{nk} = 5,600$ m	délka nosné konstrukce	$h_v = 3,200$ m	volná výška pod mostem
$L = 5,300$ m	rozpětí mostu	$h_K = 0,612$ m	konstrukční výška
$L_p = 1,800$ m	délka příčníků	$b = 6,500$ m	šířka mostu
$s = 1,325$ m	vzdálenost příčníků	$b_{NK} = 2,500$ m	šířka nosné konstrukce
$L_v = 2,238$ m	délka prvků vodorovn. ztužení		

PŘÍČNÝ ŘEZ





3.2. Materiály

3.2.1. Konstrukční ocel

vlastnosti oceli stanoveny dle "Směrnice", Příloha A, Tab.A.1

třída oceli: 37

pro $t \leq 25\text{mm}$	$f_y =$	230 MPa	charakteristická mez kluzu
pro $t > 25\text{mm}$	$f_y =$	210 MPa	charakteristická mez kluzu
pro $t \leq 25\text{mm}$	$f_u =$	360 MPa	charakteristická mez pevnosti
pro $t > 25\text{mm}$	$f_u =$	340 MPa	charakteristická mez pevnosti

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 1,01$$

$\rho =$	7850 kg/m ³	hustota
$E =$	210 GPa	modul pružnosti
$G =$	81 GPa	modul pružnosti ve smyku
$\nu =$	0,3	Poissonovo číslo
$\alpha =$	1,2E-05 K ⁻¹	součinitel teplotní roztažnosti

MATERIÁLOVÉ SOUČiniteLE

Vzhledem k tomu, že je konstrukce byla vyrobena před rokem 1968, jsou dílčí součinitele materiálu uvažovány dle "Směrnice", Příloha A, kap. A.1.1.3

únosnost průřezů třídy 1,2,3,4	$\gamma_{M0} = 1,10$	
únosnost průřezů při posuzování stability	$\gamma_{M1} = 1,20$	pro $t \leq 25\text{mm}$
	$\gamma_{M1} = 1,10$	pro $t > 25\text{mm}$
únosnost oslabeného průřezu v tahu	$\gamma_{M2} = 1,30$	
posouzení v MSP	$\gamma_{M,ser} = 1,00$	



3.3. Zatížení

3.3.1. Zatížení stálá

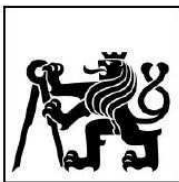
Vlastní tíha - g_0

Ocel	$\gamma_{\text{steel}} =$	78,5 kN/m ³
Dřevěné mostnice z bukového dřeva	$\gamma_{\text{wood}} =$	0,7 kN/m ³ (průměrná hodnota hustoty ρ_k)
Kolejnice 49E1 (S49)	$\gamma_{\text{rail}} =$	0,49 kN/m

Trámová nýtovaná nosná konstrukce		n	γ	A	$g_{0,k}$
		[ks]	[kN/m ³]	[m ²]	[kN/m]
<u>Levý hlavní nosník:</u>					
Pásnice	P12x250	2	78,5	0,003	0,471
Stojina	P16x540	1	78,5	0,009	0,678
Úhelníky	L100x12	4	78,5	0,002	0,712
<u>Pravý hlavní nosník:</u>					
Pásnice	P12x250	2	78,5	0,003	0,471
Stojina	P16x440	1	78,5	0,007	0,553
Úhelníky	L100x12	4	78,5	0,002	0,712
<u>Příčnický à 1,325 m:</u>					
Pásnice	L70x8x1770	4	78,5	0,002	0,680
Stojina	P10x(510-410)x1770	1	78,5	0,006	0,482
<u>Příčné výtztuhy à 1,325 m:</u>					
Úhelníky	L80x8x540	2	78,5	0,0005	0,078
Úhelníky	L80x8x440	2	78,5	0,0004	0,064
<u>Vodorovné ztužení:</u>					
Úhelníky	L80x8x2,238	2	78,5	0,001	0,081
MEZISOUČET					4,982
<u>Rezerva:</u>					
20% z celkové hmotnosti					0,996
$\Sigma g_{0k} =$					5,979 kN/m

Ostatní stálé - ($g-g_0$)

Železniční svršek		n	γ	A	($g-g_0$) _k
		[ks]	[kN/m] , [kN/m ³]	[m ²]	[kN/m]
Kolejnice 49E1 (S49)		2	0,49	x	0,980
Mostnice à 0,7 m	240x240x2500	8	0,7	0,206	1,152
$\Sigma (g-g_0)_k =$					1,190 kN/m

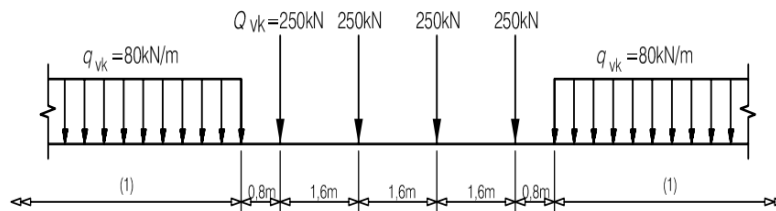


3.3.2. Zatížení proměnná

SVISLÁ ZATÍŽENÍ

Model zatížení - LM 71

dle ČSN EN 1991-2, kap. 6.3.2.



$$q_{v,k} = 80 \text{ kN/m}$$

$$Q_{v,k} = 250 \text{ kN}$$

Model zatížení - "nezatížený vlak"

dle ČSN EN 1991-2, kap. 6.3.4.

Model sestává ze svislého rovnoměrného zatížení s charakteristickou hodnotou:

$$q_{nk} = \underline{\underline{10 \text{ kN/m}}}$$

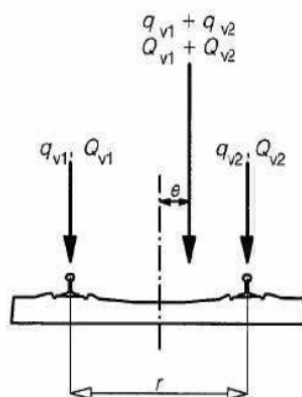
Excentricita zatížení

dle "Směrnice", kap. 4.3.9.

Excentricita koleje je uvažována podle skutečné polohy koleje na mostě. Ve výpočtu bude také zohledněna excentricita od nerovnoměrnosti kolových sil.

příčná vzdálenost mezi kolovými zatíženími

$$r = 1500 \text{ mm}$$



$$q_{v1}, q_{v2}, Q_{v1}, Q_{v2} = (1)$$

$$q_{v1} + q_{v2}, Q_{v1} + Q_{v2} = (2)$$

$$\frac{q_{v2}}{q_{v1}}, \frac{Q_{v2}}{Q_{v1}} \leq 1,25$$

$$e \leq \frac{r}{18}$$

$$r = (3)$$

$$e \leq \frac{r}{18}$$

$$e \leq \frac{1500}{18}$$

$$e \leq \underline{\underline{83 \text{ mm}}}$$

Legenda

- (1) rovnoměrné zatížení a osamělé síly na každé kolejnici
- (2) LM71 (a SW/0, kde se požaduje)
- (3) příčná vzdálenost mezi kolovými zatíženími

V zatěžovacím modelu bude účinek excentricity svislého zatížení od modelu LM71 zohledněn přídatnými momenty.



Přídavné momentové zatížení od excentricity svislého zatížení:

$$M_{q_{v,k}} = q_{v,k} * e = 80 * 0,0833 = \underline{\underline{6,667 \text{ kNm/m}}}$$

$$M_{Q_{v,k}} = Q_{v,k} * e = 250 * 0,0833 = \underline{\underline{20,83 \text{ kNm}}}$$

VODOROVNÁ ZATÍŽENÍ

Odstředivé síly

dle "Směrnice", kap. 4.3.20. a dle ČSN EN 1991-2, kap. 6.5.1.

(4)P Charakteristická hodnota odstředivé síly se musí určit podle následujících vztahů:

$$Q_{tk} = \frac{v^2}{g \times r} (f \times Q_{vk}) = \frac{V^2}{127r} (f \times Q_{vk}) \quad (6.17)$$

$$q_{tk} = \frac{v^2}{g \times r} (f \times q_{vk}) = \frac{V^2}{127r} (f \times q_{vk}) \quad (6.18)$$

kde Q_{tk} , q_{tk} jsou charakteristické hodnoty odstředivých sil [kN, kN/m];

Q_{vk} , q_{vk} charakteristické hodnoty svislých zatížení stanovených v 6.3 (kromě případného zvýšení pro dynamické účinky) pro modely zatížení 71, SW/0, SW/2 a "nezatížený vlak". Pro model zatížení HSLM se má charakteristická hodnota odstředivé síly stanovit použitím modelu zatížení 71;

f je redukční součinitel (viz dále);

v maximální rychlost podle 6.5.1(5) [m/s];

V maximální rychlost podle 6.5.1(5) [km/h];

g gravitační zrychlení [9,81 m/s²];

r poloměr zakřivení oblouku [m].

V případě oblouku s proměnnou křivostí se uvažuje vhodná střední hodnota poloměru r .

(5)P Výpočty musí vycházet z maximální rychlosti trati v daném místě. V případě modelu zatížení SW/2 lze předpokládat alternativní maximální rychlost.

POZNÁMKA 1 Požadavky lze stanovit pro konkrétní projekt.

POZNÁMKA 2 Pro SW/2 lze použít maximální rychlost 80 km/h.

POZNÁMKA 3 Doporučuje se, aby se pro konkrétní projekt stanovila zvýšená maximální rychlost trati v daném místě, kterou by se braly v úvahu možné úpravy infrastruktury a budoucího vozového parku.

Tabulka 6.7 – Součinitel f pro model zatížení 71 a SW/0

$f = 1,0$
redukční součinitel dle Tab. 6.7. ČSN EN 1991-2

$V = 90 \text{ km/h}$
maximální rychlost

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$
gravitační zrychlení

$r = 571 \text{ m}$
poloměr zakřivení oblouku

L_r [m]	Maximální rychlost podle 6.5.1(5) [km/h]				
	≤ 120	160	200	250	≥ 300
≤ 2,88	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
3	1,00	0,99	0,99	0,99	0,98
4	1,00	0,96	0,93	0,90	0,88
5	1,00	0,93	0,89	0,84	0,81
6	1,00	0,92	0,86	0,80	0,75
7	1,00	0,90	0,83	0,77	0,71
8	1,00	0,89	0,81	0,74	0,68
9	1,00	0,88	0,80	0,72	0,65
10	1,00	0,87	0,78	0,70	0,63
12	1,00	0,86	0,76	0,67	0,59
15	1,00	0,85	0,74	0,63	0,55
20	1,00	0,83	0,71	0,60	0,50
30	1,00	0,81	0,68	0,55	0,45
40	1,00	0,80	0,66	0,52	0,41
50	1,00	0,79	0,65	0,50	0,39
60	1,00	0,79	0,64	0,49	0,37
70	1,00	0,78	0,63	0,48	0,36
80	1,00	0,78	0,62	0,47	0,35
90	1,00	0,78	0,62	0,47	0,35
100	1,00	0,77	0,61	0,46	0,35
≥ 150	1,00	0,76	0,60	0,44	0,35



Charakteristické hodnoty odstředivých sil:

$$Q_{tk} = \frac{V^2}{127r} (f \times Q_{vk}) = \frac{8100}{72517} * 250 = \underline{\underline{27,92 \text{ kN}}}$$
$$q_{tk} = \frac{V^2}{127r} (f \times q_{vk}) = \frac{8100}{72517} * 80 = \underline{\underline{8,94 \text{ kN/m}}}$$

Odstředivá síla působí v úrovni $h = 1,8 \text{ m}$ nad TK. Proto bude model ještě zatížen přídatným momentem od tohoto účinku. Charakteristické hodnoty přídatných momentů jsou:

$$M_{Qtk} = Q_{tk} * h = 27,924 * 1,8 = \underline{\underline{50,26 \text{ kNm}}}$$

$$m_{qtk} = q_{tk} * h = 8,9358 * 1,8 = \underline{\underline{16,08 \text{ kNm/m}}}$$

Boční ráz

dle "Směrnice", kap. 4.3.20. a dle ČSN EN 1991-2, kap. 6.5.2.

Uvažuje se jako osamělá síla působící vodorovně v úrovni temene kolejnic, $Q_{s,k} = 100 \text{ kN}$, nenásobí se dynamickým součinitelem a neredukuje součinitelem f .

$$Q_{s,k} = \underline{\underline{100 \text{ kN}}}$$

Rozjezdové síly

dle "Směrnice", kap. 4.3.23. a dle ČSN EN 1991-2, kap. 6.5.3.

$$\text{příčinnující délka } L_{a,b} = 5,300 \text{ m}$$

$$Q_{lak} = 33 \text{ [kN/m]} L_{a,b} \text{ [m]} \leq 1\,000 \text{ [kN]} \quad (6.20)$$

pro modely zatížení 71, SW/0, SW/2 a model zatížení HSLM

$$Q_{lak} = 33 * L_{a,b} = 33 * 5,300 = 174,9 \text{ kN} \leq 1000 \text{ kN}$$

$$Q_{lak} = \underline{\underline{174,9 \text{ kN}}}$$

Brzdné síly

dle "Směrnice", kap. 4.3.23. a dle ČSN EN 1991-2, kap. 6.5.3.

$$\text{příčinnující délka } L_{a,b} = 5,300 \text{ m}$$

$$Q_{lbk} = 20 \text{ [kN/m]} L_{a,b} \text{ [m]} \leq 6\,000 \text{ [kN]} \quad (6.21)$$

pro modely zatížení 71, SW/0 a model zatížení HSLM

$$Q_{lbk} = 35 \text{ [kN/m]} L_{a,b} \text{ [m]} \quad (6.22)$$

pro model zatížení SW/2

LM71:

$$Q_{lbk} = 20 * L_{a,b} = 20 * 5,300 = 106 \text{ kN} \leq 6000 \text{ kN}$$

$$Q_{lbk} = \underline{\underline{106 \text{ kN}}}$$

Charakteristické hodnoty rozjezdových a brzdných sil se nesmí násobit součinitelem ϕ (viz 6.4.5.2) nebo součinitelem f v 6.5.1(8).

POZNÁMKA 1 U modelů zatížení SW/0 a SW/2 působí rozjezdové a brzdné síly pouze na ty úseky, které jsou zatíženy podle obrázku 6.2 a tabulky 6.1.

POZNÁMKA 2 Rozjezd a brzdění lze zanedbat pro model zatížení "nezatížený vlak".



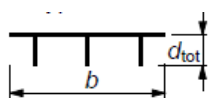
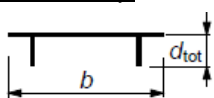
Zatížení větrem

dle "Směrnice", kap. 4.3.30. a dle ČSN EN 1991-4

VĚTRNÁ OBLAST: II	Čakovice, Hlavní město Praha
$V_{b,0} = 25$ m/s	základní rychlost větru dle Mapy větrných oblastí pro Českou republiku
$C_{dir} = 1,1$	
$C_{season} = 1,0$	

$$V_b = C_{dir} * C_{season} * V_{b,0} = 1,1 * 25 = \underline{27,5 \text{ m/s}}$$

Součinitel síly:

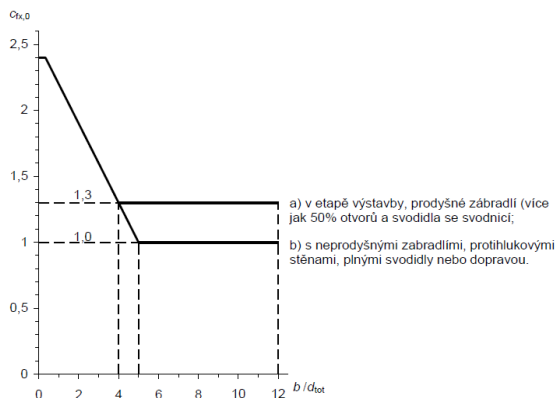


$$b = 6,500 \text{ m}$$

$$d_{tot} = 4,88 \text{ m}$$

$$\frac{b}{d_{tot}} = 1,3$$

$$C_{f,x,0} = 2,28$$



Parametr c_e :

Kategorie terénu	z_0 [m]	z_{min} [m]
0 Moře nebo pobřežní oblasti vystavené otevřenému moři	0,003	1
I Jezera nebo vodorovné oblasti se zanedbatelnou vegetací a bez překážek	0,01	1
II Oblasti s nízkou vegetací jako je tráva a s izolovanými překážkami (stromy, budovy), jejichž vzdálenosti jsou větší než 20násobek výšky překážek	0,05	2
III Oblasti rovnoměrně pokryté vegetací nebo budovami, nebo s izolovanými překážkami, jejichž vzdálenost je maximálně 20násobek výšky překážek (jako jsou vesnice, předměstský terén, souvislý les)	0,3	5
IV Oblasti, ve kterých je nejméně 15 % povrchu pokryto pozemními stavbami, jejichž průměrná výška je větší než 15 m	1,0	10

POZNÁMKA Kategorie terénu jsou zobrazeny v A.1.

KATEGORIE TERÉNU: II

$$z = 3,2 \text{ m}$$

výška nad terénem

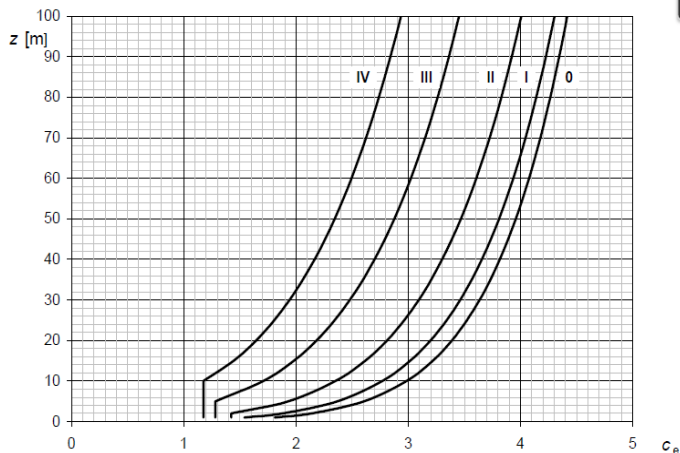
$$C_e = 1,7$$

Zatížení větrem:

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

hustota vzduchu

$$f_w = 0,5 * \rho * V_b^2 * C_e * C_{f,x,0} = 1831 \text{ N/m}^2 = \underline{1,831 \text{ kN/m}^2}$$





Vodorovná síla od větru:

$$f_{w,k} = f_w * (h_s + 4,0)$$

$$f_{w,k} = 1,831 * 4,88$$

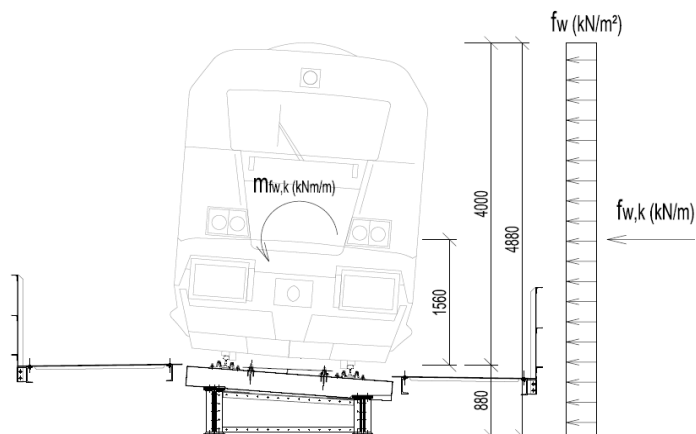
$$f_{w,k} = \underline{\underline{8,933 \text{ kN/m}}}$$

Moment od větru:

$$m_{f_{w,k}} = f_w * e_w$$

$$m_{f_{w,k}} = 8,9335 * 1,56$$

$$m_{f_{w,k}} = \underline{\underline{13,94 \text{ kNm/m}}}$$



3.3.3. Dynamické účinky

dle "Směrnice", kap. 4.3.14. a dle ČSN EN 1991-2, kap. 6.4.

Ve výpočtu budou dynamické účinky zahrnuty pomocí dynamických součinitelů:

Náhradní délky prvků:

dle ČSN EN 1991-2, kap. 6.4.5.3.

HLAVNÍ NOSNÍK - náhradní délka	$L_{\Phi} = 5,300 \text{ m}$	rozpětí
PŘÍČNÍK - náhradní délka	$L_{\Phi} = 3,600 \text{ m}$	dvojnásobek délky příčniku
KONCOVÝ PŘÍČNÍK - náhradní délka	$L_{\Phi} = 3,600 \text{ m}$	
VODOROVNÉ ZTUŽENÍ - náhradní délka	$L_{\Phi} = 5,300 \text{ m}$	

A) Pečlivě udržovaná kolej:

$$\Phi_2 = \frac{1,44}{\sqrt{L_{\Phi}} - 0,2} + 0,82 \quad (6.4)$$

v rozmezí: $1,00 \leq \Phi_2 \leq 1,67$

HLAVNÍ NOSNÍK: $1,00 \leq \Phi_2 = 1,505 \leq 1,67$
 $\Phi_2 = \underline{\underline{1,505}}$

PŘÍČNÍK: $1,00 \leq \Phi_2 = 1,668 \leq 1,67$
 $\Phi_2 = \underline{\underline{1,668}}$

VODOROVNÉ ZTUŽENÍ: $1,00 \leq \Phi_2 = 1,505 \leq 1,67$
 $\Phi_2 = \underline{\underline{1,505}}$

B) Standartně udržovaná kolej:

$$\Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_{\Phi}} - 0,2} + 0,73 \quad (6.5)$$

v rozmezí: $1,00 \leq \Phi_3 \leq 2,0$

kde L_{Φ} je „náhradní“ délka [m] (délka příslušející k Φ) definovaná v tabulce 6.2.

POZNÁMKA Dynamické součinitele byly stanoveny pro prostě podepřené nosníky. Délka L_{Φ} dovoluje tyto součinitele použít pro jiné nosné prvky s odlišnými podmínkami podepření.



HLAVNÍ NOSNÍK: $1,00 \leq \Phi_3 = 1,758 \leq 2,0$
 $\Phi_3 = 1,758$

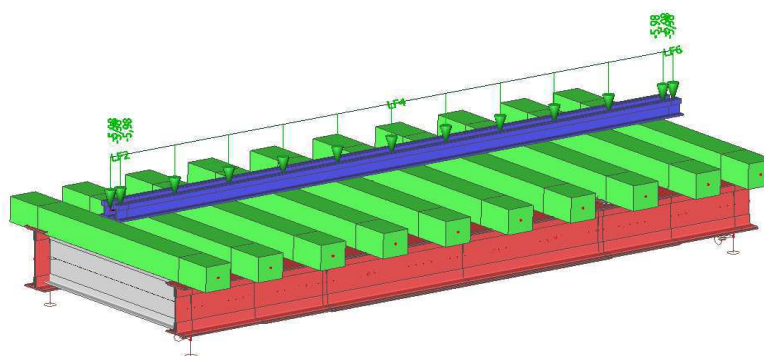
PŘÍČNÍK: $1,00 \leq \Phi_3 = 2,003 \leq 2,0$
 $\Phi_3 = 2,000$

VODOROVNÉ ZTUŽENÍ: $1,00 \leq \Phi_3 = 1,758 \leq 2,0$
 $\Phi_3 = 1,758$

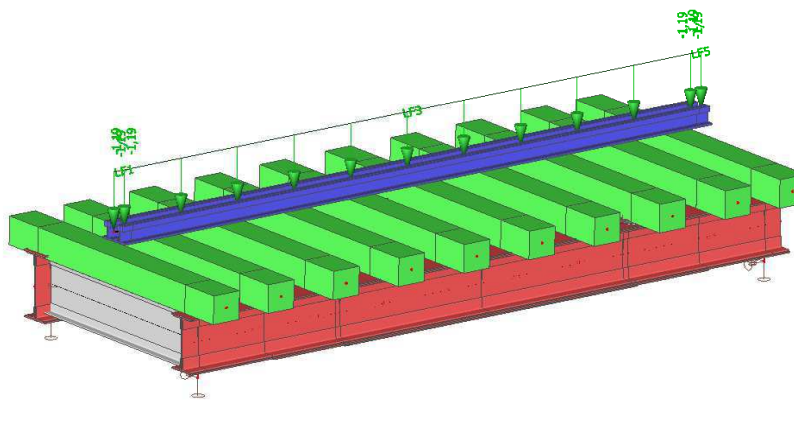
3.3.4. Zatěžovací stavy

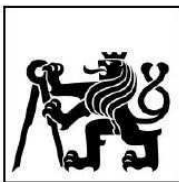
STÁLÁ ZATÍŽENÍ

Vlastní tíha



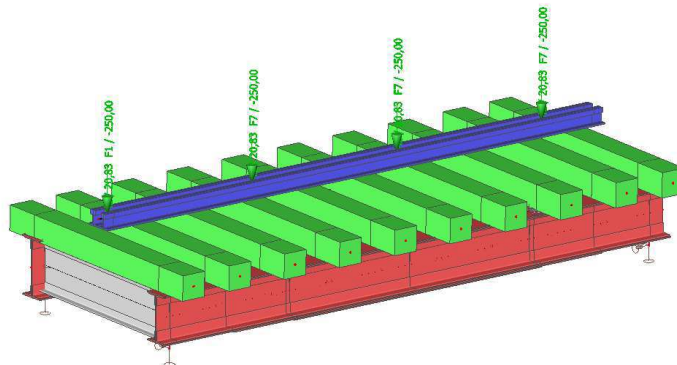
Ostatní stálé





PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ

Model LM71



Proměnná -svislá- LM71_11

Proměnná -svislá- LM71_12

Proměnná -svislá- LM71_21

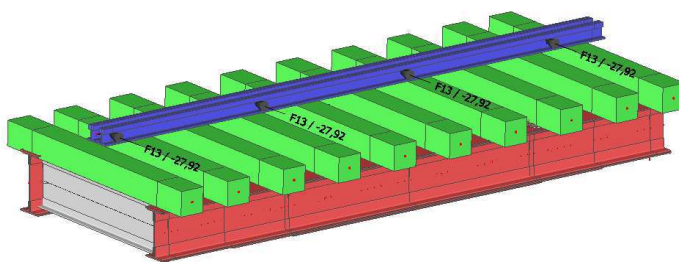
Proměnná -svislá- LM71_22

Proměnná -svislá- LM71_31

Proměnná -svislá- LM71_32



Odstředivé síly

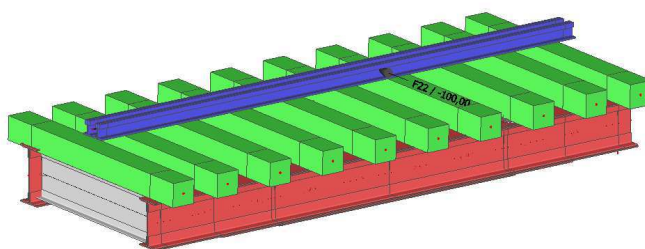


Proměnná -vodorovná-odstředivé síly_1

Proměnná -vodorovná-odstředivé síly_2

Proměnná -vodorovná-odstředivé síly_3

Boční ráz



Proměnná -vodorovná- boční ráz_zleva1

Proměnná -vodorovná- boční ráz_zleva2

Proměnná -vodorovná- boční ráz_zleva3

Proměnná -vodorovná- boční ráz_zleva4

Proměnná -vodorovná- boční ráz_zleva5

Proměnná -vodorovná- boční ráz_zleva6

Proměnná -vodorovná- boční ráz_zprava1

Proměnná -vodorovná- boční ráz_zprava2

Proměnná -vodorovná- boční ráz_zprava3

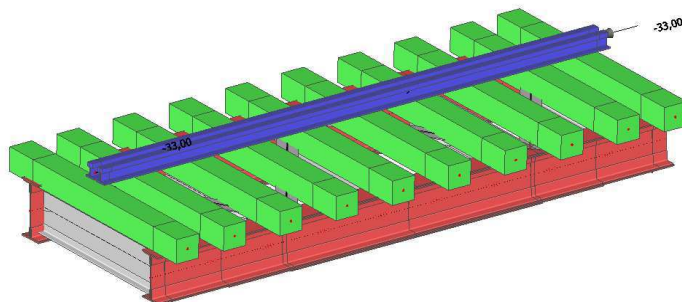
Proměnná -vodorovná- boční ráz_zprava4

Proměnná -vodorovná- boční ráz_zprava5

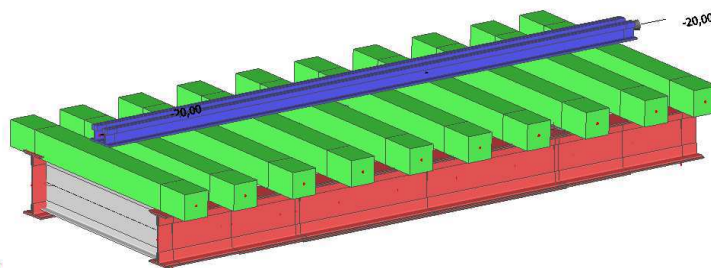
Proměnná -vodorovná- boční ráz_zprava6



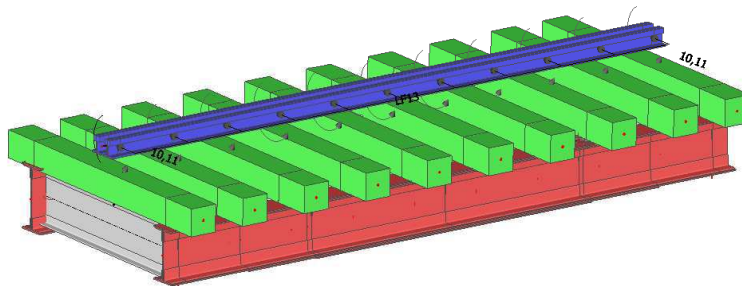
Rozjezdové síly



Brzdné síly



Zatížení větrem



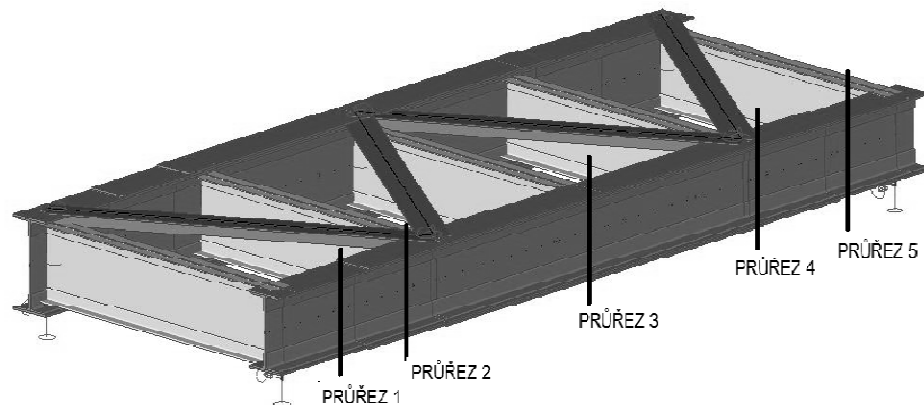
Proměnná -vodorovná- vítr_zleva

Proměnná -vodorovná- vítr_zprava

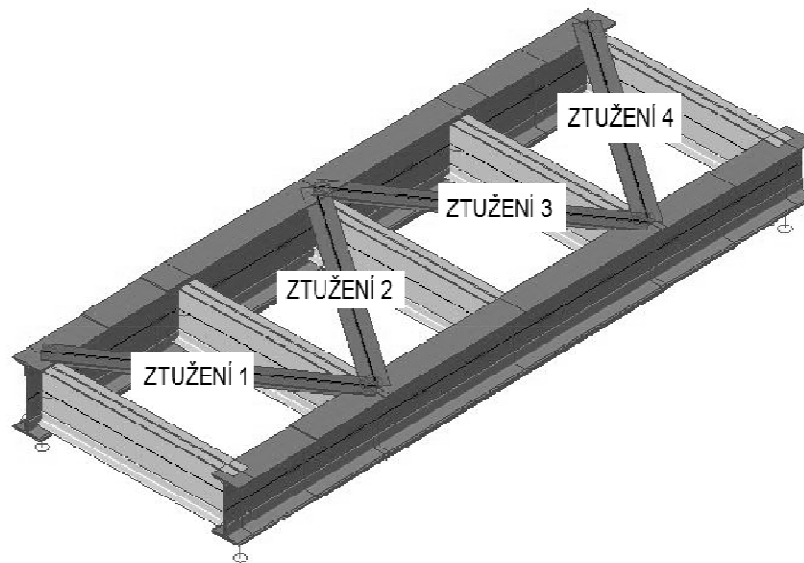


3.4. Vnitřní síly

Vnitřní síly vypočtené v programu SCIA Engineer budou přenásobeny příslušnými součiniteli spolehlivosti a poté vzájemně skombinovány podle pravidel dle ČSN EN 1990. Návrhové účinky vnitřních budou vypočteny pro kontrolované průřezy. Na hlavních nosnících v průřezích 1-5, pro příčnky bude rozhodující extrémní hodnota ze všech sil a pro vodorovné ztužení budou vypočteny síly v každém prvku ztužení.



Obrázek 23 - Kontrolované průřezy na hlavních nosnících



Obrázek 24 - Označení prvků vodorovného ztužení

3.4.1. Kombinace vnitřních sil a sestavy zatížení dopravou

MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI

dle "Směrnice", kap. 4.3.29. a dle ČSN EN 1990

Pro stanovení extrémních účinků zatížení v mezním stavu únosnosti se vybere méně příznivá kombinace ze vztahů 6.10a a 6.10b.

$$\Sigma \gamma_{G,j} G_{k,j} "+" \gamma_P P "+" \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} "+" \Sigma \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10a)$$

$$\Sigma \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} "+" \gamma_P P "+" \gamma_{Q,1} Q_{k,1} "+" \Sigma \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10b)$$



MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

dle "Směrnice", kap. 4.3.29. a dle ČSN EN 1990

Pro stanovení extrémních účinků zatížení v mezním stavu použitelnosti se uvažují kombinace v trvalých a dočasných návrhových situacích.

$$\Sigma G_{k,j} "+" P "+" Q_{k,1} "+" \Sigma \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

SESTAVY ZATÍŽENÍ DOPRAVOU

dle "Směrnice", kap. 4.3.29. a dle ČSN EN 1991-2, kap. 6.8.2.

Na mostě se nachází jednokolejná trať a nosná konstrukce se chová ze statického hlediska jako prostý nosník, a tak budou uvažovány sestavy zatížení dopravou gr11, gr12, gr13 a gr14.

	Svislé síly	Vodorovné síly		
	LM71	rozjezd/brždění	odstředivá síla	boční ráz
(gr11)	1,0	1,0	0,5	0,5
(gr12)	1,0	0,5	1,0	1,0
(gr13)	0,5	1,0	0,5	0,5
(gr14)	0,5	0,5	1,0	1,0

3.4.2. Součinitele spolehlivosti zatížení

STÁLÁ ZATÍŽENÍ

dle "Směrnice", kap. 4.3., Tab.4.1

Dílčí součinitelé účinků stálého zatížení γ_{FG}					
Prvky nebo části mladší než 30 let		Prvky nebo části starší než 30 let			
Ocelové a prefabrikované betonové prvky	Prvky z ostatních materiálů	Ocelové a prefabrikované betonové prvky		Prvky z ostatních materiálů	
		Kontrola měření rozměrů	Bez kontroly	Kontrola měření rozměrů	Bez kontroly
1,25	1,30	1,20	1,25	1,25	1,30

Protože se jedná o ocelovou konstrukci, která je tvořena prvky staršími než 30 let a během prohlídky byla provedena kontrola rozměrů všech posuzovaných prvků, uvažují dílčí součinitel účinků stálého zatížení:

$$\gamma_{FG} = \underline{1,20}$$

MODEL LM71

dle "Směrnice", kap. 4.3.13.

4.3.13 Dílčí součinitel $\gamma_{F,LM71}$ účinků svislého proměnného zatížení železniční dopravou, reprezentovaného modelem zatížení 71, se při určování zatížitelnosti jednotlivých prvků mostního objektu uvažuje v závislosti na stáří prvku mostního objektu a jeho plánované zbytkové životnosti následujícími hodnotami:

- pro nosné prvky mostních objektů mladší než 30 let: $\gamma_{F,LM71} = 1,45$.
- pro nosné prvky stávajících mostních objektů starší než 30 let: $\gamma_{F,LM71} = 1,30$.

Nosné prvky mostního objektu jsou starší než 30 let. Pro účinky svislého zatížení od modelu LM71 bude dílčí součinitel spolehlivosti uvažován:

$$\gamma_{F,LM71} = \underline{1,30}$$



Součinitel třídy trati je uvažován dle "Směrnice" kap. 4.3.8.

$$\alpha = \underline{1,00}$$

ODSTŘEDIVÁ SÍLA

dle "Směrnice", kap. 4.3.20.

Odstředivá síla je uvažována společně se svislým zatížením od modelu LM71. Součinitel spolehlivosti zatížení odstředivou silou je uvažován dle "Směrnice", kap. 4.3.13.

$$\gamma_{F,LM71} = \underline{1,30}$$

$$\alpha = \underline{1,00}$$

BOČNÍ RÁZ

dle "Směrnice", kap. 4.3.20.

Zatížení bočním rázem je uvažováno společně se svislým zatížením od modelu LM71. Součinitel spolehlivosti zatížení bočním rázem je uvažován dle "Směrnice", kap. 4.3.13.

$$\gamma_{F,Qs} = \underline{1,30}$$

$$\alpha = \underline{1,00}$$

ROZJEZDOVÉ A BRZDNÉ SÍLY

dle "Směrnice", kap. 4.3.23.

Zatížení od rozjezdu nebo brzdění je uvažováno společně se svislým zatížením od modelu LM71. Součinitel spolehlivosti zatížení rozjezdovými a brzdními silami je uvažován dle "Směrnice", kap. 4.3.13.

$$\gamma_{F,Qs} = \underline{1,30}$$

$$\alpha = \underline{1,00}$$

VÍTR

dle "Směrnice", kap. 4.3.30.

4.3.30 Charakteristické hodnoty zatížení větrem se v přepočtech mostních objektů uvažují podle ČSN EN 1991-1-4. Dílčí součinitel účinků zatížení větrem se bere hodnotami v závislosti na stáří prvku mostního objektu následovně:

- pro nosné prvky mostních objektů mladší než 30 let: $\gamma_{F,w} = 1,50$,
- pro nosné prvky stávajících mostních objektů starší než 30 let: $\gamma_{F,w} = 1,35$.

Nosné prvky mostního objektu jsou starší než 30 let. Pro účinky zatížení větrem bude dílčí součinitel spolehlivosti uvažován:

$$\gamma_{F,w} = \underline{1,35}$$



3.4.3. Součinitele kombinace

dle "Směrnice", kap. 4.3.29. a dle ČSN EN 1990, Změna A1, Příloha A2, tab. A2.3

Zatížení	Značka	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Zatížení dopravou	gr11	0,80	0,80	0,00
	gr12			
	gr13			
	gr14			
Zatížení větrem	F_{wk}	0,75	0,50	0,00

3.4.4. Levý hlavní nosník

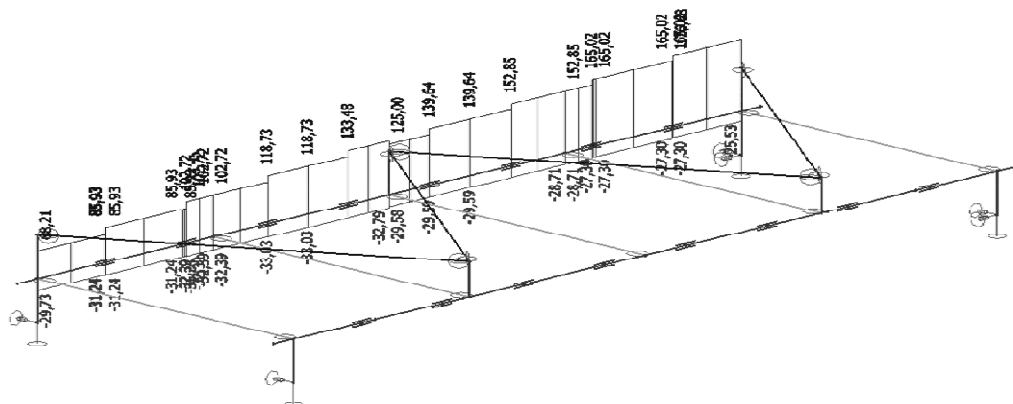
VYKRESLENÍ VNITŘNÍCH SIL

Ve vykreslení jsou zobrazeny obálky vnitřních sil od ostatních zatížení (všechna bez modelu LM71) a od zatížení modelem LM71. U ostatních zatížení se jedná o návrhové hodnoty (se součiniteli γ_{Fi} , $\psi_{0,i}$). Vnitřní síly od modelu LM71 jsou charakteristické (bez součinitele $\gamma_{F,LM71}$, bez dynamického součinitele a bez součinitele ψ_0).

N - Normálové síly

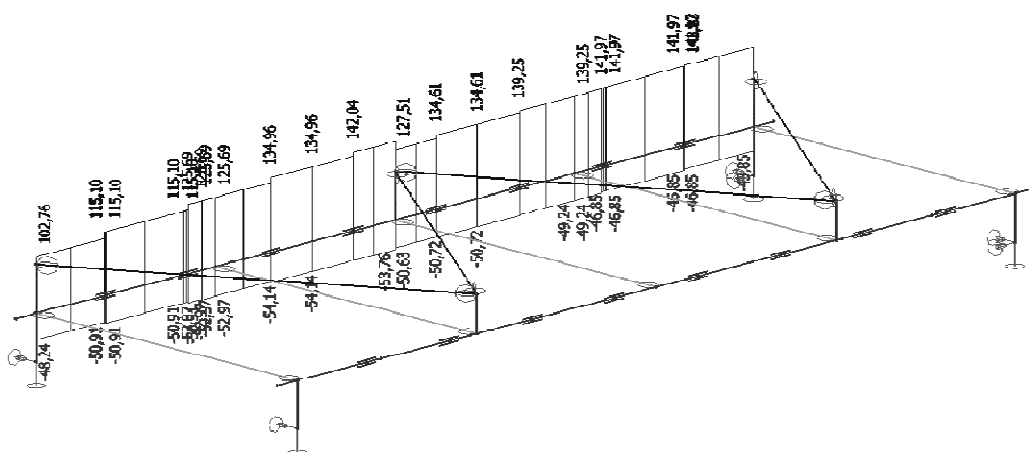
Ostatní zatížení bez LM71, sestava gr11/gr13

[kN]



Ostatní zatížení bez LM71, sestava gr12/gr14

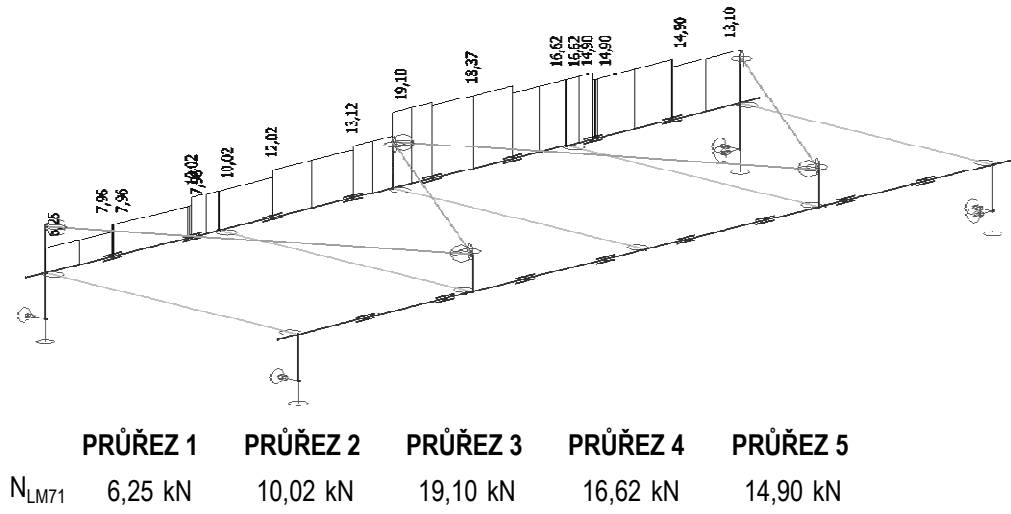
[kN]





Model LM71

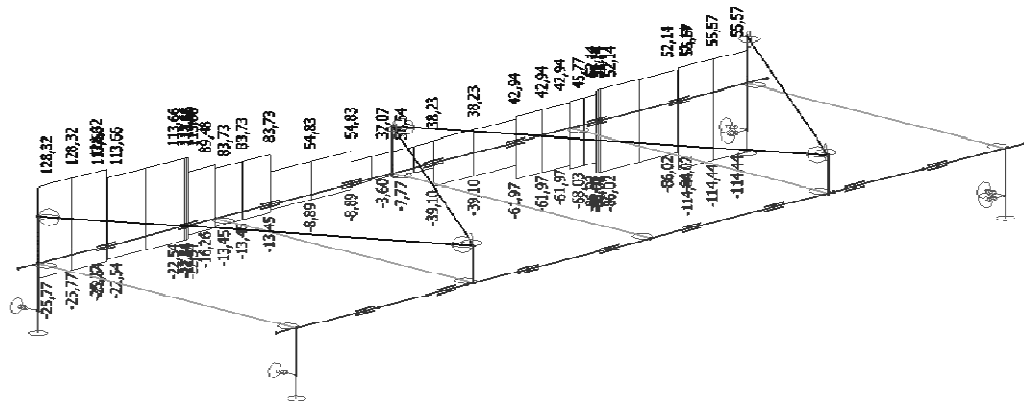
[kN]



V_z - Posouvající síly

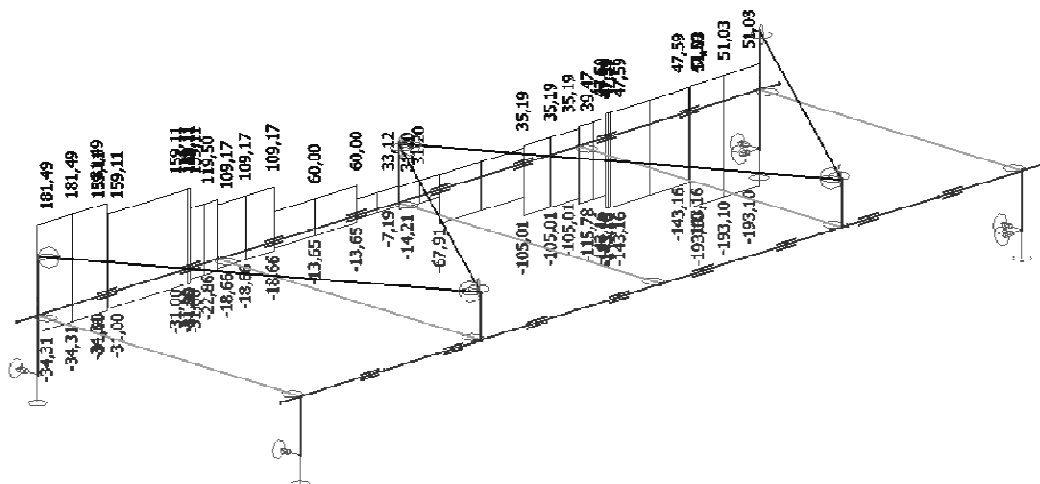
Ostatní zatížení bez LM71, sestava gr11/gr13

[kN]



Ostatní zatížení bez LM71, sestava gr12/gr14

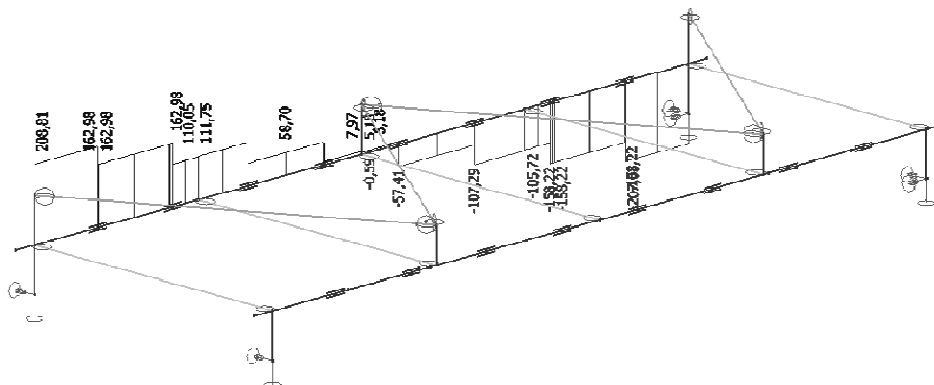
[kN]





Model LM71

[kN]

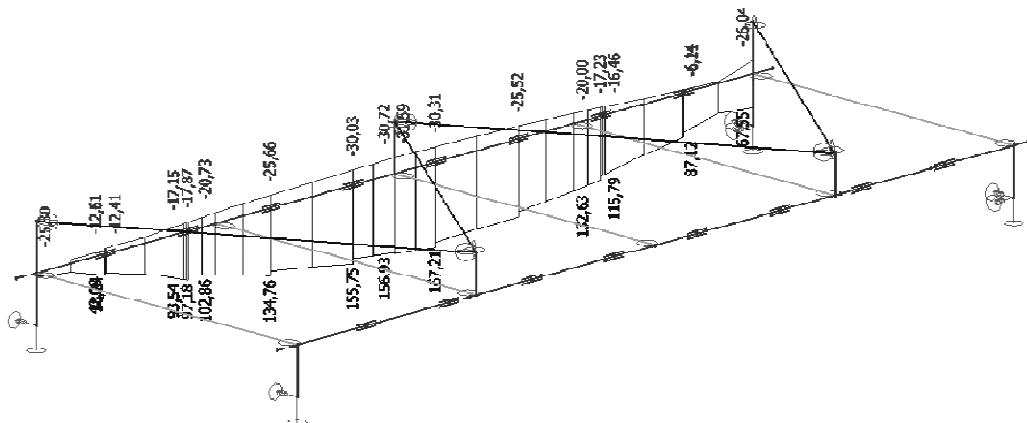


	PRŮŘEZ 1	PRŮŘEZ 2	PRŮŘEZ 3	PRŮŘEZ 4	PRŮŘEZ 5
V_{LM71}	208,8 kN	163,0 kN	57,41 kN	158,2 kN	207,5 kN

M_y - Ohybové momenty

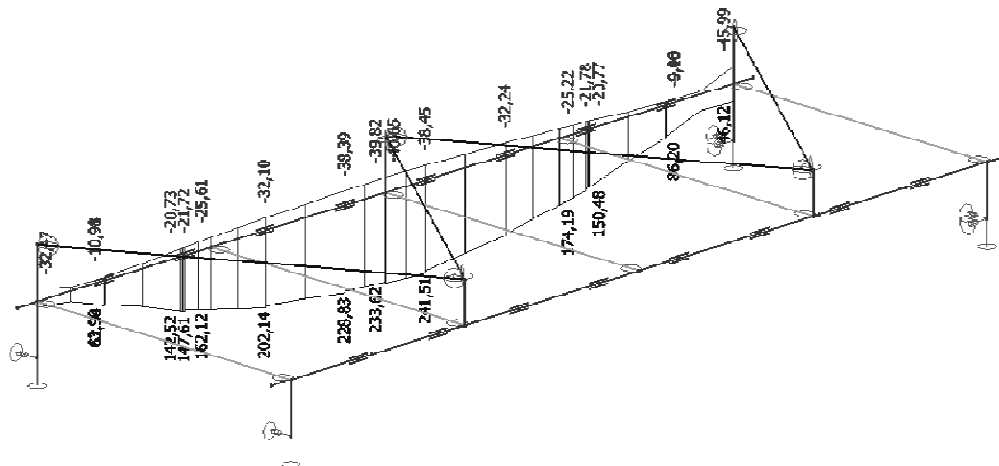
Ostatní zatížení bez LM71, sestava gr11/gr13

[kNm]



Ostatní zatížení bez LM71, sestava gr12/gr14

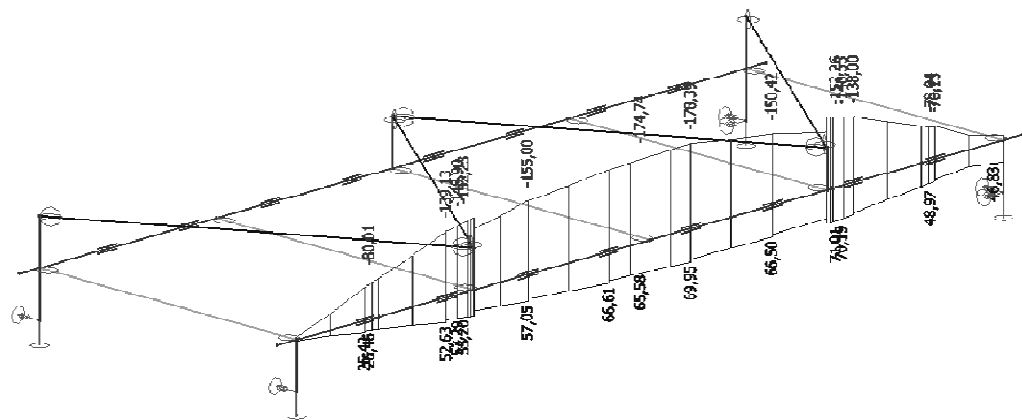
[kNm]





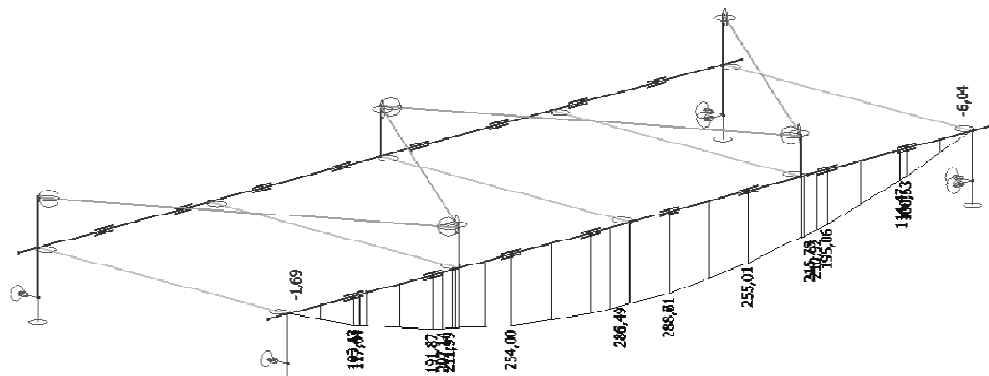
Ostatní zatížení bez LM71, sestava qr12/qr14

[kNm]



Model LM71

[kNm]



	PRŮŘEZ 1	PRŮŘEZ 2	PRŮŘEZ 3	PRŮŘEZ 4	PRŮŘEZ 5
M_{LM71}	0,00 kNm	254,0 kNm	288,4 kNm	195,1 kNm	0,00 kNm

3.4.6. Příčník

VYKRESLENÍ VNITŘNÍCH SIL

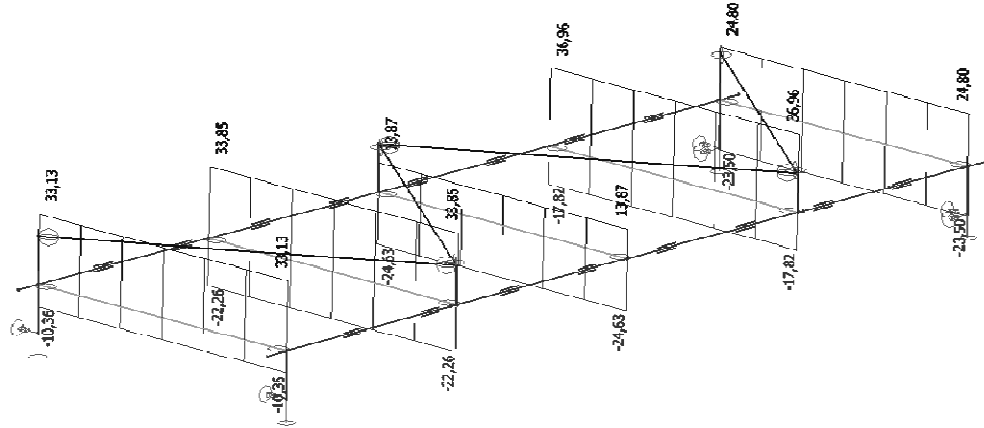
Ve vykreslení jsou zobrazeny obálky vnitřních sil od ostatních zatížení (všechna bez modelu LM71) a od zatížení modelem LM71. U ostatních zatížení se jedná o návrhové hodnoty (se součiniteli γ_{Fi} , $\psi_{0,i}$). Vnitřní síly od modelu LM71 jsou charakteristické (bez součinitele $\gamma_{F,LM71}$, bez dynamického součinitele a bez součinitele ψ_0).



N - Normálové síly

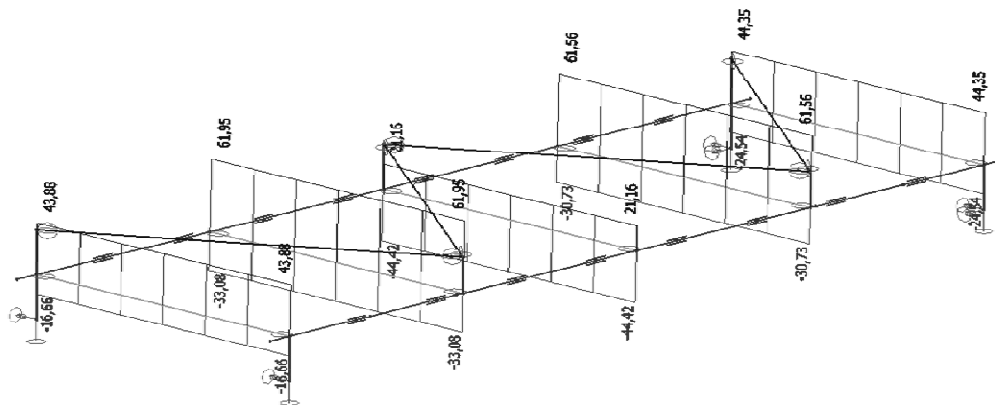
Ostatní zatížení bez LM71, sestava gr11/gr13

[kN]



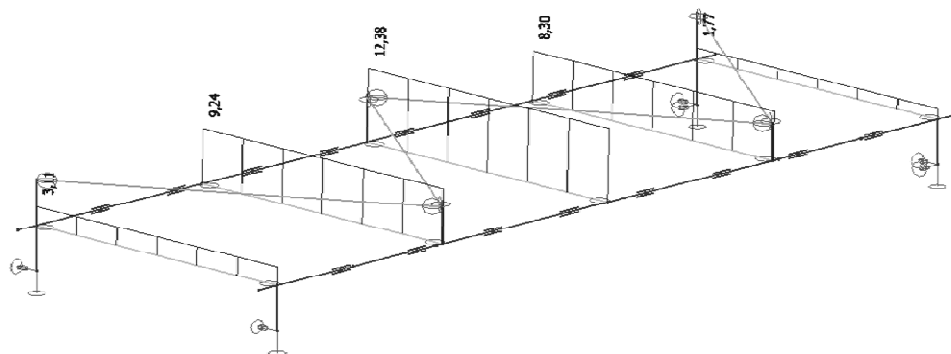
Ostatní zatížení bez LM71, sestava gr12/gr14

[kN]



Model LM71

[kN]



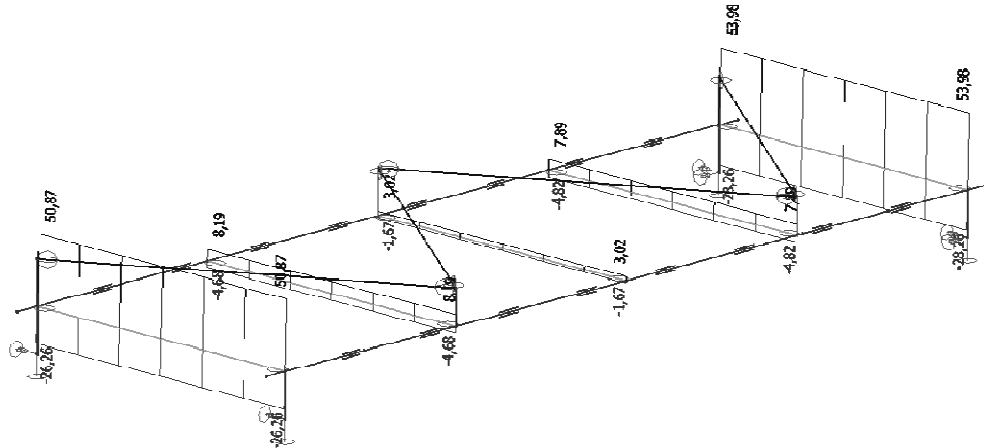
$$N_{LM71,t} = \underline{12,38 \text{ kN}}$$



V_z - Posouvající síly

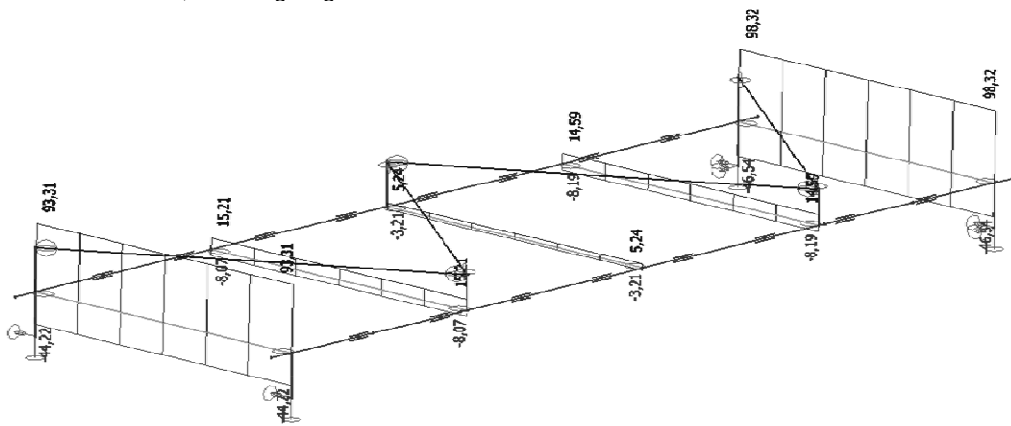
Ostatní zatížení bez LM71, sestava gr11/gr13

[kN]



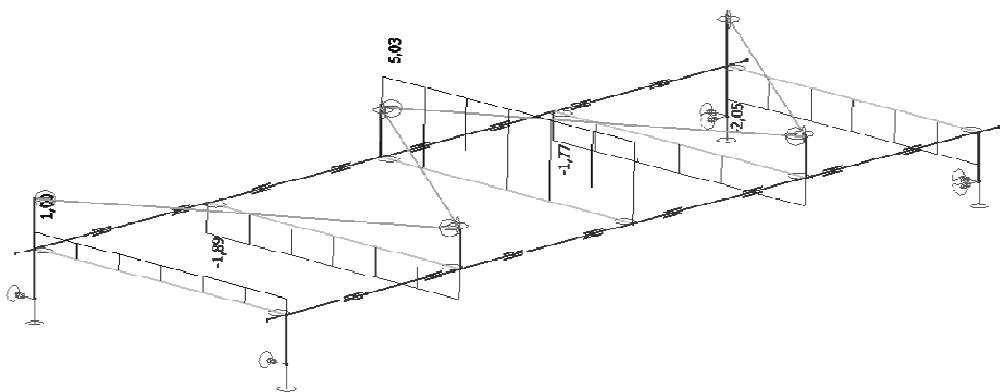
Ostatní zatížení bez LM71, sestava gr12/gr14

[kN]



Model LM71

[kN]



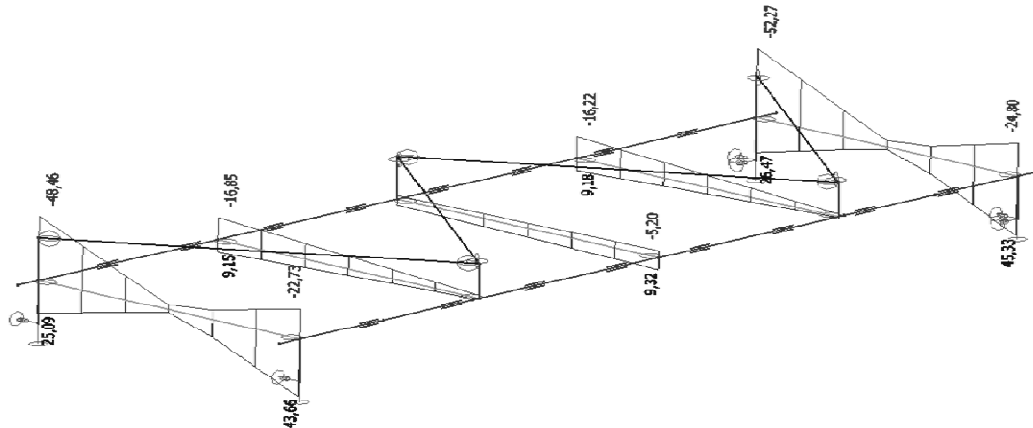
$$V_{LM71} = \underline{5,03 \text{ kN}}$$



M_y - Ohybové momenty

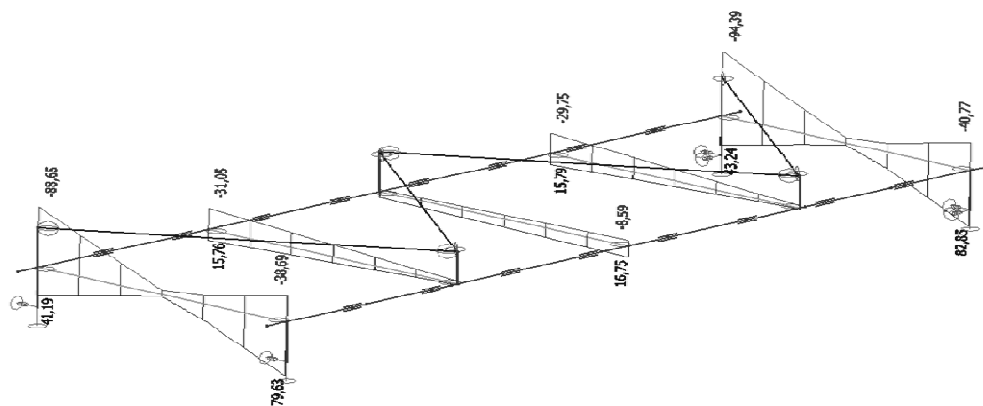
Ostatní zatížení bez LM71, sestava gr11/gr13

[kNm]



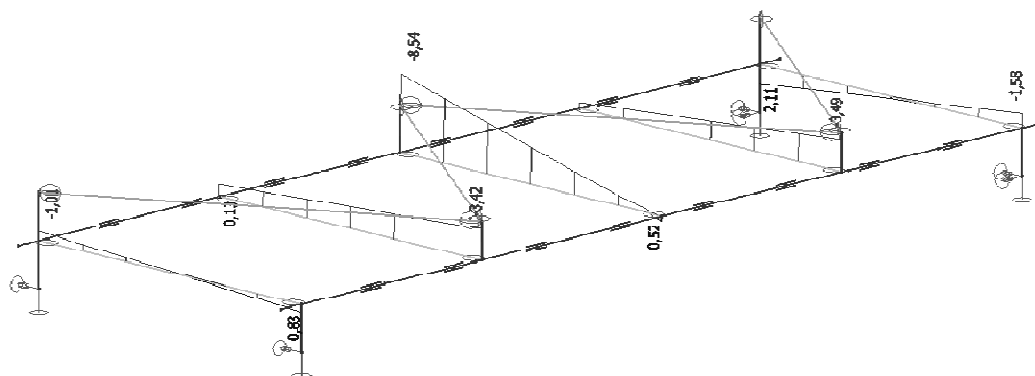
Ostatní zatížení bez LM71, sestava gr12/gr14

[kNm]



Model LM71

[kNm]



$$M_{LM71} = \underline{8,54 \text{ kNm}}$$



3.4.7. Vodorovné ztužení

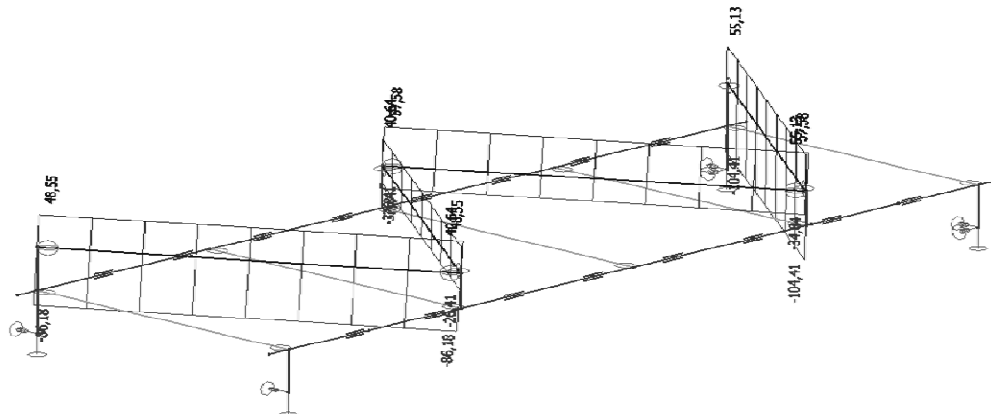
VYKRESLENÍ VNITŘNÍCH SIL

Ve vykreslení jsou zobrazeny obálky vnitřních sil od ostatních zatížení (všechna bez modelu LM71) a od zatížení modelem LM71. U ostatních zatížení se jedná o návrhové hodnoty (se součiniteli γ_{Fi} , $\psi_{0,i}$). Vnitřní síly od modelu LM71 jsou charakteristické (bez součinitele $\gamma_{F,LM71}$, bez dynamického součinitele a bez součinitele ψ_0).

N - Normálové síly

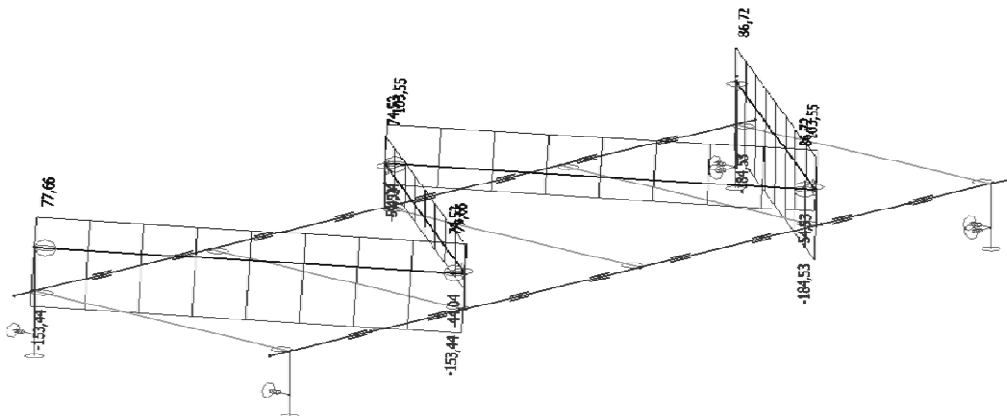
Ostatní zatížení bez LM71, sestava gr11/gr13

[kN]



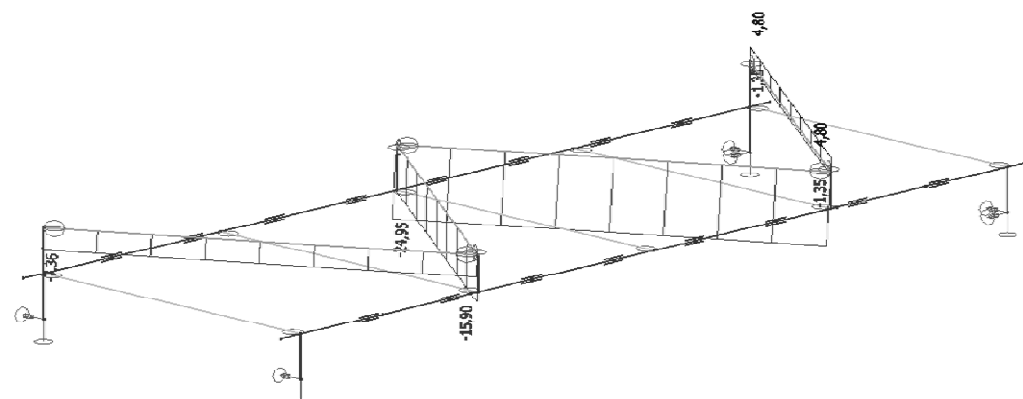
Ostatní zatížení bez LM71, sestava gr12/gr14

[kN]



Model LM71

[kN]





	ZTUŽENÍ 1	ZTUŽENÍ 2	ZTUŽENÍ 3	ZTUŽENÍ 4	ZTUŽENÍ 4
N_{LM71}	-7,4 kN	-15,90 kN	-24,95 kN	4,80 kN	-1,35 kN

3.4.8. Přehled účinků vnitřních sil

Prvek	Φ_3	$\gamma_{F,LM71}$	N_{LM71}	$N_{LM71,Ed}$	$N_{rs,Ed}$	$V_{z,LM71}$	$V_{LM71,Ed}$	$V_{z,rs,Ed}$	$M_{y,LM71}$	$M_{LM71,Ed}$	$M_{y,rs,Ed}$
	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kN]	[kNm]
LEVÝ HLAVNÍ NOSNÍK											
Průřez - 1 pásnice	1,758	1,30	14,90	34,04	151,19	208,81	477,08	197,09	0,00	0,00	46,62
Průřez - 2 pásnice	1,758	1,30	16,62	37,97	136,73	162,98	372,37	160,01	265,58	606,79	167,06
Průřez - 3 pásnice	1,758	1,30	19,10	43,64	144,06	57,41	131,17	31,36	299,90	685,20	198,99
PRAVÝ HLAVNÍ NOSNÍK											
Průřez - 1 pásnice	1,758	1,30	2,16	4,94	134,49	208,30	475,92	64,38	0,00	0,00	40,98
Průřez - 2 pásnice	1,758	1,30	11,11	25,38	129,60	159,52	364,47	57,21	254,00	580,33	67,02
Průřez - 3 pásnice	1,758	1,30	11,07	25,29	120,30	55,86	127,63	25,14	288,41	658,95	69,41
PŘÍČNÍK	2,000	1,30	12,38	32,19	72,76	5,03	13,08	106,56	8,54	22,20	55,63
VODOROVNÉ ZTUŽENÍ											
Ztužení 1	1,758	1,30	7,36	16,82	92,71	-	-	-	-	-	-
Ztužení 2	1,758	1,30	15,90	36,33	29,97	-	-	-	-	-	-
Ztužení 3	1,758	1,30	24,95	57,00	38,43	-	-	-	-	-	-
Ztužení 4 - tlak	1,758	1,30	1,35	3,08	111,5						
Ztužení 4 - tah	1,758	1,30	4,80	10,97	102,39	-	-	-	-	-	-



3.5. Výpočet zatížitelnosti - MSÚ

dle "Směrnice", kap. 4.7.6. a kap. 4.7.7.

Výpočet zatížitelnosti jednotlivých prvků nosné konstrukce bude stanoven dle obecného vztahu pro stanovení zatížitelnosti v mezním stavu únosnosti.

$$Z_{LM71} = \left(R_d - \sum_{i=1}^{n-1} E_{rs,Ed,i} \right) / E_{LM71,Ed}$$

kde R_d je návrhová hodnota únosnosti průřezu nebo prvku mostního objektu,

$E_{LM71,Ed}$ je návrhová hodnota účinků svislého proměnného zatížení železniční dopravou, reprezentovaného modelem zatížení 71 včetně dynamických vlivů,

$\sum_{i=1}^{n-1} E_{rs,Ed,i}$ jsou návrhové, kombinační nebo skupinové hodnoty účinků ostatních zatížení, které působí současně se svislým proměnným zatížením železniční dopravou.

3.5.1. Levý hlavní nosník

PRŮŘEZ - 1 PÁSNICE

Horní pásnice

$$b_{f1} = 250 \text{ mm}$$

$$t_{f1} = 12 \text{ mm}$$

Stojina

$$t_w = 16 \text{ mm}$$

$$h_w = 540 \text{ mm}$$

Spodní pásnice

$$b_{f2} = 250 \text{ mm}$$

$$t_{f2} = 12 \text{ mm}$$

Úhelníky

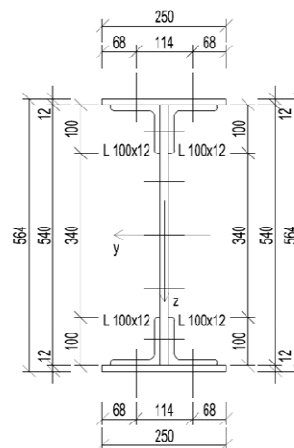
$$a = 100 \text{ mm}$$

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

Úhelníky

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

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



PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE

Horní pásnice

$$b_{f1} = 250 \text{ mm}$$

$$t_{f1} = 24 \text{ mm}$$

Stojina

$$t_w = 16 \text{ mm}$$

$$h_w = 540 \text{ mm}$$

Spodní pásnice

$$b_{f2} = 250 \text{ mm}$$

$$t_{f2} = 24 \text{ mm}$$

Úhelníky

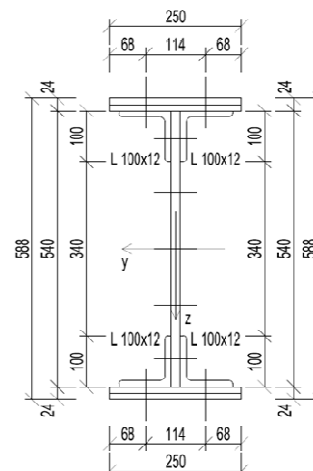
$$a = 100 \text{ mm}$$

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

Úhelníky

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

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





PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE

Horní pásnice

$b_{f1} = 250 \text{ mm}$

$t_{f1} = 36 \text{ mm}$

Stojina

$t_w = 16 \text{ mm}$

$h_w = 540 \text{ mm}$

Spodní pásnice

$b_{f2} = 250 \text{ mm}$

$t_{f2} = 36 \text{ mm}$

Úhelníky

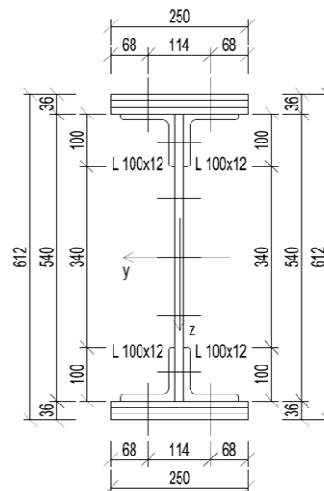
$a = 100 \text{ mm}$

$t = 12 \text{ mm}$

Úhelníky

$a = 100 \text{ mm}$

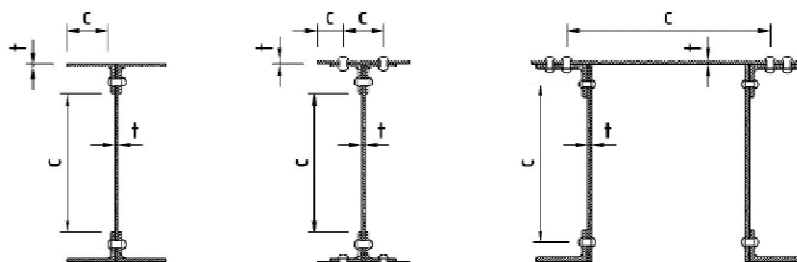
$t = 12 \text{ mm}$



ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZŮ

dle "Směrnice" příloha A, kap. A.2.2.2. a kap. A.2.2.3.

Průřez hlavního nosníku je složen z plechů a úhelníků, které jsou spojené nýty. Vzhledem k tomu bude uvažována pouze pružná únosnost. Pro zatřídění průřezu slouží ČSN EN 1993-1, tab. 5.2. Rozměry průřezu pro zatřídění vychází ze "Směrnice" příloha A, obr.A.1.



PRŮŘEZ - 1 PÁSNICE:			
Stojina		Pásnice	
$\frac{c}{t}$	$\leq 124 * \epsilon$	$\frac{c}{t}$	$\leq 42 * \epsilon$
$\frac{340}{16}$	$\leq 125,3$	$\frac{114}{12}$	$\leq 42,5$
21,3	$\leq 125,3$	9,5	$\leq 42,5$
PRŮŘEZ 3. TŘÍDY		PRŮŘEZ 3. TŘÍDY	
PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE:			
Stojina		Pásnice	
$\frac{c}{t}$	$\leq 124 * \epsilon$	$\frac{c}{t}$	$\leq 42 * \epsilon$
$\frac{340}{16}$	$\leq 125,3$	$\frac{114}{24}$	$\leq 42,5$
21,3	$\leq 125,3$	4,8	$\leq 42,5$
PRŮŘEZ 3. TŘÍDY		PRŮŘEZ 3. TŘÍDY	



PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE:					
Stojina			Pásnice		
$\frac{c}{t}$	\leq	$124 * \epsilon$	$\frac{c}{t}$	\leq	$42 * \epsilon$
$\frac{340}{16}$	\leq	125,3	$\frac{114}{36}$	\leq	42,5
21,3	\leq	125,3	3,2	\leq	42,5
PRŮŘEZ 3. TŘÍDY			PRŮŘEZ 3. TŘÍDY		

PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

Průřezové charakteristiky průřezu byly stanoveny ve výpočetním programu SCIA Engineer 16.0.

Ozn.		jedn.	1 PÁSNICE	2 PÁSNICE	3 PÁSNICE
z_T	těžiště průřezu (měřeno od horních vláken)	[mm]	282	294	306
y_T	těžiště průřezu (měřeno od pravých vláken)	[mm]	125	125	125
A	plocha průřezu	[mm ²]	14640	20640	26640
$A_{v,z}$	smyková plocha	[mm ²]	8640	8640	8640
$e_{z,h}$	excentricita k horním vláknům	[mm]	282	294	306
$e_{z,d}$	excentricita k dolním vláknům	[mm]	282	294	306
$e_{y,p}$	excentricita k pravým vláknům	[mm]	125	125	125
$e_{y,l}$	excentricita k levým vláknům	[mm]	125	125	125
I_y	moment setrvačnosti průřezu	[mm ⁴]	1069600000	1567400000	2107400000
I_z	moment setrvačnosti průřezu	[mm ⁴]	47364000	78614000	109860000
$W_{el,y,h}$	pr. průřezový modul k horním vláknům	[mm ³]	3792908	5331293	6886928
$W_{el,y,d}$	pr. průřezový modul k dolním vláknům	[mm ³]	3792908	5331293	6886928
$W_{el,z,p}$	pr. průřezový modul k pravým vláknům	[mm ³]	378912	628912	878880
$W_{el,z,l}$	pr. průřezový modul k levým vláknům	[mm ³]	378912	628912	878880

3.5.1.1. Tah

dle "Směrnice", příloha A, kap. A.2.2.7. a dle ČSN EN 1993-1-1, ed.2, kap. 6.2.3

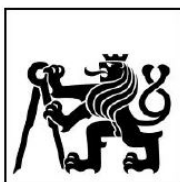
TAHOVÁ ÚNOSNOST

PRŮŘEZ - 1 PÁSNICE

$$N_{t,Rd} = A * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 14,64 * \frac{230}{1,10} = 3061 \text{ kN}$$

PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE

$$N_{t,Rd} = A * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 20,64 * \frac{230}{1,10} = 4316 \text{ kN}$$



PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE

$$N_{t,Rd} = A * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 26,64 * \frac{230}{1,10} = \underline{\underline{5570 \text{ kN}}}$$

ZATÍŽITELNOST

PRŮŘEZ - 1 PÁSNICE

vnitřní síly:

$$N_{LM71,Ed} = 34,04 \text{ kN} \quad Z_{LM71} = \frac{N_{t,Rd} - N_{rs,Ed}}{N_{LM71,Ed}} = \frac{3061,1 - 151,19}{34,04} = \underline{\underline{85,477}}$$
$$N_{rs,Ed} = 151,19 \text{ kN}$$

PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE

vnitřní síly:

$$N_{LM71,Ed} = 16,62 \text{ kN} \quad Z_{LM71} = \frac{N_{t,Rd} - N_{rs,Ed}}{N_{LM71,Ed}} = \frac{4315,6 - 136,73}{16,62} = \underline{\underline{251,44}}$$
$$N_{rs,Ed} = 136,73 \text{ kN}$$

PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE

vnitřní síly:

$$N_{LM71,Ed} = 43,64 \text{ kN} \quad Z_{LM71} = \frac{N_{t,Rd} - N_{rs,Ed}}{N_{LM71,Ed}} = \frac{5570,2 - 144,06}{43,64} = \underline{\underline{124,34}}$$
$$N_{rs,Ed} = 144,06 \text{ kN}$$

Zatížitelnost hlavního nosníku v tahu je nejmenší hodnota Z_{LM71} kontrolovaných průřezů:

$$\underline{\underline{Z_{LM71} = 85,48}}$$

3.5.1.2. Smyk

dle "Směrnice", příloha A, kap. A.2.2.8. a ČSN EN 1993-1-1, kap. 6.2.6.

BOULENÍ VE SMYKU

dle ČSN EN 1993-1-5, kap. 5

Vliv boulení ve smyku se má posoudit pro štíhlé stěny. U nevyztužených stojin pro $h_w/t_w > 72\varepsilon$, u vyztužených stojin $h_w/t_w > 31\varepsilon\sqrt{k_\tau}$. Hlavní nosníky mají nevyztužené stojiny.

PRŮŘEZ - 1 PÁSNICE	PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE	PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE
$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 * \varepsilon$	$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 * \varepsilon$	$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 * \varepsilon$
$\frac{540}{16} \leq 72,8$	$\frac{540}{16} \leq 72,8$	$\frac{540}{16} \leq 72,8$
$33,8 \leq 72,8$	$33,8 \leq 72,8$	$33,8 \leq 72,8$
<u>BEZ Vlivu BOULENÍ</u>	<u>BEZ Vlivu BOULENÍ</u>	<u>BEZ Vlivu BOULENÍ</u>

Pro hlavní nosník nebude vliv boulení ve smyku uvažován.



ÚNOSNOST VE SMYKU

PRŮŘEZ - 1 PÁSNICE

$$V_{pl,Rd} = A_{v,z} * \frac{f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = 8,64 * \frac{230}{1,91} = \underline{1043 \text{ kN}}$$

PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE

$$V_{pl,Rd} = A_{v,z} * \frac{f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = 8,64 * \frac{230}{1,91} = \underline{1043 \text{ kN}}$$

PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE

$$V_{pl,Rd} = A_{v,z} * \frac{f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = 8,64 * \frac{230}{1,91} = \underline{1043 \text{ kN}}$$

ZATÍŽITELNOST

PRŮŘEZ - 1 PÁSNICE

vnitřní síly:

$$V_{LM71,Ed} = 477,08 \text{ kN}$$

$$V_{rs,Ed} = 197,09 \text{ kN}$$

$$Z_{LM71} = \frac{V_{pl,Rd} - V_{rs,Ed}}{V_{LM71,Ed}} = \frac{1043 - 197,09}{477,08} = \underline{1,773}$$

PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE

vnitřní síly:

$$V_{LM71,Ed} = 372,37 \text{ kN}$$

$$V_{rs,Ed} = 160,01 \text{ kN}$$

$$Z_{LM71} = \frac{V_{pl,Rd} - V_{rs,Ed}}{V_{LM71,Ed}} = \frac{1043 - 160,01}{372,37} = \underline{2,3713}$$

PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE

vnitřní síly:

$$V_{LM71,Ed} = 131,17 \text{ kN}$$

$$V_{rs,Ed} = 31,36 \text{ kN}$$

$$Z_{LM71} = \frac{V_{pl,Rd} - V_{rs,Ed}}{V_{LM71,Ed}} = \frac{1043 - 31,36}{131,17} = \underline{7,713}$$

Zatížitelnost hlavního nosníku pro smyk je nejmenší hodnota Z_{LM71} kontrolovaných průřezů:

$$\underline{\underline{Z_{LM71} = 1,773}}$$



3.5.1.3. Ohyb s vlivem klopení

dle "Směrnice" příloha A, kap. A.2.2.17. a ČSN EN 1993-1-1, kap. 6.3.2.

Vliv klopení bude ve výpočtu uvažován jako vzpěr ekvivalentního tlačného pásu, který se bude skládat z pásnice a spolupůsobící částí stojiny v délce 15.t.ε. Součinitel klopení $\chi_{LT} = \chi_z$ ekvivalentního tlačného pásu. Vzpěrná délka bude brána jako vzdálenost příčnicků.

SOUČINITEL KLOPENÍ

PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE

Pásnice:

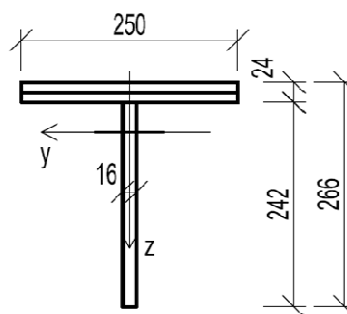
$$b_{f1} = 250 \text{ mm}$$

$$t_{f1} = 24 \text{ mm}$$

Stojina:

$$h_w = 15.t.\epsilon = 242 \text{ mm}$$

$$t_w = 16 \text{ mm}$$



PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE

Pásnice:

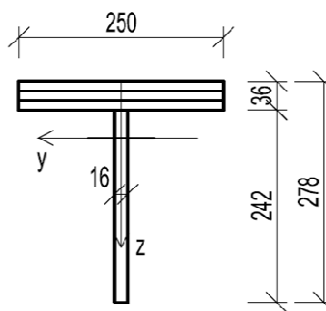
$$b_{f1} = 250 \text{ mm}$$

$$t_{f1} = 36 \text{ mm}$$

Stojina:

$$h_w = 15.t.\epsilon = 242 \text{ mm}$$

$$t_w = 16 \text{ mm}$$



Ozn.		jedn.	2 PÁSNICE	3 PÁSNICE
z_T	těžiště průřezu (měřeno od horních vláken)	[mm]	64	60
y_T	těžiště průřezu (měřeno od pravých vláken)	[mm]	125	125
A	plocha průřezu	[mm ²]	9872	12872
I_z	moment setrvačnosti průřezu	[mm ⁴]	31332603	46957603
i_z	průřezový modul k dolním vláknům	[mm]	56	60

vzpěrná délka:

$$L_{cr} = 1,325 \text{ m} \quad \text{vzdálenost příčnicků}$$

poměrná štíhlost:

PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE	$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i_z * 93,9 \epsilon} = \frac{1325}{5347} = 0,248$
PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE	$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i_z * 93,9 \epsilon} = \frac{1325}{5733} = 0,231$



součinitel imperfekce:

KŘIVKA VZPĚRNOSTI c

nýtovaný I průřez

$$\alpha = 0,49$$

PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE

$$\phi = 0,5 * [1 + \alpha * (\lambda - 0,2) + \lambda^2] = 0,5 * 1,0848 = 0,542$$

PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE

$$\phi = 0,5 * [1 + \alpha * (\lambda - 0,2) + \lambda^2] = 0,5 * 1,0687 = 0,534$$

součinitel klopení:

PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi + \sqrt{(\phi^2 - \lambda^2)}} = \frac{1}{0,5424 + 0,5963} = 0,878$$

PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi + \sqrt{(\phi^2 - \lambda^2)}} = \frac{1}{0,5343 + 0,5822} = 0,896$$

OHYBOVÁ ÚNOSNOST S VLIVEM KLOPENÍ

PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE

$$M_{y,b,Rd} = \chi_{LT} * w_{el,y} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 4,6818 * \frac{230}{1,10} = 979 \text{ kNm}$$

PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE

$$M_{y,b,Rd} = \chi_{LT} * w_{el,y} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 6,1682 * \frac{230}{1,10} = 1290 \text{ kNm}$$

ZATÍŽITELNOST

PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE

vnitřní síly:

$$M_{y,LM71} = 606,79 \text{ kN}$$

$$M_{y,rs,Ed} = 167,06 \text{ kN}$$

$$Z_{LM71} = \frac{M_{y,b,Rd} - M_{y,rs,Ed}}{M_{y,LM71}} = \frac{979 - 167,06}{606,79} = 1,338$$

PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE

vnitřní síly:

$$M_{y,LM71} = 685,20 \text{ kN}$$

$$M_{y,rs,Ed} = 198,99 \text{ kN}$$

$$Z_{LM71} = \frac{M_{y,b,Rd} - M_{y,rs,Ed}}{M_{y,LM71}} = \frac{1290 - 198,99}{685,20} = 1,592$$

Zatížitelnost hlavního nosníku pro namáhání ohybovým momentem je nejmenší hodnota Z_{LM71} kontrolovaných průřezů:

$$\underline{\underline{Z_{LM71} = 1,34}}$$



3.5.1.4. Kombinace osově síly, posouvající síly a ohybového momentu

dle "Směrnice" příloha A, kap. A.2.2.10

předpoklad:

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5$$

Pro posouvající sílu platí vztah $V_{Ed} = Z_{LM71} \cdot V_{LM71,Ed} + V_{rs,Ed}$. Předpokládáme v prvním kroku, že $Z_{LM71} = 1,0$. Tento předpoklad bude na konci ověřen.

PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE	PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE
$\eta_3 = \frac{532,38}{1043}$	$\eta_3 = \frac{162,53}{1043}$
0,51 ≤ 0,5	0,16 ≤ 0,5
NEPLATÍ, VELKÝ SMYK	PLATÍ, MALÝ SMYK

oslabení osovou silou:

$$M_{N,Rd} = M_{b,Rd} * \left(1 - \frac{N_{Ed}^2}{N_{t,Rd}^2}\right)$$

Pro osovou tahovou sílu platí vztah $N_{Ed} = Z_{LM71} \cdot N_{LM71,Ed} + N_{rs,Ed}$. Předpokládáme v prvním kroku, že Z_{LM71} stejnou jako pro ověření podmínky pro posouvající sílu.

PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE

$$M_{N,Rd} = M_{b,Rd} * \left(1 - \frac{N_{Ed}^2}{N_{t,Rd}^2}\right) = 979 * 1,00 = 978 \text{ kNm}$$

PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE

$$M_{N,Rd} = M_{b,Rd} * \left(1 - \frac{N_{Ed}^2}{N_{t,Rd}^2}\right) = 1290 * 1,00 = 1288 \text{ kNm}$$

ZATÍŽITELNOST

účinky ostatních zatížení:

$$\eta_{1,rs} = \frac{N_{Ed,rs}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed,rs}}{M_{N,Rd}}$$

PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE

$$\eta_{1,rs} = \frac{136,73}{4316} + \frac{167,06}{978} = 0,203$$

PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE

$$\eta_{1,rs} = \frac{144,06}{5570} + \frac{198,99}{1288} = 0,180$$

účinky od modelu LM71:

$$\eta_{1,LM71} = \frac{N_{LM71}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,LM71}}{M_{N,Rd}}$$

PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE

$$\eta_{1,LM71} = \frac{16,62}{4316} + \frac{606,79}{978} = 0,624$$



PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE

$$\eta_{1,LM71} = \frac{43,64}{5570} + \frac{685,20}{1288} = 0,540$$

výpočet zatížitelnosti:

PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,rs}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,2026}{0,6245} = 1,28$$

PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,rs}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,1803}{0,5397} = 1,52$$

ověření podmínky:

PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE	PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE
$\eta_3 = \frac{679,82}{1043}$	$\eta_3 = \frac{246,84}{1043}$
0,652 ≤ 0,5	0,237 ≤ 0,5
NEPLATÍ ✗	OK ✓

Vstupní podmínka pro výpočet dílčí zatížitelnosti pro kombinaci namáhání N+V+M nebyla splněna. Zatížitelnost bude vypočtena iteračním výpočtem. Tento postup bude aplikován pro průřez se 2 pásnicemi. Pro průřez se 3 pásnicemi podmínka vyhověla a zatížitelnost pro tento průřez je konečná.

ZATÍŽITELNOST - ITERAČNÍ POSTUP - 1. KROK

zatížitelnost z předchozího kroku: $Z_{LM71,(i-1)} = 1,28$

oslabení osovou silou:

POZN. $N_{Ed} = Z_{LM71} * N_{LM71,Ed} + N_{rs,Ed}$

$$M_{N,Rd} = M_{b,Rd} * \left(1 - \frac{N_{Ed}^2}{N_{t,Rd}^2}\right) = 979 * 1,00 = 978 \text{ kNm}$$

součinitel ρ :

POZN. $V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71,Ed} + V_{rs,Ed}$

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1\right)^2 = \left(\frac{1271}{1043} - 1\right)^2 = 0,048$$

oslabení smykem:

$$M_{y,V,Rd} = \left(\frac{M_{N,Rd}}{M_{b,Rd}} * w_y - \frac{\rho * A_w^2}{4 * t_w}\right) * \frac{\chi_{LT} * f_y}{\gamma_{M0}} = 5,269 * \frac{201,98}{1,10} = 967,4 \text{ kNm}$$



účinky ostatních zatížení:

$$\eta_{1,rs} = \frac{N_{Ed,rs}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed,rs}}{M_{y,V,Rd}}$$

$$\eta_{1,rs} = \frac{136,73}{4316} + \frac{167,06}{967} = \underline{0,204}$$

účinky od modelu LM71:

$$\eta_{1,LM71} = \frac{N_{LM71}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,LM71}}{M_{y,V,Rd}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{16,62}{4316} + \frac{606,79}{967} = \underline{0,631}$$

výpočet zatížitelnosti:

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,rs}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,204}{0,631} = \underline{1,26}$$

ověření zatížitelnosti:

$$Z_{LM71,i} = Z_{LM71,i-1}$$

$$1,26 = 1,28$$

NEPLATÍ - DALŠÍ ITERAČNÍ KROK ✘

ZATÍŽITELNOST - ITERAČNÍ POSTUP - 2. KROK

zatížitelnost z předchozího kroku: $Z_{LM71,(i-1)} = 1,26$

oslabení osovou silou:

POZN. $N_{Ed} = Z_{LM71} * N_{LM71,Ed} + N_{rs,Ed}$

$$M_{N,Rd} = M_{b,Rd} * \left(1 - \frac{N_{Ed}^2}{N_{t,Rd}^2}\right) = 979 * 1,00 = \underline{978 \text{ kNm}}$$

součinitel ρ :

POZN. $V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71,Ed} + V_{rs,Ed}$

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1\right)^2 = \left(\frac{1259}{1043} - 1\right)^2 = \underline{0,043}$$

oslabení smykem:

$$M_{y,V,Rd} = \left(\frac{M_{N,Rd}}{M_{b,Rd}} * w_y - \frac{\rho * A_w^2}{4 * t_w}\right) * \frac{\chi_{LT} * f_y}{\gamma_{M0}} = 5,274 * \frac{201,98}{1,10} = 968,5 \text{ kNm}$$

účinky ostatních zatížení:

$$\eta_{1,rs} = \frac{N_{Ed,rs}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed,rs}}{M_{N,Rd}}$$

$$\eta_{1,rs} = \frac{136,73}{4316} + \frac{167,06}{968} = \underline{0,204}$$

účinky od modelu LM71:

$$\eta_{1,LM71} = \frac{N_{LM71}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,LM71}}{M_{N,Rd}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{16,62}{4316} + \frac{606,79}{968} = \underline{0,630}$$

výpočet zatížitelnosti:

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,rs}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,204}{0,630} = \underline{1,26}$$



ověření zatížitelnosti:

$$Z_{LM71,i} = Z_{LM71,i-1}$$
$$1,26 = 1,26$$

OK ✓

ZATÍŽITELNOST - ITERAČNÍ POSTUP - 3. KROK

zatížitelnost z předchozího kroku: $Z_{LM71,(i-1)} = 1,26$

oslabení osovou silou:

POZN. $N_{Ed} = Z_{LM71} * N_{LM71,Ed} + N_{rs,Ed}$

$$M_{N,Rd} = M_{b,Rd} * \left(1 - \frac{N_{Ed}^2}{N_{t,Rd}^2}\right) = 979 * 1,00 = \underline{978 \text{ kNm}}$$

součinitel ρ :

POZN. $V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71,Ed} + V_{rs,Ed}$

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1\right)^2 = \left(\frac{1260,2}{1043} - 1\right)^2 = \underline{0,043}$$

oslabení smykem:

$$M_{y,V,Rd} = \left(\frac{M_{N,Rd}}{M_{b,Rd}} * w_y - \frac{\rho * A_w^2}{4 * t_w}\right) * \frac{\chi_{LT} * f_y}{\gamma_{M0}} = 5,274 * \frac{201,98}{1,10} = 968,4 \text{ kNm}$$

účinky ostatních zatížení:

$$\eta_{1,rs} = \frac{N_{Ed,rs}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed,rs}}{M_{y,V,Rd}}$$

$$\eta_{1,rs} = \frac{136,73}{4316} + \frac{167,06}{968} = \underline{0,204}$$

účinky od modelu LM71:

$$\eta_{1,LM71} = \frac{N_{LM71}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,LM71}}{M_{y,V,Rd}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{16,62}{4316} + \frac{606,79}{968} = \underline{0,630}$$

výpočet zatížitelnosti:

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,rs}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,204}{0,630} = \underline{1,26}$$

ověření zatížitelnosti:

$$Z_{LM71,i} = Z_{LM71,i-1}$$
$$1,26 = 1,26$$

OK ✓

Zatížitelnost hlavního nosníku pro kombinaci namáhání ohybovým momentem je nejmenší hodnota Z_{LM71} kontrolovaných průřezů:

$$\underline{\underline{Z_{LM71} = 1,26}}$$



3.5.2. Pravý hlavní nosník

PRŮŘEZ - 1 PÁSNICE

Horní pásnice

$$b_{f1} = 250 \text{ mm}$$

$$t_{f1} = 10 \text{ mm}$$

Stojina

$$t_w = 16 \text{ mm}$$

$$h_w = 440 \text{ mm}$$

Spodní pásnice

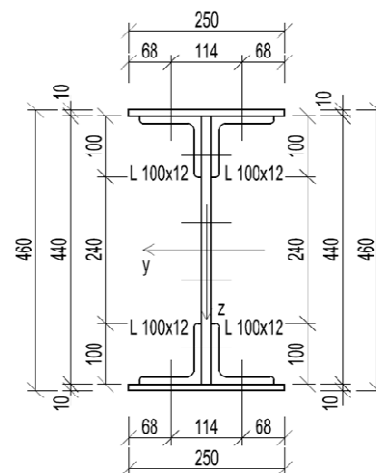
$$b_{f2} = 250 \text{ mm}$$

$$t_{f2} = 10 \text{ mm}$$

Úhelníky

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

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



PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE

Horní pásnice

$$b_{f1} = 250 \text{ mm}$$

$$t_{f1} = 22 \text{ mm}$$

Stojina

$$t_w = 16 \text{ mm}$$

$$h_w = 440 \text{ mm}$$

Spodní pásnice

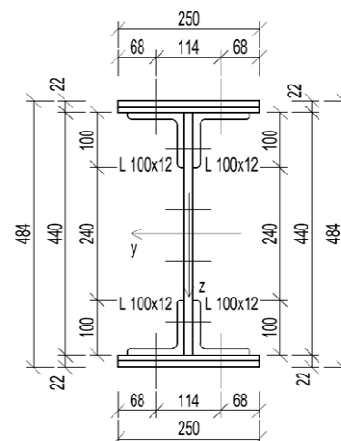
$$b_{f2} = 250 \text{ mm}$$

$$t_{f2} = 22 \text{ mm}$$

Úhelníky

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

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



PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE

Horní pásnice

$$b_{f1} = 250 \text{ mm}$$

$$t_{f1} = 32 \text{ mm}$$

Stojina

$$t_w = 16 \text{ mm}$$

$$h_w = 440 \text{ mm}$$

Spodní pásnice

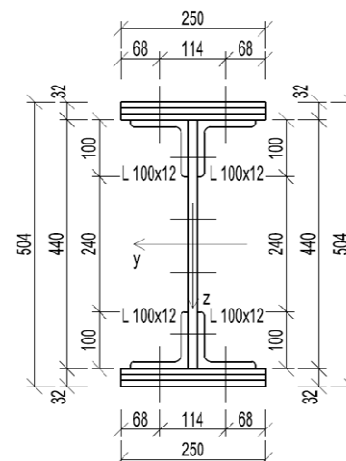
$$b_{f2} = 250 \text{ mm}$$

$$t_{f2} = 32 \text{ mm}$$

Úhelníky

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

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

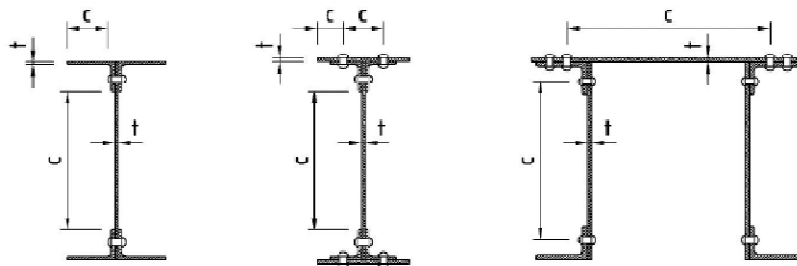




ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZŮ

dle "Směrnice" příloha A, kap. A.2.2.2. a kap. A.2.2.3.

Průřez hlavního nosníku je složen z plechů a úhelníků, které jsou spojené nýty. Vzhledem k tomu bude uvažována pouze pružná únosnost. Pro zatřídění průřezu slouží ČSN EN 1993-1, tab. 5.2. Rozměry průřezu pro zatřídění vychází ze "Směrnice" příloha A, obr.A.1.



PRŮŘEZ - 1 PÁSNICE:			
Stojina		Pásnice	
$\frac{c}{t}$	$\leq 124 * \epsilon$	$\frac{c}{t}$	$\leq 42 * \epsilon$
$\frac{240}{16}$	$\leq 125,3$	$\frac{114}{10}$	$\leq 42,5$
15,0	$\leq 125,3$	11,4	$\leq 42,5$
PRŮŘEZ 3. TŘÍDY		PRŮŘEZ 3. TŘÍDY	
PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE:			
Stojina		Pásnice	
$\frac{c}{t}$	$\leq 124 * \epsilon$	$\frac{c}{t}$	$\leq 42 * \epsilon$
$\frac{240}{16}$	$\leq 125,3$	$\frac{114}{22}$	$\leq 42,5$
15,0	$\leq 125,3$	5,2	$\leq 42,5$
PRŮŘEZ 3. TŘÍDY		PRŮŘEZ 3. TŘÍDY	
PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE:			
Stojina		Pásnice	
$\frac{c}{t}$	$\leq 124 * \epsilon$	$\frac{c}{t}$	$\leq 42 * \epsilon$
$\frac{240}{16}$	$\leq 125,3$	$\frac{114}{32}$	$\leq 42,5$
15,0	$\leq 125,3$	3,6	$\leq 42,5$
PRŮŘEZ 3. TŘÍDY		PRŮŘEZ 3. TŘÍDY	



PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

Průřezové charakteristiky průřezu byly stanoveny ve výpočetním programu SCIA Engineer 16.0.

Ozn.		jedn.	1 PÁSNICE	2 PÁSNICE	3 PÁSNICE
z_T	těžiště průřezu (měřeno od horních vláken)	[mm]	230	242	252
y_T	těžiště průřezu (měřeno od pravých vláken)	[mm]	125	125	125
A	plocha průřezu	[mm ²]	12040	18040	23040
$A_{v,z}$	smyková plocha	[mm ²]	7040	7040	7040
$e_{z,h}$	excentricita k horním vláknům	[mm]	230	242	252
$e_{z,d}$	excentricita k dolním vláknům	[mm]	230	242	252
$e_{y,p}$	excentricita k pravým vláknům	[mm]	125	125	125
$e_{y,l}$	excentricita k levým vláknům	[mm]	125	125	125
I_y	moment setrvačnosti průřezu	[mm ⁴]	627260000	903430000	1416000000
I_z	moment setrvačnosti průřezu	[mm ⁴]	42141000	68183000	89061000
$W_{el,y,h}$	pr. průřezový modul k horním vláknům	[mm ³]	2727217	3733182	5619048
$W_{el,y,d}$	pr. průřezový modul k dolním vláknům	[mm ³]	2727217	3733182	5619048
$W_{el,z,p}$	pr. průřezový modul k pravým vláknům	[mm ³]	337128	545464	712488
$W_{el,z,l}$	pr. průřezový modul k levým vláknům	[mm ³]	337128	545464	712488

3.5.2.1. Tah

dle "Směrnice", příloha A, kap. A.2.2.7. a dle ČSN EN 1993-1-1, ed.2, kap. 6.2.3

TAHOVÁ ÚNOSNOST

PRŮŘEZ - 1 PÁSNICE

$$N_{t,Rd} = A * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 12,04 * \frac{230}{1,10} = \underline{\underline{2517 \text{ kN}}}$$

PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE

$$N_{t,Rd} = A * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 18,04 * \frac{230}{1,10} = \underline{\underline{3772 \text{ kN}}}$$

PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE

$$N_{t,Rd} = A * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 23,04 * \frac{230}{1,10} = \underline{\underline{4817 \text{ kN}}}$$

ZATÍŽITELNOST

PRŮŘEZ - 1 PÁSNICE

vnitřní síly:

$$N_{LM71,Ed} = 4,94 \text{ kN}$$

$$N_{rs,Ed} = 134,49 \text{ kN}$$

$$Z_{LM71} = \frac{N_{t,Rd} - N_{rs,Ed}}{N_{LM71,Ed}} = \frac{2517,5 - 134,49}{4,94} = \underline{\underline{482,86}}$$



PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE

vnitřní síly:

$$N_{LM71,Ed} = 25,38 \text{ kN}$$

$$N_{rs,Ed} = 129,60 \text{ kN}$$

$$Z_{LM71} = \frac{N_{t,Rd} - N_{rs,Ed}}{N_{LM71,Ed}} = \frac{3772 - 129,60}{25,38} = \underline{\underline{143,49}}$$

PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE

vnitřní síly:

$$N_{LM71,Ed} = 25,29 \text{ kN}$$

$$N_{rs,Ed} = 120,30 \text{ kN}$$

$$Z_{LM71} = \frac{N_{t,Rd} - N_{rs,Ed}}{N_{LM71,Ed}} = \frac{4817,5 - 120,30}{25,29} = \underline{\underline{185,71}}$$

Zatížitelnost hlavního nosníku v tahu je nejmenší hodnota Z_{LM71} kontrolovaných průřezů:

$$\underline{\underline{Z_{LM71} = 143,5}}$$

3.5.2.2. Smyk

dle "Směrnice", příloha A, kap. A.2.2.8. a ČSN EN 1993-1-1, kap. 6.2.6.

BOULENÍ VE SMYKU

dle ČSN EN 1993-1-5, kap. 5

Vliv boulení ve smyku se má posoudit pro štíhlé stěny. U nevyztužených stojin pro $h_w/t_w > 72\varepsilon$, u vyztužených stojin $h_w/t_w > 31\varepsilon\sqrt{k_\tau}$. Hlavní nosníky mají nevyztužené stojiny.

<u>PRŮŘEZ - 1 PÁSNICE</u>	<u>PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE</u>	<u>PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE</u>
$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 * \varepsilon$	$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 * \varepsilon$	$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 * \varepsilon$
$\frac{440}{16} \leq 72,8$	$\frac{440}{16} \leq 72,8$	$\frac{440}{16} \leq 72,8$
$\frac{27,5}{16} \leq 72,8$	$\frac{27,5}{16} \leq 72,8$	$\frac{27,5}{16} \leq 72,8$
<u>BEZ Vlivu BOULENÍ</u>	<u>BEZ Vlivu BOULENÍ</u>	<u>BEZ Vlivu BOULENÍ</u>

Pro hlavní nosník nebude vliv boulení ve smyku uvažován.

ÚNOSNOST VE SMYKU

PRŮŘEZ - 1 PÁSNICE

$$V_{pl,Rd} = A_{v,z} * \frac{f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = 7,04 * \frac{230}{1,91} = \underline{\underline{849,86 \text{ kN}}}$$

PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE

$$V_{pl,Rd} = A_{v,z} * \frac{f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = 7,04 * \frac{230}{1,91} = \underline{\underline{849,86 \text{ kN}}}$$



PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE

$$V_{pl,Rd} = A_{v,z} * \frac{f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = 7,04 * \frac{230}{1,91} = \underline{\underline{849,86 \text{ kN}}}$$

ZATÍŽITELNOST

PRŮŘEZ - 1 PÁSNICE

vnitřní síly:

$$V_{LM71,Ed} = 475,92 \text{ kN}$$

$$V_{rs,Ed} = 64,38 \text{ kN}$$

$$Z_{LM71} = \frac{V_{pl,Rd} - V_{rs,Ed}}{V_{LM71,Ed}} = \frac{849,86 - 64,38}{475,92} = \underline{\underline{1,65}}$$

PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE

vnitřní síly:

$$V_{LM71,Ed} = 364,47 \text{ kN}$$

$$V_{rs,Ed} = 57,21 \text{ kN}$$

$$Z_{LM71} = \frac{V_{pl,Rd} - V_{rs,Ed}}{V_{LM71,Ed}} = \frac{849,86 - 57,21}{364,47} = \underline{\underline{2,1748}}$$

PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE

vnitřní síly:

$$V_{LM71,Ed} = 127,63 \text{ kN}$$

$$V_{rs,Ed} = 25,14 \text{ kN}$$

$$Z_{LM71} = \frac{V_{pl,Rd} - V_{rs,Ed}}{V_{LM71,Ed}} = \frac{849,86 - 25,14}{127,63} = \underline{\underline{6,462}}$$

Zatížitelnost hlavního nosníku pro smyk je nejmenší hodnota Z_{LM71} kontrolovaných průřezů:

$$\underline{\underline{Z_{LM71} = 1,65}}$$

3.5.2.3. Ohyb s vlivem klopení

dle "Směrnice" příloha A, kap. A.2.2.17. a ČSN EN 1993-1-1, kap. 6.3.2.

Vliv klopení bude ve výpočtu uvažován jako vzpěr ekvivalentního tlačného pásu, který se bude skládat z pásnice a spolupůsobící části stojiny v délce 15.t.ε. Součinitel klopen $\chi_{LT} = \chi_z$ ekvivalentního tlačného pásu. Vzpěrná délka bude brána jako vzdálenost příčného ztužení.

SOUČINITEL KLOPENÍ

PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE

Pásnice:

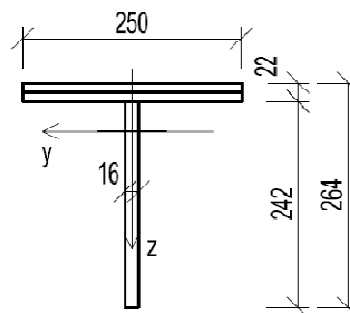
$$b_{f1} = 250 \text{ mm}$$

$$t_{f1} = 22 \text{ mm}$$

Stojina:

$$h_w = 15.t.\epsilon = 242 \text{ mm}$$

$$t_w = 16 \text{ mm}$$





PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE

Pásnice:

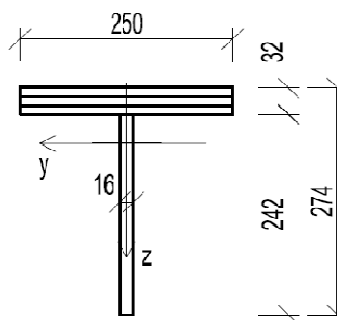
$$b_{f1} = 250 \text{ mm}$$

$$t_{f1} = 32 \text{ mm}$$

Stojina:

$$h_w = 15 \cdot t_w = 242 \text{ mm}$$

$$t_w = 16 \text{ mm}$$



Ozn.		jedn.	2 PÁSNICE	3 PÁSNICE
z_T	těžiště průřezu (měřeno od horních vláken)	[mm]	66	61
y_T	těžiště průřezu (měřeno od pravých vláken)	[mm]	125	125
A	plocha průřezu	[mm ²]	9372	11872
I_z	moment setrvačnosti průřezu	[mm ⁴]	28728436	41749269
i_z	průřezový modul k dolním vláknům	[mm]	55	59

vzpěrná délka: $L_{cr} = 1,325 \text{ m}$ vzdálenost příčníků

poměrná štíhlost:

PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE	$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i_z \cdot 93,9 \varepsilon} = \frac{1325}{5255} = 0,252$
PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE	$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i_z \cdot 93,9 \varepsilon} = \frac{1325}{5629} = 0,235$

součinitel imperfekce:

KŘIVKA VZPĚRNOSTI c

nýtovaný I průřez

$$\alpha = 0,49$$

PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,2) + \lambda^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,252 - 0,2) + 0,252^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,0245 + 0,0635] = 0,5 \cdot 1,088 = 0,544$$

PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,2) + \lambda^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,235 - 0,2) + 0,235^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,0245 + 0,0552] = 0,5 \cdot 1,0797 = 0,5398$$

součinitel klopení:

PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi + \sqrt{(\phi^2 - \lambda^2)}} = \frac{1}{0,5446 + 0,6001} = 0,874$$

PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi + \sqrt{(\phi^2 - \lambda^2)}} = \frac{1}{0,5364 + 0,5858} = 0,891$$



OHYBOVÁ ÚNOSNOST S VLIVEM KLOPENÍ

PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE

$$M_{y,b,Rd} = \chi_{LT} * W_{el,y} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 3,2614 * \frac{230}{1,10} = \underline{682 \text{ kNm}}$$

PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE

$$M_{y,b,Rd} = \chi_{LT} * W_{el,y} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 5,0074 * \frac{230}{1,10} = \underline{1047 \text{ kNm}}$$

ZATÍŽITELNOST

PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE

vnitřní síly:

$$M_{y,LM71} = 580,33 \text{ kN}$$

$$M_{y,rs,Ed} = 67,02 \text{ kN}$$

$$Z_{LM71} = \frac{M_{y,b,Rd} - M_{y,rs,Ed}}{M_{y,LM71}} = \frac{682 - 67,02}{580,33} = \underline{1,060}$$

PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE

vnitřní síly:

$$M_{y,LM71} = 658,95 \text{ kN}$$

$$M_{y,rs,Ed} = 69,41 \text{ kN}$$

$$Z_{LM71} = \frac{M_{y,b,Rd} - M_{y,rs,Ed}}{M_{y,LM71}} = \frac{1047 - 69,41}{658,95} = \underline{1,484}$$

Zatížitelnost hlavního nosníku pro namáhání ohybovým momentem je nejmenší hodnota Z_{LM71} kontrolovaných průřezů:

$$\underline{\underline{Z_{LM71} = 1,06}}$$

3.5.2.4. Kombinace osově síly, posouvající síly a ohybového momentu

dle "Směrnice" příloha A, kap. A.2.2.10

předpoklad:

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5$$

Pro posouvající sílu platí vztah $V_{Ed} = Z_{LM71} \cdot V_{LM71,Ed} + V_{rs,Ed}$. Předpokládáme v prvním kroku, že $Z_{LM71} = 1,0$. Tento předpoklad bude na konci ověřen.

PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE	PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE
$\eta_3 = \frac{421,67}{849,86}$	$\eta_3 = \frac{152,77}{849,86}$
0,50 ≤ 0,5	0,18 ≤ 0,5
PLATÍ, MALÝ SMYK	PLATÍ, MALÝ SMYK



oslabení osovou silou:

$$M_{N,Rd} = M_{b,Rd} * \left(1 - \frac{N_{Ed}^2}{N_{t,Rd}^2} \right)$$

Pro osovou tahovou sílu platí vztah $N_{Ed} = Z_{LM71} \cdot N_{LM71,Ed} + N_{rs,Ed}$. Předpokládáme v prvním kroku, že Z_{LM71} stejnou jako pro ověření podmínky pro posouvající sílu.

PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE

$$M_{N,Rd} = M_{b,Rd} * \left(1 - \frac{N_{Ed}^2}{N_{t,Rd}^2} \right) = 682 * 1,00 = 681 \text{ kNm}$$

PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE

$$M_{N,Rd} = M_{b,Rd} * \left(1 - \frac{N_{Ed}^2}{N_{t,Rd}^2} \right) = 1047 * 1,00 = 1046 \text{ kNm}$$

ZATÍŽITELNOST

účinky ostatních zatížení:

$$\eta_{1,rs} = \frac{N_{Ed,rs}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed,rs}}{M_{N,Rd}}$$

PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE

$$\eta_{1,rs} = \frac{129,60}{3772} + \frac{67,02}{681} = 0,133$$

PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE

$$\eta_{1,rs} = \frac{120,30}{4817} + \frac{69,41}{1046} = 0,091$$

účinky od modelu LM71:

$$\eta_{1,LM71} = \frac{N_{LM71}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,LM71}}{M_{N,Rd}}$$

PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE

$$\eta_{1,LM71} = \frac{25,38}{3772} + \frac{580,33}{681} = 0,859$$

PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE

$$\eta_{1,LM71} = \frac{25,29}{4817} + \frac{658,95}{1046} = 0,635$$

výpočet zatížitelnosti:

PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,rs}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,1328}{0,8592} = 1,01$$

PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,rs}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,0913}{0,6352} = 1,43$$



ověření podmínky:

PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE			PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE		
$\eta_3 = \frac{425,6}{849,86}$			$\eta_3 = \frac{218,55}{849,86}$		
0,50	≤	0,5	0,257	≤	0,5
NEPLATÍ ✗			OK ✓		

Vstupní podmínka pro výpočet dílčí zatížitelnosti pro kombinaci namáhání N+V+M nebyla splněna. Zatížitelnost bude vypočtena iteračním výpočtem. Tento postup bude aplikován pro průřez se 2 pásnicemi. Pro průřez se 3 pásnicemi podmínka vyhověla a zatížitelnost pro tento průřez je konečná.

ZATÍŽITELNOST - ITERAČNÍ POSTUP - 1. KROK

zatížitelnost z předchozího kroku: $Z_{LM71,(i-1)} = 1,01$

oslabení osovou silou:

POZN. $N_{Ed} = Z_{LM71} * N_{LM71,Ed} + N_{rs,Ed}$

$$M_{N,Rd} = M_{b,Rd} * \left(1 - \frac{N_{Ed}^2}{N_{t,Rd}^2}\right) = 682 * 1,00 = \underline{681 \text{ kNm}}$$

součinitel ρ :

POZN. $V_{Ed} = Z_{LM71} * V_{LM71,Ed} + V_{rs,Ed}$

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1\right)^2 = \left(\frac{850,13}{849,86} - 1\right)^2 = \underline{0,000}$$

oslabení smykem:

$$M_{y,V,Rd} = \left(\frac{M_{N,Rd}}{M_{b,Rd}} * w_y - \frac{\rho * A_w^2}{4 * t_w}\right) * \frac{\chi_{LT} * f_y}{\gamma_{M0}} = 3,730 * \frac{200,93}{1,10} = \underline{681,3 \text{ kNm}}$$

účinky ostatních zatížení:

$$\eta_{1,rs} = \frac{N_{Ed,rs}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed,rs}}{M_{y,V,Rd}}$$

$$\eta_{1,rs} = \frac{129,60}{3772} + \frac{67,02}{681} = \underline{0,133}$$

účinky od modelu LM71:

$$\eta_{1,LM71} = \frac{N_{LM71}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,LM71}}{M_{y,V,Rd}}$$

$$\eta_{1,LM71} = \frac{25,38}{3772} + \frac{580,33}{681} = \underline{0,859}$$

výpočet zatížitelnosti:

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,rs}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,133}{0,859} = \underline{1,01}$$

ověření zatížitelnosti:

$$Z_{LM71,i} = Z_{LM71,i-1}$$

$$1,01 = 1,01$$

OK ✓



Zatížitelnost hlavního nosníku pro kombinaci namáhání ohybovým momentem je nejmenší hodnota Z_{LM71} kontrolovaných průřezů:

$$\underline{\underline{Z_{LM71} = 1,01}}$$



3.5.3. Příčník

PRŮŘEZ

Úhelníky

$$a = 70 \text{ mm} \quad A_L = 1070 \text{ mm}^2$$

$$t = 8 \text{ mm} \quad I_{y,L} = 473000 \text{ mm}^4$$

Stojina

$$t_w = 10 \text{ mm}$$

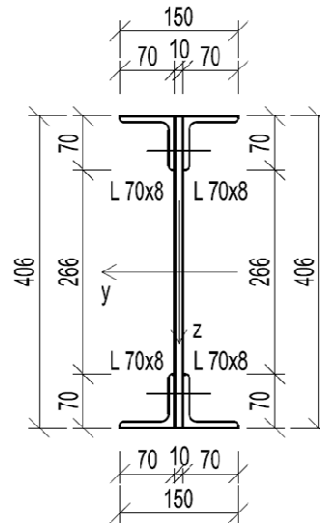
$$h_w = 440 \text{ mm}$$

Úhelníky

$$a = 70 \text{ mm} \quad A_L = 1070 \text{ mm}^2$$

$$t = 8 \text{ mm} \quad I_{y,L} = 473000 \text{ mm}^4$$

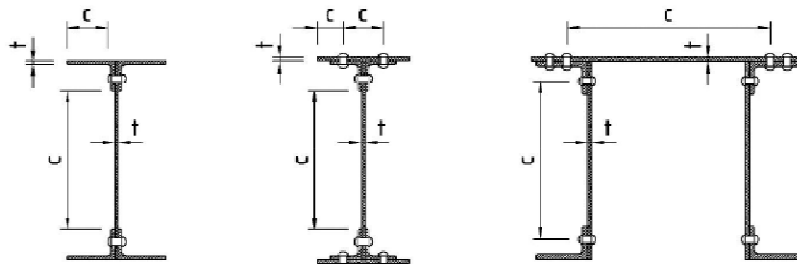
$$I_{z,L} = 473000 \text{ mm}^4$$



ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU

dle "Směrnice" příloha A, kap. A.2.2.2. a kap. A.2.2.3.

Průřez hlavního nosníku je složen z plechů a úhelníků, které jsou spojené nýty. Vzhledem k tomu bude uvažována pouze pružná únosnost. Pro zatřídění průřezu slouží ČSN EN 1993-1, tab. 5.2. Rozměry průřezu pro zatřídění vychází ze "Směrnice" příloha A, obr.A.1.



PŘÍČNÍK:			
Stojina		Pásnice	
$\frac{c}{t}$	$\leq 124 * \epsilon$	$\frac{c}{t}$	$\leq 42 * \epsilon$
$\frac{300}{10}$	$\leq 125,3$	$\frac{70}{8}$	$\leq 42,5$
$30,0$	$\leq 125,3$	$8,8$	$\leq 42,5$
PRŮŘEZ 3. TŘÍDY		PRŮŘEZ 3. TŘÍDY	



PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

Ozn.		jedn.	PŘÍČNÍK
z_T	těžiště průřezu (měřeno od horních vláken)	[mm]	220
y_T	těžiště průřezu (měřeno od pravých vláken)	[mm]	75
A	plocha průřezu	[mm ²]	8680
$A_{v,z}$	smyková plocha	[mm ²]	3000
$e_{z,h}$	excentricita k horním vláknům	[mm]	220
$e_{z,d}$	excentricita k dolním vláknům	[mm]	220
$e_{y,p}$	excentricita k pravým vláknům	[mm]	75
$e_{y,l}$	excentricita k levým vláknům	[mm]	75
I_y	moment setrvačnosti průřezu	[mm ⁴]	243907509
I_z	moment setrvačnosti průřezu	[mm ⁴]	4625109
$W_{el,y,h}$	pr. průřezový modul k horním vláknům	[mm ³]	1108670
$W_{el,y,d}$	pr. průřezový modul k dolním vláknům	[mm ³]	1108670
$W_{el,z,p}$	pr. průřezový modul k pravým vláknům	[mm ³]	61668
$W_{el,z,l}$	pr. průřezový modul k levým vláknům	[mm ³]	61668

3.5.3.1. Tah

dle "Směrnice", příloha A, kap. A.2.2.7. a dle ČSN EN 1993-1-1, ed.2, kap. 6.2.3

TAHOVÁ ÚNOSNOST

$$N_{t,Rd} = A * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 8,68 * \frac{230}{1,10} = \underline{\underline{1815 \text{ kN}}}$$

ZATÍŽITELNOST

vnitřní síly:

$$N_{LM71,Ed} = 32,19 \text{ kN}$$

$$N_{rs,Ed} = 72,76 \text{ kN}$$

$$Z_{LM71} = \frac{N_{t,Rd} - N_{rs,Ed}}{N_{LM71,Ed}} = \frac{1814,9 - 72,76}{32,19} = \underline{\underline{54,12}}$$

$$\underline{\underline{Z_{LM71} = 54,12}}$$

3.5.3.2. Smyk

dle "Směrnice", příloha A, kap. A.2.2.8. a ČSN EN 1993-1-1, kap. 6.2.6.

BOULENÍ VE SMYKU

dle ČSN EN 1993-1-5, kap. 5

Vliv boulení ve smyku se má posoudit pro štíhlé stěny. U nevytuzených stojin pro $h_w/t_w > 72\varepsilon$, u vytuzených stojin $h_w/t_w > 31\varepsilon*\sqrt{k_\tau}$. Hlavní nosníky mají nevytuzené stojiny.



PŘÍČNÍK

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{440}{10} \leq 72,8$$

$$\frac{44,0}{10} \leq 72,8$$

BEZ VLIVU BOULENÍ

Pro příčník nebude vliv boulení ve smyku uvažován.

ÚNOSNOST VE SMYKU

$$V_{pl,Rd} = A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 3,00 \cdot \frac{230}{1,91} = \underline{\underline{362,16 \text{ kN}}}$$

ZATÍŽITELNOST

vnitřní síly:

$$V_{LM71,Ed} = 13,08 \text{ kN}$$

$$V_{rs,Ed} = 106,56 \text{ kN}$$

$$Z_{LM71} = \frac{V_{pl,Rd} - V_{rs,Ed}}{V_{LM71,Ed}} = \frac{362,16 - 106,56}{13,08} = \underline{\underline{19,54}}$$

$$\underline{\underline{Z_{LM71} = 19,54}}$$

3.5.3.3. Ohyb s vlivem klopení

dle "Směrnice" příloha A, kap. A.2.2.17. a ČSN EN 1993-1-1, kap. 6.3.2.

Vliv klopení bude ve výpočtu uvažován jako vzpěr ekvivalentního tlačného pásu, který se bude skládat z pásnice a spolupůsobící části stojiny v délce 15.t.ε. Součinitel klopení $\chi_{LT} = \chi_z$ ekvivalentního tlačného pásu. Vzpěrná délka bude brána jako vzdálenost příčného ztužení.

SOUČINITEL KLOPENÍ

Úhelníky

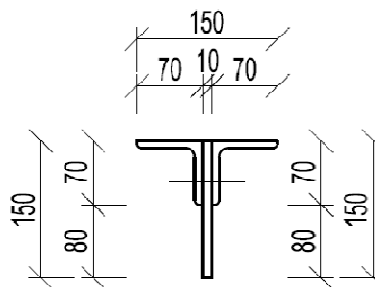
$$a = 70 \text{ mm} \quad A_L = 1070 \text{ mm}^2$$

$$t = 8 \text{ mm} \quad I_{y,L} = 473000 \text{ mm}^4$$

Stojina:

$$h_w = 15.t.\varepsilon = 150 \text{ mm}$$

$$t_w = 10 \text{ mm}$$



Ozn.		jedn.	PŘÍČNÍK
z_T	těžiště průřezu (měřeno od horních vláken)	[mm]	61
y_T	těžiště průřezu (měřeno od pravých vláken)	[mm]	75
A	plocha průřezu	[mm ²]	3640
I_z	moment setrvačnosti průřezu	[mm ⁴]	2306721
i_z	průřezový modul k dolním vláknům	[mm]	25



vzpěrná délka: $L_{cr} = 1,800$ m délka příčnicku

poměrná štíhlost:

PŘÍČNÍK	$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i_z \cdot 93,9 \varepsilon} = \frac{1800}{2389} = 0,753$
---------	---

součinitel imperfekce:

KŘIVKA VZPĚRNOSTI c

nýtovaný I průřez

$$\alpha = 0,49$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,2) + \lambda^2] = 0,5 \cdot 1,8387 = 0,919$$

součinitel klopení:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi + \sqrt{(\phi^2 - \lambda^2)}} = \frac{1}{0,9193 + 1,1886} = 0,474$$

OHYBOVÁ ÚNOSNOST S VLIVEM KLOPENÍ

PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE

$$M_{yb,Rd} = \chi_{LT} \cdot w_{el,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,526 \cdot \frac{230}{1,10} = 110 \text{ kNm}$$

ZATÍŽITELNOST

vnitřní síly:

$$M_{y,LM71} = 22,20 \text{ kN}$$

$$M_{y,rs,Ed} = 55,63 \text{ kN}$$

$$Z_{LM71} = \frac{M_{y,b,Rd} - M_{y,rs,Ed}}{M_{y,LM71}} = \frac{110 - 55,63}{22,20} = 2,45$$

$$\underline{\underline{Z_{LM71} = 2,45}}$$

3.5.3.4. Kombinace osově síly, posouvající síly a ohybového momentu

dle "Směrnice" příloha A, kap. A.2.2.10

předpoklad:

$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5$
--

Pro posouvající sílu platí vztah $V_{Ed} = Z_{LM71} \cdot V_{LM71,Ed} + V_{rs,Ed}$. Předpokládáme v prvním kroku, že $Z_{LM71} = 1,0$. Tento předpoklad bude na konci ověřen.



PŘÍČNÍK	
$\eta_3 = \frac{119,64}{362,16}$	
0,33	≤ 0,5
PLATÍ, MALÝ SMYK	

oslabení osovou silou:

$$M_{N,Rd} = M_{b,Rd} * \left(1 - \frac{N_{Ed}^2}{N_{t,Rd}^2} \right)$$

Pro osovou tahovou sílu platí vztah $N_{Ed} = Z_{LM71} \cdot N_{LM71,Ed} + N_{rs,Ed}$. Předpokládáme v prvním kroku, že Z_{LM71} stejnou jako pro ověření podmínky pro posouvající sílu.

$$M_{N,Rd} = M_{b,Rd} * \left(1 - \frac{N_{Ed}^2}{N_{t,Rd}^2} \right) = 110 * 1,00 = \underline{\underline{110 \text{ kNm}}}$$

ZATÍŽITELNOST

účinky ostatních zatížení:

$$\eta_{1,rs} = \frac{N_{Ed,rs}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed,rs}}{M_{N,Rd}}$$
$$\eta_{1,rs} = \frac{72,76}{1815} + \frac{55,63}{110} = 0,548$$

účinky od modelu LM71:

$$\eta_{1,LM71} = \frac{N_{LM71}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,LM71}}{M_{N,Rd}}$$
$$\eta_{1,LM71} = \frac{32,19}{1815} + \frac{22,20}{110} = 0,220$$

výpočet zatížitelnosti:

$$Z_{LM71} = \frac{1 - \eta_{1,rs}}{\eta_{1,LM71}} = \frac{1 - 0,5476}{0,2203} = \underline{\underline{2,05}}$$

ověření podmínky:

PŘÍČNÍK	
$\eta_3 = \frac{133,41}{362,16}$	
0,368	≤ 0,5
OK ✓	

$$Z_{LM71} = \underline{\underline{2,05}}$$

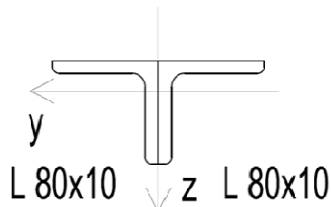


3.5.4. Vodorovné ztužení

PRŮŘEZ

Úhelníky

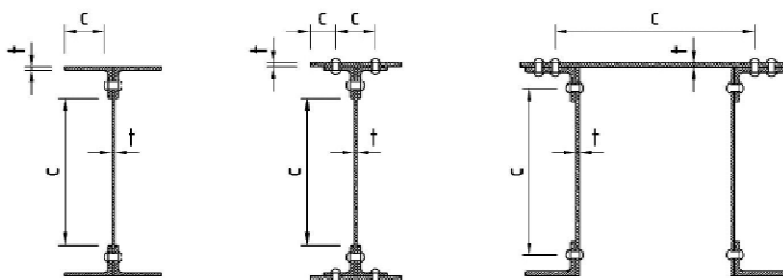
a =	80 mm	$z_L =$	23,4 mm ²
t =	10 mm	$A_L =$	1510 mm ²
		$I_{y,L} =$	875000 mm ⁴
		$I_{z,L} =$	875000 mm ⁴



ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU

dle "Směrnice" příloha A, kap. A.2.2.2. a kap. A.2.2.3.

Průřez hlavního nosníku je složen z plechů a úhelníků, které jsou spojené nýty. Vzhledem k tomu bude uvažována pouze pružná únosnost. Pro zatřídění průřezu slouží ČSN EN 1993-1, tab. 5.2. Rozměry průřezu pro zatřídění vychází ze "Směrnice" příloha A, obr.A.1.



VODOROVNÉ ZTUŽENÍ:

		Tlak
$\frac{c}{t}$	≤	42 * ε
$\frac{70}{10}$	≤	42,5
7,0	≤	42,5

PRŮŘEZ 3. TŘÍDY

PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

Ozn.		jedn.	PŘÍČNÍK
z_T	těžiště průřezu (měřeno od horních vláken)	[mm]	23
y_T	těžiště průřezu (měřeno od pravých vláken)	[mm]	80
A	plocha průřezu	[mm ²]	3020
I_y	moment setrvačnosti průřezu	[mm ⁴]	1750000
I_z	moment setrvačnosti průřezu	[mm ⁴]	3403631
i_y	poloměr setrvačnosti	[mm]	24
i_z	poloměr setrvačnosti	[mm]	34

3.5.4.1. Vzpěrný tlak

dle "Směrnice", příloha A, kap. A.2.2.7. a dle ČSN EN 1993-1-1, ed.2, kap. 6.3

vzpěrné délky:

$$L_{cr,y} = 2,238 \text{ m}$$

délka prvku vodorovného ztužení

$$L_{cr,z} = 2,238 \text{ m}$$

délka prvku vodorovného ztužení



poměrná štíhlost:

VODOROVNÉ ZTUŽENÍ	$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,y}}{i_y * 93,9 \text{ } \epsilon} = \frac{2238}{2284,8} = 0,980$
	$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z * 93,9 \text{ } \epsilon} = \frac{2238}{3186,4} = 0,702$

součinitel imperfekce:

KŘIVKA VZPĚRNOSTI c

nýtovaný I průřez

$$\alpha = 0,49$$

$$\phi_y = 0,5 * [1 + \alpha * (\lambda - 0,2) + \lambda^2] = 0,5 * 2,3414 = 1,171$$

$$\phi_z = 0,5 * [1 + \alpha * (\lambda - 0,2) + \lambda^2] = 0,5 * 1,7395 = 0,870$$

součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{(\phi_y^2 - \lambda^2)}} = \frac{1}{1,1707 + 1,5264} = 0,371$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{(\phi_z^2 - \lambda^2)}} = \frac{1}{0,8697 + 1,1179} = 0,503$$

VZPĚRNÁ ÚNOSNOST

$$N_{b,Rd} = \chi * A * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,371 * 3,020 * \frac{230}{1,10} = 234 \text{ kN}$$

ZATÍŽITELNOST

ZTUŽENÍ 1

vnitřní síly:

$$N_{LM71,Ed} = 16,82 \text{ kN}$$

$$N_{rs,Ed} = 92,71 \text{ kN}$$

$$Z_{LM71} = \frac{N_{b,Rd} - N_{rs,Ed}}{N_{LM71}} = \frac{234,12 - 92,71}{16,82} = 8,41$$

ZTUŽENÍ 2

vnitřní síly:

$$N_{LM71,Ed} = 36,33 \text{ kN}$$

$$N_{rs,Ed} = 29,97 \text{ kN}$$

$$Z_{LM71} = \frac{N_{b,Rd} - N_{rs,Ed}}{N_{LM71}} = \frac{234,12 - 29,97}{36,33} = 5,62$$

ZTUŽENÍ 3

vnitřní síly:

$$N_{LM71,Ed} = 57,00 \text{ kN}$$

$$N_{rs,Ed} = 38,43 \text{ kN}$$

$$Z_{LM71} = \frac{N_{b,Rd} - N_{rs,Ed}}{N_{LM71}} = \frac{234,12 - 38,43}{57,00} = 3,43$$

ZTUŽENÍ 4

vnitřní síly:

$$N_{LM71,Ed} = 1,35 \text{ kN}$$

$$N_{rs,Ed} = 111,51 \text{ kN}$$

$$Z_{LM71} = \frac{N_{b,Rd} - N_{rs,Ed}}{N_{LM71}} = \frac{234,12 - 111,51}{1,35} = 90,83$$



3.5.4.2. Tah

dle "Směrnice", příloha A, kap. A.2.2.7. a dle ČSN EN 1993-1-1, ed.2, kap. 6.2.3

TAHOVÁ ÚNOSNOST

$$N_{t,Rd} = A * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 3,02 * \frac{230}{1,10} = \underline{\underline{631 \text{ kN}}}$$

ZATÍŽITELNOST

ZTUŽENÍ 4

vnitřní síly:

$$N_{LM71,Ed} = 10,97 \text{ kN}$$

$$N_{rs,Ed} = 102,39 \text{ kN}$$

$$Z_{LM71} = \frac{N_{t,Rd} - N_{rs,Ed}}{N_{LM71,Ed}} = \frac{631,45 - 102,39}{10,97} = \underline{\underline{48,24}}$$

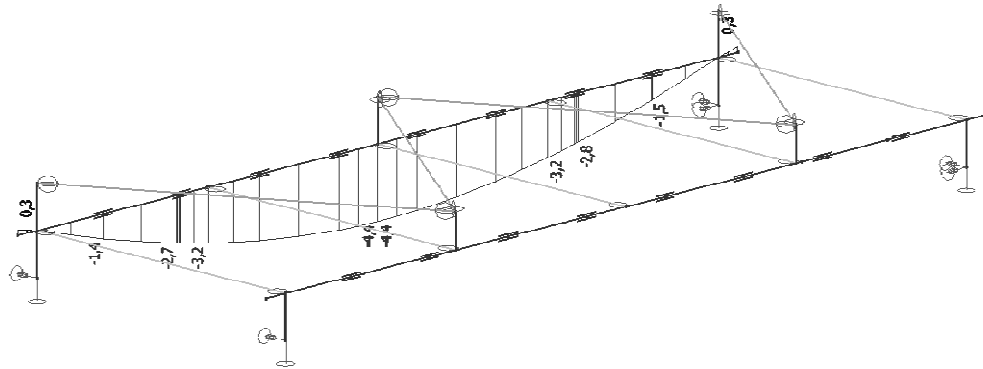
Zatížitelnost vodorovného ztužení je nejmenší hodnota Z_{LM71} kontrolovaných prvků:

$$\underline{\underline{Z_{LM71} = 3,43}}$$



LM71

[mm]



$$w_{LM71} = \underline{4,4 \text{ mm}}$$

MEZNÍ HODNOTA PŘETVOŘENÍ

$$\delta_{lim} = \frac{L}{600} = \frac{5300}{600} = \underline{8,8 \text{ mm}}$$

ZATÍŽITELNOST

svislý průhyb:

$$\delta_{LM71} = 4,40 \text{ mm}$$

$$\delta_{rs} = 1,50 \text{ mm}$$

$$Z_{LM71} = \frac{\delta_{lim} - \delta_{rs}}{\delta_{LM71}} = \frac{8,8 - 1,5}{4,4} = \underline{1,67}$$

$$\underline{\underline{Z_{LM71} = 1,67}}$$

3.6.2. Pravý hlavní nosník

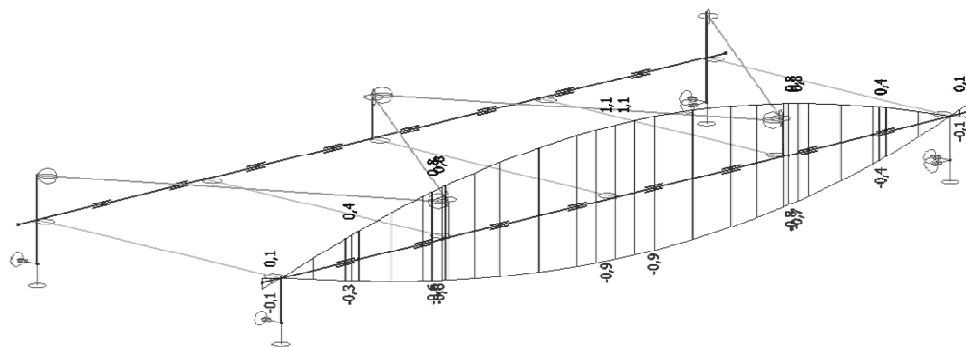
3.6.1.1. Svislé přetvoření konstrukce

limitní deformace dle ČSN EN 1990, změna Z1, kap. A.2.4.4.2

w_z - Svislý průhyb

Ostatní zatížení bez LM71, sestava gr11/gr13

[mm]

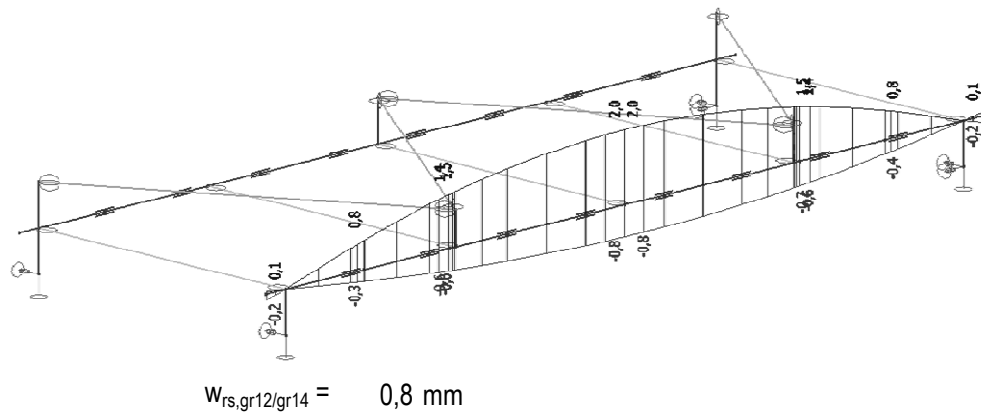


$$w_{rs,gr11/gr13} = \underline{0,9 \text{ mm}}$$



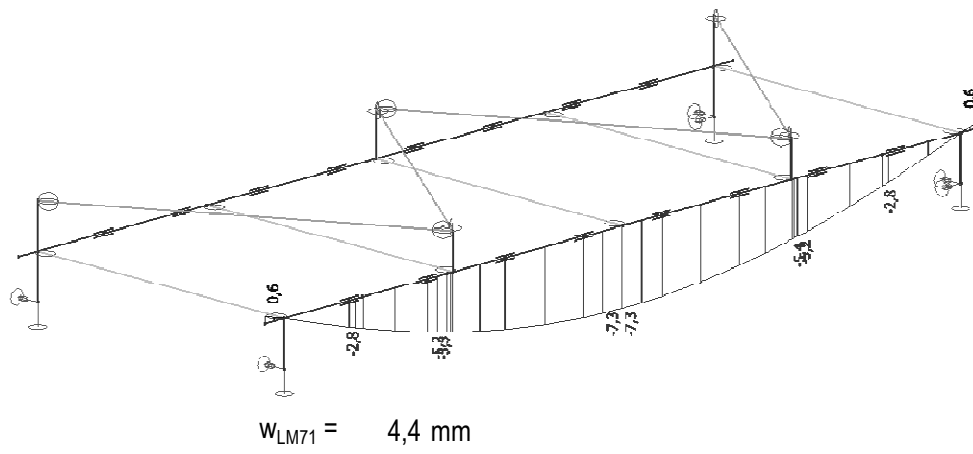
Ostatní zatížení bez LM71, sestava gr12/gr14

[mm]



LM71

[mm]



MEZNÍ HODNOTA PŘETVOŘENÍ

$$\delta_{lim} = \frac{L}{600} = \frac{5300}{600} = 8,8 \text{ mm}$$

ZATÍŽITELNOST

svislý průhyb:

$$\delta_{LM71} = 4,40 \text{ mm}$$
$$\delta_{rs} = 0,90 \text{ mm}$$

$$Z_{LM71} = \frac{\delta_{lim} - \delta_{rs}}{\delta_{LM71}} = \frac{8,8 - 0,9}{4,4} = 1,80$$

$$\underline{\underline{Z_{LM71} = 1,80}}$$



4. OVĚŘENÍ PŘECHODNOSTI

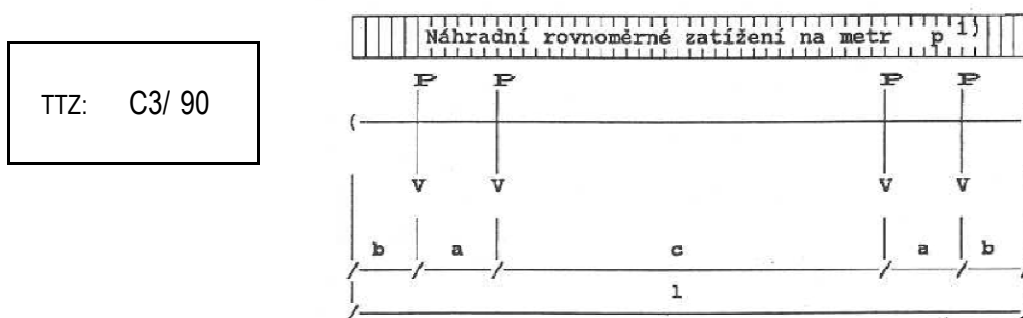
dle "Směrnice" kap. 5.1.

Přechodnost provozního zatížení dle "Směrnice" bude ověřena pro rozhodující zatížitelnost, dle předchozí kap. 3 - Stanovení zatížitelnosti má rozhodující zatížitelnost pravý hlavní nosník a to pro kombinaci namáhání N+V+M.

4.1. Zatížení

4.1.1. Třída traťového zatížení

ZÁKLADNÍ SCHÉMA ČTYRNÁPRAVOVÉHO VOZU



Traťová třída	P	p	a	b	c	l
	[kN]	[kN/m]	[m]	[m]	[m]	[m]
C 3	200	72	1,8	1,5	4,5	11,10

SOUČiniteLE SPOLEHLIVOSTI ZATÍŽENÍ

dle "Směrnice", kap. 5.1.8

5.1.8 Návrhové hodnoty statických účinků E_{TEd} provozního zatížení se stanoví s pomocí dílčích součinitelů účinků provozního zatížení s těmito doporučenými hodnotami:

- traťové třídy zatížení: $\gamma_{FT} = 1,30$.
- hnací a speciální vozidla a těžké zásilky: použijí se hodnoty dílčích součinitelů z tab. 5.1.

Pro traťové třídy zatížení se použije dílčí součinitel spolehlivosti zatížení:

$$\gamma_{FT} = \underline{1,30}$$

4.1.2. Dynamický součinitel

Dynamické součinitele provozního zatížení ϕ_{T1} (pro standardně udržovanou kolej) a ϕ_{T2} (pro pečlivě udržovanou kolej) budou stanoveny dle "Směrnice", kap. 5, tab. 5.2. a tab. 5.3.

VODOROVNÉ ZTUŽENÍ:

náhradní délka prvku $L_{\Phi} = 5,300$ m
rychlost $V = 90$ km/h

$$\phi_{T1} = \underline{1,90}$$

$$\phi_{T2} = \underline{1,50}$$



4.2. Vnitřní síly

4.2.1. Třída traťového zatížení

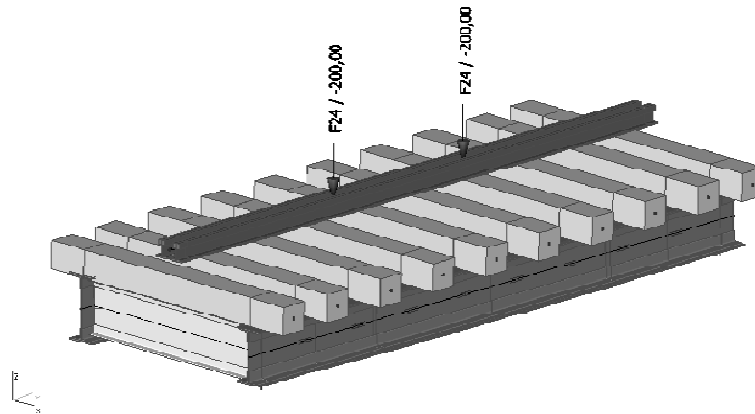
Na model nosné konstrukce mostu bylo aplikováno zatížení od provozního zatížení pro TTZ C3/90. Byly vytvořeny 4 zatěžovací stavy:

TTZ - C3/90 - 1

TTZ - C3/90 - 2

TTZ - C3/90 - 3

TTZ - C3/90 - 4



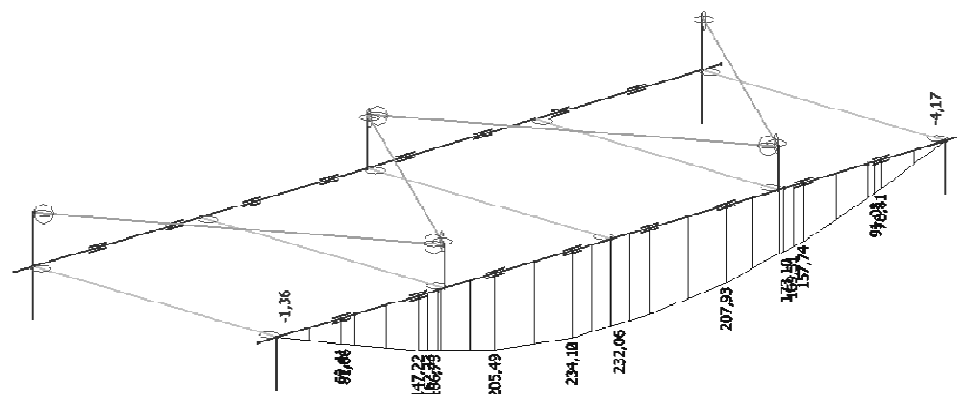
4.2.2. Právý hlavní nosník

VYKRESLENÍ VNITŘNÍCH SIL

Vykreslené vnitřní síly jsou v návrhových hodnotách, tj. přenásobené součinitelem γ_{FT} .

M_y - Ohybový moment

[kNm]



	PRŮŘEZ 1	PRŮŘEZ 2	PRŮŘEZ 3	PRŮŘEZ 4	PRŮŘEZ 5
$M_{T,Ed}$	0,0 kNm	205,5 kNm	232,1 kNm	207,9 kNm	0,0 kNm



4.3. Přechodnost

dle "Směrnice", kap. 5.1.3

Přechodnost provozního zatížení přes posuzovaný most je dovoleno, jestliže prvky splňují následující podmínku:

$$Z_{LM71} \geq \psi \lambda_{LM71}$$

kde ψ je součinitel dynamické redukce daný vztahem

$$\psi = \phi_{T1} / \Phi_3$$

λ_{LM71} je účinnost provozního zatížení vyjádřená výrazem

$$\lambda_{LM71} = E_{T,Ed} / E_{LM71,Ed}$$

kde ϕ_{T1} je dynamický součinitel ϕ_{T1} nebo ϕ_{T2} podle 5.2 pro provozní zatížení.

Φ_3 je dynamický součinitel podle 4.3.14 (Φ_2 , Φ_3) této směrnice pro model zatížení 71.

$E_{T,Ed}$ je návrhová hodnota statického účinku ověřovaného provozního zatížení specifikovaného v 5.1.2 v posuzovaném místě prvku mostního objektu.

$E_{LM71,Ed}$ je návrhová hodnota statického účinku modelu zatížení 71 v posuzovaném místě prvku mostního objektu.

Z_{LM71} je rozhodující zatížitelnost v stejném místě posuzovaného prvku mostního objektu.

4.3.1. Právý hlavní nosník

PŘECHODNOST

Hlavním statickým účinkem byl ohybový moment. Ověření přechodnosti bude ověřeno pro tuto veličinu.

PRŮŘEZ - 2 PÁSNICE

účinky jednotlivých zatížení:

$$M_{T,Ed} = 207,93 \text{ kN}$$

$$M_{LM71,Ed} = 330,20 \text{ kN}$$

$$\lambda_{LM71} = \frac{E_{T,Ed}}{E_{LM71,Ed}} = \frac{207,93}{330,20} = \underline{\underline{0,63}}$$

dynamické účinky:

$$\phi_{T1} = 1,90$$

$$\Phi_3 = 1,758$$

$$\psi = \frac{\phi_{T1}}{\Phi_3} = \frac{1,90}{1,76} = \underline{\underline{1,08}}$$

$$Z_{LM71} \geq \psi * \lambda_{LM71}$$

$$1,06 \geq 0,68$$

PŘECHODNOST VYHOVUJE ✓



PRŮŘEZ - 3 PÁSNICE

účinky jednotlivých zatížení:

$$M_{T,Ed} = 232,06 \text{ kN}$$

$$M_{LM71,Ed} = 374,93 \text{ kN}$$

$$\lambda_{LM71} = \frac{E_{T,Ed}}{E_{LM71,Ed}} = \frac{232,06}{374,93} = \underline{0,62}$$

dynamické účinky:

$$\Phi_{T1} = 1,90$$

$$\Phi_3 = 1,758$$

$$\psi = \frac{\Phi_{T1}}{\Phi_3} = \frac{1,90}{1,76} = \underline{1,08}$$

$$Z_{LM71} \geq \psi * \lambda_{LM71}$$

$$1,48 \geq 0,67$$

PŘECHODNOST VYHOVUJE ✓



5. STABILITA KONSTRUKCE

5.1. Zatížení

5.1.1. Stabilizující zatížení

VLASTNÍ TÍHA

Do vlastní tíhy je započítána hlavní nosná konstrukce, mostnice a kolejnice.

$$G_{k, \text{stb}} = [\Sigma g_{0,k} + \Sigma (g-g_0)_k] \cdot L_{nk} = 7,169 \cdot 5,600 = \underline{40,14 \text{ kN}}$$

"NEZATÍŽENÝ VLAK"

$$Q_{n, \text{stb}} = q_{nk} \cdot L_{nk} = 10,000 \cdot 5,600 = \underline{56 \text{ kN}}$$

5.1.2. Destabilizující zatížení

ZATÍŽENÍ VĚTREM

$$Q_{w, \text{dst}} = f_{wk} \cdot L = 8,933 \cdot 5,600 = \underline{50,03 \text{ kN}}$$

5.1.3. Součinitele spolehlivosti zatížení

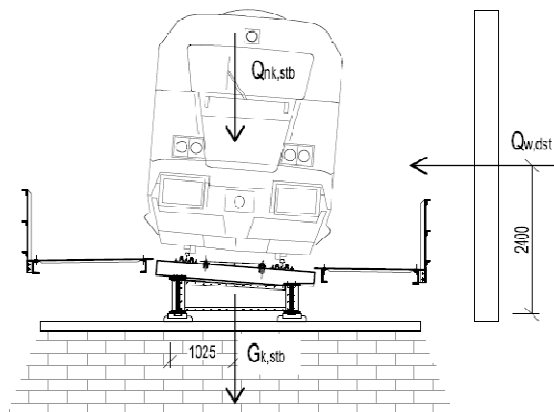
Pro účinky stabilizujícího zatížení uvažujeme součinitel spolehlivosti zatížení γ_{stb} :

$$\gamma_{\text{stb}} = \underline{0,95}$$

Pro účinky destabilizujícího zatížení uvažujeme součinitel spolehlivosti zatížení γ_{dst} :

$$\gamma_{\text{dst}} = \underline{1,05}$$

RAMENA JEDNOTLIVÝCH ZATÍŽENÍ



$$\begin{aligned} r_{gk} &= 1,025 \text{ m} \\ r_{qnk} &= 1,025 \text{ m} \\ r_{qwk} &= 2,4 \text{ m} \end{aligned}$$



5.2. Posouzení stability polohy konstrukce

5.2.1. Posouzení pro zatížení větrem dle ČSN EN 1991-4

PODMÍNKA STABILITY KONSTRUKCE

stabilizující moment:

$$M_{stb} = G_{k,stb} * r_{gk} + Q_{nk,stb} * r_{qnk} = 40,14 * 1,025 + 56 * 1,025$$

$$M_{stb} = \underline{98,55 \text{ kNm}}$$

destabilizující moment:

$$M_{dst} = Q_{wk,stb} * r_{qwk} = 50,03 * 2,4$$

$$M_{dst} = \underline{120,07 \text{ kNm}}$$

$$\begin{aligned} \gamma_{stb} * M_{stb} &\geq \gamma_{dst} * M_{dst} \\ 0,95 * 98,55 &\geq 1,05 * 120,07 \\ 93,62 \text{ kNm} &\geq 126,1 \text{ kNm} \end{aligned}$$

STABILITA NEVYHOVUJE ✗

5.2.2. Posouzení pro zatížení větrem zjištěné experimentálně

podklad: "Pokročilé metody posuzování existujících ocelových mostů na účinky zatížení větrem, brzdných a rozjezdových sil"; Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí; FSv ČVUT

PODMÍNKA STABILITY KONSTRUKCE

stabilizující moment:

Na stabilizující moment nemají experimentální výsledky vliv.

$$M_{stb} = \underline{98,55 \text{ kNm}}$$

destabilizující moment:

Podle výsledků naměřených ve větrném tunelu byly stanoveny zatížení větrem pro mosty s horní mostovkou při současném umístění různých drážních vozidel na mostě. Do výpočtu byly vybrány hodnoty zatížení větrem pro nákladní vlak s kontejnery SGS High Cube, který nejlépe vystihuje svoji výškou vozidla provozovné na trati Turnov - Praha hl. n.

naměřené výsledky pro SGS High Cube:

$$F_{w,SGS} = 348,2 \text{ N/m}^2$$

naměřené výsledky pro zatížení dle ČSN EN 1991-4:

$$F_{w,EN} = 473,1 \text{ N/m}^2$$

$$M_{dst,2} = \frac{F_{w,SGS}}{F_{w,EN}} * M_{dst} = \frac{348,2}{473,1} * 120,07 = \underline{88,37 \text{ kNm}}$$

$$\begin{aligned} \gamma_{stb} * M_{stb} &\geq \gamma_{dst} * M_{dst,2} \\ 0,95 * 98,55 &\geq 1,05 * 88,37 \\ 93,62 \text{ kNm} &\geq 92,8 \text{ kNm} \end{aligned}$$

STABILITA VYHOVUJE ✓



6. ZÁVĚR

6.1. Použitá literatura

ČSN EN 1990 ed.2:2011: Eurokód - Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1990 – změna A1: Eurokód - Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991-2: Eurokód 1 - Zatížení konstrukcí, část 2: Zatížení mostů dopravou

ČSN EN 1993-1-1: Eurokód 3 - Navrhování ocelových konstrukcí, část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

ČSN EN 1993-1-5: Eurokód 3 - Navrhování ocelových konstrukcí, část 1-1: Boulení stěn

ČSN EN 1993-2: Eurokód 3 - Navrhování ocelových konstrukcí, část 2: Ocelové mosty

SMĚRNICE – Určování zatížitelnosti mostních objektů; SŽDC, a.s.

předpis SŽDC S5 – Správa mostních objektů

projektová dokumentace „Oprava mostu v km 20,198 na trati Praha hl.n. – Turnov“; Projektování dopravních staveb a.s.; březen 2015

Archivní dokumentace SŽDC, km 20,198

Průběžná zpráva za rok 2016; Pokročilé metody posuzování existujících ocelových mostů na účinky zatížení větrem, brzdných a rozjezdových sil; Kolektiv ČVUT a ITAM; listopad 2016

6.2. Použité programy

Microsoft Excel 2007, Microsoft – tabulkový kalkulátor

Microsoft Word 2007, Microsoft – textový editor

SCIA Engineer 16.0 – výpočty konstrukcí pomocí MKP

6.3. Závěrečné shrnutí

Provedená podrobná prohlídka mostu nezjistila žádné závady, které by narušovaly životnost nosné konstrukce a nebo ohrožovaly bezpečnost provozu na mostě. Nosná konstrukce mostu je v současné době ve velmi dobrém technickém stavu a to rovněž díky provedené opravě nosné konstrukce a sanaci spodní stavby v roce 2015. Riziková místa vzniku koroze jsou upevnění mostnic na hlavní nosníky přes mostnicové šrouby a místa zesílení pásnic na hlavních nosnících. Mostnice jsou rovněž v dobrém technickém stavu, stejně tak spodní stavba.

Výpočet prokázal zatížitelnost modelem LM71 pro všechny prvky nosné konstrukce. Nejslabším prvkem byl zvolen pravý hlavní nosník, u něhož byla výpočtem zjištěna zatížitelnost $Z_{LM71} = 1,01$. Namáhání ohybovým momentem je v tomto prvku dominantní a bylo vstupem pro ověření přechodnosti provozního zatížení. Nosná konstrukce mostu vyhověla pro ověření přechodnosti C3/90.



SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A – Průřezové charakteristiky

Příloha B – Sestavy zatížení dopravou a kombinace vnitřních sil

Příloha C – Tabulka zatížitelnosti

Příloha D – Příčný řez 1:10