

			ČÍSLO SOUPRAVY:
REVIZE Č.	DATUM	ZMĚNA	



SUDOP BRNO, spol. s r.o.
Kounicova 26
611 36 Brno

OBJEDNAVATEL:	Správa železnic s.o., Dlážděná 1003/7, 110 00 Praha 1 Oblastní ředitelství Ostrava		tel. : +420 972 625 804 E-mail: sudop@sudop-brno.cz	
PROFESNÍ SKUPINA:	12 MOSTY	VEDOUCÍ PROF. SKUPINY ING. KAREL PUKL	ŘEDITEL ING. KAMIL CHMELA	
ODPOVĚDNÝ PROJ. ZAKÁZKY Ing. Štěpán Kameš	ODPOVĚDNÝ PROJ. PS, SO Ing. Štěpán Kameš	NAVRHL, VYPRACOVAL Ing. Denis Ujházy	KONTROLOVAL Ing. Štěpán Kameš	
KRAJ: MORAVSKOSLEZSKÝ	POVĚŘENÝ OÚ: Opava		STUPEŇ:	DSP
Most v km 110,644 na trati Krnov - Opava východ (TÚ 2252) SO 02 - Most v km 110,644			ZAK. ČÍSLO 21113-21	ARCH. ČÍSLO
			MĚŘÍTKO	POČET FORMÁTŮ
			DATUM:	11/2021
Statický přepoččet OK			ČÁST DOKUM. D.2.1.2	PŘÍLOHA 5

Statický přepočet

Opravy závad u SMT 2021

Most v ev. km 110,644 na trati Krnov - Opava

Obsah

Identifikační údaje stavby	3
Základní údaje o mostním objektu	3
Úvod a okrajové podmínky a použité výpočetní modely	4
Podklady pro výpočet	4
Použitá literatura	4
Popis NK	4
Fotodokumentace	5
Archivní dokumentace	7
Závěry z mostní prohlídky	8
Výpočetní model	8
Zatěžovací stavy	9
ZS1 - Vlastní tíha	9
ZS2 - Ostatní stálé zatížení	9
ZS3 - Vítr působící na konstrukci	10
ZS4 - Vítr působící na vlak	11
ZS5 - Proměnné zatížení běžnou železniční dopravou LM 71	12
ZS6 - Vodorovné síly v ose x - brzděné a rozjezdové síly	12
ZS7 - Vodorovné síly v ose y - boční rázy	12
ZS8 - Zatížení teplotou	12
Kombinace zatížení	13
Výpis zatěžovacích stavů	13
Posouzení	14
Materiálové charakteristiky pro NK	14
Zatřídění průřezů	14
Průřezové charakteristiky	17
Výpočet součinitele vzpěru	21
Boulení stěn vlivem smyku	22
Boulení stěn vlivem normálového napětí	22
Klopení	23
Posouzení hlavních nosníků	30
Posouzení příčníků	34
Posouzení podélníků - podélník uprostřed rozpětí	37
Posouzení podélníků - podélník menší	41
Posouzení ztužidel - krajní 2xL80/80/8	46
Posouzení ztužidel - mezilehlá 2xL70/70/9	49
Posouzení vybraných spojů	52
MSP	53
Ověření dynamického součinitele	54
Závěr	55
Tabulka zatížitelnosti	56
Ruční ověření modelu	59

Identifikační údaje

Stavba:	Opravy závad u SMT 2021
Objekt:	Most v km 110,644 na trati Krnov - Opava východ
Objednatel:	Správa železnic, státní organizace, Dílžďená 1003/7, 110 00 Praha 1 - Nové město
Vypracoval:	Ing. Denis Ujházy
Odpovědný statik:	Ing. Štěpán Kameš
Obec:	Opava [505927]
Katastrální území:	Jaktař [711730]
Traťový úsek:	2252
Definiční úsek:	G7 - žst. Opava západ - kol. 1e, 1c1 výh.19
Číslo trati:	310
Staničení:	ev. km 110,644
Poloha mostu:	širá trať
Překonávané překážky:	vodní tok Velká

Základní údaje o mostním objektu

Typ NK:	Ocelová nýtovaná konstrukce s plnostěnnými hlavními nosníky a dolní mostovkou tvořenou podélníky a příčníky z roku 1950
Spodní stavba:	Betonové opěry s rovnoběžnými křídly
Počet otvorů:	1
Počet NK:	1
Délka přemostění:	19,2 m
Délka NK:	21,08 m
Rozpětí NK:	20,5 m
Stavební výška:	0,845 m
Konstrukční výška:	2,084 m
Železniční svršek:	kolejnice S 49 na žebrových podkladnicích a dřevěných mostnicích
Šikmost mostu:	90°
Úhel křížení s překážkou:	90°
Šířka mostu:	5,244 m
Počet kolejí:	1
Směrové poměry:	v přímé
Převýšení:	bez převýšení
Traťová třída/rychlost:	C3/75 (dle podrobné prohlídky r. 2020)
Kolej:	bezstyková

Konstrukce a spodní stavba byla ohodnocena dle podrobné prohlídky r. 2020 předpisu SŽDC S5 jako **2/2**

Úvod, okrajové podmínky a použité modely

Předmětem statického přepočtu je posouzení jednotlivých prvků ocelové konstrukce mostu a jejích vybraných detailů dle aktuálních norem, viz použítá literatura. Dále je provedeno kompletní posouzení konstrukce dle přílohy A2 ČSN EN 1990 ed.2 a je určena zatížitelnost případně přechodnost jednotlivých prvků mostu dle SŽ S5/1 Diagnostika, zatížitelnost a přechodnost železničních mostních objektů. Zatížitelnost nosné konstrukce mostu byla stanovena na základě kategorie C a zatížitelnost spodní stavby byla, s ohledem na vizuální hodnocení, stavběně-technický průzkum a nezvyšování rychlosti ani zatížení na mostě, stanovena na základě kategorie zatížitelnosti A

► Podklady pro výpočet:

- Archivní dokumentace
- Fotodokumentace
- Doklad o podrobné prohlídce mostu
- Příslušné normy a předpisy
- Vlastní prohlídka mostního objektu

► Použitá literatura

- ČSN EN 1990 ed.2 Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí – Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- ČSN EN 1991-1-4 ed.2 Zatížení konstrukcí – Obecná zatížení – Zatížení větrem
- ČSN EN 1991-2 ed.2 Zatížení konstrukcí – Zatížení mostů dopravou
- ČSN EN 1993-1-1 ed.2 Navrhování ocelových konstrukcí – Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- ČSN EN 1993-1-5 ed.2 Navrhování ocelových konstrukcí – Boulení stěn
- ČSN EN 1993-1-8 ed.2 Navrhování ocelových konstrukcí – Navrhování styčníků
- ČSN EN 1993-2 Navrhování ocelových konstrukcí – Ocelové mosty
- SŽ S5/1 Diagnostika, zatížitelnost a přechodnost železničních mostních objektů

► Popis NK

Jedná se o jednokolejný železniční ocelový most s plnostěnnými hlavními nosníky a dolní mostovkou tvořenou příčnicí a podélníky. Rozpětí NK je 20,5 m a osová šířka hlavních nosníků je 4,8 m. Most byl postaven roku 1950.

Hlavní nosníky jsou plnostěnné nýtované složené I průřezy s proměnnou tloušťkou pásnic přidáváním ocelových plechů. Výška hlavních nosníků uprostřed mostu je 2,084 m. Horní i dolní pásnici hlavních nosníků tvoří úhelníky L 140/140/13. Stojinu hlavních nosníků tvoří plech P10. Pásnice jsou postupně směrem do středu nosníku zvětšovány pomocí plechů P14/330. Nýty použité na hlavních nosnících jsou průměru 23 mm.

Dolní mostovku tvoří kombinace příčnicí a podélníků. Příčnice jsou plnostěnné nýtované složené průřezy. Dolní a horní pásnici tvoří dvojice úhelníků L 90/130/12 a pásnici plech P10. Osová vzdálenost jednotlivých příčnicí je 2,05 m. Krajiní příčnice jsou ještě vyztuženy úhelníky v blízkosti montážních spojů. Připojení úhelníků k hlavním nosníkům je realizováno pomocí nýtů průměru 20 mm a styčnickových plechů. Výška příčnicí je 750 mm.

Podélníky jsou plnostěnné složené nýtované průřezy v osově vzdálenosti v příčném řezu 1,8 m. Horní a dolní pásnici tvoří dvojice úhelníků a 80/80/10 a stojina je z plechu P10. Na konstrukci se vyskytují dva typy podélníků, v krajních polích jsou podélníky výšky 340 mm a ve dvou prostředních polích jsou podélníky výšky 520 mm. Přes mostnice je zatížení přenášeno přímo do podélníků. Spoj podélníků a příčnicí je realizován pomocí styčnickových plechů, úhelníků a nýtů.

Dolní závětrování je tvořeno dvojicí úhelníků L80/80/8 v krajních polích. V mezilehlých polích je tvořeno z dvojice úhelníků L70/70/9. Závětrování je provedeno ve tvaru písmene V (viz přiložená dokumentace). Spoje k hlavním nosníkům a příčnicím jsou realizovány pomocí styčnickových plechů a nýtů průměru 20 mm.

Brzdné ztužidlo uprostřed rozpětí je tvořeno kombinací dvojice úhelníků L70/70/9 a druhé dvojice L80/80/10. Všechny spoje jsou realizovány pomocí styčnickových plechů a nýtů. Tvar a provedení tohoto ztužidla viz archivní dokumentace.

Ložiska jsou válcová jednosměrná na opavské opěře a pevná na olomoucké opěře.

► Fotodokumentace



Pohled shora mostu



Pohled na hlavní nosník



Pohled ze spodu na konstrukci

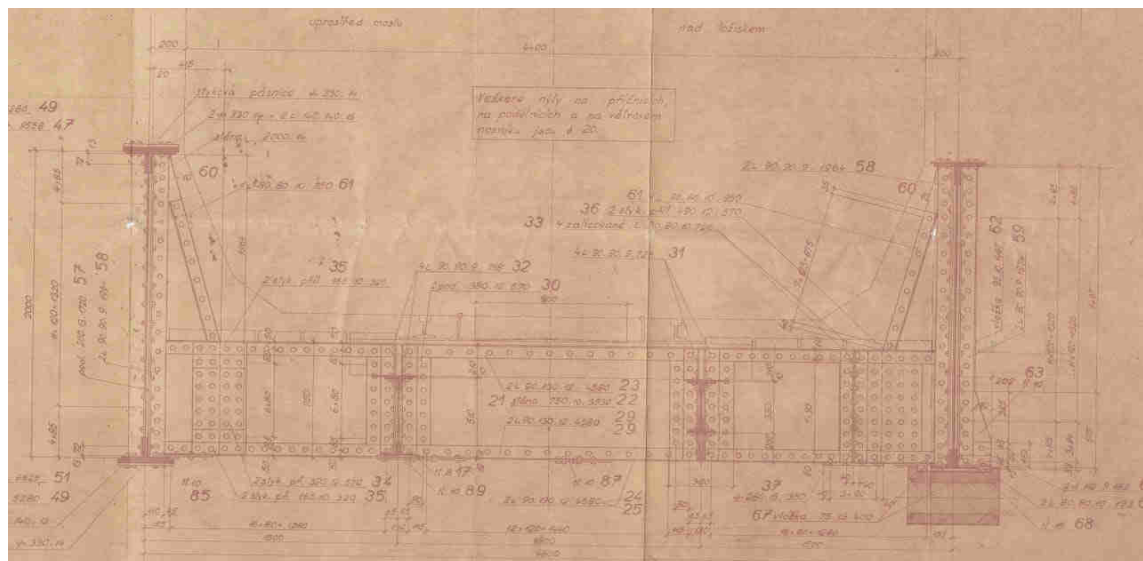


Pohled na pevné ložisko

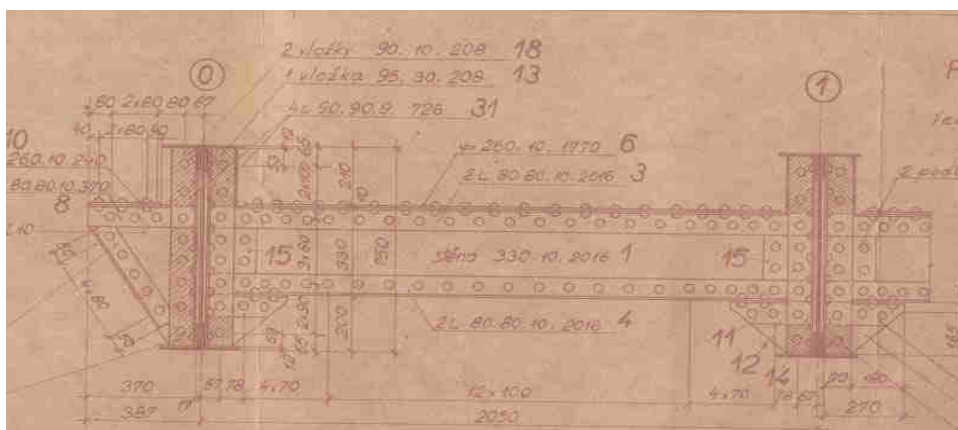


Pohled na posuvné ložisko

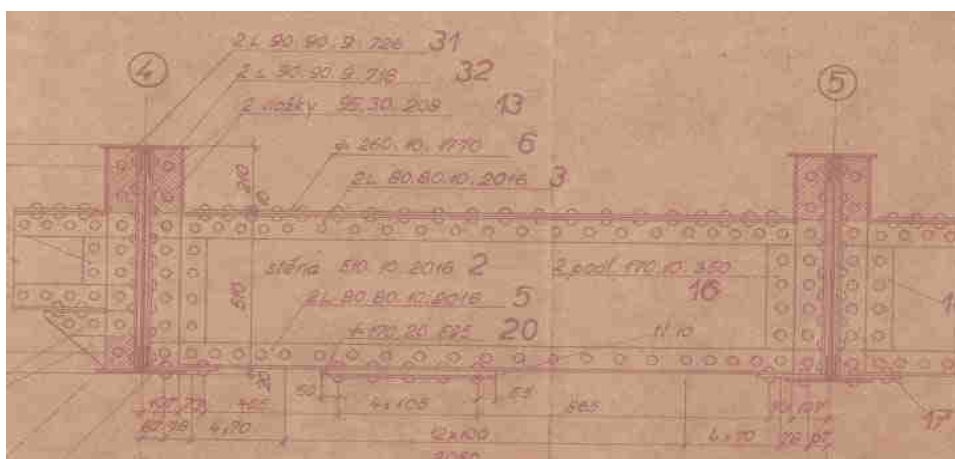
► Archivní dokumentace



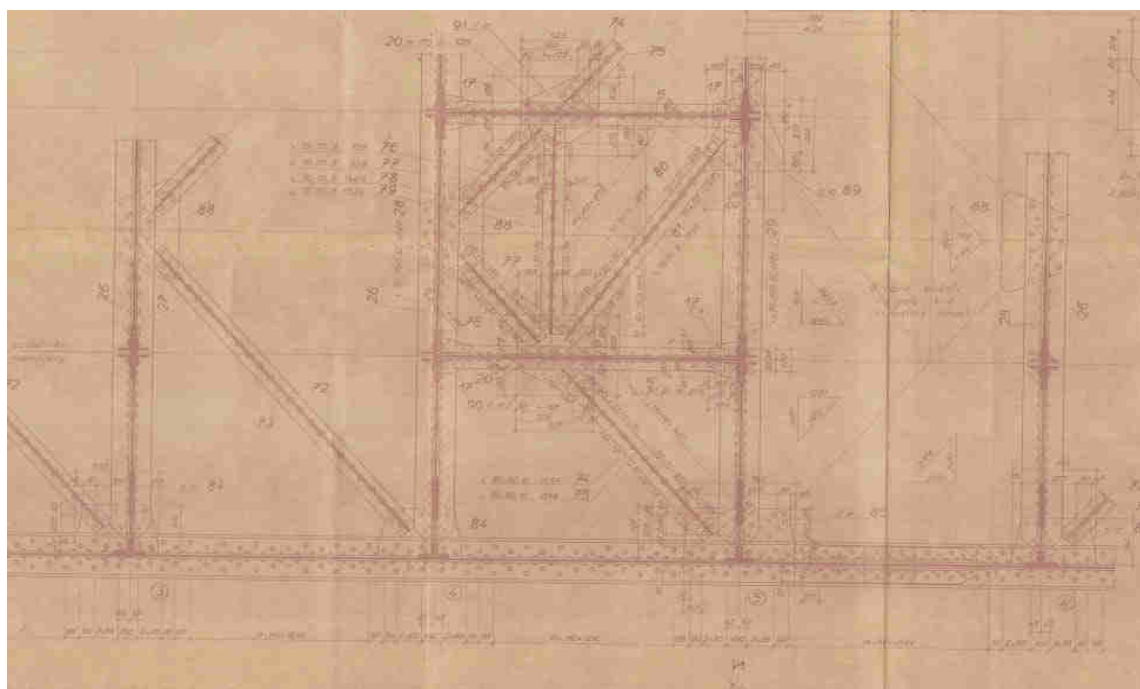
Příčný řez



Podélník - menší



Podélník - větší



Závětrování

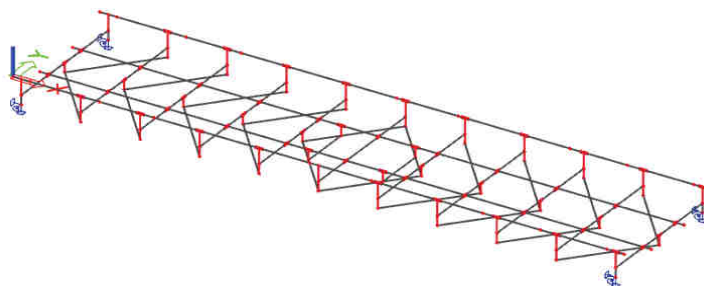
► Závěry z mostní prohlídky

Prohlídka ukázala, že archivní dokumentace odpovídá skutečnému stavu konstrukce. Konstrukce kromě opotřeбенé PKO, nevykazuje žádné výrazné poruchy. Při přepočtu není uvažováno s ořezivěním. Dle archivní dokumentace je ocelová konstrukce vyrobena z oceli **C37 P/10372** a nýty na konstrukci jsou vyrobeny z oceli **C34 T/10341**. Pro danou ocel platí následující parametry dle SŽ S5/1:

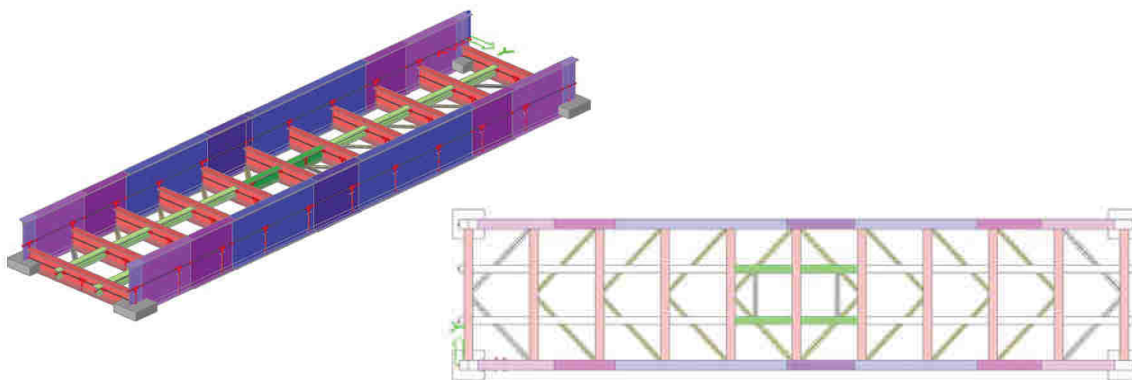
Typ oceli	f_y [MPa]	f_u [MPa]	γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2}
C37 P/10372	230	360	1,1	1,2	1,3
C34 T/10341	200	310	1,1	1,2	1,3

► Výpočetní model

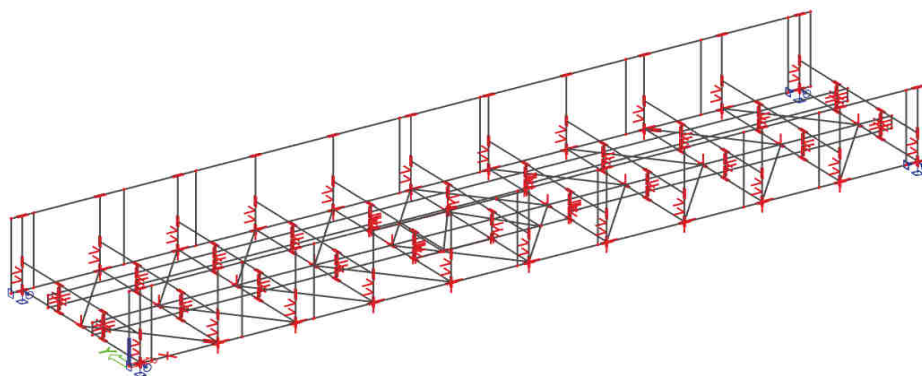
- V rámci přepočtu byl použit 3D prutový a deskostěnový model ve výpočtovém softwaru Scia Engineer 19.1.
- Tuhosti podpěr v ose x a y byly zvoleny pro pevné podpory tak, aby se most mohl posunout o ± 5 mm
- Excentricity prutového modelu jednotlivých prvků byly zohledněny tuhými rameny
- Nýtové spoje jsou uvažovány jako tuhé
- Vzhledem k tomu, že podpory nemohou ležet na tuhém rameni, byla tuhá ramena narazena nosníkem tuhým nosníkem s nulovou hmotností
- Pro posouzení horní a dolní pásnice u podélníků je použit model deskostěnový, který lépe vystihuje účinky zatížení od bočních rázů na dolní a horní pás



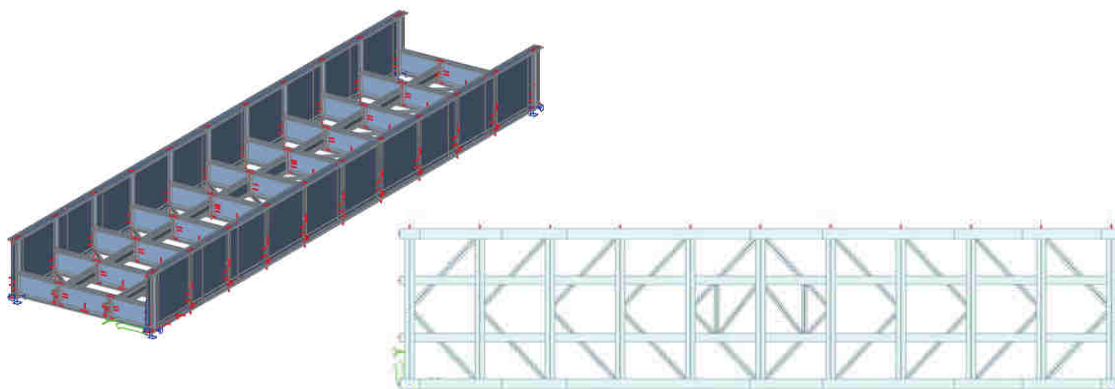
Prutový model mostu



Axonometrický pohled a půdorys mostu (prutový model)



deskostěnový model mostu



Axonometrický pohled a půdorys mostu (deskostěnový model)

Zatěžovací stavy

► ZS1 - Vlastní tíha

- Vlastní tíha je generována v softwaru Scia Engineer 19.1

- Podíl vlastní tíhy z archivní dokumentace a tíhy vygenerované v modelu je zohledněn v kombinacích

Vlastní tíha vygenerovaná modelem G_{model} 31216 kg

Vlastní tíha získaná z archivní dokumentace G_{archiv} 43692 kg

$G_{\text{archiv}} / G_{\text{model}} = 43692 / 31216 = 1,4$

► ZS2 - Ostatní stálé zatížení

	tíha [kg]	G [kN]
- 42x dřevěné mostnice 240x240x2400	110	1,1
- kolejnice S49	52	0,52
- 84x Podkladnice	20	0,2
celkem na 1 pražec		1,82
zatížení na 1 podélník		0,91

► ZS3 - Vítr působící na konstrukci

Vstupní hodnoty:

Větrová oblast		III
základní rychlost větru	$V_{b,0} =$	27,5 m/s
Součinitel směru větru	$c_{DIR} =$	1,0
Součinitel ročního období	$c_{season} =$	1,0
Součinitel ortografie	$C_0(Z) =$	1,0
Kategorie terénu		III
Parametr drsnosti	$Z_0 =$	0,30 m
Minimální výška	$Z_{min} =$	5,0 m
Maximální výška	$Z_{max} =$	200,0 m
Výška nad zemí	$Z =$	7,3 m
Součinitel turbulence	$k_l =$	1,0
Měrná hmotnost vzduchu	$\rho =$	1,25 kg/m ³
Šířka	$b =$	5,1 m
Výška	$d_{tot} =$	5,0 m

Výpočet zatížení od větru

základní rychlost větru V_b	$c_{DIR} \cdot c_{seas} \cdot V_{b,0} =$	$= 1 \cdot 1 \cdot 27,5 =$	27,5 m/s
součinitel terénu k_r	$0,19 \cdot (Z/0,05)^{0,07} =$	$= 0,19 \cdot (0,3/0,05)^{0,07} =$	0,21538933
součinitel drsnosti $c_r(Z)$	$k_r \cdot \ln(z_{min}/z_0) =$	$= 0,21538933 \cdot 1563413 \cdot \ln(7,3/0,3) =$	0,687
$z_{max} > z > z_{min}$...splňuje podmínku			
střední rychlost větru $v_m(Z)$	$c_r(Z) \cdot c_0(Z) \cdot v_b =$	$= 0,687 \cdot 1 \cdot 27,5 =$	18,90 m/s
Intenzita turbulence větru $I_v(Z)$	$K_I / (C_0(Z) \cdot \ln(z_{min}/z_0)) =$	$= 1 / (1 \cdot \ln(7,3/0,3)) =$	0,313
základní dynamický tlak větru q_b	$0,5 \cdot \rho \cdot v_b^2 =$	$= 0,5 \cdot 1,25 \cdot 27,5^2 =$	473 N/m ²
Maximální dynamický tlak $q_b(z)$	$[1 + I_v(z)] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m(z)^2 =$	$= [1 + 7 \cdot 0,313] \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 18,9^2 =$	712 N/m ²
Součinitel expozice c_e	$q_p(z) / q_b =$	$= 712 / 473 =$	1,51

• ZS 3.1 - Zatížení větrem, v ose Y

Součinitel síly pro mosty $c_{fy,0}$	$b / d_{tot} =$	$= 5,13 / 5 =$	1,03
	$\rightarrow c_{fy,0} = \dots$ z grafu...		2,27

Redukce $c_{fx,0}$ dle SŽ S5/1 přílohy G, typ kce 6, KVD 3 ... $C_{kor} =$ 0,79

Součinitel zatížení větrem C	$c_{kor} \cdot c_e \cdot c_{fy,0} =$	$= 0,79 \cdot 1,51 \cdot 2,27 =$	2,71
Vítr působící konstrukci $f_{w,k}$	$1/2 \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot A_{ref,y} =$	$= 0,5 \cdot 1,25 \cdot 27,5^2 \cdot 2,71 \cdot 2,1 =$	2,7 kN/m
Hlavní nosník $A_{ref,y}$			2,1 m ²

• ZS 3.2 - Zatížení větrem v ose Z

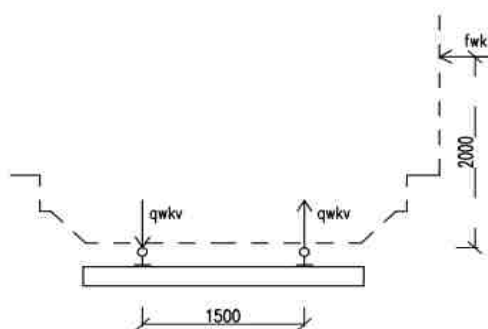
$A_{ref,Z} =$	108,14 m ² ...referenční plocha zahrnuje půdorysnou plochu
$b =$	5,13 m ... šířka NK
$d_{tot} =$	5,00 m ... výška NK od dolní hrany HN po temeno kolejnice + 4 m
$b/d_{tot} =$	1,03
$c_{f,z} =$	0,9 ... dle ČSN EN 1991-1-4 ed.2 článek 8.3.3 poznámka 1
$C = c_{f,z} \cdot c_e(z) \cdot c_{kor} =$	0,68

Redukce $c_{fz,0}$ dle SŽ S5/1 přílohy G, typ kce 6, KVD 3 ... $C_{kor} =$ 0,5

$F_{w,Z}=1/2 \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot A_{ref,Z} =$	34,73 kN		
$F_{w,Z}=$	1,69 kN/m		
$F_{w,Z,1} = \pm$	1,27 kN/m		
$F_{w,Z,2} = \pm$	0,42 kN/m		
na excentricitě $e=b/4 =$	1,20 m	osová vzdálenost $b=$	4,8 m

► ZS4 - Vítr působící na vlak

Vítr působící na vlak $f_{w,k}$	$1/2 \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot A_{ref,y} =$	$= 0,5 \cdot 1,25 \cdot 27,5^2 \cdot 2,71 \cdot 4 =$	5,1 kN/m
plocha projíždějícího vlaku $A_{ref,y}$			4,0 m ²
moment od zatížení větrem na vlak $M =$	$= 2 \cdot 5,1 =$		10,2 kNm
svislá síla působící na vlak od bočního větru $q_{wkv} =$	$= 10,2 / 1,8 =$		±5,7 kN/m



Působení větru na vozidlo

► ZS5 - Proměnné zatížení běžnou železniční dopravou LM 71

Parametry nosné konstrukce

Délka L _{nk} [m]	21,08
Rozpětí L [m]	20,50
Dilatační délka LT [m]	21,08
Náhradní délka L Φ [m]	20,50

Parametry koleje

Poloměr oblouku r [m]	0,0
Maximální rychlost V [km/h]	70

Parametry zatížení

Součinitel α pro přepočet [-]	1,00
Osamělé zatížení Q _{vk} [kN]	250,00
Spojité zatížení q _{vk} [kN/m]	80,00

Dynamický součinitel $\Phi 3$ dle vzorce $2,16/(\sqrt{L\Phi-0,2})+0,73$

Hlavní nosníky	→	L Φ =	20,50 m	→	$\Phi 3$ =	1,23
Příčnický	→	L Φ =	9,60 m	→	$\Phi 3$ =	1,48
Podélnický	→	L Φ =	6,15 m	→	$\Phi 3$ =	1,68

Svislé síly zohledňující excentricitu zatížení:

Q _{LM71,k,1} =	138,75 kN	Q _{LM71,k,1/2} =	69,38 kN	Q _{LM71,k,1/4} =	34,69 kN
Q _{LM71,k,2} =	111,25 kN	Q _{LM71,k,2/2} =	55,63 kN	Q _{LM71,k,2/4} =	27,81 kN
q _{LM71,k,1} =	44,4 kN/m	q _{LM71,k,1} =	27,53 kN		
q _{LM71,k,2} =	35,6 kN/m	q _{LM71,k,2} =	22,07 kN		

► ZS6 - Vodorovné síly v ose x - brzděné a rozjezdové síly

Brzděná síla Q _{lbk} [kN/m]	20* $\alpha/2$ =	20*1/2 =	10,0 kN/m
Rozjezdová síla Q _{lak} [kN/m]	33* $\alpha/2$ =	33*1/2 =	16,5 kN/m

Pozn.: Síla je uvažována na jeden podélník. Uvažujeme rozjezdové síly vzhledem k většímu účinku.

► ZS7 - Vodorovné síly v ose y - boční rázy

Boční ráz Q _{sk} [kN]	100* α =	100*1 =	100,00
--------------------------------	-----------------	---------	--------

Roznos zatížení od bočních rázů na 3 kolejnicové podpory

Q _{SK} =	50 kN	Q _{SK,1/2} =	25,00 kN	Q _{SK,1/4} =	12,50 kN
M _{Qsk} =	22,5 kNm	M _{Qsk,1/2} =	11,25 kNm	M _{Qsk,1/4} =	5,625 kNm
Q _{sk,PO} =	12,5 kN	Q _{sk,PO,1/2} =	6,25 kN	Q _{sk,PO,1/4} =	3,125 kN

Pozn.: Síla je uvažována na jeden podélník

► ZS8 - Zatížení teplotou

T _{max} =	37,00 °C
T _{min} =	-33,00 °C
T ₀ =	10,00 °C

Rovnoměrná složka teploty

1. Typ nosné konstrukce (ocelová)

T _{e,max} = T _{max} + 16°C =	53,00 °C
T _{e,min} = T _{min} - 3°C =	-36,00 °C

Maximální rozsah zkrácení rovnoměrné složky teploty:

$$\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{e,min} = 46,00 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Maximální rozsah prodloužení rovnoměrné složky teploty:

$$\Delta T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0 = 43,00 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Maximální rozsahy rovnoměrné složky teploty pro návrh ložisek:

$$\Delta T_{N,con} + 10^\circ\text{C} = 56,00 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{N,exp} + 10^\circ\text{C} = 53,00 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Součinitel teplotní délkové roztažnosti:

$$\alpha_{T,ocel} = 1,20\text{E-}05 \text{ } ^\circ\text{C-}1$$

Kombinace zatížení

Kombinace zatížení byly vytvořeny dle rovnic:

rovnice 6.10a (MSÚ):

$$\sum Y_{G,j} * G_{k,j} + Y_{Q,1} * \Psi_{0,1} * Q_{k,1} + \sum Y_{Q,i} * \Psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

rovnice 6.10b (MSÚ):

$$\sum Y_{G,j} * \xi * G_{k,j} + Y_{Q,1} * Q_{k,1} + \sum Y_{Q,i} * \Psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

charakteristická kombinace pro MSP:

$$\sum G_{k,j} + P_k + Q_{k,1} + \sum \Psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

Součinitelé zatížení			
Vlastní tíha	$Y_G =$		1,25
Ostatní stálé zatížení	$Y_{G1} =$		1,30
LM71	$Y_{Q,LM71} =$		1,30
Boční rázy	$Y_{Q,BR} =$		1,30
Teplota	$Y_{Q,TEPLOTA} =$		1,50
Brzdné a rozjezdové síly	$Y_{roz/brz} =$		1,30
Zatížení větrem	$Y_{Q,w} =$		1,35
Kombinační součinitelé ψ_0, ψ_2, ξ			
	ψ_0	ψ_2	ξ
Stálé zatížení			0,95
LM71	0,80	0,00	
Boční ráz	1,00	0,00	
Teplota	0,60	0,50	
Zatížení větrem	0,50	0,00	
Brzdné a rozjezdové síly	0,80	0,00	

► Výpis zatěžovacích stavů

ZS1	Vlastní tíha
ZS2	Ostatní stálé zatížení
ZS3.1	Vítr působící na konstrukci v ose Y
ZS3.2	Vítr působící na konstrukci v ose Z
ZS4	Vítr působící na vlak
ZS5	Zatížení železniční dopravou LM71
ZS6	Brzdné a rozjezdové síly
ZS7	Boční rázy
ZS8	Teplota

Posouzení

► Materiálové charakteristiky pro NK

Ocel C37 P/10372 (rok 1950)	$f_{yk} =$	230	MPa
	$f_{uk} =$	360	MPa
	$\gamma_{M0} =$	1,1	
	$\gamma_{M1} =$	1,2	
	$\gamma_{M2} =$	1,3	
	$f_{yd} =$	209,1	MPa
	$E =$	200	GPa
	$\varepsilon = v(235/f_y) =$	1,01	

► Zatřídění průřezů

Okraje stěn průřezů na obrázku A.1a) a obrázku A.1b) ve směrnici SŽ S5/1 Diagnostika, zatížitelnost a přechodnost železničních mostních objektů jsou sevřeny dvojicí pásových úhelníků, proto se pro jejich zatřídění použije světlá vzdálenost mezi pásovými úhelníky, pokud tuhost sevření není ovlivněna štěrbinovou korozí.

Naproti tomu okraje stěny, stejně jako horní pásnice průřezu na obrázku A.1c), jsou podepřeny úhelníky jen z jedné strany, proto se v tomto případě použije pro zatřídění osová vzdálenost nýtů.

Pro zatřídění přečnivajících ramen úhelníků (horní pásové úhelníky na obrázku A.1a i dolní pásové úhelníky na obrázku A.1c) nebo jednostěnných vnitřních částí průřezů (stěny na obrázku A.1a, b, c) se použijí standardní mezí štíhlosti podle tab. 5.2 v ČSN EN 1993-1-1.

● Hlavní nosníky

Stojina ohýbaná

c	=	1720 mm	
t	=	10 mm	
c/t	<	$124 \cdot \varepsilon$	
172 mm	>	$124 \cdot 1,01$	= 125,24 mm

► 4. Třída průřezu

Pásnice na konci průřezu - tlačená část

c	=	82 mm	
t	=	14 mm	
c	<	$14 \cdot t \cdot \varepsilon$	
82 mm	<	$14 \cdot 14 \cdot 1,01$	= 197,96 mm

► 2. Třída průřez

Pásnice na začátku průřezu - tlačená část

c	=	127 mm	
t	=	13 mm	
c/t	<	$10 \cdot \varepsilon$	
9,8 mm	<	$10 \cdot 1,01$	= 10,1 mm

► 2. Třída průřez

● Příčníky

Stojina ohýbaná

$$\begin{aligned} c &= 570 \text{ mm} \\ t &= 10 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$c / t = 570 / 10$$

$$57 < 72 \cdot \epsilon = 72 \cdot 1,01 = 72,72$$

► 2. Třída průřezu

Pásnice - tlačená část

$$\begin{aligned} c &= 118 \text{ mm} \\ t &= 12 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$c/t < 10 \cdot \epsilon$$

$$9,8 \text{ mm} < 10 \cdot 1,01 = 10,1 \text{ mm}$$

► 2. Třída průřez

● Podélník menší

Stojina ohýbaná

$$\begin{aligned} c &= 170 \text{ mm} \\ t &= 10 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$c / t = 170 / 10$$

$$17 < 72 \cdot \epsilon = 72 \cdot 1,01 = 72,72$$

► 2. Třída průřezu

Pásnice - tlačená část

$$\begin{aligned} c &= 110 \text{ mm} \\ t &= 10 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$c < 14 \cdot t \cdot \epsilon$$

$$110 \text{ mm} < 14 \cdot 10 \cdot 1,01 = 141,4 \text{ mm}$$

► 2. Třída průřez

● Podélník větší

Stojina ohýbaná

$$\begin{aligned} c &= 350 \text{ mm} \\ t &= 10 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$c / t = 350 / 10$$

$$35 < 72 \cdot \epsilon = 72 \cdot 1,01 = 72,72$$

► 1. Třída průřezu

Pásnice - tlačená část

$$\begin{aligned} c &= 110 \text{ mm} \\ t &= 10 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$c < 14 \cdot t \cdot \epsilon$$

$$110 \text{ mm} < 14 \cdot 10 \cdot 1,01 = 141,4 \text{ mm} \quad \text{► 2. Třída průřez}$$

● Závětrování 2xL70/70/9

Pásnice na začátku průřezu - tlačená část

$$\begin{aligned} c &= 61 \text{ mm} \\ t &= 9 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c/t &< 9 \cdot \epsilon \\ 6,8 \text{ mm} &< 9 \cdot 1,01 &= 9,09 \text{ mm} \end{aligned}$$

► 1. Třída průřez

Pásnice na konci průřezu - tlačená část

$$\begin{aligned} c &= 70 \text{ mm} \\ t &= 9 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &< 14 \cdot t \cdot \epsilon \\ 70 \text{ mm} &< 14 \cdot 9 \cdot 1,01 &= 127,26 \text{ mm} \end{aligned}$$

► 2. Třída průřez

● Závětrování 2xL80/80/8

Pásnice na začátku průřezu - tlačená část

$$\begin{aligned} c &= 72 \text{ mm} \\ t &= 8 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c/t &< 9 \cdot \epsilon \\ 9,0 \text{ mm} &< 9 \cdot 1,01 &= 9,09 \text{ mm} \end{aligned}$$

► 1. Třída průřez

Pásnice na konci průřezu - tlačená část

$$\begin{aligned} c &= 80 \text{ mm} \\ t &= 8 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &< 14 \cdot t \cdot \epsilon \\ 80 \text{ mm} &< 14 \cdot 8 \cdot 1,01 &= 113,12 \text{ mm} \end{aligned}$$

► 2. Třída průřez

● Závětrování 2xL80/80/10

Pásnice na začátku průřezu - tlačená část

$$\begin{aligned} c &= 70 \text{ mm} \\ t &= 10 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c/t &< 9 \cdot \epsilon \\ 7,0 \text{ mm} &< 9 \cdot 1,01 &= 9,09 \text{ mm} \end{aligned}$$

► 1. Třída průřez

Pásnice na konci průřezu - tlačená část

$$\begin{aligned} c &= 80 \text{ mm} \\ t &= 10 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &< 14 \cdot t \cdot \epsilon \\ 80 \text{ mm} &< 14 \cdot 10 \cdot 1,01 &= 141,4 \text{ mm} && \text{► 2. Třída průřez} \end{aligned}$$

► Průřezové charakteristiky

• Hlavní nosníky

- V modelu je uvažován plný průřez pro výpočet napětí. Při posouzení byl však průřez oslabený vlivem zatřídění 4. třídy průřezů a v konkrétních řezech v oblasti tahového napětí na nosníku uvažován průřez oslabený o průměry nýtů + 1 mm. Průřezové charakteristiky jsou vztaženy pro nejkritičtější průřez hlavního nosníku, který byl dále posouzen.

A	6,04E-02	m ²
I _y	4,12E-02	m ⁴
I _{y,eff,HP}	4,06E-02	m ⁴
I _{y,eff,DP}	3,67E-02	m ⁴
I _z	2,25E-04	m ⁴
I _ω	2,26E-04	m ⁶
W _{y,el}	4,00E-02	m ³
W _{z,el}	1,36E-03	m ³

plocha plného průřezu uvažovaného v modelu

moment setrvačnosti kolmo k ose y neoslabeného průřezu

moment setrvačnosti kolmo k ose y oslabeného průřezu pro posouzení HP

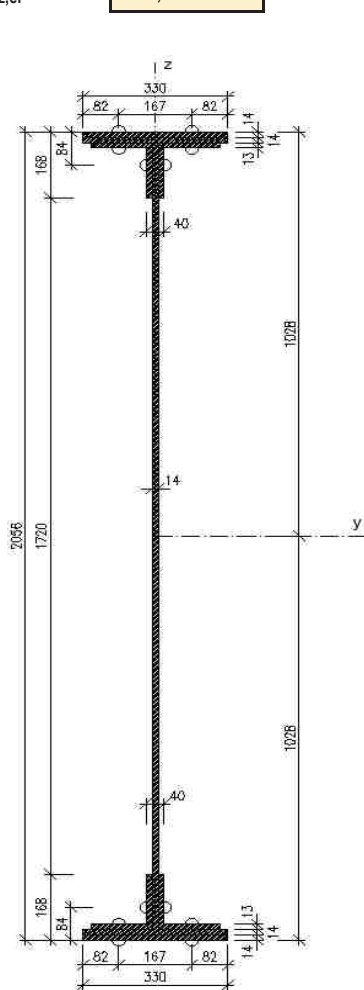
moment setrvačnosti kolmo k ose y oslabeného průřezu pro posouzení DP

moment setrvačnosti kolmo k ose z oslabeného průřezu

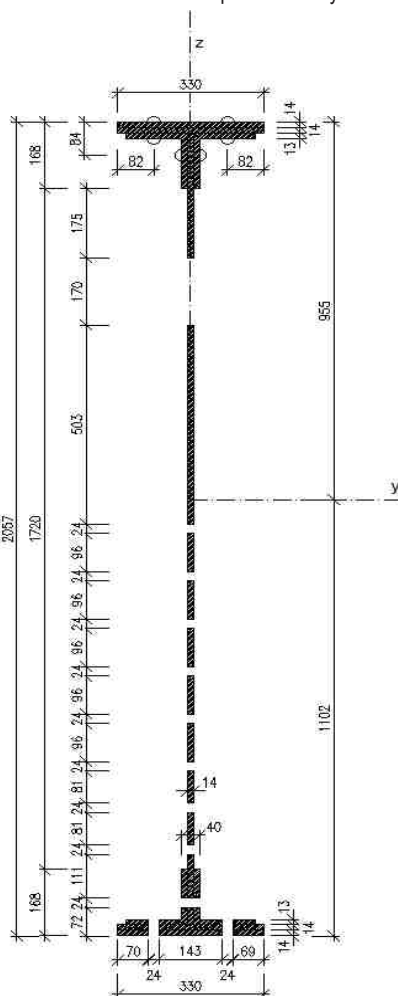
výsečový moment setrvačnosti neoslabeného průřezu

modul průřezu v ohybu kolem z-z neoslabeného průřezu

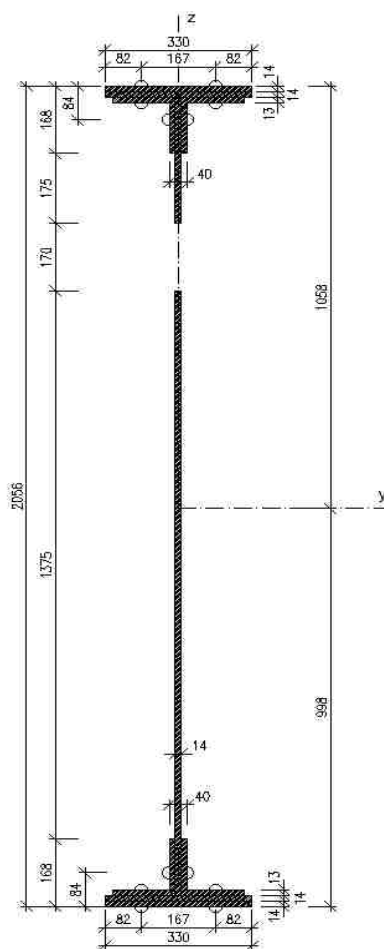
modul průřezu v ohybu kolem y-y neoslabeného průřezu



neoslabený průřez



oslabený průřez pro posouzení DP



oslabený průřez pro posouzení HP

• Příčníky

- V modelu je uvažován plný průřez pro výpočet napětí. Při posouzení byl v konkrétních řezech v oblasti tahového napětí na nosníku uvažován průřez oslabený o průměry nýtů + 1 mm. Průřezové charakteristiky jsou vztaženy pro nejkritičtější průřez příčníku, který byl dále posouzen.

A	1,75E-02	m ²
I_y	1,60E-03	m ⁴
I_{y,eff,DP}	1,49E-03	m ⁴
I_z	3,99E-05	m ⁴
I_ω	5,35E-06	m ⁶
W_{y,el}	4,26E-03	m ³
W_{z,el}	2,96E-04	m ³

plocha plného průřezu uvažovaného v modelu

moment setrvačnosti kolmo k ose y neoslabeného průřezu

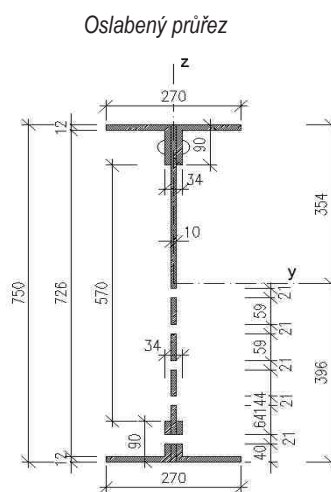
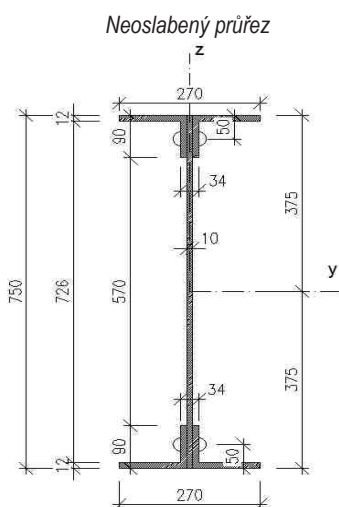
moment setrvačnosti kolmo k ose y oslabeného průřezu pro posouzení DP

moment setrvačnosti kolmo k ose z oslabeného průřezu

výsečový moment setrvačnosti neoslabeného průřezu

modul průřezu v ohybu kolem z-z neoslabeného průřezu

modul průřezu v ohybu kolem y-y neoslabeného průřezu



• Podélníky - Větší (uprostřed rozpětí)

- V modelu je uvažován plný průřez pro výpočet napětí. Při posouzení byl v konkrétních řezech v oblasti tahového napětí na nosníku uvažován průřez oslabený o průměry nýtů + 1 mm. Průřezové charakteristiky jsou vztaženy pro nejkritičtější průřez podélníku, který byl dále posouzen.

A	1,37E-02	m ²
I_y	5,78E-04	m ⁴
I_{y,eff,DP}	5,35E-04	m ⁴
I_z	2,46E-05	m ⁴
I_ω	8,71E-07	m ⁶
W_{y,el}	1,88E-03	m ³
W_{z,el}	1,66E-04	m ³

plocha plného průřezu uvažovaného v modelu

moment setrvačnosti kolmo k ose y neoslabeného průřezu

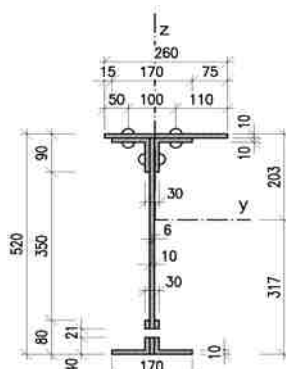
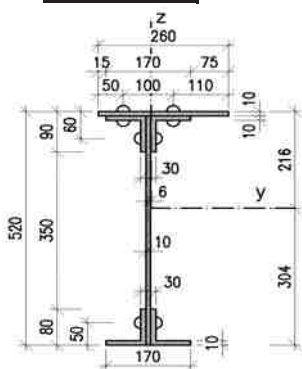
moment setrvačnosti kolmo k ose y oslabeného průřezu pro posouzení DP

moment setrvačnosti kolmo k ose z oslabeného průřezu

výsečový moment setrvačnosti neoslabeného průřezu

modul průřezu v ohybu kolem z-z neoslabeného průřezu

modul průřezu v ohybu kolem y-y neoslabeného průřezu



● Podélníky - Menší

- V modelu je uvažován plný průřez pro výpočet napětí. Při posouzení byl v konkrétních řezech v oblasti tahového napětí na nosníku uvažován průřez oslabený o průměry nýtů + 1 mm. Průřezové charakteristiky jsou vztaženy pro nejkritičtější průřez podélníku, který byl dále posouzen.

A	1,19E-02	m ²
I_y	2,13E-04	m ⁴
I_{y,eff,DP}	1,97E-04	m ⁴
I_z	2,44E-05	m ⁴
I_ω	3,55E-07	m ⁶
W_{y,el}	1,03E-03	m ³
W_{z,el}	1,67E-04	m ³

plocha plného průřezu uvažovaného v modelu

moment setrvačnosti kolmo k ose y neoslabeného průřezu

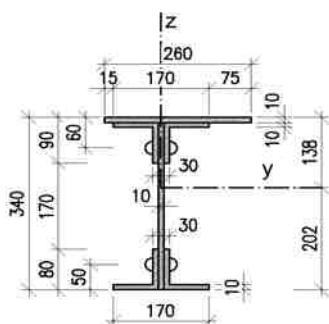
moment setrvačnosti kolmo k ose y oslabeného průřezu pro posouzení DP

moment setrvačnosti kolmo k ose z oslabeného průřezu

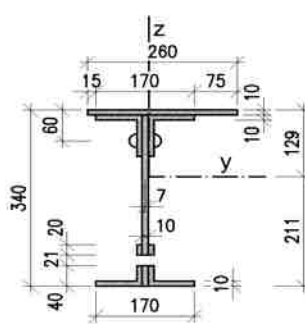
výsečový moment setrvačnosti neoslabeného průřezu

modul průřezu v ohybu kolem z-z neoslabeného průřezu

modul průřezu v ohybu kolem y-y neoslabeného průřezu



Neoslabený průřez



Oslabený průřez

● Dolní ztužidlo - krajní L80/80/8

- V modelu je uvažován plný průřez pro výpočet napětí. Při posouzení byl v konkrétních řezech v oblasti tahového napětí na nosníku uvažován průřez oslabený o průměry nýtů + 1 mm. Průřezové charakteristiky jsou vztaženy pro nejkritičtější průřez ztužidla, který byl dále posouzen.

A	2,43E-03	m ²
A_{net}	1,76E-03	m ²
I_y	1,47E-06	m ⁴
I_z	2,76E-06	m ⁴
I_ω	5,56E-27	m ⁶
W_{y,el}	2,51E-05	m ³
W_{z,el}	3,36E-05	m ³

plocha plného průřezu uvažovaného v modelu

moment setrvačnosti kolmo k ose y neoslabeného průřezu

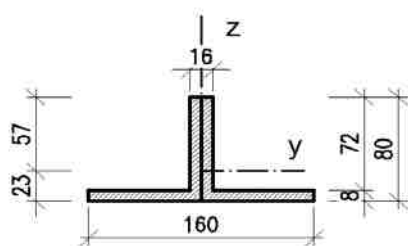
moment setrvačnosti kolmo k ose y oslabeného průřezu pro posouzení DP

moment setrvačnosti kolmo k ose z oslabeného průřezu

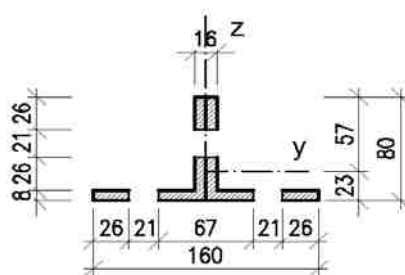
výsečový moment setrvačnosti neoslabeného průřezu

modul průřezu v ohybu kolem z-z neoslabeného průřezu

modul průřezu v ohybu kolem y-y neoslabeného průřezu



Neoslabený průřez

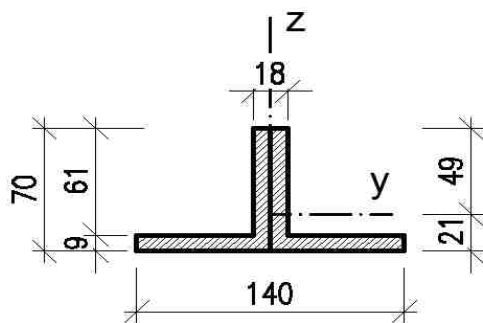


Oslabený průřez

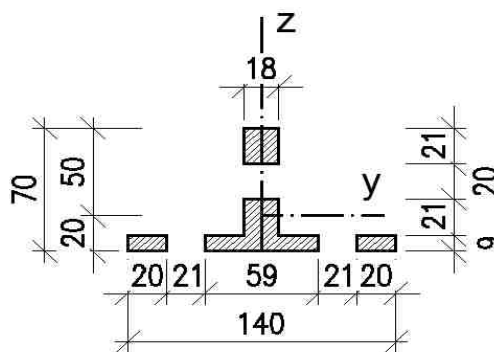
● Dolní ztužidlo - mezilehlé L70/70/9

- V modelu je uvažován plný průřez pro výpočet napětí. Při posouzení byl v konkrétních řezech v oblasti tahového napětí na nosníku uvažován průřez oslabený o průměry nýtů + 1 mm. Průřezové charakteristiky jsou vztaženy pro nejkritičtější průřez ztužidla, který byl dále posouzen.

A	2,36E-03	m ²	plocha plného průřezu uvažovaného v modelu
A_{net}	1,64E-03	m ²	moment setrvačnosti kolmo k ose y neoslabeného průřezu
I_y	1,07E-06	m ⁴	moment setrvačnosti kolmo k ose y oslabeného průřezu pro posouzení DP
I_z	2,05E-06	m ⁴	moment setrvačnosti kolmo k ose z oslabeného průřezu
I_ω	5,47E-36	m ⁶	výsečový moment setrvačnosti neoslabeného průřezu
W_{y,el}	2,12E-05	m ³	modul průřezu v ohybu kolem z-z neoslabeného průřezu
W_{z,el}	2,93E-05	m ³	modul průřezu v ohybu kolem y-y neoslabeného průřezu



Neoslabený průřez

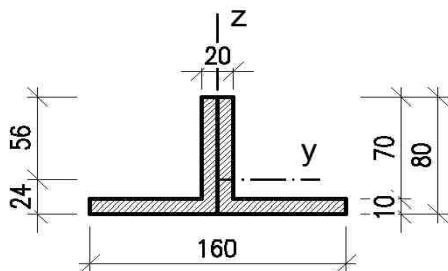


Oslabený průřez

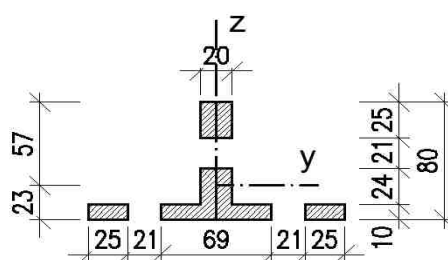
● Dolní ztužidlo - uprostřed L80/80/10

- V modelu je uvažován plný průřez pro výpočet napětí. Při posouzení byl v konkrétních řezech v oblasti tahového napětí na nosníku uvažován průřez oslabený o průměry nýtů + 1 mm. Průřezové charakteristiky jsou vztaženy pro nejkritičtější průřez ztužidla, který byl dále posouzen.

A	3,02E-03	m ²	plocha plného průřezu uvažovaného v modelu
A_{net}	2,16E-03	m ²	moment setrvačnosti kolmo k ose y neoslabeného průřezu
I_y	1,75E-06	m ⁴	moment setrvačnosti kolmo k ose y oslabeného průřezu pro posouzení DP
I_z	3,40E-06	m ⁴	moment setrvačnosti kolmo k ose z oslabeného průřezu
I_ω	1,57E-35	m ⁶	výsečový moment setrvačnosti neoslabeného průřezu
W_{y,el}	3,09E-05	m ³	modul průřezu v ohybu kolem z-z neoslabeného průřezu
W_{z,el}	4,25E-05	m ³	modul průřezu v ohybu kolem y-y neoslabeného průřezu



Neoslabený průřez



Oslabený průřez

► Výpočet součinitele vzpěru

- Vzpěr je uvažován u dolního ztužení mostovky pomocí dvojice úhelníků

• Krajiní ztužidlo 2xL80/80/8

Ocel:	dle archivní dokumentace:	Ocel C37 P/10372	f_y	=	230 MPa
Vybočení kolmo k ose:	všechny				
Křivka vzpěrné pevnosti:	c				
Součinitel imperfekce α	=	0,49			

Průřezové charakteristiky:

A	=	2432	mm ²	... Plocha průřezu
A _{eff}	=	-	mm ²	... Plocha efektivního průřezu
I _y	=	1474595	mm ⁴	... Moment setrvačnosti k hlavní ose y
I _z	=	2755242	mm ⁴	... Moment setrvačnosti k hlavní ose z

Třída průřezu:	3		
L	=	2605	mm ... Vzpěrná délka

Výpočet kritické síly

$$N_{cr,y} = (\pi^2 \cdot E \cdot I_{eff}) / L^2 = (3,14^2 \cdot 210000 \cdot 1474595) / 2605^2 = 450377 \text{ N}$$

Výpočet součinitele rovinného vzpěru

$$\alpha = 0,49$$

$$\lambda_y = ((A \cdot f_y) / N_{cr,y})^{0,5} = ((2432 \cdot 230) / 450377,143229374)^{0,5} = 1,11$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,49 \cdot (1,11 - 0,2) + 1,11^2) = 1,34$$

$$\chi_y = 1 / (\Phi_y + (\Phi_y^2 - \lambda_y^2)^{0,5}) = 1 / (1,339 + (1,339^2 - 1,11^2)^{0,5}) = 0,48$$

• Mezilehlé ztužidlo 2xL70/70/9

Průřezové charakteristiky:

A	=	2358	mm ²	... Plocha průřezu
A _{eff}	=	-	mm ²	... Plocha efektivního průřezu
I _y	=	1067705	mm ⁴	... Moment setrvačnosti k hlavní ose y
I _z	=	2049400	mm ⁴	... Moment setrvačnosti k hlavní ose z

Třída průřezu:	3		
L	=	2605	mm ... Vzpěrná délka

Výpočet kritické síly

$$N_{cr,y} = (\pi^2 \cdot E \cdot I_{eff}) / L^2 = (3,14^2 \cdot 210000 \cdot 1067705) / 2605^2 = 326103 \text{ N}$$

Výpočet součinitele rovinného vzpěru

$$\alpha = 0,49$$

$$\lambda_y = ((A \cdot f_y) / N_{cr,y})^{0,5} = ((2358 \cdot 1,11) / 326103,050472651)^{0,5} = 1,29$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,49 \cdot (1,29 - 0,2) + 1,29^2) = 1,60$$

$$\chi_y = 1 / (\Phi_y + (\Phi_y^2 - \lambda_y^2)^{0,5}) = 1 / (1,5991 + (1,5991^2 - 1,29^2)^{0,5}) = 0,39$$

► Boulení stěn vlivem smyku

dle ČSN EN 1993-1-5 neuvažujeme boulení pokud je splněno:

• Hlavní nosníky

hw	1720	mm	...výška stojiny
tw	14	mm	...tloušťka stojiny
a	2050	mm	...vzdálenost příčných výztuh stěny
k _T	8,16		...součinitel smykového napětí
η	1,2		...součinitel pro ocel třídy do S460
hw/t	≤	(31/η)*ε*√k _T	
122,857143	>	74,51	Je potřeba posoudit únosnost ve smyku při boulení

$$\lambda_w = hw / (37,4 \cdot t \cdot \epsilon \cdot k_T^{0,5}) = 1,139$$

$$\lambda_w \geq 1,08 \quad \text{tuhá} \quad \text{...koncová výztuha}$$

$$\chi_w = 1,37 / (0,7 + \lambda_w) = 0,745$$

Únosnost stojiny ve smyku při zohlednění boulení

$$V_{bRd} = V_{bwRd} + V_{bfRd} \leq (\eta \cdot f_{yw} \cdot hw \cdot t) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}) \quad V_{bwRd} = (\chi_w \cdot f_{yw} \cdot hw \cdot t) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}) \quad 1985,24 \text{ kN}$$

$$1985,239 < 3197,60 \quad V_{bfRd} = 0 \quad \gamma_{M1} = 1,2$$

$$V_{ED} = 1099 \text{ kN} \rightarrow V_{ED} / V_{bRd} = 0,55$$

Smyk má vliv na únosnost v ohybu

• Příčníky

hw	570	mm	...výška stojiny
tw	10	mm	...tloušťka stojiny
a	1800	mm	...vzdálenost příčných výztuh stěny
k _T	5,74		...součinitel smykového napětí
η	1,2		...součinitel pro ocel třídy do S460
hw/t	≤	(31/η)*ε*√k _T	
57	<	62,52	k boulení stojiny od smyku nedojde

Další části NK nejsou náchylné na boulení stojiny vlivem smyku

► Boulení stěn vlivem normálového napětí

• Hlavní nosníky

δ = bw =	1720	mm	... výška ohýbané stojiny
t =	14	mm	

$$\bar{\lambda}_p = (\delta/t) / (28,4 \cdot \epsilon \cdot \sqrt{k_\sigma})$$

$$\bar{\lambda}_p = (1720/14) / (28,4 \cdot 1,01 \cdot (24,4)^{1/2}) = 0,87$$

$$\bar{\lambda}_p > 0,5 + \sqrt{(0,085 - 0,055 \Psi)} = 0,88$$

$$\sigma_1 = 160,50 \text{ MPa} \quad "+" \text{ značí tlak}$$

$$\sigma_2 = -163,60 \text{ MPa} \quad "+" \text{ značí tlak}$$

$$\psi = \sigma_2 / \sigma_1 = -1,02$$

$$k\sigma = 24,40$$

$$\rho = (\bar{\lambda} p - 0,0055(3 + \psi)) / (\bar{\lambda} p^2) \leq 1,0$$

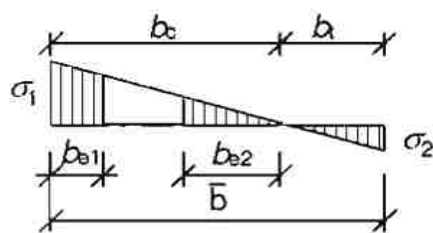
$$\rho = (0,87 - 0,055(3 + -1,02)) / 0,87^2 = 1,01$$

$$b_{eff} = \rho b / (1 - \psi) = 859 \text{ mm}$$

$$b_{e1} = 0,4 b_{eff} = 343 \text{ mm}$$

$$b_{e2} = 0,6 b_{eff} = 515 \text{ mm}$$

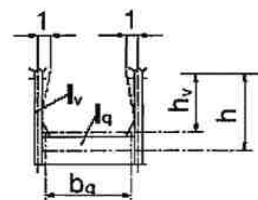
→ efektivní průřez je zohledněn při posouzení



► Klopení

• Hlavní nosníky

I_v	0,029	m ⁴	moment setrvačnosti tláčené pásnice
I_q	0,016	m ⁴	moment setrvačnosti příčnicku
h_v	0,589	m	osová vzdálenost těžiště pásnice a těžiště výztuhy
h	1,623	m	vzdálenost okraje HP od těžiště příčnicku
b_q	4,363	m	osová vzdálenost výztuh



$$C = \frac{EI_v}{\frac{h_v^3}{3} + \frac{h^2 b_q I_v}{2I_q}}$$

$$C = 551959,7 \text{ kN/m} \quad \text{tuhost} > 4 \cdot N_E / L = 266134,5 \text{ kN/m}$$

Jedná se o tuhou příčnou podporu

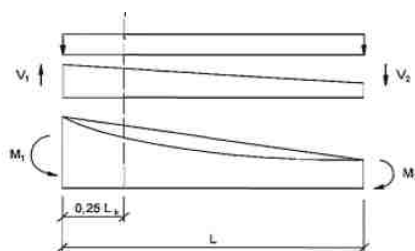
$$L = 20,5 \text{ m} \quad \text{vzdálenost podpor (rozpětí)}$$

$$N_E = \pi^2 E I_v / (L^2) = 136393,9 \text{ kN}$$

$$c = C / \lambda = 269248,7 \text{ kN}$$

$$\lambda = 2,05 \text{ m} \quad \text{osová vzdálenost mezi příčnicku}$$

$$\gamma = c \cdot L^4 / (E \cdot I_v) = 8187,77646$$



$$m = \min [1 + 0,44(1 + \mu) \cdot \Phi^{1,5} + (3 + 2 \cdot \Phi) \cdot \gamma / (350 - 50 \cdot \mu); 1 + 0,44(1 + \mu) \cdot \Phi^{1,5} + (0,195 + (0,06 + \mu / 100) \cdot \Phi) \cdot \gamma^{0,5}]$$

$$m = 47,9$$

$$\mu = V_2 / V_1 = 0,87$$

$$\Phi = 2 \cdot (1 - M_2 / M_1) \cdot (1 + \mu) = 3,75$$

$$N_{cr} = m \cdot N_E = 6538913,32 \text{ kN}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{(A_{eff} \cdot f_y / N_{cr})} = 0,04 < 0,2$$

$$A_{eff} = 0,0549 \text{ m}^2 \quad \text{redukovaná plocha hlavního nosníku}$$

Tlačená pásnice je dostatečně podepřena, příčné výztuhy jsou relativně málo vzdáleny a navíc jsou příčné výztuhy přímo napojeny na tlačenou pásnici.

• Příčníky

Parametry materiálu posuzovaného prvku - Příčník

$f_y =$	230	MPa	... charakteristická mez kluzu oceli
$E =$	210	GPa	... modul pružnosti oceli v tahu
$G =$	81	GPa	... modul pružnosti oceli ve smyku

Rozměry I-průřezu

$t_{fh} =$	0,012	m	... tloušťka HP
$t_{fd} =$	0,012	m	... tloušťka DP
$b_{fh} =$	0,270	m	... šířka HP
$b_{fd} =$	0,270	m	... šířka DP
$t_w =$	0,01	m	... tloušťka stojiny
$h_w =$	0,726	m	... výška stojiny
$h_f =$	0,738	m	... vzdálenost mezi středy pásnic
$z_h =$	0,375	m	... vzdál. horních vláken od těžiště
$z_d =$	0,375	m	... vzdál. spodních vláken od těžiště
$z_a =$	0,027	m	... vzdálenost působíště zatížení vzhledem k těžišti průřezu
$z_s =$	0,000	m	... vzdálenost středu smyku od těžiště
$z_g =$	$z_a - z_s$		
$z_g =$	0,027-0		... působíště zatížení vzhledem ke
$z_g =$	0,027	m	středu smyku
$z_j =$	$0,45 \cdot \psi_f \cdot h_f$		
$z_j =$	$0,45 \cdot 0 \cdot 0,738$		
$z_j =$	0,000	m	

Průřezové charakteristiky neoslabeného průřezu potřebné pro výpočet

$I_z =$	3,9924E-05	m ⁴	... moment setrvačnosti kolmo k z-z
$I_t =$	$(1/3) \cdot ((b_{fh} \cdot t_{fh}^3) + (h_w \cdot t_w^3) + (b_{fd} \cdot t_{fd}^3))$		
$I_t =$	$(1/3) \cdot ((0,27 \cdot 0,012^3) + (0,726 \cdot 0,01^3) + (0,27 \cdot 0,012^3))$		
$I_t =$	5,530E-07	m ⁴	... moment tuhosti v prostém kroucení
- pro průřez s nestejnými pásy:			
$I_w =$	$(1 - \psi_f^2) \cdot I_z \cdot (h_f/2)^2$		vz. (NB.3.3)
$I_w =$	$(1 - ^2) \cdot 0,000039924 \cdot (0,738/2)^2$		
$I_w =$	5,4361E-06	m ⁴	... výsečový moment setrvačnosti
$I_y =$	1,5962E-03	m ⁴	
$W_{el_y} =$	4,2565E-03	m ³	... modul průřezu je vztažený ke spodním vláknům

Součinitelé vzpěrné délky a jiné

ky, kz popisují okrajové podmínky uložení v ohybu
kw popisuje okrajové podmínky uložení v kroucení

ky = 1,0 - na základě těchto součinitelů se dosadí hodnoty C1_0 ; C1_1 ; C2 ; C3
kz = 1,0 → pro zatížení prutu koncovými momenty dle ČSN EN 1993-1-1, tab. NB.3.1, str.95
kw = 0,5 → pro zatížení prutu příčným zatížením dle ČSN EN 1993-1-1, tab. NB.3.2, str.96
L = 1,800 m ... délka mezi zajištěnými body proti posunu kolmo z roviny
brána vzdálenost mezi podélníky (podélníky brání klopení)

- zatížení a uvažované podm. podepření v našem případě:

Kloub na obou koncích

C1_0 = 1,04
C1_1 = 1,15

	pro kw ≤ C1_1	pro kw = 0	pro kw ≥ 1,0
C1 =	C1_0 + (C1_1 - C1_0)	C1 = C1_0	C1 = C1_1
	1,04 + (1,15 - 1,04)	= 1,04	= 1,15
	1,15	= 1,04	= 1,15

C1 = 1,15

lfc = 1,968E-05 m4 ... mom. setr. tlačené pásnice k
hlavní ose nejmenší tuhosti průřezu
lft = 1,968E-05 m4 ... mom. setr. tažené pásnice k
hlavní ose nejmenší tuhosti průřezu

$\psi_f = (l_{fc} - l_{ft}) / (l_{fc} + l_{ft})$
 $\psi_f = (0,00001968 - 0,000019683) / (0,00001968 + 0,000019683)$
 $\psi_f = 0,00$... parametr nesymetrie průřezu

a proto

C2 = 0,29

a

C3 = 0,88

Bezrozměrné parametry (dle NB.3.2 normy)

$k_{wt} = (PI / (kw * L)) * ((E * I_w) / (G * I_t))^{0,5}$
 $k_{wt} = (PI / (0,5 * 1,8)) * ((210 * 0,000005436091764) / (81 * 0,00000055304))^{0,5}$
 $k_{wt} = 1,7620E+01$... bezrozměrný parametr kroucení

$\zeta_g = ((PI) * z_g) / (k_z * L) * ((E * I_z) / (G * I_t))^{0,5}$
 $\zeta_g = ((PI) * 0,027) / (1 * 1,8) * ((210 * 0,000039924) / (81 * 0,00000055304))^{0,5}$
 $\zeta_g = 0,64$... bezrozměrný parametr působíště
zatížení vzhledem ke středu smyku

$$\zeta_j = \frac{((\pi()^*z_j)/(kz*L))^{*}((E*I_z)/(G*I_t))^{0,5}}$$

$$\zeta_j = \frac{((\pi()^*0)/(1*1,8))^{*}((210*0,000039924)/(81*0,00000055304))^{0,5}}$$

$$\zeta_j = \boxed{0,00} \quad \dots \text{bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu}$$

Stanovení kritického momentu, štíhlosti v klopení a součinitele klopení

$$M_{cr} = \mu_{cr} * ((\pi()^*(E*I_z^*G*I_t)^{0,5})/L) \quad \text{vz. (NB.3.1)}$$

$$\mu_{cr} = (C1/kz)^{*}((1+kwt^2+(C2*\zeta_g-C3*\zeta_j)^2)^{0,5}-(C2*\zeta_g-C3*\zeta_j)) \quad \text{vz. (NB.3.2)}$$

$$\mu_{cr} = (1,15/1)^{*}((1+17,62^2+(0,29*0,64-0,88*0)^2)^{0,5}-(0,29*0,64-0,88*0))$$

$$\mu_{cr} = \boxed{20,08} \quad \dots \text{bezrozměrný kritický moment}$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} * ((\pi()^*(E^{*10^9*I_z^*G^{*10^9*I_t})^{0,5})/L)/10^3$$

$$M_{cr} = 20,0832894319454 * ((\pi()^*(^{*10^9^{***10^9})^{0,5})/10^3$$

$$\downarrow$$

$$M_{cr} = \boxed{21481,3} \text{ kNm} \quad \dots \text{kritický moment}$$

pozn.: dle ČSN EN 1993-2, čl. 6.3.2.2 (2) se mohou účinky klopení zanedbat, jestliže $\lambda_{LT} \leq 0,2$ (hodnota platná pro mosty) a nebo $(M_{Ed}/M_{cr}) \leq 0,04$

$$\downarrow$$

$$\lambda_{LT} = ((W_{el_y} * f_y * 10^6) / (M_{cr} * 10^3))^{0,5}$$

$$\lambda_{LT} = ((0,0042565 * 230 * 10^6) / (21481,2558111674 * 10^3))^{0,5}$$

$$\lambda_{LT} = \boxed{0,21 > 0,2} \quad \dots \text{poměrná štíhlost v klopení}$$

Účinky klopení nelze zanedbat!

- pokud účinky klopení nelze zanedbat (postup dle ČSN EN 1993-1-1, 6.3.2.1)

tab. 6.4 normy:

průřez	meze	křivka klopení
válcované I průřezy	$h/b \leq 2$	a
	$h/b > 2$	b
svařované I průřezy	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d
Jiné průřezy	-	d

$$\downarrow$$

$$h = 0,750 \text{ m}$$

$$b = 0,270 \text{ m}$$

$$h/b = 0,75/0,27 = 2,78$$

$$\downarrow$$

$$\text{křivka klopení: } \boxed{d} \quad \text{dle tab. 6.4}$$

a proto

$$\alpha_{LT} = 0,76 \quad \dots \text{souč. imperfekce pro křivky klopení}$$

$$\phi_{LT} = 0,5 * (1 + \alpha_{LT} * (\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2)$$

$$\phi_{LT} = 0,5 * (1 + 0,76 * (0,213481577535189 - 0,2) + 0,213481577535189^2)$$

$$\phi_{LT} = 0,53$$

$$\chi_{LT} = 1/(\phi_{LT} + (\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2)^{0,5})$$

$$\chi_{LT} = 1/(0,527910191436828 + (0,527910191436828^2 - 0,213481577535189^2)^{0,5})$$

$$\chi_{LT} = 0,99 < 1$$

a proto

$$\chi_{LT} = 0,99$$

... součinitel klopení

• Podélníky - uprostřed

Parametry materiálu posuzovaného prvku - Příčník

$f_y =$	230 MPa	... charakteristická mez kluzu oceli
$E =$	210 GPa	... modul pružnosti oceli v tahu
$G =$	81 GPa	... modul pružnosti oceli ve smyku

Rozměry I-průřezu

$t_{fh} =$	0,020 m	... tloušťka HP
$t_{fd} =$	0,01 m	... tloušťka DP
$b_{fh} =$	0,215 m	... šířka HP
$b_{fd} =$	0,170 m	... šířka DP
$t_w =$	0,01 m	... tloušťka stojiny
$h_w =$	0,490 m	... výška stojiny
$h_f =$	0,505 m	... vzdálenost mezi středy pásnic
$z_h =$	0,216 m	... vzdál. horních vláken od těžiště
$z_d =$	0,304 m	... vzdál. spodních vláken od těžiště
$z_a =$	0,626 m	... vzdálenost působíště zatížení vzhledem k těžišti průřezu
$z_s =$	0,116 m	... vzdálenost středu smyku od těžiště
$z_g =$	$z_a - z_s$	
$z_g =$	0,626 - 0,116	... působíště zatížení vzhledem ke středu smyku
$z_j =$	$0,45 \cdot \psi_f \cdot h_f$	
$z_j =$	$0,45 \cdot 0,66 \cdot 0,505$	
$z_j =$	0,150 m	

Průřezové charakteristiky neoslabeného průřezu potřebné pro výpočet

$I_z =$	$2,4590E-05$ m ⁴	... moment setrvačnosti kolmo k z-z
$I_t =$	$1,768E-06$ m ⁴	... moment tuhosti v prostém kroucení
- pro průřez s nestejnými pásy:		
$I_w =$	$8,7050E-07$ m ⁴	vzáno ze SCIA engineer 19.1
		... výsečový moment setrvačnosti
		vzáno ze SCIA engineer 19.1
$I_y =$	$5,7810E-04$ m ⁴	
$W_{el_y} =$	$1,8837E-03$ m ³	... modul průřezu je vztažený ke spodním vláknům

Součinitelé vzpěrné délky a jiné

ky, kz popisují okrajové podmínky uložení v ohybu
kw popisuje okrajové podmínky uložení v kroucení

ky = 1,0 - na základě těchto součinitelů se dosadí hodnoty C1_0 ; C1_1 ; C2 ; C3
kz = 1,0 → pro zatížení prutu koncovými momenty dle ČSN EN 1993-1-1, tab. NB.3.1, str.95
kw = 0,5 → pro zatížení prutu příčným zatížením dle ČSN EN 1993-1-1, tab. NB.3.2, str.96
L = 2,050 m ... délka mezi zajištěnými body proti posunu kolmo z roviny
brána vzdálenost mezi podélníky (podélníky brání klopení)

- zatížení a uvažované podm. podepření v našem případě:

Kloub na obou koncích

C1_0 = 1,13
C1_1 = 1,23

	pro $kwt \leq C1_1$	pro $kwt = 0$	pro $kwt \geq 1,0$
C1 =	$C1_0 + (C1_1 - C1_0)$	$C1 = C1_0$	$C1 = C1_1$
	$1,13 + (1,23 - 1,13)$	$= 1,13$	$= 1,23$
	1,23	$= 1,13$	$= 1,23$

C1 = 1,23

lfc = 1,967E-05 m⁴ ... mom. setr. tlačené pásnice k
hlavní ose nejmenší tuhosti průřezu
lft = 4,094E-06 m⁴ ... mom. setr. tažené pásnice k
hlavní ose nejmenší tuhosti průřezu

$\psi_f = (lfc - lft) / (lfc + lft)$
 $\psi_f = (0,00001967 - 4,09416666666667E-06) / (0,00001967 + 4,09416666666667E-06)$
 $\psi_f = 0,66$... parametr nesymetrie průřezu

a proto

C2 = 0,39

a

C3 = 0,81

Bezrozměrné parametry (dle NB.3.2 normy)

$kwt = (PI() / (kw * L)) * ((E * I_w) / (G * I_t))^{0,5}$
 $kwt = (PI() / (0,5 * 2,05)) * ((210 * 0,0000008705) / (81 * 0,000001768))^{0,5}$
 $kwt = 3,4600E+00$... bezrozměrný parametr kroucení

$\zeta_g = ((PI() * z_g) / (kz * L)) * ((E * I_z) / (G * I_t))^{0,5}$
 $\zeta_g = ((PI() * 0,51) / (1 * 2,05)) * ((210 * 0,00002459) / (81 * 0,000001768))^{0,5}$
 $\zeta_g = 4,69$... bezrozměrný parametr působíště
zatížení vzhledem ke středu smyku

... bezrozměrný parametr nesymetrie
průřezu

... bezrozměrný kritický moment

... kritický moment

... poměrná štihlost v klopení

$$\chi_{LT} = 1/(\phi_{LT} + (\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2)^{0,5})$$

$$\chi_{LT} = 1/(0,583335844333452 + (0,583335844333452^2 - 0,300493709498408^2)^{0,5})$$

$$\chi_{LT} = 0,92 < 1$$

$$\chi_{LT} = \boxed{0,92}$$

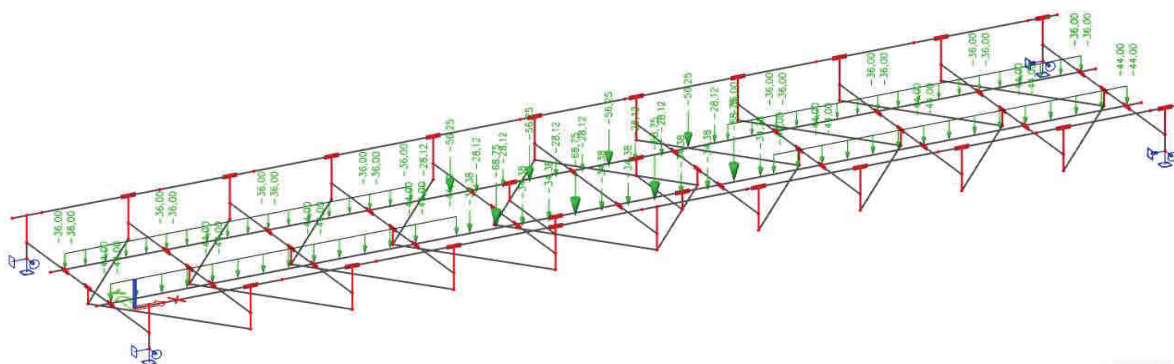
... součinitel klopení

Bylo ověřeno, že posouzení podélníků na klopení vychází stejně jak pro krajní příčnky tak pro příčnky uprostřed.

► Posouzení hlavních nosníků

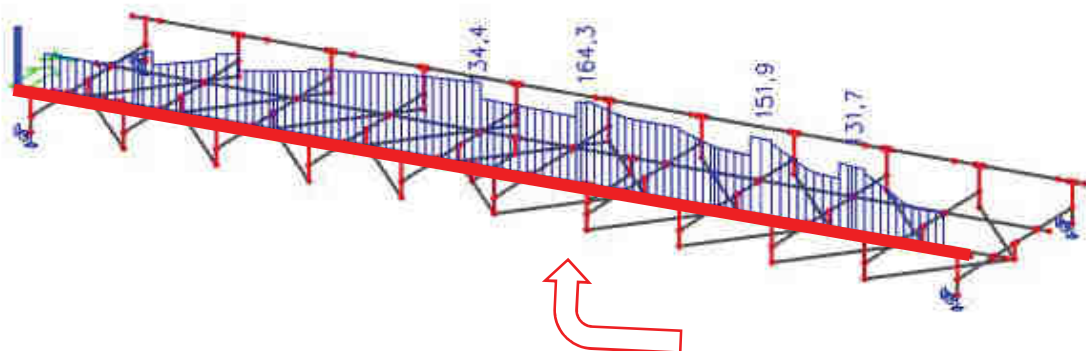
- Pro posouzení hlavního nosníku byla uvažována kombinace dle rovnice 6.10 b
- Posouzení MSÚ bylo provedeno porovnáním napětí Von Mises.
- Stabilitní jevy (boulení, stabilita tlačných částí) byly zohledněny při výpočtu výsledného napětí
- Z hlediska smykového namáhání hlavního nosníku byla posouzena stojina v blízkosti podpor
- Z hlediska maximálního ohybového namáhání byly posouzeny horní a dolní pásnice cca uprostřed rozpětí

Postavení zatížení dopravou LM71 pro posouzení dolní pásnice (nejnamáhanější prvek)



● Dolní pásnice

- Kritické napětí na dolní pásnici hlavního nosníku vzniká při poloze vlaku uprostřed rozpětí
- Při posouzení dolní pásnice byl uvažován průřez oslabený v tažené části o průměry nýtu + 1 mm.
- Redukce pomocí oslabených průřezů je provedena podílem momentů setrvačnosti oslabeného a neosl. průřezu



Napětí na nosníku

Kritická kombinace:

$$ZS1 \cdot \gamma_G \cdot \xi_{1,4} + ZS2 \cdot \gamma_{G1} \cdot \xi + ZS3 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS4 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS5 \cdot \gamma_Q \cdot \phi_3 + ZS6 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS7 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS8 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0$$

	σ_E [MPa]
Celkové napětí	164,3
LM71 (char. hodnota)	80,3
BR (char. hodnota)	10,0
Rozjezdové síly (char. hodnota)	8,8
Ostatní proměnné (vitr, teplota..., char. hodnota)	7,5
Stálé zatížení (char. hodnota)	11,7

Posuzované napětí $f_d =$ $f_{yk}/\gamma_{M0} =$ 209 MPa
 Redukce o oslabený průřez = 0,89
 Zredukováná únosnost $f_{d,red} =$ 186 MPa

Posouzení

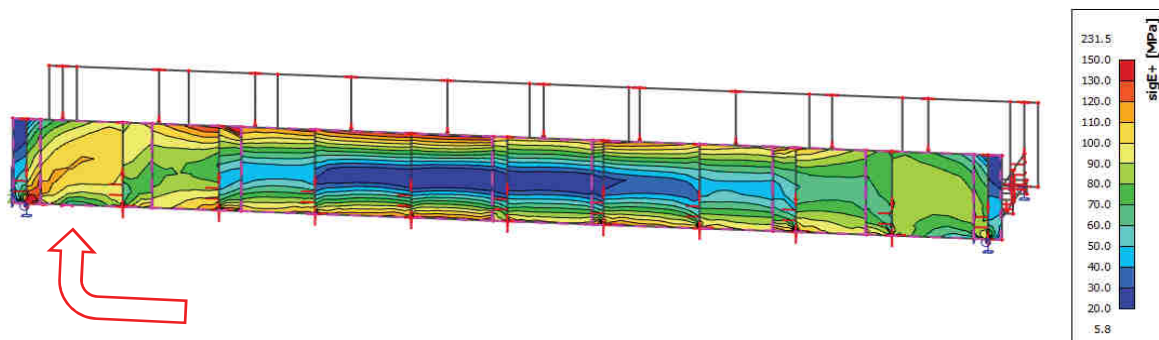
$\sigma_E < f_{d,red}$
 164,3 < 186 **Vyhovuje**

ZLM71=	$(f_d - \sigma_{rs})/\sigma_{LM71} =$	1,17
--------	---------------------------------------	------

Vyhovuje na účinky zatížení LM71

• Stojina

- Kritické napětí na stojině hlavního nosníku vzniká při poloze vlaku nad podporou
- Únosnost stojiny byla redukována součinitelem pro boulení stojiny ve smyku
- Stojina byla posouzena na deskostěnovém modelu



Napětí na stojině

Kritická kombinace:

$$ZS1 \cdot \gamma_G \cdot \xi \cdot 1,4 + ZS2 \cdot \gamma_{G1} \cdot \xi + ZS3 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS4 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS5 \cdot \gamma_Q \cdot \phi_3 + ZS6 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS7 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS8 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0$$

	σ_E [MPa]
Celkové napětí	121,0
LM71 (char. hodnota)	59,0
BR (char. hodnota)	1,0
Rozjezdové síly (char. hodnota)	7,5
Ostatní proměnné (vitr, teplota..., char. hodnota)	4,8
Stálé zatížení (char. hodnota)	8,8

Posuzované napětí $f_d =$ $f_{yk}/\gamma_{M0} =$ 209 MPa
 Redukce vlivem boulení $\chi_w =$ 0,745
 Zredukovaná únosnost $f_{d,red} =$ 156 MPa

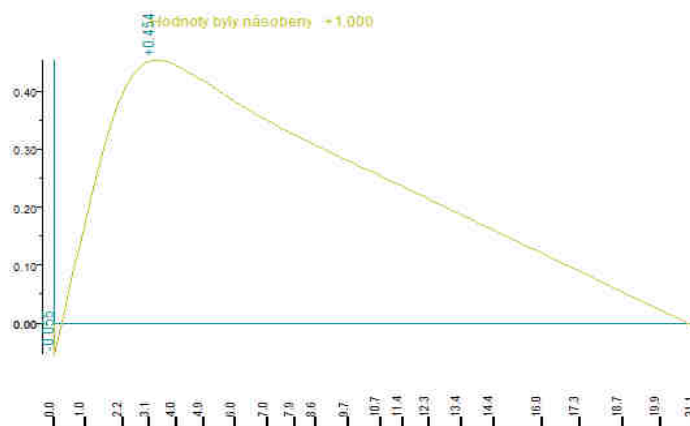
Posouzení

$\sigma_E < f_{d,red}$
 121,0 < 156 **Vyhovuje**

ZLM71=	$(f_d - \sigma_{rs})/\sigma_{LM71} =$	1,37
--------	---------------------------------------	------

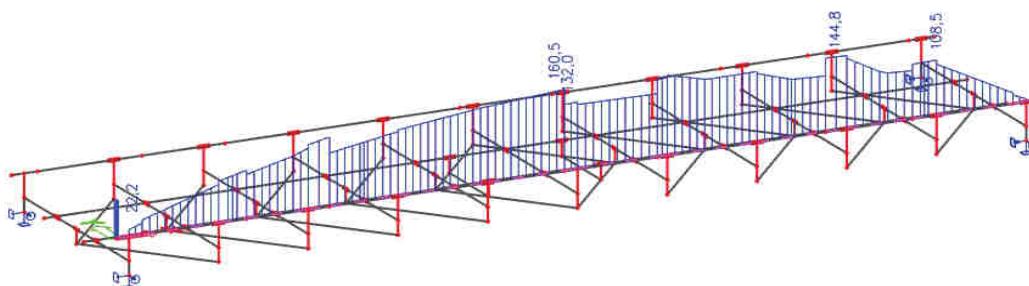
Vyhovuje na účinky zatížení LM71

Příčinková čára pro kritické namáhání stojiny od smyku



• Horní pásnice

- Kritické napětí na horní pásnici hlavního nosníku vzniká při poloze vlaku uprostřed rozpětí
- Klopení tlačené části průřezu neuvažujeme, je dostatečně podepřena U - rámy
- Byl zohledněn oslabený průřez vlivem 4 třídy zatřídění hlavního nosníku
- Smyk má vliv na únosnost v ohybu a do výpočtu celkového napětí bude tento příspěvek započítán



Napětí na nosníku

Kritická kombinace:

$$ZS1 \cdot \gamma_G \cdot \xi^{1,4} + ZS2 \cdot \gamma_G \cdot \xi + ZS3 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS4 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS5 \cdot \gamma_Q \cdot \phi_3 + ZS6 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS7 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS8 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0$$

	σ_E [MPa]
Celkové napětí	161,6
LM71 (char. hodnota)	83,2
BR (char. hodnota)	7,2
Rozjezdové síly (char. hodnota)	4,9
Ostatní proměnné (vitr, teplota..., char. hodnota)	6,9
Stálé zatížení (char. hodnota)	12,2

Posuzované napětí $f_d =$ $f_{yk}/\gamma_{M0} =$ 209 MPa
 Redukce o oslabený průřez = 0,99 (dle momentů setrvačnosti $I_{y,eff} / I_y$)
 Zredukováná únosnost $f_{d,red} =$ 207 MPa

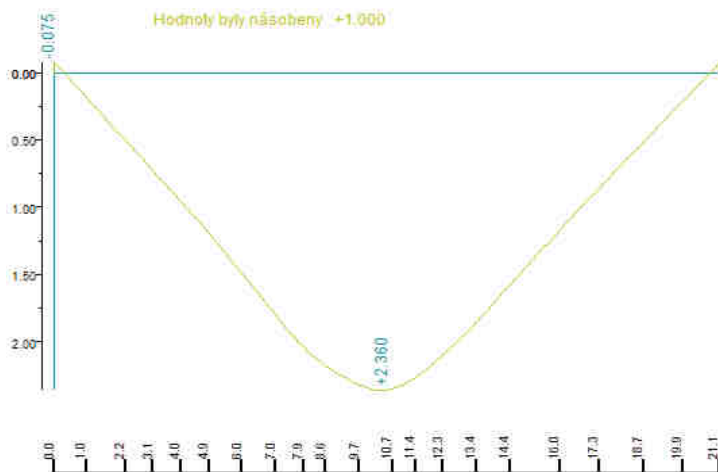
Posouzení

$\sigma_E < f_{d,red}$
 161,6 < 207 **Vyhovuje**

ZLM71=	$(f_d - \sigma_{rs}) / \sigma_{LM71} =$	1,34
--------	---	------

Vyhovuje na účinky zatížení LM71

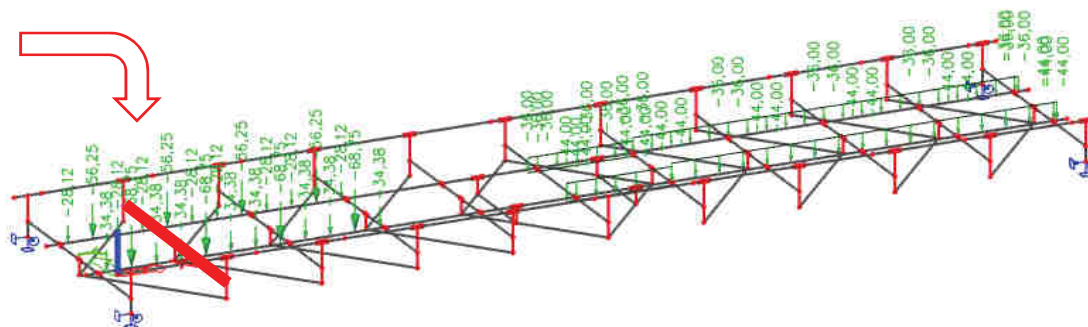
Příčinková čára pro hlavní nosník v nejkritičtějším namáhání - Ohyb (horní a dolní pásnice)



► Posouzení příčníků

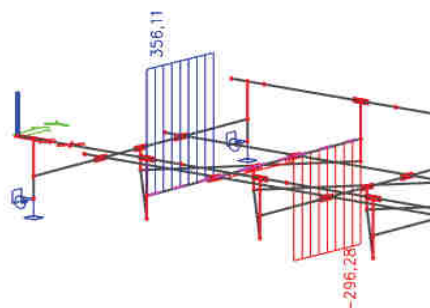
- Pro posouzení hlavního nosníku byla uvažována kombinace dle rovnice 6.10 b
- Posouzení MSÚ DP a HP bylo provedeno porovnáním napětí Von Mises. Stojina podle porovnání sil s limitní hodnotou
- Stabilitní jevy (boulení, stabilita tlačných částí) byly zohledněny při výpočtu výsledného napětí
- Byl posouzen nejnamáhanější příční, a to příčník číslo 2 v prutovém modelu

Postavení zatížení dopravou LM71 pro posouzení horní pásnice nejnamáhanějšího příčníku (č.2)



● Stojina

- Stojina byla posouzena na základě porovnání posouvajících sil z prutového modelu



Kritická kombinace:

$$ZS1 \cdot \gamma_G \cdot \xi \cdot 1,4 + ZS2 \cdot \gamma_G \cdot 1 \cdot \xi + ZS3 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS4 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS5 \cdot \gamma_Q \cdot \Phi_{3,PR} + ZS6 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS7 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS8 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0$$

	V_{ED} [kN]
Celková síla	356,0
LM71 (char. hodnota)	171,0
BR (char. hodnota)	2,5
Rozjezdové síly (char. hodnota)	0,2
Ostatní proměnné (vítr, teplota..., char. hodnota)	2,8
Stálé zatížení (char. hodnota)	7,0

Posouvající síla V_{ED} =	356 kN	
výška stojiny h_w =	0,65 m	účinná výška uvažována jako vzdálenost mezi nýty
tloušťka stojiny t_w =	0,01 m	
Mez kluzu f_{yw} =	230 MPa	
součinitel γ_{M1} =	1,2	
Únosnost ve smyku $V_{bw,RD}$ =	$(f_{yw} \cdot h_w \cdot t_w) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}) =$	719,3 kN

Posouzení

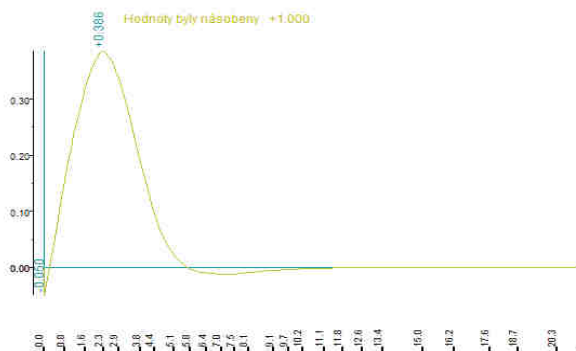
$V_{ED} / V_{bw,RD}$	\leq	1	($\leq 0,5$ v případě, že únosnost ve smyku nemá vliv na ohybovou únosnost)
0,49	\leq	1	Vyhoví bez vlivu na ohybovou únosnost

Zatížitelnost

$$Z_{LM71} = \frac{(V_{bw, RD} - V_{rs}) / V_{LM71}}{2,11}$$

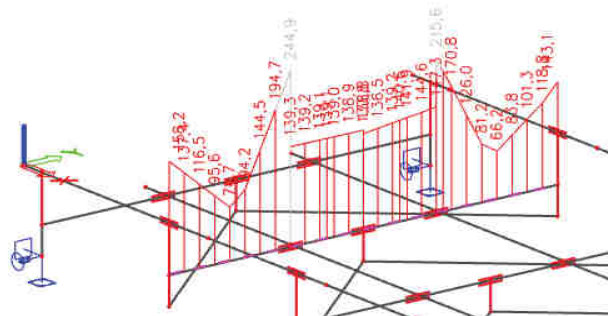
Vyhovuje na účinky zatížení LM71

Příčinková čára pro max Vz



• Dolní pásnice

- Při posouzení dolní pásnice byl uvažován průřez oslabený v tažené části o průměry nýtu + 1 mm.
- Redukce pomocí oslabených průřezů je provedena podílem momentů setrvačnosti oslabeného a neosl. průřezu
- Největší napětí bylo v místě připojení podélníku na příčnici (špička napětí), zde je však průřez dostatečně dovyztužen svislými úhelníky. Tento fakt není v modelu zaveden. Byla tedy brána hodnota, která se nachází mimo tento spoj.



Napětí na nosniku

Kritická kombinace:

$$ZS1 * \gamma_G * \xi_{1,4} + ZS2 * \gamma_G * \xi_1 + ZS3 * \gamma_Q * \psi_0 + ZS4 * \gamma_Q * \psi_0 + ZS5 * \gamma_Q * \psi_3 + ZS7 * \gamma_Q * \psi_0 + ZS8 * \gamma_Q * \psi_0$$

	σ_E [MPa]
Celkové napětí	195,0
LM71 (char. hodnota)	77,6
BR (char. hodnota)	3,0
Rozjezdové síly (char. hodnota)	26,0
Ostatní proměnné (vítr, teplota..., char. hodnota)	3,3
Stálé zatížení (char. hodnota)	8,0

Posuzované napětí $f_d =$ $f_{yk} / \gamma_{M0} =$ 209 MPa
 Redukce o oslabený průřez = 0,94
 Zredukovaná únosnost $f_{d,red} =$ 196 MPa

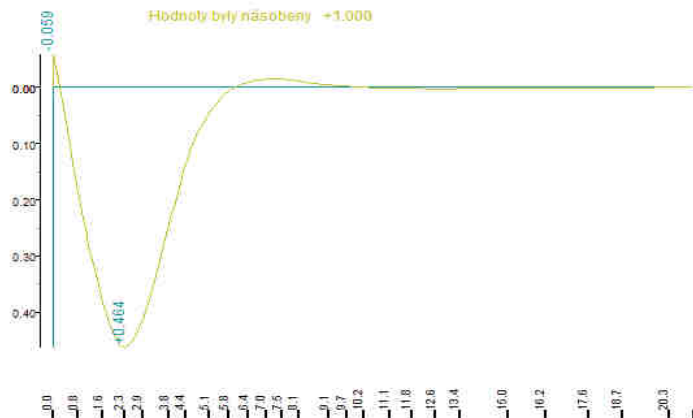
Posouzení

$\sigma_E < f_{d,red}$
 195,0 < 196 Vyhovuje

$$Z_{LM71} = \frac{(f_d - \sigma_{rs}) / \sigma_{LM71}}{1,01}$$

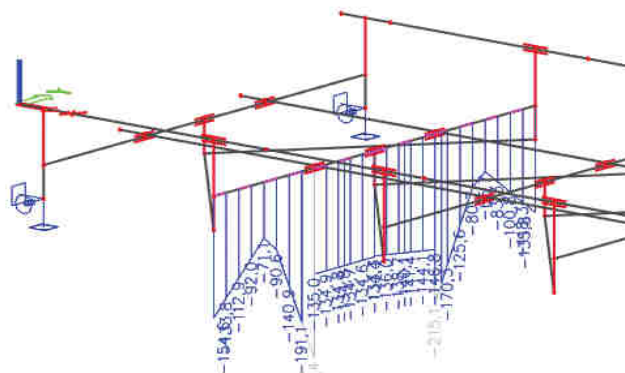
Vyhovuje na účinky zatížení LM71

Příčinková čára pro max My



• Horní pásnice

- Poloha vlaku pro kritické namáhání viz obrázek výše
- Klopení je v posouzení zohledněno pomocí součinitele klopení χ_{LT}
- Největší napětí bylo v místě připojení podélníku na příčník (špička napětí), zde je však průřez dostatečně dovzdužen úhelníky. Tento fakt není v modelu zaveden. Byla tedy brána hodnota, která se nachází mimo tento vyztužený spoj



Napětí na nosníku

Kritická kombinace:

$$ZS1 \cdot \gamma_G \cdot \xi \cdot 1,4 + ZS2 \cdot \gamma_G \cdot \xi + ZS3 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS4 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS5 \cdot \gamma_Q \cdot \Phi_3 + ZS7 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS8 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0$$

	σ_E [MPa]
Celkové napětí	191,1
LM71 (char. hodnota)	75,8
BR (char. hodnota)	3,0
Rozjezdové síly (char. hodnota)	25,8
Ostatní proměnné (vitr, teplota..., char. hodnota)	3,3
Stálé zatížení (char. hodnota)	8,0

Posuzované napětí $f_d =$ $f_{yk}/\gamma_{M0} =$ 209 MPa

Redukce o součinitel klopení $\chi_{LT} =$ 0,99

Zredukovaná únosnost $f_{d,red} =$ 207 MPa

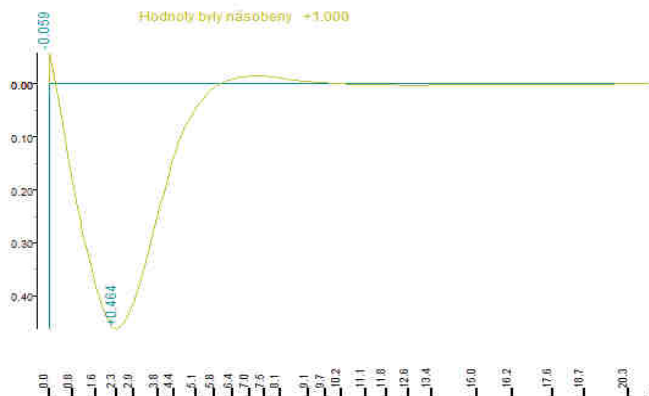
Posouzení

$\sigma_E < f_{d,red}$
 191,1 < 207 **Vyhovuje**

$Z_{LM71} = (f_d \cdot \sigma_{rs}) / \sigma_{LM71} = 1,11$

Vyhovuje na účinky zatížení LM71

Příčinková čára pro max M_y

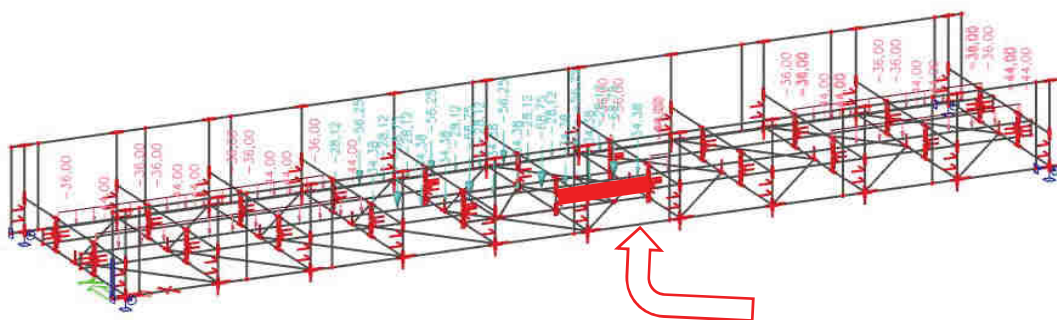


► Posouzení podélníků - podélník uprostřed rozpětí

- Při posouzení podélníků byly zohledněny lokální i globální účinky zatížení

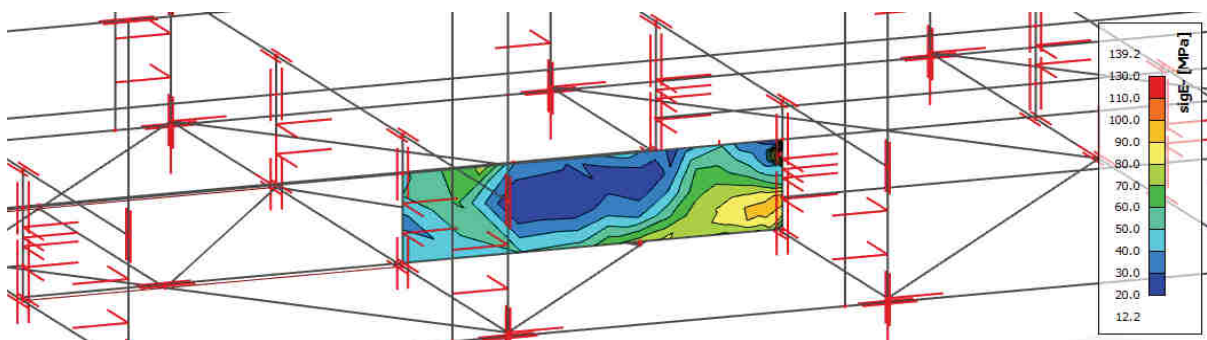
- Pro přesnější posouzení napětí byl použit 3D deskostěnový model, vzhledem k tomu, že účinky bočních rázů působí zejména na horní pásnici

Nejkritičtější postavení schéma LM71 při posouzení prostředních podélníků (horní pásnice) :



• Stojina

- Stojina byla posouzena na základě porovnání napětí na stěně deskostěnového modelu, vzhledem k její výšce



Napětí na stojině

Kritická kombinace:

$$ZS1 \cdot \gamma_G \cdot \xi^{1,4} + ZS2 \cdot \gamma_G \cdot \xi + ZS3 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS4 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS5 \cdot \gamma_Q \cdot \phi_3 + ZS6 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS7 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS8 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0$$

	σ_E [MPa]
Celkové napětí	91,2
LM71 (char. hodnota)	33,0
BR (char. hodnota)	3,9
Rozjezdové síly (char. hodnota)	7,0
Ostatní proměnné (vítr, teplota..., char. hodnota)	1,9
Stálé zatížení (char. hodnota)	4,1

Posuzované napětí $f_d =$ $f_{yk}/\gamma_{M0} =$ 209 MPa
 Redukce vlivem boulení $\chi_w =$ 1,000
 Zredukovaná únosnost $f_{d,red} =$ 209 MPa

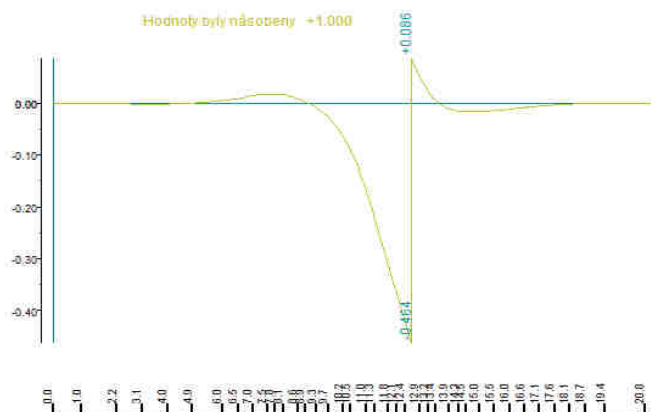
Posouzení

$\sigma_E < f_{d,red}$
 91,2 < 209 Vyhovuje

ZLM71=	$(f_d - \sigma_{rs})/\sigma_{LM71} =$	2,64
--------	---------------------------------------	------

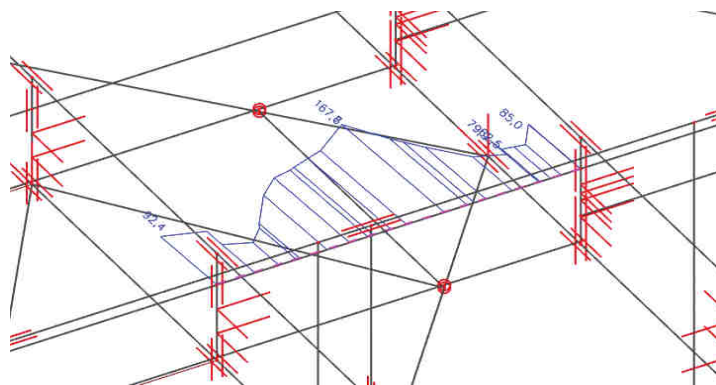
Vyhovuje na účinky zatížení LM71

Příčinková čára pro kritické namáhání stojiny od smyku



• Horní pásnice

-Vzhledem k pozici zatížení od bočních rázů, které působí zejména na horní pásnici, byl použit deskostěnový model



Napětí na nosníku

Kritická kombinace:

$ZS1 \cdot \gamma_G \cdot \xi \cdot 1,4 + ZS2 \cdot \gamma_G \cdot \xi + ZS3 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS4 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS5 \cdot \gamma_Q \cdot \phi_3 + ZS6 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS7 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS8 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0$

	σ_E [MPa]
Celkové napětí	168,0
LM71 (char. hodnota)	33,0
BR (char. hodnota)	67,4
Rozjezdové síly (char. hodnota)	1,8
Ostatní proměnné (vitr, teplota..., char. hodnota)	4,9
Stálé zatížení (char. hodnota)	2,0

Posuzované napětí $f_d =$	$f_{yk}/\gamma_{M0} =$	209 MPa
Redukce vlivem klopení $\chi_{LT} =$		0,92
Zredukovaná únosnost $f_{d,red} =$		192 MPa

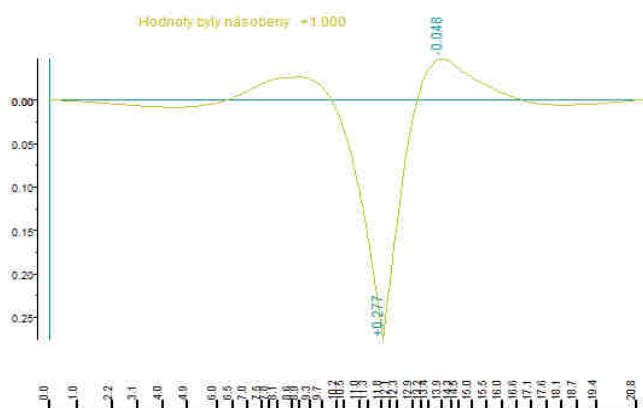
Posouzení

σ_E	<	$f_{d,red}$	
168,0	<	192	Vyhovuje

ZLM71=	$(f_d - \sigma_{rs})/\sigma_{LM71} =$	1,34
--------	---------------------------------------	------

Vyhovuje na účinky zatížení LM71

Příčinková čára pro kritické namáhání ohybem



Vliv lokálních účinků - posouzení horní pásnice

Návrhová únosnost v lokálním boulení FRD =	$(f_{yw} \cdot I_{eff} \cdot t_w) / \gamma_{M1} =$	681,0 kN
tloušťka stojiny $t_w =$		0,01 m
mez kluzu $f_{yw} =$		230 MPa
modul pružnosti pro ocel $E =$		210 GPa
účinná délka pro únosnost příčné síly $I_{eff} =$	$\chi_F \cdot \lambda_y =$	0,36 m

Výpočet součinitele lokálního boulení

součinitel lokálního boulení $\chi_F =$	$0,5/\lambda_F =$	0,86
	$\chi_F < 1,0$, dochází k lokálnímu boulení!	
poměrná štíhlost $\lambda_F =$	$\sqrt{(\lambda_y \cdot t_w \cdot f_{yw} / F_{cr})} =$	0,58
kritická síla $F_{cr} =$	$0,9 \cdot k_F \cdot E \cdot t_w^3 / h_w =$	2802,73 kN
Příčná výztuha		ANO
Způsob zatížení (dle tab. 6.1 ČSN EN 1993-1-5)		Pouze shora
součinitel k_F pro příčné výztuhy na krajích =	$6 + 2 \cdot (h_w/a)^2 =$	6,08
vzdálenost mezi výztuhama $a =$		2,05 m
Výška stojiny $h_w =$		0,41 m
vzdálenost $C =$ (pouze v případě nevyztužené stojiny)		0 m

Výpočet účinné délky zatížení

účinná zatížená délka $l_y =$	$S_s + 2 \cdot t_f \cdot (1 + \sqrt{(m_1 + m_2)}) =$	0,41 m
roznášecí délka $S_s =$		0,24 m
tloušťka pásnice $t_f =$		0,01 m
šířka pásnice $b_f =$		0,26 m
součinitel $m_1 =$	$f_{yf} \cdot b_f / (f_{yw} \cdot t_w) =$	26
součinitel $m_2 =$	$0,02 \cdot (h_w / t_f)^2 =$	33,62

Posouzení lokálních účinků (1 praezec)

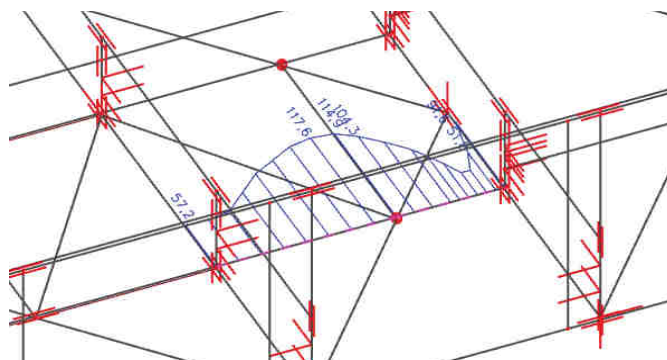
$\eta_{2,LM71} = \sigma_{z,LM71,Ed} / f_y / \gamma_{M1} =$	0,31
$\eta_{2,rs} = \sigma_{z,rs,Ed} / f_y / \gamma_{M1} =$	0,13
$\eta_2 = \sigma_{z,Ed} / f_y / \gamma_{M1} =$	0,44
0,44 < 1 ... únosnost vyhoví	
$Z_{LM71} = (1 - \eta_{2,rs}) / \eta_{2,LM71} =$	2,83

Interakce příčné síly, ohybového momentu a osově síly

$Z_{LM71} = (1,4 - (\eta_{2,rs} + 0,8 \eta_{1,rs})) / (\eta_{2,LM71} + 0,8 \eta_{1,LM71}) =$	1,43
$\eta_{1,rs} = \sigma_{z,rs,Ed} / (f_y \cdot \chi_{LT}) / \gamma_{M1} =$	0,50
$\eta_{1,LM71} = \sigma_{z,LM71,Ed} / (f_y \cdot \chi_{LT}) / \gamma_{M1} =$	0,37

• Dolní pásnice

-Vzhledem k pozici zatížení od bočních rázů, které působí zejména na horní pásnici, byl použit deskostěnový model



Napětí na nosniku

Kritická kombinace:

$$ZS1 \cdot \gamma_G \cdot \xi \cdot 1,4 + ZS2 \cdot \gamma_G \cdot 1 \cdot \xi + ZS3 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS4 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS5 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_3 + ZS6 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS7 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS8 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0$$

	σ_E [MPa]
Celkové napětí	118,0
LM71 (char. hodnota)	40,0
BR (char. hodnota)	13,1
Rozjezdové síly (char. hodnota)	5,9
Ostatní proměnné (vítr, teplota..., char. hodnota)	2,0
Stálé zatížení (char. hodnota)	3,8

Posuzované napětí $f_d =$	$f_{yk} / \gamma_{M0} =$	209 MPa
Redukce o oslabený průřez =	0,93	(dle momentů setrvačnosti $I_{y,eff} / I_y$)
Zredukovaná únosnost $f_{d,red} =$		193 MPa

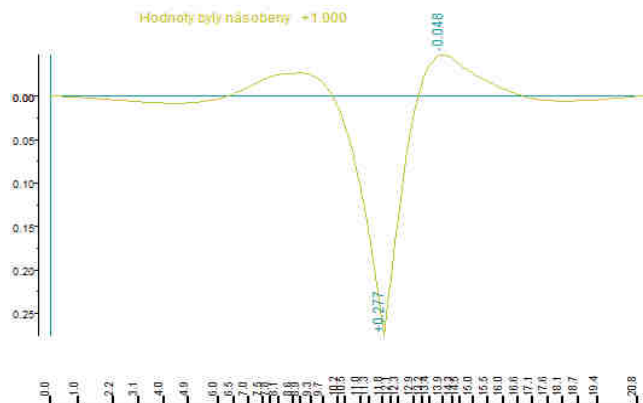
Posouzení

σ_E	<	$f_{d,red}$
118,0	<	193
Vyhovuje		

ZLM71=	$(f_d + \sigma_{rs}) / \sigma_{LM71} =$	1,87
--------	---	------

Vyhovuje na účinky zatížení LM71

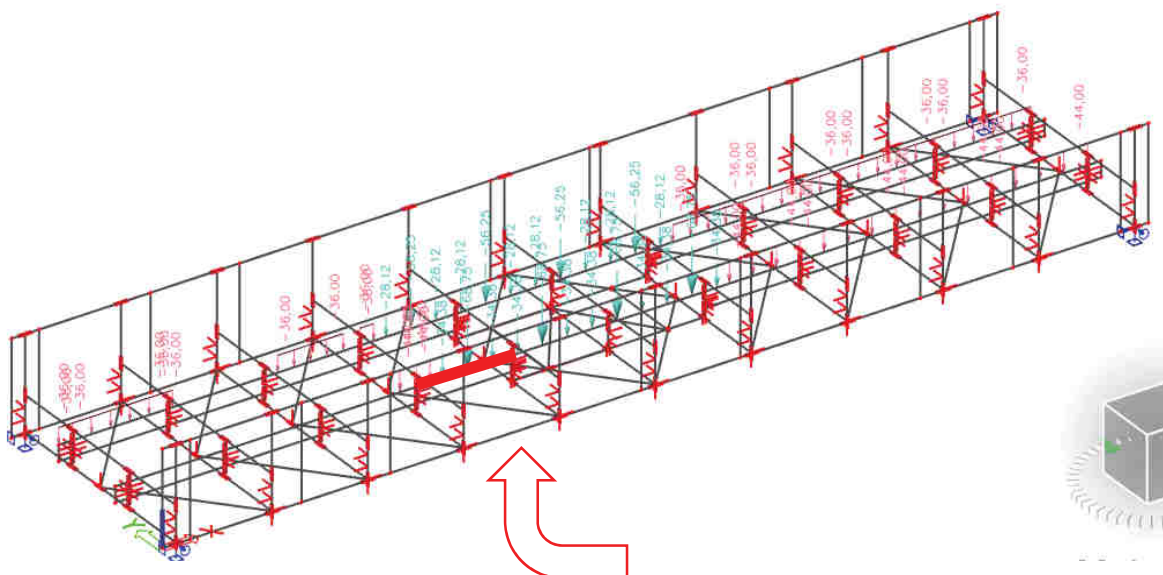
Příčinková čára pro kritické namáhání ohybem



► Posouzení podélníků - podélník menší

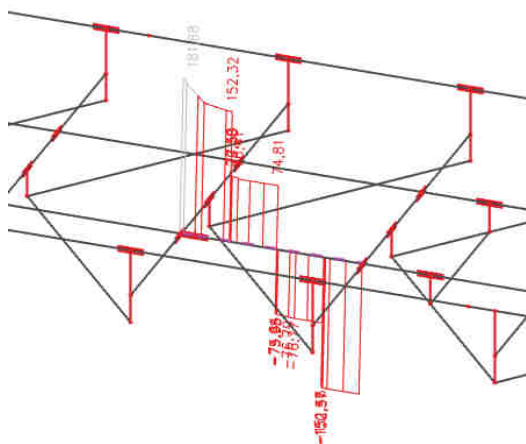
- Při posouzení podélníků byly zohledněny lokální i globální účinky zatížení
- Posouzení MSÚ DP a HP bylo provedeno porovnáním napětí Von Mises. Stojina podle porovnání sil s limitní hodnotou
- Stabilitní jevy (boulení, stabilita tlačných částí) byly zohledněny při výpočtu výsledného napětí
- Byl posouzen nejnamáhanější podélník (menší), viz obrázek

Kritické postavení zatížení dopravou LM71 (posouzení horní pásnice nejnamáhanějšího menšího podélníku) :



- **Stojina**

- Stojina byla posouzena na základě porovnání posouvajících sil z prutového modelu
- Extrém byl brán mimo spoj, tedy 0,17 m od okraje



Smyková síla na nosníku

$$ZS1*\gamma G*\xi^{1,4} + ZS2*\gamma G1*\xi + ZS3*\gamma Q*\psi_0 + ZS4*\gamma Q*\psi_0 + ZS5*\gamma Q*\phi_{3,PR} + ZS6*\gamma Q*\psi_0 + ZS7*\gamma Q*\psi_0 + ZS8*\gamma Q*\psi_0$$

	V_{ED} [kN]
Celková síla	170,3
LM71 (char. hodnota)	73,5
BR (char. hodnota)	1,4
Ostatní proměnné (vítr, teplota..., char. hodnota)	5,4
Stálé zatížení (char. hodnota)	3,2

Posouvající síla V_{ED} =	170,3 kN	
výška stojiny h_w =	0,23 m	účinná výška uvažována jako vzdálenost mezi nýty
tloušťka stojiny t_w =	0,01 m	
Mez kluzu f_{yw} =	230 MPa	
součinitel γ_{M1} =	1,2	
Únosnost ve smyku $V_{bw, RD}$ =	$(f_{yw} \cdot h_w \cdot t_w) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}) =$	254,5 kN

Posouzení

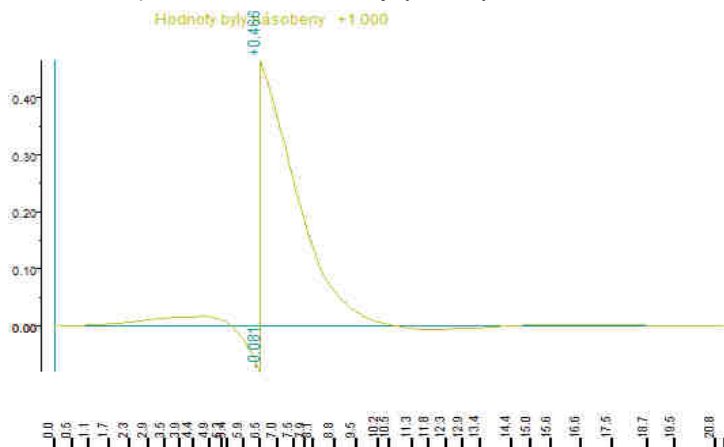
$V_{ED} / V_{bw, RD}$	\leq	1	($\leq 0,5$ v případě, že únosnost ve smyku nemá vliv na ohybovou únosnost)
0,67	\leq	1	Vyhoví, ale má vliv na ohybovou únosnost

Zatížitelnost

$$Z_{LM71} = (V_{bw,RD} - V_{rs}) / V_{LM71} = 1,53$$

Vyhovuje na účinky zatížení LM71

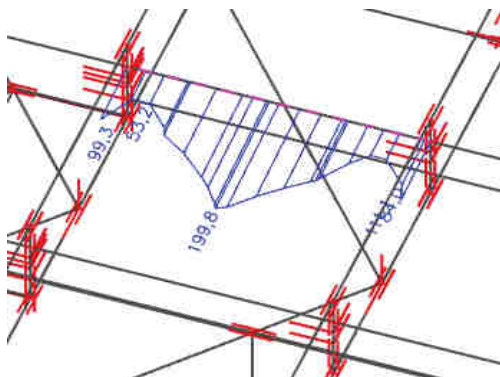
Příčinková čára pro kritické namáhání stojiny od smyku



• Horní pásnice

-Vzhledem k pozici zatížení od bočních rázů, které působí zejména na horní pásnici, byl použit deskostěnový model

-Vliv smykové síly na ohyb je zohledněn v napětí von Mises



Napětí na nosniku

Kritická kombinace:

$$ZS1 \cdot \gamma_G \cdot \xi \cdot 1,4 + ZS2 \cdot \gamma_G \cdot 1 \cdot \xi + ZS3 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS4 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS5 \cdot \gamma_Q \cdot \Phi_{3,POD} + ZS6 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS7 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS8 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0$$

	σ_E [MPa]
Celkové napětí	199,8
LM71 (char. hodnota)	34,7
BR (char. hodnota)	91,0
Rozjezdové síly (char. hodnota)	1,1
Ostatní proměnné (vítr, teplota..., char. hodnota)	4,0
Stálé zatížení (char. hodnota)	1,7

Posuzované napětí $f_d =$ $f_{yk}/\gamma_{M0} =$ 209 MPa
 Redukce vlivem klopení $\chi_{LT} =$ 0,93
 Zredukována únosnost $f_{d,red} =$ 194 MPa

Posouzení

σ_E < $f_{d,red}$
 199,8 > 194 **Nevyhovuje**

ZLM71=	$(f_d - \sigma_{rs})/\sigma_{LM71} =$	0,93
--------	---------------------------------------	------

Nevyhovuje, nutno určit přechodnost

Určení přechodnosti pro požadovanou třídu trati C3/80

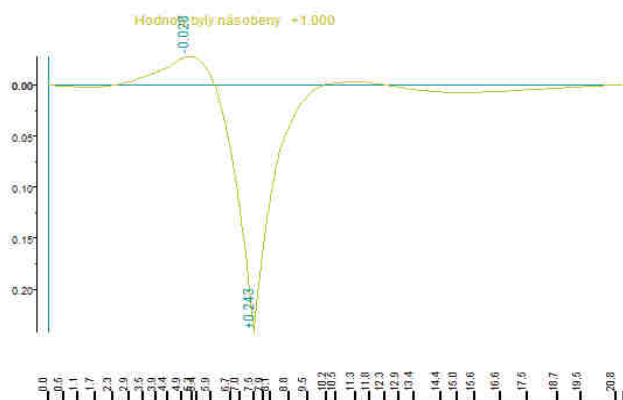
ψ	1,11	... součinitel dynamické redukce
φ_{Ti}	1,86	... dynamický součinitel provozního zatížení dle kapitoly 5.2, SŽ 5/1
Φ_i	1,68	... dynamický součinitel pro model LM71
λ_{LM71}	0,81	... účinnost provozního zatížení
ET,Ed	96,4 kNm	... návrhová hodnota ohybového momentu ověřovaného provozního zatížení
ELM71,Ed	119,8 kNm	... návrhová hodnota ohybového momentu účinku zatížení modelu LM71

Posudek

0,93 > 0,89 ... **Vyhoví na požadovanou přechodnost**

ZLM71 > $\psi \cdot \lambda_{LM71}$

Příčinková čára pro kritické namáhání ohybem



Vliv lokálních účinků - posouzení horní pásnice

Návrhová únosnost v lokálním boulení FRD =	$(f_{yw} \cdot I_{eff} \cdot t_w) / \gamma_{M1} =$	825,6 kN
tloušťka stojiny $t_w =$		0,01 m
mez kluzu $f_{yw} =$		230 MPa
modul pružnosti pro ocel E =		200 GPa
účinná délka pro únosnost příčné síly $I_{eff} =$	$\chi_F \cdot \lambda_y =$	0,43 m

Výpočet součinitele lokálního boulení

součinitel lokálního boulení $\chi_F =$	$0,5 / \lambda_F =$	1,19
Nedochází k lokálnímu boulení		
poměrná štíhlost $\lambda_F =$	$\sqrt{(\lambda_y \cdot t_w \cdot f_{yw} / F_{cr})} =$	0,42
kritická síla $F_{cr} =$	$0,9 \cdot k_F \cdot E \cdot t_w^3 / h_w =$	4715,35 kN
Příčná výztuha		ANO
Způsob zatížení (dle tab. 6.1 ČSN EN 1993-1-5)		Pouze shora
součinitel k_F pro příčné výztuhy na krajích =	$6 + 2 \cdot (h_w / a)^2 =$	6,03
vzdálenost mezi výztuhama a =		2,05 m
Výška stojiny $h_w =$		0,23 m
vzdálenost C = (pouze v případě nevyztužené stojiny)		0 m

Výpočet účinné délky zatížení

účinná zatížená délka $l_y =$	$S_s + 2 \cdot t_f \cdot (1 + \sqrt{(m_1 + m_2)}) =$	0,36 m
roznášecí délka $S_s =$		0,24 m
tloušťka pásnice $t_f =$		0,01 m
šířka pásnice $b_f =$		0,26 m
součinitel $m_1 =$	$f_y \cdot b_f / (f_y \cdot w \cdot t_w) =$	26
součinitel $m_2 =$	neuvažujeme, zadej 0	0,00

Posouzení lokálních účinků (1 praezec)

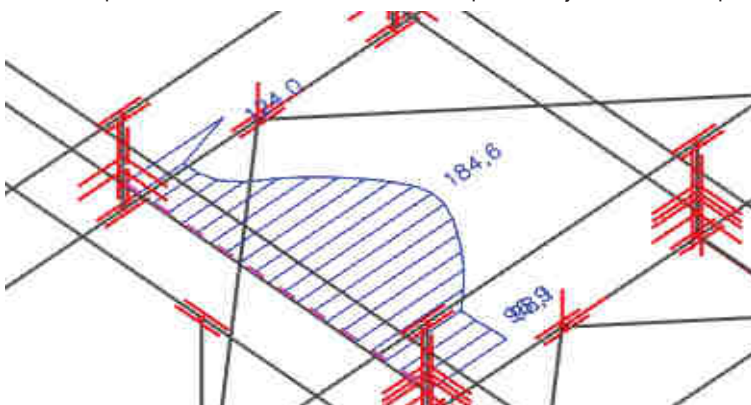
$\eta_{2,LM71} = \sigma_{z,LM71,Ed} / f_y / \gamma_{M1} =$	0,25
$\eta_{2,rs} = \sigma_{z,rs,Ed} / f_y / \gamma_{M1} =$	0,11
$\eta_2 = \sigma_{z,Ed} / f_y / \gamma_{M1} =$	0,36
0,36 < 1 ... únosnost vyhoví	
$Z_{LM71} = (1 - \eta_{2,rs}) / \eta_{2,LM71} =$	3,53

Interakce příčné síly, ohybového momentu a osově síly

$Z_{LM71} = (1,4 - (\eta_{2,rs} + 0,8 \eta_{1,rs})) / (\eta_{2,LM71} + 0,8 \eta_{1,LM71}) =$	1,38
$\eta_{1,rs} = \sigma_{z,rs,Ed} / (f_y \cdot \chi_{LT}) / \gamma_{M1} =$	0,64
$\eta_{1,LM71} = \sigma_{z,LM71,Ed} / (f_y \cdot \chi_{LT}) / \gamma_{M1} =$	0,39

• Dolní pásnice

-Vzhledem k pozici zatížení od bočních rážů, které působí zejména na horní pásnici, byl použit deskostěnový model



Napětí na nosníku

Kritická kombinace:

$$ZS1 \cdot \gamma_G \cdot \xi \cdot 1,4 + ZS2 \cdot \gamma_G \cdot \xi + ZS3 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS4 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS5 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS6 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS7 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS8 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0$$

	σ_E [MPa]
Celkové napětí	184,6
LM71 (char. hodnota)	58,7
BR (char. hodnota)	35,8
Rozjezdové síly (char. hodnota)	3,7
Ostatní proměnné (vítr, teplota..., char. hodnota)	4,0
Stálé zatížení (char. hodnota)	4,8

Posuzované napětí $f_d =$	$f_{yk}/\gamma_{M0} =$	209 MPa
Redukce vlivem klopení $\chi_{LT} =$		0,92
Zredukovaná únosnost $f_{d,red} =$		193 MPa

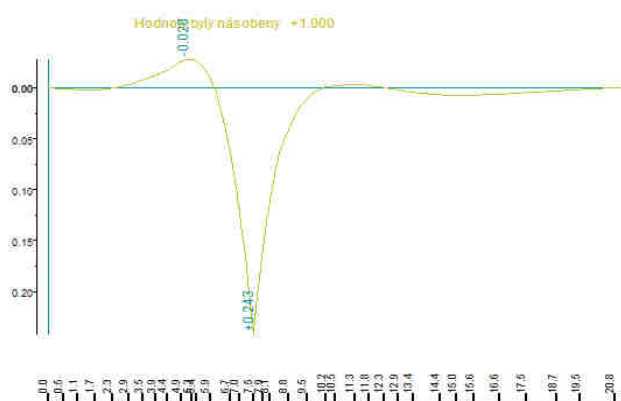
Posouzení

σ_E	<	$f_{d,red}$	
184,6	<	193	Vyhovuje

ZLM71=	$(f_d - \sigma_{rs})/\sigma_{LM71} =$	1,07
--------	---------------------------------------	------

Vyhovuje na účinky zatížení LM71

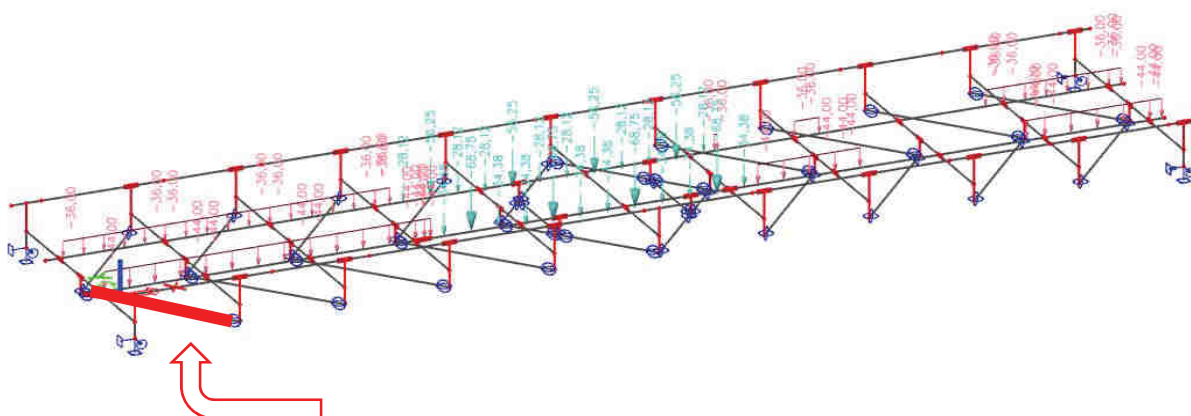
Příčinková čára pro kritické namáhání ohybem



► Posouzení ztužidel - krajní 2xL80/80/8

- byla posouzena všechna krajní ztužidla, ovšem ve statickém výpočtu je uvedeno jen nejnamáhanější ztužidlo
- při posouzení v tahu byla plocha průřezu redukována o průměry nýty + 1 mm
- při posouzení v tlaku byl do výpočtu zaveden součinitel pro rovinný vzpěr (jedná se o dvojice úhelníků)

Pozice vlaku pro nejnamáhanější ztužidlo (tlačené)



Napětí na prutu - tlak

Kritická kombinace:

$$ZS1 \cdot \gamma_G \cdot \xi_{1,4} + ZS2 \cdot \gamma_{G1} \cdot \xi + ZS3 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS4 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS5 \cdot \gamma_Q \cdot \phi_3 + ZS6 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS7 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS8 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0$$

	σ_E [MPa]
Celková síla	100,0
LM71 (char. hodnota)	26,5
BR (char. hodnota)	18,1
Rozjezdové síly (char. hodnota)	22,0
Ostatní proměnné (vitr, teplota..., char. hodnota)	14,6
Stálé zatížení (char. hodnota)	1,1

Plocha průřezu A = 0,0024 m²

Posuzované napětí $f_d = f_{yk}/\gamma_{M0} = 209$ MPa

Redukce vlivem vzpěru $\chi = 0,46$

Zredukovaná únosnost $f_{d,red} = 96$ MPa

Posouzení

$\sigma_N < f_{d,red}$
100,0 > 96 **Nevyhovuje**

ZLM71=	$(f_d - \sigma_{rs})/\sigma_{LM71} =$	0,91
--------	---------------------------------------	------

Nevyhovuje, nutno určit přechodnost

Určení přechodnosti pro požadovanou třídu trati C3/80

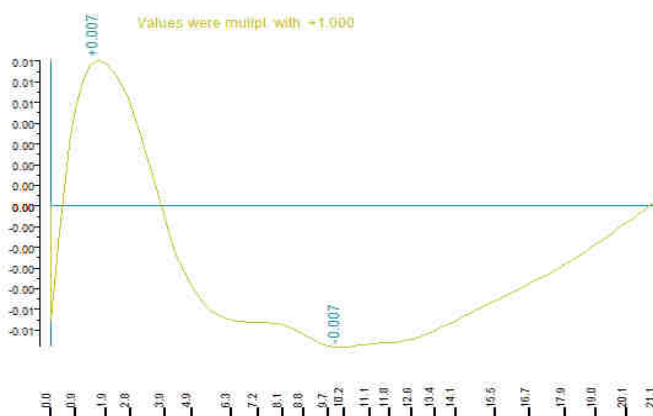
ψ	1,09	... součinitel dynamické redukce
φ_{Ti}	1,34	... dynamický součinitel provozního zatížení dle kapitoly 5.2, SŽ 5/1
ϕ_i	1,23	... dynamický součinitel pro model LM71
λ_{LM71}	0,82	... účinnost provozního zatížení
ET, Ed	29,8 MPa	... návrhová hodnota ohybového momentu ověřovaného provozního zatížení
ELM71, Ed	36,5 MPa	... návrhová hodnota ohybového momentu účinku zatížení modelu LM71

Posudek

0,91 > 0,89 ... **Vyhoví na požadovanou přechodnost**

ZLM71 > $\psi \cdot \lambda_{LM71}$

Příčinková čára pro normálovou sílu



Napětí na prutu - tah

Kritická kombinace:

$$ZS1 \cdot \gamma_G \cdot \xi_{1,4} + ZS2 \cdot \gamma_{G1} \cdot \xi + ZS3 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS4 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS5 \cdot \gamma_Q \cdot \phi_3 + ZS6 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS7 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS8 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0$$

	σ_E [MPa]
Celková síla	98,3
LM71 (char. hodnota)	11,9
BR (char. hodnota)	19,1
Rozjezdové síly (char. hodnota)	37,0
Ostatní proměnné (vitr, teplota..., char. hodnota)	18,1
Stálé zatížení (char. hodnota)	3,1

Oslabená plocha průřezu $A_{net} = 0,0018 \text{ m}^2$

Posuzované napětí $f_d = f_{yk} / \gamma_{M0} = 209 \text{ MPa}$

Redukce vlivem oslabené plochy $0,72$

Zredukovaná únosnost $f_{d,red} = 151 \text{ MPa}$

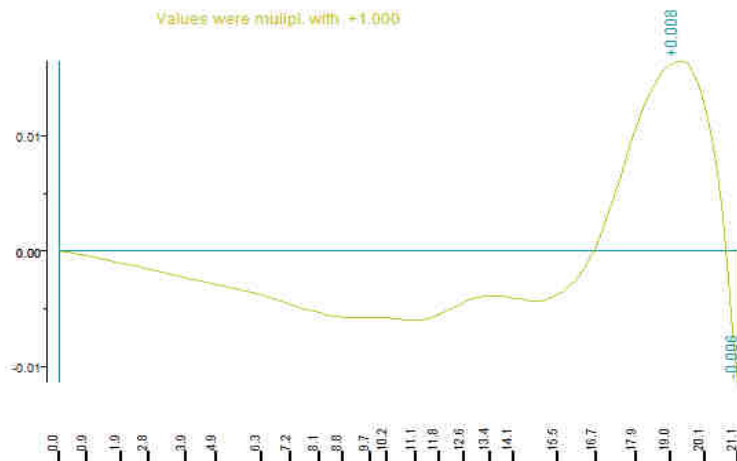
Posouzení

$\sigma_N < f_{d,red}$
98,3 < 151 Vyhovuje

ZLM71=	$(f_d - \sigma_{rs}) / \sigma_{LM71} = 3,78$
---------------	--

Vyhovuje na účinky zatížení LM71

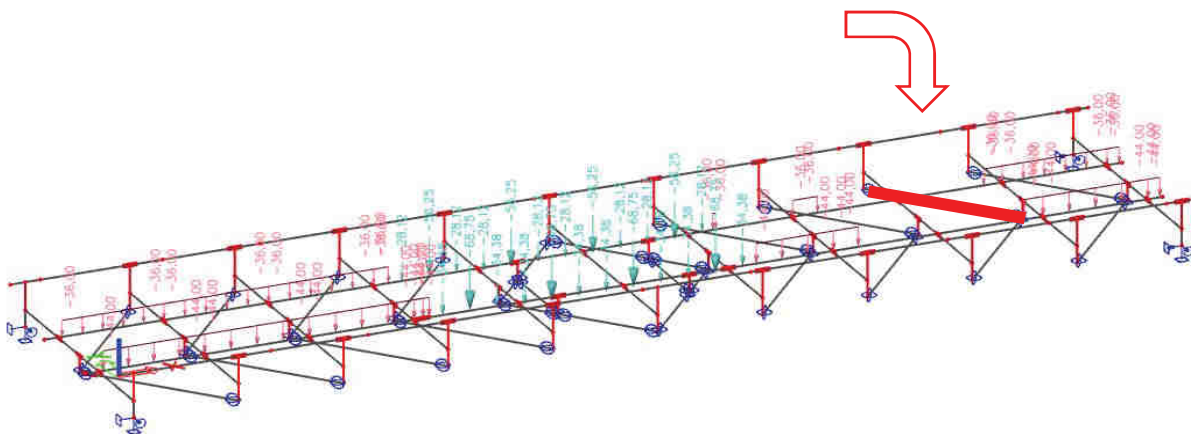
Příčinková čára pro normálovou sílu



► Posouzení ztužidel - mezilehlá 2xL70/70/9

- byla posouzena všechna mezilehlá ztužidla, ovšem ve statickém výpočtu je uvedeno jen nejnamáhanější ztužidlo
- při posouzení v tahu byla plocha průřezu redukována o průměry nýty + 1 mm
- při posouzení v tlaku byl do výpočtu zaveden součinitel pro rovinný vzpěr (jedná se o dvojice úhelníků)

kritická pozice zatížení LM71 pro nejnamáhanější tlačené ztužidlo



Napětí na prutu - tlak

Kritická kombinace:

$$ZS1*\gamma G*\xi*1,4 + ZS2*\gamma G1*\xi + ZS3*\gamma Q*\psi_0 + ZS4*\gamma Q*\psi_0 + ZS5*\gamma Q*\psi_3 + ZS6*\gamma Q*\psi_0 + ZS7*\gamma Q*\psi_0 + ZS8*\gamma Q*\psi_0$$

	σ_E [MPa]
Celková síla	84,8
LM71 (char. hodnota)	16,8
BR (char. hodnota)	20,4
Rozjezdové síly (char. hodnota)	24,3
Ostatní proměnné (vítr, teplota..., char. hodnota)	15,7
Stálé zatížení (char. hodnota)	1,9

Posuzované napětí $f_d =$	$f_{yk}/\gamma_{M0} =$	209 MPa
Redukce vlivem vzpěru $\chi =$		0,39
Zredukovaná únosnost $f_{d,red} =$		82 MPa

Posouzení

σ_N	<	$f_{d,red}$
84,8	>	82

Nevyhovuje

ZLM71=	$(f_d - \sigma_{rs})/\sigma_{LM71} =$	0,88
--------	---------------------------------------	------

Nevyhovuje, nutno určit přechodnost

Určení přechodnosti pro požadovanou třídu trati C3/80

ψ	1,09	... součinitel dynamické redukce
φ_{Ti}	1,34	... dynamický součinitel provozního zatížení dle kapitoly 5.2, SŽ 5/1
Φ_i	1,23	... dynamický součinitel pro model LM71
λ_{LM71}	0,83	... účinnost provozního zatížení
ET,Ed	4,0	kN ... návrhová hodnota normálové síly ověřovaného provozního zatížení
ELM71,Ed	4,8	kN ... návrhová hodnota normálové síly účinku zatížení modelu LM71

Posudek

0,88	<	0,91	...Nevyhoví na požadovanou přechodnost
ZLM71	<	$\psi \cdot \lambda_{LM71}$	

Napětí na prutu - tlak - určení přechodnosti přímo

Vzhledem ke zavedení redukcí účinků zatížení od vodorovných sil dle SŽ S5/1 (boční rázy dle čl. 5.1.7 a rozjezdové síly dle čl. 5.1.10), je nutno přechodnost stanovit přímo, tedy určit zatížitelnost přechodnostního schéma C3/80 s redukovanými účinky od vodorovných účinků vlaku.

Kritická kombinace:

$$ZS1 \cdot \gamma_G \cdot \xi \cdot 1,4 + ZS2 \cdot \gamma_{G1} \cdot \xi + ZS3 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS4 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS5 \cdot \gamma_Q \cdot \Phi_3 + ZS6 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS7 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + ZS8 \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0$$

	σ_E [MPa]
Celková síla	73,4
LM71 (char. hodnota)	14,4
BR (char. hodnota)	22,5
Rozjezdové síly (char. hodnota)	22,1
Ostatní proměnné (vítr, teplota..., char. hodnota)	17,1
Stálé zatížení (char. hodnota)	4,1

Posuzované napětí $f_d =$	$f_{yk}/\gamma_{M0} =$	209 MPa
Redukce vlivem vzpěru $\chi =$		0,39
Zredukovaná únosnost $f_{d,red} =$		82 MPa

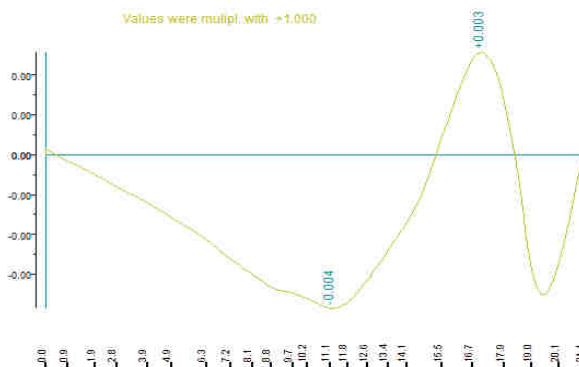
Posouzení

σ_N	<	$f_{d,red}$	
73,4	<	82	Vyhovuje

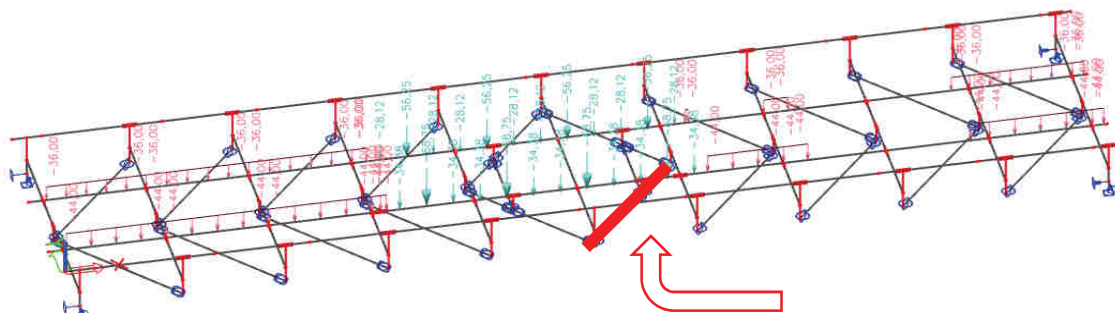
$Z_{C3/80} =$	$(f_d \cdot \sigma_{rs}) / \sigma_{LM71} =$	1,35
---------------	---	------

Vyhovuje na účinky zatížení C3/80

Příčinková čára pro namáhání osovou silou



nejnamáhanější tažené ztužidlo a nejkritičtější pozice LM71



Napětí na prutu - tah

Kritická kombinace:

$$ZS1*\gamma G*\xi*1,4 + ZS2*\gamma G1*\xi + ZS3*\gamma Q*\psi_0 + ZS4*\gamma Q*\psi_0 + ZS5*\gamma Q*\phi_3 + ZS6*\gamma Q*\psi_0 + ZS7*\gamma Q*\psi_0 + ZS8*\gamma Q*\psi_0$$

	σ_E [MPa]
Celková síla	115,3
LM71 (char. hodnota)	29,1
BR (char. hodnota)	11,1
Rozjezdové síly (char. hodnota)	51,4
Ostatní proměnné (vítr, teplota..., char. hodnota)	5,4
Stálé zatížení (char. hodnota)	0,9

Neoslabená plocha průřezu A = 0,003 m²

Oslabená plocha průřezu A_{net} = 0,0022 m²

Posuzované napětí $f_d = f_{yk}/\gamma_{M0} = 209$ MPa

Redukce vlivem oslabené plochy 0,72

Zredukováná únosnost $f_{d,red} = 151$ MPa

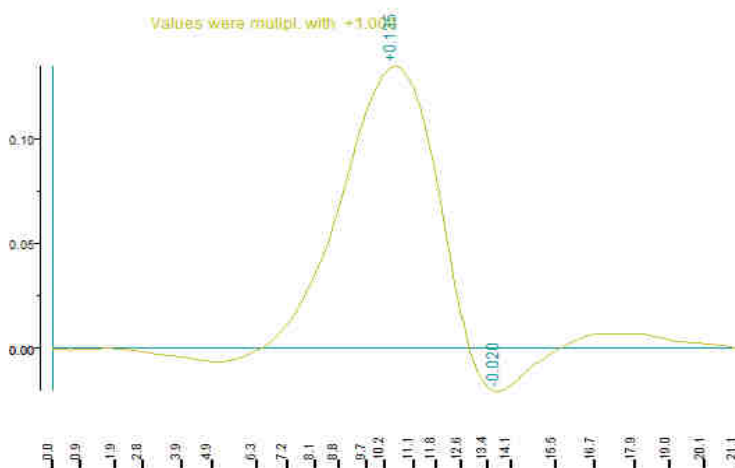
Posouzení

$\sigma_N < f_{d,red}$
115,3 < 151 Vyhovuje

ZLM71=	$(f_d - \sigma_{rs})/\sigma_{LM71} =$	1,76
--------	---------------------------------------	------

Vyhovuje na účinky zatížení LM71

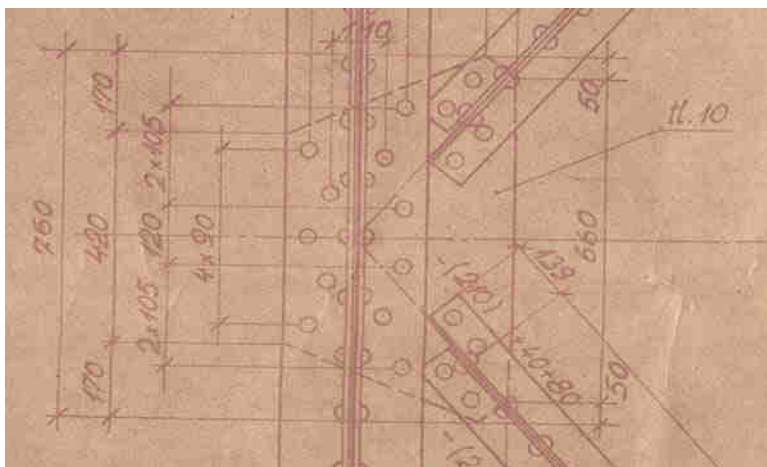
Příčinková čára pro namáhání osovou silou



► Posouzení vybraných spojů

Posouzeny jsou pouze vybrané spoje, vyznačující se nízkou tuhostí a potenciálním místem porušení

● Dolní ztužení připojené na příčník



Vstupní údaje

průměr nýtů $d =$	20	mm	
pevnost nýtů $f_{ur} =$	310	MPa	...dle archivní dokumentace
plocha nýtů $A_0 =$	314	mm	
pevnost oceli $f_u =$	360	MPa	
tloušťka (nejmenší) $t =$	9	mm	
součinitel $k_1 =$	2,5		
součinitel $\alpha_b =$	0,63		
$\gamma_{M2} =$	1,3		
$N_{ED} =$	248	kN	...celková síla
$N_{LM71} =$	11,45	kN	...síla přepočtena na 1 nýt (8 nýtů)
$N_{RS} =$	19,55	kN	...přepočtena na 1 nýt (8 nýtů)
počet stříhových rovin $n =$	1		

Únosnost v otláčení

$$F_{b,Rd} = k_1 \alpha_b f_u d^* t / \gamma_{M2} = 79,1 \text{ kN} > N_{ED} / (4 \cdot 2) \rightarrow 31,00 \text{ kN}$$

Spoj vyhovuje

Únosnost ve stříhu

$$F_{v,Rd} = n \cdot 0,6 \cdot f_{ur} \cdot A_0 / \gamma_{M2} = 44,9 \text{ kN} > N_{ED} / (4 \cdot 2) \rightarrow 31,00 \text{ kN}$$

Spoj vyhovuje

Zatížitelnost spojů

$$Z_{LM71,OTLAČENÍ} = (F_{b,Rd} - N_{ED,rs}) / (N_{ED,LM71}) = >3 \quad \text{Zatížitelnost vyhoví}$$

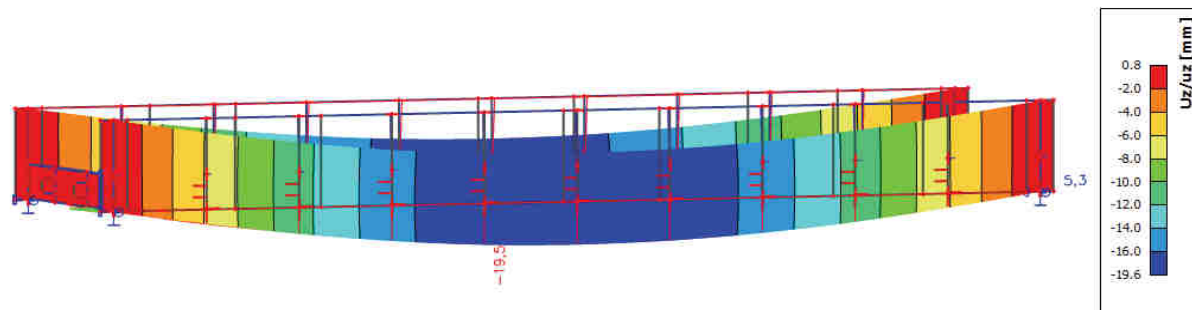
$$Z_{LM71,STŘIH} = (F_{v,Rd} - N_{ED,rs}) / (N_{ED,LM71}) = 2,22 \quad \text{Zatížitelnost vyhoví}$$

► MSP

Posouzení dle ČSN EN 1990, ed.2, čl. A2.4.4.2.3

Uvažované zatížení: LM71 (klasifikovaný, s charakteristickými hodnotami + dynamický součinitel)

Svislá deformace o charakteristického zatížení, neklasifikované a bez dyn. souč: 19,6 mm



$\alpha =$ 1 ... (pouze pro LM71 a případně SW/0, pro SW/2 je $\alpha = 1,0$)
 $\Phi_2 =$ 1,15 ... dle ČSN EN 1991-2/Z4 NA 2.56 je použit dynamický součinitel Φ_2
 $L =$ 20500 ... teoretické rozpětí NK v mm

$\delta_{lim} = L/600 = 20500 / 600 = 34,2 \text{ mm}$
 $\delta_{LM71} = 19,6 \text{ mm}$
 $\delta_{LM71, celken} \delta_{LM71} * \alpha * \Phi_2 = 19,6 * 1 * 1,15 = 22,5 \text{ mm}$

Posouzení

$22,5 \text{ mm} \leq 34,2 \text{ mm}$ Využití: **65,8%**
 Vyhovuje

Zatížitelnost

stanovena dle směrnice SŽ S5/1

$\alpha =$ 1,0 ... (klasifikační součinitel není uvažován)
 $\delta_{lim} = 34,2 \text{ mm}$... limitní hodnota svislé deformace
 $\delta_{LM71} = 22,5 \text{ mm}$... svislá deformace od LM71, včetně dyn. součinitele
 $\delta_{rs} =$ 5,2 mm ... svislá deformace od ostatních relevantních zatížení (charakteristická kombinace)

$Z_{LM71} = (\delta_{lim} - \delta_{rs}) / \delta_{LM71} = (34,2 - 5,2) / 22,5 = 1,29$

► Ověření dynamického součinitele

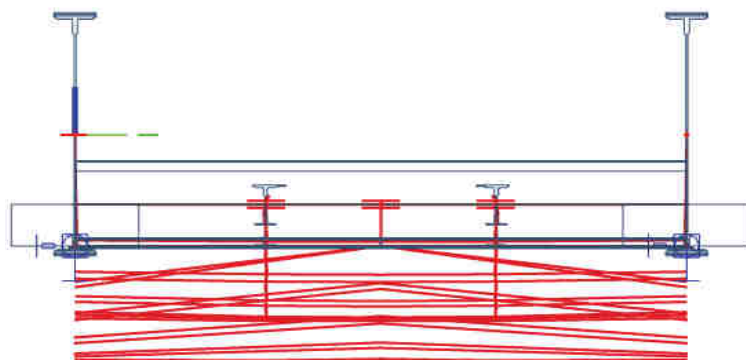
Meze frekvencí

rozpětí $L =$ 20,5 m

horní mez: $\eta_0 = 94,76 \cdot L^{(-0,748)}$ 9,90 Hz

dolní mez: $\eta_0 = 80/L$ 3,90 Hz

První vlastní (svislá) ohybová frekvence mostu $f_0 =$ 9,84 Hz

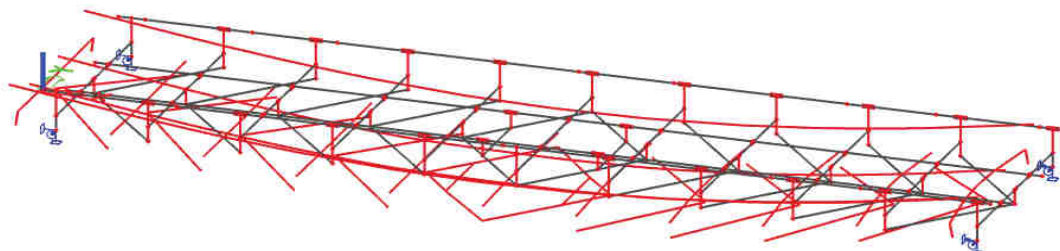


Příčný řez 2. vlastní frekvence

Vlastní frekvence

N	f [Hz]	ω [1/s]	ω^2 [1/s ²]	T [s]
Kombinace hmot : CM1				
1	8,06	50,62	2562,08	0,12
2	9,84	61,82	3821,24	0,10
3	11,92	74,92	5613,46	0,08
4	15,48	97,28	9464,33	0,06
5	17,94	112,72	12705,43	0,06
6	27,76	174,44	30428,25	0,04
7	32,94	206,96	42833,22	0,03
8	33,58	210,98	44510,89	0,03
9	39,05	245,34	60192,47	0,03
10	44,80	281,47	79226,67	0,02

tabulka prvních 10-ti vlastních frekvencí



Axonometrický pohled

$$3,90 \text{ Hz} \leq 9,84 \text{ Hz} \leq 9,90 \text{ Hz}$$

První vlastní frekvence spadá do intervalu limitních normových hodnot

Ve výpočtu tedy zohledňujeme dynamické účinky pomocí dynamického součinitele

Závěr

Nosná konstrukce byla posouzena na MSÚ a MSP dle platných norem. Dále bylo ověřeno kmitání NK pro ověření dynamického součinitele

Pro výpočet svislého dopravního zatížení byl použit model LM71, pro výpočet přechodnosti model C3/80

Pro jednotlivé prvky konstrukce je určena zatížitelnost dle směrnice SŽ S5/1 Diagnostika, zatížitelnost a přechodnost železničních mostních objektů. Minimální zatížitelnost byla určena pro dolní závětrování při namáhání v tlaku a to $Z_{LM71} = 0,88$. Rovněž byla ověřena přechodnost provozního zatížení C3/80. Konstrukce na přechodnost vyhoví.

Při výpočtu únosnosti přípoje dolního závětrování na příčníky pomocí styčnickových plechů, který se jeví jako potenciální nejproblematictější přípoj, byla určena zatížitelnost spoje na střih $Z_{LM71} = 2,22$. Spoj tedy vyhoví na požadované účinky zatížení.

Pro tento typ konstrukce je ovšem rozhodující zatížitelnost podélníků, příčníků a hlavních nosníků, z nichž minimální rozhodující zatížitelnost byla určena pro podélník mezilehlý (menší) ve 4. poli s hodnotou $Z_{LM71} = 0,93$. Most z hlediska přechodnosti zatížení C3/80 vyhoví.

Z výpočtu vyplývá, že při stávajícím provozním zatížení C3/80 všechny jednotlivé prvky konstrukce vyhoví na přechodnost. Doporučujeme i vzhledem ke stáří mostu při pravidelných mostních prohlídkách sledovat zejména podélníky a dolní ztužidla. V případě zvýšení třídy provozního zatížení je nutné stávající konstrukci v rozhodujících místech zesílit (zejména se jedná o horní a dolní pásnice podélníků a příčníků a také dolní závětrování a jejich přípoje). V místě spojů podélníků a příčníků a také přípoje dolního ztužení na příčníky je viditelné porušení PKO. Je to pravděpodobně způsobeno tím, že na ně odkapává voda z podlah na mostě. Na únosnost mostu tato skutečnost neměla žádný vliv. Doporučujeme most otryskat a kompletně obnovit PKO mostu. Dále doporučujeme udělat takové úpravy podlah, aby nedocházelo k dalšímu průsaku vody na úhelníky, které by tak mohli začít výrazněji korodovat. Zatížitelnost byla určena vzhledem ke stávajícímu stavu mostu (10/2021) a revizní zprávě (06/2020) - v případě, že po otryskání ocelové konstrukce dojde ke snížení tloušťky jednotlivých profilů oproti uvažovanému orezivění v průměru o více než 1,0 mm, je nutná konzultace s projektantem a statikem o úpravě přepočtu, zesílení kce, o stanovení skutečné meze kluzu oceli nosné konstrukce, případně o úpravě rychlosti železniční dopravy na mostě.

Zatížitelnost spodní stavby byla, s ohledem na vizuální hodnocení, stavběně-technický průzkum a nezvyšování rychlosti ani zatížení na mostě, stanovena na základě kategorie zatížitelnosti A - zatížitelnost odborným odhadem $Z_{LM71} \geq 1,0$.

Po uplynutí zbytkové životnosti (30 let) je nutné opět provést kontrolu všech prvků mostu, měření a přepočet mostu. V případě zjištění závad (při pravidelných prohlídkách - nadměrné orezivění, deformace, trhliny,...) nebo zvýšení zatížení (rychlosti) na mostě v průběhu zbytkové životnosti (30 let) je nutné neprodleně provést kontrolu všech prvků mostu, měření a přepočet mostu

Vypracoval:

Ing. Denis Ujházy
dujhazy@sudop-brno.cz
604 657 401

Tabulka zatížitelnosti

A Identifikace mostu

TÚ (číslo, název): 2252 Krnov - Opava východ
 DÚ: G7 - žst. Opava západ - kol. 1e, 1c1 výh.19
 km: evidenční km 110,644

B Identifikace části mostu

Část mostu: ocelová nosná konstrukce
 Pořadové číslo: 1
 Pod kolejí č.: 1

C Doplnující údaje části mostu

Kategorie zatížitelnosti: C
 Výpočetní model: 3D prutový, 3D deskostěnový
 Geometrie koleje:

	na začátku	uprostřed	na konci
- poloměr oblouku:	R=0 m	R=0 m	R=0 m
- převýšení koleje:	D=0 mm	D=0 mm	D=0 mm

Popis závad uvažovaných v přepočtu: bez významných závad na NK, pouze poškození PKO

Datum zjištění zpracovaného stavu mostu:	Správa železnic, s.o.:	20.	/	7.	/	2020
	zpracovatel přepočtu:	22.	/	10.	/	2021

Poznámka k části mostu:

Přehled zatížitelnosti prvků

Číslo	Prvek (dle MES)	Poznámka k prvku	Namáhání	Detail prvku	Z _{LM71}	Strana statického výpočtu
Hlavní nosník						
1	1	řez ve vzdálenosti cca x=10,25 m od teoretického uložení HN	normálové napětí - ohyb (1)	horní v lánka (1)	1,34	32
2	1	řez ve vzdálenosti cca x=10,25 m od teoretického uložení HN	normálové napětí - ohyb (1)	dolní v lánka (2)	1,17	30
3	1	řez ve vzdálenosti cca x=0,4 m od teoretického uložení HN	smykové napětí (4)	stěna (3)	1,37	31
4	1	řez ve vzdálenosti cca x=9 m od teoretického uložení HN	průhyb (15)	(99)	1,29	53
Příčník						
5	8	řez ve vzdálenosti cca x=1,5 m, příčník č. 2	normálové napětí - ohyb (1)	horní v lánka (1)	1,11	36
6	8	řez ve vzdálenosti cca x=1,5 m, příčník č. 2	normálové napětí - ohyb (1)	dolní v lánka (2)	1,01	35
7	8	řez ve vzdálenosti cca x=0,1 m, příčník č. 2	smykové napětí (4)	stěna (3)	2,11	34
Podélník - větší						
8	10	řez ve vzdálenosti cca rel dx = 0,5 , podélník uprostřed	normálové napětí - ohyb (1)	horní v lánka (1)	1,34	40
9	10	řez ve vzdálenosti cca rel dx = 0,5 , podélník uprostřed	normálové napětí - ohyb (1)	dolní v lánka (2)	1,87	38
10	10	řez ve vzdálenosti cca x = 0,2 m , podélník uprostřed	smykové napětí (4)	stěna (3)	2,64	37
Podélník - menší						
8	10	řez ve vzdálenosti cca rel dx = 0,5 , podélník č. 4	normálové napětí - ohyb (1)	horní v lánka (1)	0,93	43
9	10	řez ve vzdálenosti cca rel dx = 0,5 , podélník č. 4	normálové napětí - ohyb (1)	dolní v lánka (2)	1,07	45
10	10	řez ve vzdálenosti cca x = 0,2 m , podélník č. 4	smykové napětí (4)	stěna (3)	1,53	42
Dolní zavětrování						
11	17	řez ve vzdálenosti cca x=0,2, krajní ztužidlo	normálové napětí - tah (2)	bez specifikace detailu (99)	3,78	48
12	17	řez ve vzdálenosti cca x=0,2, krajní ztužidlo	normálové napětí - tlak (3)	bez specifikace detailu (99)	0,91	47
13	17	řez ve vzdálenosti cca x=0,2, mezilehlé ztužidlo	normálové napětí - tah (2)	bez specifikace detailu (99)	1,76	51
14	17	řez ve vzdálenosti cca x=0,2, mezilehlé ztužidlo	normálové napětí - tlak (3)	bez specifikace detailu (99)	0,88	49
15	17	řez ve vzdálenosti cca x=0,0 m	usmyknutí, otláčení (9)	připoj diagonály (14)	2,22	52

Podrobná analýza zatížitelnosti rozhodujících prvků

pozn.: Položky zatížitelnosti (prvek, detail prvku, namáhání) dle MES. Případné označení "Rel dx" znamená relativní vzdálenost od začátku dotčeného prvku NK.

č.	Prvek (dle MES)	Detail	Namáhání	k _i	typ	L _p [m]	Φ _i	L _Φ [m]	Y _{Q,LM71}	Y _{Q,LM71,E}	Viz str.	Z _{LM71}	Z _{LM71,E}	poznámka
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

HLAVNÍ NOSNÍK: ROZHODUJÍCÍ ZATÍŽITELNOST Z HLEDISKA MSÚ

1	hlavní nosník plnostěnný (1)	horní vlákna (1)	normálové napětí - ohyb (1)	1,0	M	20,50	1,23	20,50	1,30	-	30	1,17		
---	---------------------------------------	---------------------	-----------------------------------	-----	---	-------	------	-------	------	---	----	-------------	--	--

HLAVNÍ NOSNÍK: ROZHODUJÍCÍ ZATÍŽITELNOST Z HLEDISKA MS ÚNAVY x MSP

4	hlavní nosník plnostěnný (1)	-	průhyb (15)	1,0	M	20,50	1,15	20,50	-	-	53	1,29		
---	---------------------------------------	---	-------------	-----	---	-------	------	-------	---	---	----	-------------	--	--

PŘÍČNÍK: ROZHODUJÍCÍ ZATÍŽITELNOST Z HLEDISKA MSÚ

5	příčník (8)	horní vlákna (1)	normálové napětí - ohyb (1)	1,0	S	20,50	1,48	9,60	1,30	-	35	1,01		rel dx=0,2
---	----------------	---------------------	-----------------------------------	-----	---	-------	------	------	------	---	----	-------------	--	------------

PODÉLNÍK: ROZHODUJÍCÍ ZATÍŽITELNOST Z HLEDISKA MSÚ

10	podélník (10)	horní vlákna (1)	normálové napětí - ohyb (1)	1,0	S	20,50	1,68	6,15	1,30	-	40	0,93		menší podélník - Vyhoví na přechodnost C3/80
----	------------------	---------------------	-----------------------------------	-----	---	-------	------	------	------	---	----	-------------	--	---

DOLNÍ ZAVĚTROVÁNÍ: ROZHODUJÍCÍ ZATÍŽITELNOST Z HLEDISKA MSÚ

11	hlavní podélné (brzděné) zhužení- dolní (17)	bez specifikace detailu (99)	normálové napětí - tlak (3)	1,0	S	20,50	1,23	20,50	1,30	-	49	0,88		Vyhoví na přechodnost C3/80
----	---	------------------------------------	-----------------------------------	-----	---	-------	------	-------	------	---	----	-------------	--	-----------------------------------

Dne: 24. / 11. / 2020

Zatížitelnost určil: Ing. Denis Ujházy, Ing. Štěpán Kameš

Ruční ověření modelu

Byla ověřena tíha a průhyb od stálého zatížení



Kontrola velikostí

• vlastní tíha

$$\text{Hlavní nosníky: } A \cdot \text{proeli} \cdot L = 0,0607 \times 78,5 \times 21,08 \\ = 100 \text{ kN} \times 2 = \underline{200 \text{ kN}}$$

$$\text{Příčnický: } n \cdot A \cdot \text{proeli} \cdot L = 11 \times 78,5 \times 0,0175 \times 4,18 \\ = 72,5 \text{ kN}$$

$$\text{Podélníky - velké: } 4 \times 0,0137 \times 78,5 \times 2,05 = 8,8 \text{ kN}$$

$$\text{Podélníky - malé: } 16 \times 0,0119 \times 78,5 \times 2,05 = 30,6 \text{ kN}$$

$$\text{Konzoly na koncích: } 4 \times 0,0119 \times 78,5 \times 0,29 = 1,1 \text{ kN}$$

$$\text{Ztužidla = } 0,0025 \times 20 \times 78,5 \times 3,156 = 12,5 \text{ kN}$$

$$\text{Ztužidla uprostřed = } 0,0024 \times 2 \times 78,5 \times 1,8 = 1 \text{ kN}$$

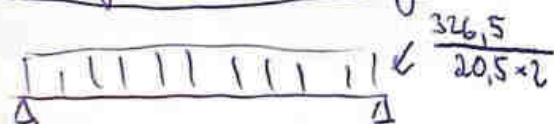
Celkem

326,5 kN

↳ 32,65 t ... z modelu 31,2 t

✓ OK

Průhyb od vl. tíhy (hl. nosníky)



(z modelu 2 mm)

$$\delta_{\text{max}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{8 \times 20,5^4}{26 \cdot 10^6 \times 4,12 \cdot 10^{-2}} = 0,002 \text{ m} \Rightarrow 2 \text{ mm} \quad \checkmark \text{ OK}$$

Kounicova 26, 611 36 Brno

tel.: +420 972 625 804, fax: +420 541 211 310, e-mail: sudop@sudop-brno.cz, http://www.sudop-brno.cz

