

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V
PRAZE**

FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

PROHLÍDKA, ZATÍŽITELNOST A PŘECHODNOST
ŽELEZNIČNÍHO MOSTU

Vypracoval:

Simona Klofcová

Vedoucí práce:

doc. Ing. Pavel Ryjáček, Ph.D.

2022



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Klofcová</u>	Jméno: <u>Simona</u>	Osobní číslo: <u>482634</u>
Zadávací katedra: <u>K134</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Konstrukce a dopravní stavby</u>		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: <u>Prohlídka, zatížitelnost a přechodnost železničního mostu</u>	
Název bakalářské práce anglicky: <u>The inspection and load capacity assessment of the railway bridge</u>	
Pokyny pro vypracování: Prohlídka železničního mostu, stanovení zatížitelnosti a přechodnosti. Ověření a zjištění dimenzí, tvorba výpočetního modelu.	
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: <u>doc. Ing. Pavel Ryjáček, Ph.D.</u>	
Datum zadání bakalářské práce: <u>16.2.2022</u> Termín odevzdání bakalářské práce: <u>15.5.2022</u>	
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>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“.</i>	
<u>16.2.2022</u>	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)



Čestné prohlášení

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

V Praze dne 8. května 2022



Poděkování:

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu práce doc. Ing. Pavlu Ryjáčkovi, Ph.D. za odborné vedení, užitečné rady a věnovaný čas.

Dále bych chtěla poděkovat kolegům z Katedry ocelových a dřevěných konstrukcí ČVUT jmenovitě Ing. Jakobovi Štěpánovi, Ing. Tomáši Dejmkovi a Ing. Filipu Kramolišovi za pomoc při prohlídce mostu.

Na závěr bych chtěla poděkovat mé rodině za podporu při studiu.



Anotace:

Předmětem této bakalářské práce je podrobná prohlídka stávajícího železničního mostu a následný přepočítání zatížitelnosti a přechodnosti.

Při podrobné prohlídce byla konstrukce přeměřena, zjištěn její stav a proveden podrobný korozní průzkum.

Poté byla vypracována výkresová dokumentace a byl vytvořen 3D výpočetní model konstrukce. Pro jednotlivé prvky byla stanovena zatížitelnost a vyhodnocena přechodnost.

Klíčová slova:

prohlídka mostu, železniční, ocelový, nýtovaný, most, zatížitelnost, přechodnost, korozní průzkum

Annotation:

The subject of this bachelor thesis is a comprehensive inspection of an existing railway bridge and its load capacity assessment.

The structure was remeasured, its condition was assessed and a thorough corrosion inspection was done.

Then a drawing documentaion and a 3D model of the structure was made. For each component the load capacity was assessed.

Key words:

bridge inspection, railway, steel, riveted, bridge, load capacity, corrosion inspections



Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ.....	9
1. ÚVOD.....	10
2. POPIS MOSTNÍHO OBJEKTU.....	11
2.1 Identifikační údaje mostu	11
2.2 Celkový popis objektu.....	12
2.3 Základní údaje o mostu	13
2.4 Popis nosné konstrukce	14
2.4.1 Nosníky	14
2.4.2 Příčné ztužení	15
2.4.3 Vodorovné ztužení	16
2.4.4 Ložiska	16
2.5 Popis spodní stavby.....	16
2.6 Popis železničního svršku	17
2.7 Popis ostatního vybavení mostu.....	18
3. PROHLÍDKA MOSTU.....	19
3.1 Materiálové zkoušky	20
3.1.1 Tvrdoměrné zkoušky	20
3.1.2 Odběr vzorků.....	23
3.2 Korozní průzkum.....	25
3.2.1 Hlavní nosníky	25
3.2.2 Horní pruty příčného ztužení.....	27
3.2.3 Dolní pruty příčného ztužení.....	27
3.2.4 Diagonály příčného ztužení.....	28
3.2.5 Vodorovná ztužení	28
3.3 Další závady na mostě.....	28
3.3.1 Nosná konstrukce	28
3.3.2 Spodní stavba	29
3.3.3 Železniční svršek.....	29
3.3.4 Ložisko	30
4. ZATÍŽENÍ A KOMBINACE.....	31
4.1 Stálá zatížení	31
4.1.1 Vlastní tíha	31
4.1.2 Ostatní stálé zatížení.....	31
4.2 Proměnná zatížení	32
4.2.1 Zatížení větrem.....	32
4.2.2 Zatížení od teploty.....	36



4.2.3	Model zatížení LM 71	37
4.2.4	Dynamický součinitel.....	38
4.2.5	Model zatížení „nezatížený vlak“	38
4.2.6	Odstředivé síly.....	39
4.2.7	Boční ráz	39
4.2.8	Rozjezdové a brzdné síly.....	40
4.3	Součinitele zatížení	40
4.4	Kombinace	41
5.	VÝPOČETNÍ MODEL.....	43
5.1	Hlavní nosníky	44
5.2	Příčné a vodorovné ztužení	45
5.3	Kolej na mostě.....	47
5.4	Chodníkové konzoly	49
5.5	Uložení	49
6.	POSOUZENÍ ÚNOSNOSTI.....	51
6.1	Zatřídění nosníků.....	51
6.2	Průřezové charakteristiky	52
6.3	Mezní stav únosnosti (MSÚ).....	52
6.3.1	Tah.....	52
6.3.2	Tlak se vzpěrem	53
6.3.3	Ohyb	54
6.3.4	Smyk s boulením.....	54
6.3.5	Kombinace ohybu a osově síly.....	55
6.3.6	Kombinace ohybu a smyku	56
6.3.7	Normálové napětí	56
6.3.8	Smykové napětí	56
6.3.9	Srovnávací napětí	57
6.4	Průběhy vnitřních sil	57
6.4.1	Hlavní nosník střed rozpětí	57
6.4.2	Hlavní nosník nad podporou	58
6.4.3	Příčná ztužení	59
6.4.4	Vodorovná ztužení	60
6.4.5	Průhyb uprostřed nosníku.....	61
7.	VÝPOČET ZATÍŽITELNOSTI.....	62
7.1	Mezní stav použitelnosti (MSP).....	71
7.2	Přehled zatížitelnosti	72
8.	STABILITA KONSTRUKCE.....	73

9. ZÁVĚR.....	75
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	76
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	77
SEZNAM TABULEK.....	79
SEZNAM PŘÍLOH	79



SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Veličina	Jednotka	Popis
A	(mm ²)	plocha průřezu
a	(mm)	osová vzdálenost příčných výztuh
$A_{v,z}$	(mm ²)	smyková plocha
b	(m)	šířka mostu
C	(–)	součinitel zatížení větrem
c_{dir}	(–)	součinitel směru větru
c_e	(–)	součinitel expozice
$c_{fx,0}$	(–)	součinitel síly bez vlivu proudění kolem volných konců
c_{season}	(–)	součinitel ročního období
E	(MPa)	modul pružnosti
f_y	(MPa)	charakteristická mez kluzu oceli
f_u	(MPa)	charakteristická mez pevnosti oceli
F_w	(kN)	síla větru
G	(MPa)	modul pružnosti ve smyku
h_k	(m)	konstrukční výška mostu
h_s	(m)	světlná výška mostu
I_y	(mm ⁴)	moment setrvačnosti kolem osy y
I_z	(mm ⁴)	moment setrvačnosti kolem osy z
L	(m)	rozpětí mostu
$v_{0,b}$	(m.s ⁻¹)	výchozí základní rychlost větru
v_b	(m.s ⁻¹)	základní rychlost větru
$W_{el,y}$	(mm ³)	pružný průřezový modul kolem osy y
$W_{el,z}$	(mm ³)	pružný průřezový modul kolem osy z
z	(m)	výška mostu nad terénem
z_0	(m)	parametr drsnosti terénu
z_{min}	(m)	minimální výška
α	(°C)	součinitel tepelné roztažnosti

1. ÚVOD

Ve své bakalářské práci s názvem „Prohlídka, zatížitelnost a přechodnost železničního mostu“ se budu zabývat přepočtem železničního mostu v km 21,031 TÚ 0661 Ústí nad Labem západ – Trmice (mimo) – Bílina (mimo). Cílem práce bude zjistit dimenze mostu, vytvořit výpočetní model a stanovit zatížitelnost a přechodnost konstrukce. Bakalářská práce bude zpracována současně s přepočtem pro Správu železnic.

Součástí práce bude diagnostický průzkum včetně korozního průzkumu, vypracování výkresové dokumentace aktuálního stavu, výpočetní model (SCIA Engineer), statický výpočet a dle výsledků bude stanovena maximální zatížitelnost mostu.

Podklady budou získány z několika zdrojů: z archivní dokumentace a z fyzického ověření na místě. Během toho budou získány rozměry tak, aby bylo možné vytvořit detailní výkresy stávající konstrukce a následně i výpočetní model. Měření bude provedeno primárně pomocí posuvného měřidla, metru a laserového dálkoměru. Dále budou odebrány vzorky ocele z konstrukce a následně bude zjištěna mez kluzu.

Celý průzkum bude proveden ve spolupráci s kolektivem z Katedry ocelových a dřevěných konstrukcí ČVUT. Některé části proto vychází z protokolu kolegy. Jedná se o kapitulu „Materiálové zkoušky“, kde budou použita data z laboratoře, následně zpracována kolegou.

V části zabývající se výpočetním modelem budou shrnuta zatížení působící na konstrukci, jejich součinitele a kombinace. Pomocí programu budou zjištěny vnitřní síly. Dle nich budou posouzeny nejvíce namáhané prvky a bude určena jejich maximální zatížitelnost. Důvodem je nutnost ověřit aktuální traťovou třídu D4/60. Posledním krokem bude ověření stability konstrukce proti překlpení.

2. POPIS MOSTNÍHO OBJEKTU

2.1 Identifikační údaje mostu

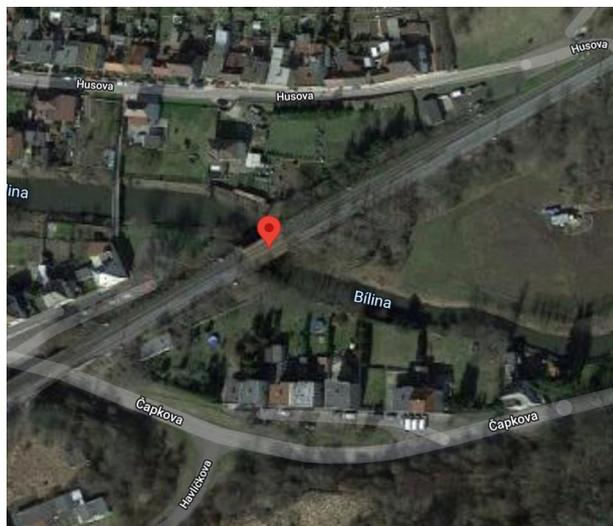


Obrázek 1: Pohled na most

Objekt:	Most v km 21,031 – TÚ 0661: Ústí nad Labem západ-Trmice (mimo) – Bílina (mimo)
Rok výroby:	1913
Katastrální území:	567531 Hostomice
Kraj:	Ústecký
Okres:	Teplice
Obec:	Hostomice
Traťový úsek:	TÚ 0661 Ústí n/ Labem západ – Trmice (mimo) – Bílina (mimo)
Evidenční km:	km 21,031
Vžitý název mostu:	před obcí Hostomice, řeka Bílina
Lokace GPS:	50°35'15.238"N, 13°48'53.794"E
Překonávaná překážka:	řeka Bílina

2.2 Celkový popis objektu

Most se nachází v Hostomicích v Ústeckém kraji na trati Ústí nad Labem – Bílina a slouží k překlenutí řeky Bíliny železniční dopravou. Pro chodce není most zpřístupněn.

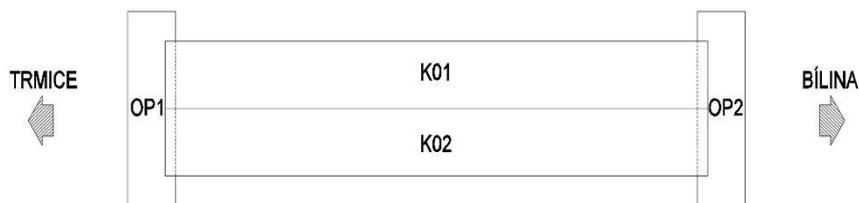


Obrázek 2: Satelitní snímek

Most je tvořen dvěma samostatnými konstrukcemi – pro rozlišení K01 a K02. Obě jsou to konstrukce trémové s plnostěnnými nýtovanými nosníky, s příčným a vodorovným ztužením. Staticky působí jako prosté nosníky. Obě konstrukce jsou téměř identické. Výrazným rozdílem mezi nimi je především absence spodního vodorovného ztužení na konstrukci K01. Dále se pak liší mnohem horším korozním stavem konstrukce K02 a malými rozdíly v dimenzích prvků.



Obrázek 3: Obě konstrukce ze spodu



Obrázek 4: Schéma mostního objektu

Stáří mostu není přesně známo, dle protokolu o podrobné prohlídce mostu [9] provedené v roce 2018 byl most postaven v roce 1959. Z archivní dokumentace je však patrné, že je konstrukce o dost starší. V technické zprávě z roku 1963 [10] se píše, že původní jednokolejná trať byla asi před 50 lety (tzn. cca kolem roku 1913) zdvoukolejněna. Po několika letech byl dvoukolejný provoz zrušen, a to demontováním železničního svršku, včetně levé ocelové nosné konstrukce – K01 (což byla úplně původní konstrukce ještě před zdvoukolejněním v roce 1913). V letech 1962 – 1967 byla trať opět zdvoukolejněna. Byly provedeny geologické průzkumy v okolí opěr a následná rekonstrukce spodní stavby. Opěra pod levou konstrukcí (tj. K01) byla původně zhotovena z lomového kamene. Během rekonstrukce však byla nahrazena železobetonovou opěrou. V okolí opěr se provedla injektáž podloží cementobetonovou směsí. Samotná levá konstrukce byla demontována z jiné části tratě a osazena na místo původní konstrukce. Tím bylo dle technické zprávy ušetřeno až 40 t ocele. Nejspíše i proto se obě konstrukce mírně liší – chybějící spodní vodorovné ztužení, odlišná výška hlavních nosníků, jiné rozměry konzol... Během této rekonstrukce mostu byly obě nosné konstrukce podrobeny důkladné prohlídce a s tím souvisejících úprav jako výměna ložiskových plechů, výměna vadných nýtů, montáž konzol a nátěr konstrukce. O dalších úpravách jsou zmínky až v dokumentaci z roku 1982. Ty se zabývají výměnou mostnic. V rámci mé bakalářské práce jsem se dále zabývala pouze konstrukcí K02.

2.3 Základní údaje o mostu

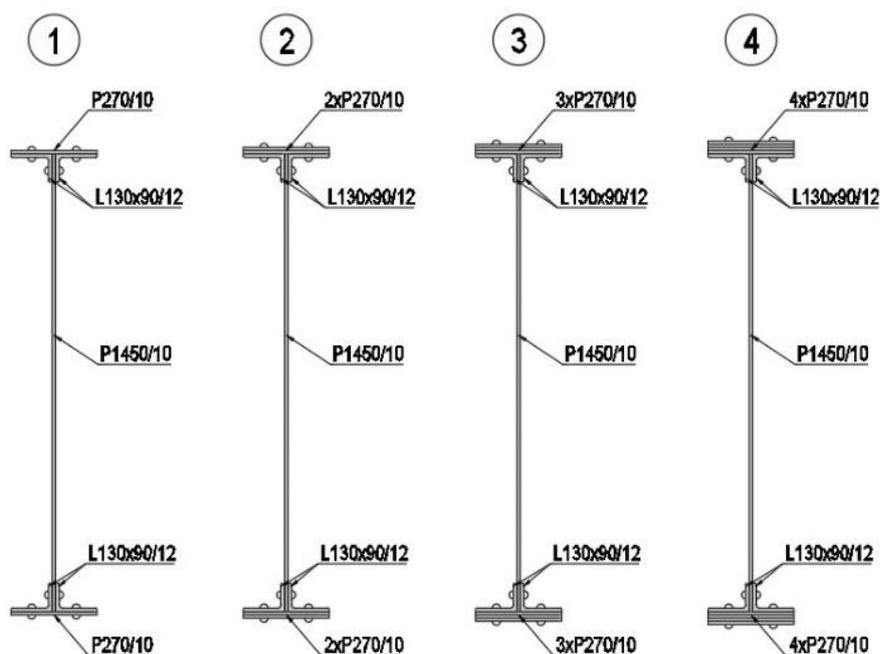
Délka mostu:	28 m
Šířka mostu:	11,6 m (K01 + K02)
Výška objektu:	8,45 m
Rozpětí mostu:	16,11 m
Stavební výška:	1,98 m

Konstrukční výška:	1,53 m
Úhel křížení:	90°
Šikmost:	kolmý
Počet kolejí na mostě:	2
Počet nosných konstrukcí:	2
Elektrifikace:	ano
Traťová třída zatížení:	D4/60
Rychlost na mostě/traťová rychlost:	60 km/h

2.4 Popis nosné konstrukce

2.4.1 Nosníky

Hlavní nosnou konstrukci tvoří dva nosníky – plnostěnné trámy výšky 1470 – 1530 mm (důvodem je postupné zesílení konstrukce směrem do poloviny rozpětí). Nosníky jsou osově vzdáleny 2000 mm. Stojinu hlavního nosníku tvoří plech tloušťky 10 mm, výšky 1450 mm. Příruby jsou vyhotoveny z L úhelníků, konkrétně z L130x90/12. Ty jsou ke stojině přinýtovány. Z vrchu příruby je ještě plech tloušťky 10 mm – směrem do středu rozpětí je pak nosník zesilován přídatnými plechy tloušťky 10 mm. Na horní části nosníku je vrstva plastbetonu tloušťky 40 – 70 mm. Je jím zarovnáována výška nosníku kvůli zesilování pásnic.



Obrázek 5: Příčné řezy hlavního nosníku

2.4.2 Příčné ztužení

Nosníky jsou v příčném směru propojeny ztužidly. Ta se skládají z horního prutu, dolního prutu a dvěma křížícími se diagonálami. Horní i dolní prut je tvořen dvojicí úhelníků L70x70x/8, které jsou k sobě přinýtované. Diagonály pak tvoří pouze jeden profil L70x70/8. K hlavním nosníkům jsou připojeny pomocí styčnickových plechů tloušťky 10 mm, které jsou přinýtovány na svislé výztuhy tvořené L profily L80x80/8. V místě křížení diagonál je jedno nýtový spoj, zabraňující vybočení úhelníků z roviny. Na konstrukci se nachází 10 příčných ztužidel v osové vzdálenosti 1790 mm. První a poslední ztužení (tj. nadpodporové) se od těch v poli liší tím, že i diagonály jsou tvořeny dvojicí L profilů.



Obrázek 6: Příčné ztužení



Obrázek 7: Připojení ztužidel k hlavnímu nosníku

2.4.3 Vodorovné ztužení

Na konstrukci K02 jsou použita jak horní, tak dolní ztužidla. Jsou provedena stejným způsobem – úhelníky L70x70/8 připojené pomocí styčnickového plechu k dolnímu/hornímu prutu příčného ztužení (jak lze vidět na obrázku Obrázek 7). Na konstrukci se nachází celkem 9 polí s vodorovnými ztužidly.

2.4.4 Ložiska

Použitá ložiska jsou válečková ocelová, ta byla osazena v 60. letech minulého století. Konkrétně se jedná o typ IV 3 – pohyblivá jednoválcová ložiska a IP3 – pevná ložiska z oceli 422661. Na opěře OP01 (ve směru staničení) jsou osazena pohyblivá ložiska, na OP02 jsou ložiska pevná. V místě ložisek jsou naspodu hlavních nosníků nadložiskové desky, které jsou tvořeny z plechů tloušťky 20 mm.



Obrázek 8: Pevné ložisko



Obrázek 9: Posuvné ložisko

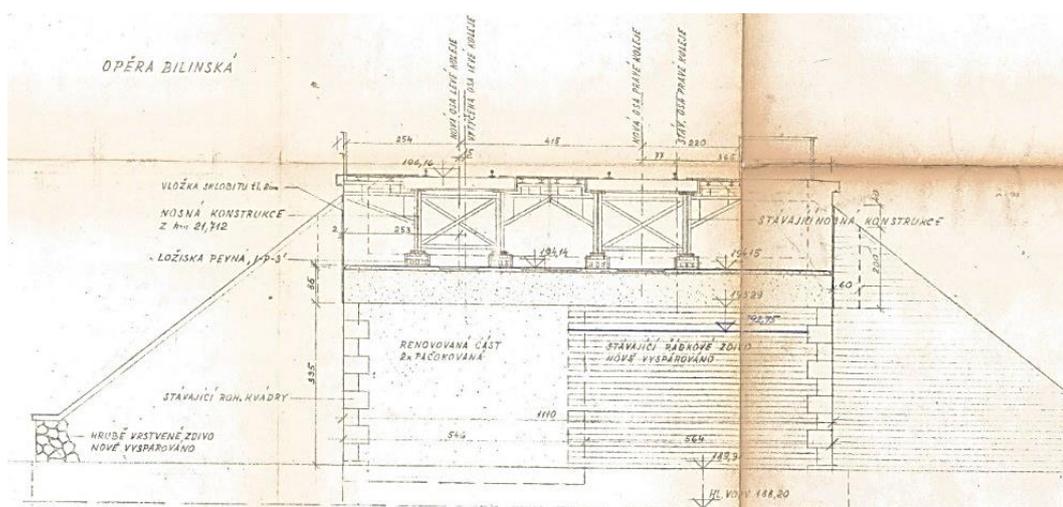
2.5 Popis spodní stavby

Spodní stavba je tvořena železobetonovými a zděnými opěrami. To vzniklo v důsledku velké rekonstrukce při příležitosti zdvoukolejnění trati v 60. letech 20. století. Původně byly dnešní železobetonové opěry postaveny z kyklopského zdiva. Při průzkumech (jak je popsáno v technické zprávě z roku 1963) však bylo zjištěno, že stávající opěra již není vyhovující, a tak byla nahrazena novou železobetonovou opěrou. Pod každou konstrukcí je tak možno vidět jiný

typ opěr (viz Obrázek 10). Na stavbu nové opěry byl použit beton B135, který dnes odpovídá betonu třídy C8/10. O původní zděné opěře se v archivní dokumentaci nenachází bližší informace, kromě toho, že při rekonstrukci byla doplněna vypadaná malta ze zdiva.



Obrázek 10: Opěra mostu



Obrázek 11: Ukázka výkresu opěry z archivní dokumentace

2.6 Popis železničního svršku

Kolej na mostě prochází přímým úsekem trati, ve směru staničení niveleta koleje mírně stoupá se sklonem cca 1‰. Je použita kolej s normálním rozchodem 1435 mm. Je zde použito pevné podkladnicové upevnění typ K. Kolejnice je bezstyková typ S49 (49 E1). Kolejnice leží na dřevěných mostnicích o rozměrech 260 x 240 x 2650 mm, které jsou uloženy přímo na hlavní nosníky na vrstvě plastbetonu. Jsou připevněny plošně svislými šrouby k přírubám hlavního nosníku. Osově jsou vzdáleny 640 mm, na mostě jich tak je 27. Hlavy mostnic jsou stažené

kovovými pásky. Na mostnicích ještě leží podlahové plechy tloušťky 6 mm. Před mostem je šterkové kolejové lože s betonovými pražci, ve vzdálenosti pár metrů před začátkem mostu jsou betonové pražce nahrazeny dřevěnými. Pak je kolejové lože ukončeno v úrovni závěrné zídky a kolej pokračuje prvkovou mostovkou. Stejně tak je to provedeno na druhé straně mostu.



Obrázek 13: Upevnění K



Obrázek 12: Železniční svršek

2.7 Popis ostatního vybavení mostu

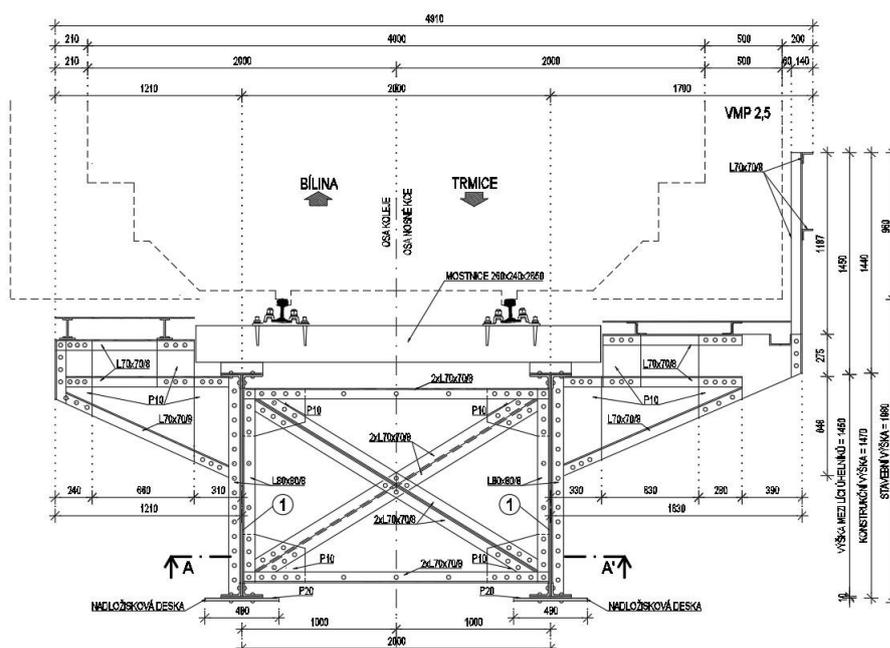
Na hlavních nosnících jsou z vnějšku v místech vazeb příčného ztužení připevněny chodníkové konzoly. Jsou připevněny obdobně jako příčná ztužení – tedy přes styčnickový plech přinýtovaný na svislé výztuhy. Konzoly nejsou symetrické, na levé straně je konzola dlouhá 1210 mm, na pravé 1630 mm. Na pravé straně se také nachází zábradlí a je tudy vedeno kabelové vedení.

3. PROHLÍDKA MOSTU

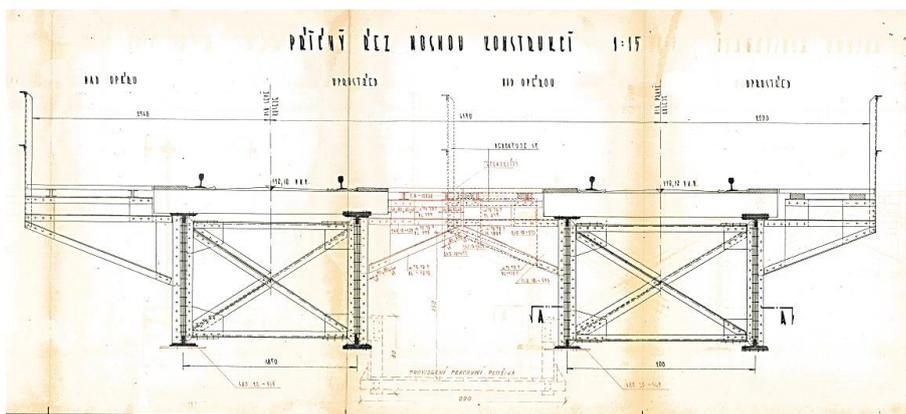
Jako podklad pro mou bakalářskou práci měla sloužit archivní projektová dokumentace dodaná Správou železnic. Bohužel nebyla příliš obsáhlá, a tak bylo nutné konstrukci přeměřit. Vzhledem k relativně dobré přístupnosti mostu bylo možné získat kompletní informace o všech důležitých rozměrech konstrukce včetně korozních oslabení. Měření probíhalo pomocí svinovacího metru, laserového dálkoměru a posuvného měřidla. Po získání všech rozměrů byla vypracována výkresová dokumentace současného stavu.

Vzhledem k tomu, že byly v rámci prohlídky prohlíženy obě konstrukce mostu, bylo nutné jet k mostu celkem třikrát. Při prvním výjezdu bylo provedeno oměření základních rozměrů konstrukce. Při druhém výjezdu byly odebrány vzorky pro laboratorní zkoušky oceli, byly provedeny tvrdoměrné zkoušky materiálu a také byl proveden korozní průzkum konstrukce K01. Při posledním výjezdu byl kompletně dokončen korozní průzkum obou konstrukcí a kontrola ložisek. Prohlídky se konaly v období od půlky února až do půlky března 2022.

PŘÍČNÝ ŘEZ: VZOROVÝ PŘÍČNÝ ŘEZ NAD PODPOROU
M 1:20



Obrázek 14: Výkres příčného řezu



Obrázek 15: Ukázka výkresu příčného řezu z archivní dokumentace

3.1 Materiálové zkoušky

3.1.1 Tvrdoměrné zkoušky

Tvrdoměrné zkoušky byly provedeny přenosným tvrdoměrem KT-C, který měří tvrdost oceli pomocí metody Leeb. Na konstrukci bylo měření provedeno na celkem 17 místech ve 3 cyklech po 3 měřeních (tzn. 153 získaných hodnot). Nejdříve bylo místo očištěno a obroušeno úhlovou bruskou na lesklý kov. Po provedení zkoušky bylo místo odběru popsáno, vyfotografováno a následně přestříkáno protikorozním nástřikem, aby nedocházelo k šíření koroze.



Obrázek 16: Místo tvrdoměrné zkoušky

Převedení jednotek tvrdosti HL na MPa byl proveden na základě kalibrace přístroje dle následujícího vzorce:

$$f_{\text{MPa}} = 1,9278 \cdot f_{\text{HL}} - 244,46$$

Hodnoty získané ze zkoušky byly statisticky vyhodnoceny.

Aritmetický průměr: $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$

Redukovaný rozptyl: $s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$

Směrodatná odchylka: $s = \sqrt{s^2}$

Variační součinitel materiálu: $V_x = \frac{s}{\bar{x}}$

Tabulka 1: Data z tvrdoměrných zkoušek

Místo	Měření	Značení	1. série [HL]	2. série [HL]	3. série [HL]	Průměr [HL]	$(x_i - m_x)^2$
Most v km 21,031 - TÚ 0661, K02	T1	K02-HN-P	309	299	314	307	2624,4
	T2	K02-HN-Ú	363	359	367	363	17,8
	T3	K02-HN-Ú	356	351	347	351	53,9
	T4	K02-ZP-Ú	388	375	375	379	422,3
	T5	K02-ZP-Ú	371	365	354	363	22,8
	T6	K02-HN-P	357	359	359	358	0,1
	T7	K02-HN-P	350	345	352	349	93,6
	T8	K02-HN-Ú	345	350	357	351	62,3
	T9	K02-HN-P	372	377	385	378	373,5
	T10	K02-HN-Ú	379	375	373	375	281,3
	T11	K02-ZP-Ú	377	371	375	374	248,7
	T12	K02-ZP-Ú	347	344	357	349	87,2
	T13	K02-HN-P	332	331	334	332	687,9
	T14	K02-HN-P	354	374	357	362	11,1
	T15	K02-HN-Ú	368	373	372	371	154,7
	T16	K02-HN-P	375	381	381	379	413,2
	T17	K02-HN-Ú	357	348	354	353	30,9

Počet vzorků	17
Minimální tvrdost - Leeb	$H_{\min} = 307,4$ HL
Průměrná tvrdost - Leeb	$H_{\text{avg}} = 358,7$ HL
Minimální tvrdost	$H_{\min} = 348,2$ MPa
Průměrná tvrdost	$H_{\text{avg}} = 447,0$ MPa
Směrodatná odchylka	$s_x = 18,68$
Variační součinitel materiálu	$V_x = 0,05$
Variační součinitel geometrie	$V_{\text{geo}} = 0,05$
Variační součinitel nejistoty	$V_{\zeta} = 0,07$
Dodatečný variační součinitel	$V_{\text{dod}} = 0,12$
Variační součinitel celkové odolnosti	$V_R = 0,16$
Součinitel citlivosti	$\alpha_x = 0,8$
Index spolehlivosti	$\beta = 3,8$

Tabulka NA.2 – Součinitele k_n pro stanovení 5% kvantilu (charakteristické hodnoty)

Počet n	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	∞
V_x známý	2,31	2,01	1,89	1,83	1,80	1,77	1,74	1,72	1,68	1,67	1,64
V_x neznámý	-	-	3,37	2,63	2,33	2,18	2,00	1,92	1,76	1,73	1,64

Součinitel 5% kvantilu (ČSN 73 0038)	$k_n = 1,69$
Charakteristická hodnota meze pevnosti	$f_{u,k} = 407,6$ MPa



3.1.2 Odběr vzorků

V rámci korozního průzkumu byly odebrány vzorky oceli. Celkem byly odebrány ze 4 míst na konstrukci, kde jejich odběrem nebyla narušena nosná funkce. Po vyříznutí úhlovou bruskou byly vzorky popsány a místa odběrů byly opatřeny protikorozním nástříkem. Poté se vzorky odeslaly do zkušební laboratoře, kde byly provedeny tahové zkoušky oceli k získání meze kluzu. Kromě vzorků oceli byly odebrány vzorky plastbetonu z horních pásnic hlavních nosníků.



Obrázek 17: Místo odběru vzorku na konstrukci



Obrázek 18: Odebrané vzorky oceli a plastbetonu



Obrázek 19: Vzorky před a po provedení zkoušky

Provedení laboratorních zkoušek a následné vyhodnocení nebylo předmětem mé bakalářské práce. V následující tabulce je souhrn materiálových charakteristik ocele.

Tabulka 2: Shrnutí materiálových charakteristik

Charakteristická hodnota meze kluzu	$f_{y,k} =$	227,6 MPa
Průměr modelové nejistoty	$\mu_r =$	1,10
Součinitel bezpečnosti (ČSN 73 0038)	$\gamma_0 =$	1,14
- pro stabilitu	$\gamma_1 =$	1,24
Návrhová hodnota meze kluzu	$f_{y,d,0} =$	200,2 MPa
- pro stabilitu	$f_{y,d,1} =$	183,8 MPa

Návrhová hodnota meze kluzu je pro výpočet napětí stanovena na 200,2 MPa, pro výpočet stability na 183,8 MPa. Zjištěné hodnoty odpovídají dle předpisu SŽ S5/1 hodnotám meze kluzu plávkové oceli, která odpovídá roku výroby konstrukce (1913).

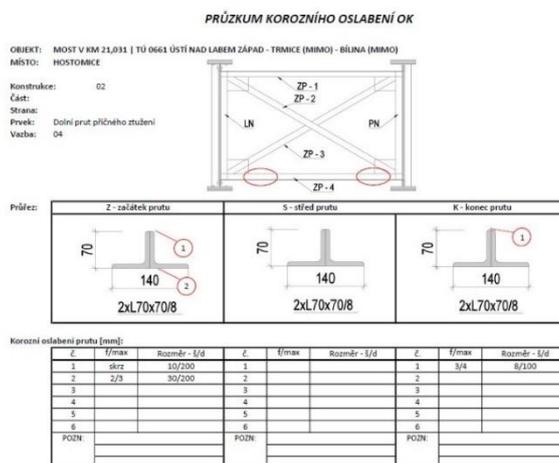
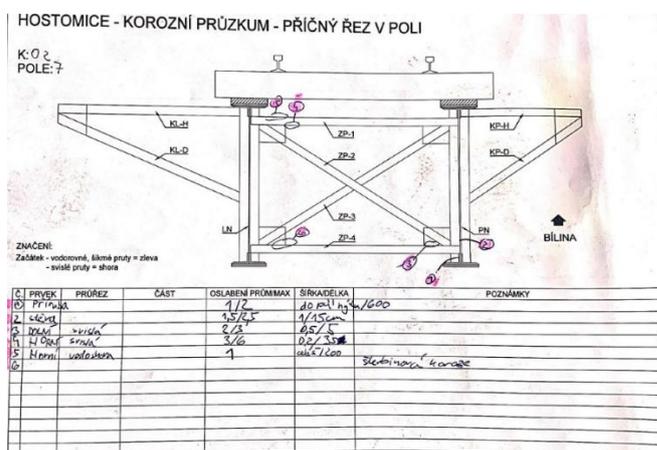
Tabulka 3: Tabulka A.1 SŽ S5/1

Rok výroby	Materiál pevnostní třídy	Dovolené namáhání σ_{adm} [MPa]	Zaručená mez kluzu f_y [MPa]	Mez pevnosti f_u [MPa]	γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2}	Norma	
do 1894	svářkové železo	130	210	340	1,10	1,20	1,30		
1895- 1904	svářkové železo	130	210	340	1,10	1,20	1,30	Nařízení 97/1904	
	plávková ocel	140	230	360	1,10	1,20	1,30		
1905- 1937	plávková ocel	140	230	360	1,10	1,20	1,30	ČSN 1230	
1938- 1950	37 (S235)	140	230	360	1,10	1,20	1,30	ČSN 1232	
	52 (S355)	195	335	490	1,10	1,25	1,30		
1951- 1968	37 (S235)	tloušťka $t \leq 25$ mm	140	230	360	1,10	1,20	1,30	Směrnice pro navrhování mostů, ČSN 73 6202 ČSN 73 6204
		> 25	130	210	340	1,10	1,20	1,30	
	52 (S355)	≤ 16	210	360	510	1,10	1,25	1,30	
		> 17	200	340	490	1,10	1,25	1,30	

3.2 Korozní průzkum

V rámci prohlídky mostu byl proveden podrobný průzkum korozních oslabení. Byly prohlédnuty všechny prvky hlavní nosné konstrukce, které jsou reprezentovány ve statickém výpočetním modelu (viz kapitola 5). Celkový stav korozních oslabení byl změřen, podrobně zaznamenán a zpracován do přehledného výkresu a do karet korozních oslabení na jednotlivých prvcích nosné konstrukce. Dále je korozní oslabení zohledněno v samotném statickém výpočtu a posouzení konstrukce.

Jako první byla místa s výskytem koroze očištěna drátěným kartáčem a tím zbavena zbytků nátěru a koroze. Poté byla změřena korozní oslabení pomocí posuvného měřidla a následně zjištěné hodnoty zapsány do předem připravených archů, ve kterých byl každý prvek jasně definován. V rámci zápisu byla zaznamenána maximální a průměrná hloubka korozního oslabení, délka a šířka porušeného místa a poloha na konstrukci. Posledním krokem byla fotodokumentace každého oslabeného prvku. Následně, když byl celý korozní průzkum na místě dokončen, byla všechna nasbíraná data zpracována do podrobných karet prvků, kde bylo každé korozní oslabení jasně definováno. Na závěr byl zpracován přehledný výkres korozních úbytků, který stručně odhaluje jednotlivá problematická místa na konstrukci.



Obrázek 20: Ukázka archu ke koroznímu průzkumu a karta prvku

3.2.1 Hlavní nosníky

Hlavní nosníky jsou nejvíce zasaženým prvkem na konstrukci. Problematická část je především spodní pásnice, na které se zřejmě zadržuje voda. Nejčastěji se jedná o oslabení průměrně mezi 2 – 3 mm. Pásnici tvoří profil L130x90/12 a bývá zasažena jak jeho svislá, tak vodorovná příruba do úrovně poloviny nýtů (viz Obrázek 21). V několika místech se korozní

oslabení objevuje i nad zmíněným profilem, a tak se koroze dostává až do samotné stěny hlavního nosníku, což je také vidět na Obrázek 21. Dále je zkorodována spodní pásnice ze spodní strany. Bohužel ji však nebylo možné bezpečně změřit kvůli omezenému přístupu, a proto bude ve statickém výpočtu uvažováno oslabení 1 mm po celé délce nosníku.



Obrázek 21: Koroze na hlavním nosníku

Další problematickou částí hlavního nosníku je horní pásnice. Je pravděpodobně také oslabena, ale vzhledem k plastbetonu, který je nalitý přímo na pásnici mezi dva plechy, není možné toto oslabení v celé délce změřit. Na jednom místě bylo provedeno odkrytí postranního plechu a odejmutí plastbetonu. V této odkryté části je patrná koroze horního plechu pásnice z důvodu držení vody na rozhraní plastbetonu a ocelového plechu. Ve statickém výpočtu bude toto oslabení uvažováno po celé délce 1 mm.



Obrázek 22: Koroze pod vrstvou plastbetonu nad horní pásnici hlavního nosníku

3.2.2 Horní pruty příčného ztužení

Tyto prvky jsou zpravidla zasaženy v místech konců styčnickových plechů. Problematická místa jsou dvě – svislé příruby úhelníků a vodorovné příruby z vrchní strany. U svislých přírub zde dochází k odkapávání vody, a tak se jedná o oslabení v průměrné délce 200 mm. Oslabení je na mnoha místech skrz celou tloušťku prvku, jak je vidět na Obrázek 23. Dalším případem je vodorovná příruba z vrchu. Zde nejsou oslabení až tak závažná, jedná se zpravidla o průměrné hodnoty kolem 1 mm. Způsobeno je zadržením vody na vodorovné přírubě a v „drážce“ vytvořené spojením dvou úhelníků.



Obrázek 23: Koroze na horním pase příčného ztužení

3.2.3 Dolní pruty příčného ztužení

U dolních prutů je lokace koroze obdobná jako v případě horních prutů, tedy u konců styčnickových plechů. Zde se kromě jiného vytváří šterbinová koroze (viz Obrázek 24) vlivem

zabránění odtoku vody kvůli spodnímu styčnickovému plechu připojující dolní ztužidla. Na jiných místech se zase koroze objevuje na vodorovné přírubě úhelníků, a to z důvodu zadržení vody i dalších nečistot. Tato oslabení se pohybují průměrně kolem 2 mm.



Obrázek 24: Koroze na dolním pase příčného ztužení

3.2.4 Diagonály příčného ztužení

Diagonály příčného ztužení jsou jednoznačně nejméně zasaženou částí nosné konstrukce. Jejich oslabení se objevuje prakticky jen v jednom případě, a to na příčném ztužení číslo 2. Jedná se o korozi v místě jejich vzájemného spojení, tedy nýtu. Oslabení je 1 mm v celé šířce a délce 150 mm.

3.2.5 Vodorovná ztužení

Diagonála horních ztužidel je oslabena jen v jednom případě, a to zhruba v polovině pole. Jedná se o oslabení s maximální hodnotou 5 mm. Dolní ztužení je korozí zasaženo o něco více. V průměru je oslabeno 2 mm.

3.3 Další závady na mostě

3.3.1 Nosná konstrukce

Mimo již zmíněných korozních oslabení nosné konstrukce je závadou chybějící a loupající se vrstva protikorozní ochrany. Ta na většině ploch již neplní svou původní funkci, což je patrné ze zjištěných korozních úbytků. Dále je konstrukce zanesena nánosem nečistot, především z uhlí, které je převáženo vlaky po trati.

3.3.2 Spodní stavba

Kontrola spodní stavby proběhla vizuálně. Na opěrách jsou úložné prahy zaneseny nečistotami. U zděné opěry je vypadaná spárová malta a místy prorůstá vegetace. Na závěrné zdi je obnažená betonářská výztuž. Místy jsou drobné vlásečnicové trhliny v betonu. Voda stékající po zdech se rzí zanechává na stěnách špinavé mapy.



Obrázek 25: Pohled na OPI

3.3.3 Železniční svršek

Železniční svršek je velmi dobře udržován, proto na něm nebyly shledány žádné závažnější závady. V jednom případě je uvolněna vrtule upevnění koleje. Pochozí plechy jsou mírně zkorodovány a chybí protikorozní nátěr. Na mnoha mostnicích jsou uvolněné šrouby sloužící k připevnění mostnice k hlavním nosníkům, v několika případech chybí na šroubech matice. Jinak je železniční svršek bez větších závad.



Obrázek 26: Uvolněný šroub / vrtule

3.3.4 Ložisko

Na konstrukci K02 byla zjištěna závada na pravém posuvném ložisku na opěře OP01. Vyosení je cca 5 mm. Všechna ložiska jsou pokryta povrchovou korozí a mají poškozený protikorozní nátěr. Jsou zanesena nečistotami a zbytky uhlí přepravovaného po trati. Žádné závažnější problémy ohrožující funkčnost ložisek nebyly objeveny.



Obrázek 27: Vyosení ložiska

4. ZATÍŽENÍ A KOMBINACE

4.1 Stálá zatížení

4.1.1 Vlastní tíha

Zatížení od vlastní tíhy je automaticky vygenerováno v programu SCIA Engineer. Je zde započítána tíha od nosné konstrukce a železničního svršku. Vlastní tíha styčnickových plechů je s ohledem na charakter konstrukce zanedbána.

4.1.2 Ostatní stálé zatížení

Do ostatního stálého zatížení je započítána vlastní tíha postranních konzol, podélníků s podlahovými plechy, zábradlím a kabelovým žlabem. Ty jsou převedeny na osamělé síly a následně na osamělé momenty působící v místě konzol na hlavní nosníky. Jejich výpočet je shrnut v následujících tabulkách:

Zatížení od pravé konzoly:

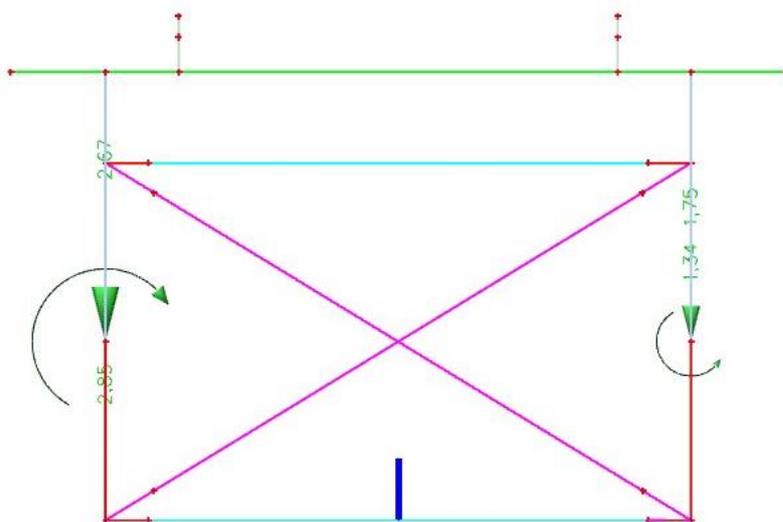
Tabulka 4: Ostatní stálé zatížení - pravý nosník

Prvek	Počet (ks)	A (mm ²)	Zatěžovací šířka (mm)	γ (kN/m ³)	F (kN)	r [m]	M [kNm]
Zábradlí sloupek L 70x70/8	1	1065	1100	78,5	0,092	1,630	0,638
Zábradlí madlo 2x L 70x70/8	2	1065	1790	78,5	0,299		
Kabelový žlábek 2x L 70x70/8	2	1065	1790	78,5	0,299	1,490	0,446
Podlahový plech Tl. 6 mm	1	7320	1790	78,5	1,029	0,950	0,977
Horní část konzol 2x L 70x70/8	2	1065	900	78,5	0,150	0,790	0,119
Podélník 4x L 70x70/8	4	1065	1790	78,5	0,598	0,867	0,519
Spodní část konzol L 70x70/8	1	1065	1150	78,5	0,096	0,665	0,064
Šikmá část konzol L 70x70/8	1	1065	1260	78,5	0,105	0,860	0,091
Moment vyvozený konzolou na pravý hlavní nosník [kNm]:							2,853

Zatížení od levé konzoly:

Tabulka 5: Ostatní stálé zatížení - levý nosník

Prvek	Počet (ks)	A (mm ²)	Zatěžovací šířka (mm)	γ (kN/m ³)	F (kN)	r [m]	M [kNm]
Podélník 2x I 130	2	2300	1790	78,5	0,646	0,815	0,527
Podlahový plech Tl. 6 mm	1	5400	1790	78,5	0,759	0,760	0,577
Horní část konzol 2x L 70x70x8	2	1065	900	78,5	0,150	0,760	0,114
Spodní část konzol L 70x70/8	1	1065	1120	78,5	0,094	0,615	0,058
Šikmá část konzol L 70x70/8	1	1065	1230	78,5	0,103	0,650	0,067
Moment vyvozený konzolou na levý hlavní nosník [kNm]:							1,342

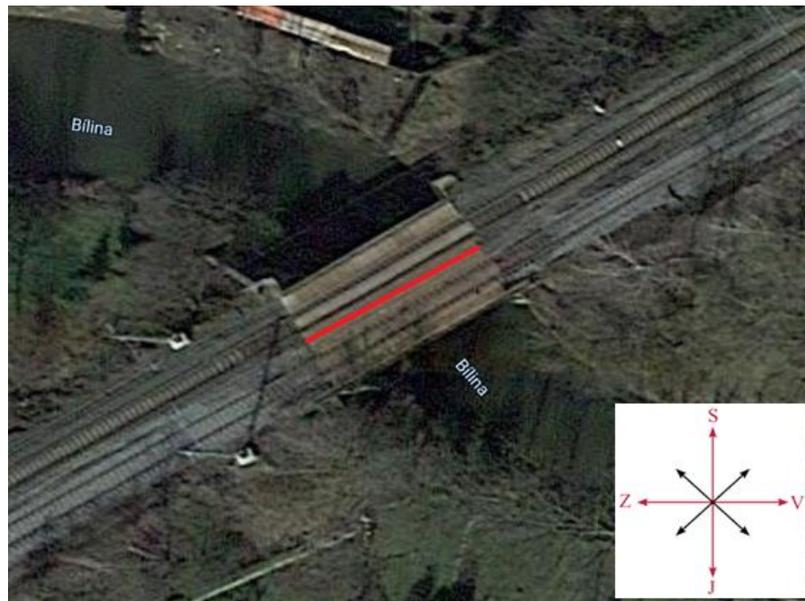


Obrázek 28: Ostatní stálé zatížení - model

4.2 Proměnná zatížení

4.2.1 Zatížení větrem

Zatížení větrem je uvažováno podle normy ČSN EN 1991-1-4. Vzhledem k dostupným podrobnějším údajům od Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) byla brána zpřesněná vstupní data rychlosti a směru větru. Dále byly použity korekční součinitele dle přílohy G předpisu SŽ S5/1. Z výpočtu zatížení větrem (viz níže) je patrné, že postup výpočtu podle normy ČSN EN 1991-1-4 je mnohem konzervativnější než výpočet se zpřesněnými daty a s použitím korekčního součinitele.



Obrázek 29: Poloha větru

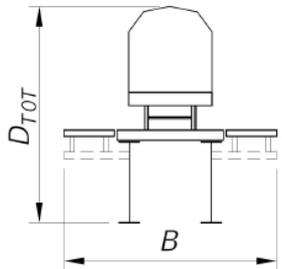
Tabulka 6: Rychlost větru s návratností 50 let a turbulence v místě stavby dle ČHMÚ (GPS: 50.587571 N, 13.814938 E, 190 m n. m., výška 7 m, drsnost 1,0, $v_{b,0} = 22.0$ m/s)

Směr větru	Rychlost větru	IHT [%]
S	2,6	99,5
SV	4,7	67,6
V	6,8	37,2
JV	6,6	48,6
J	3,1	105,5
JZ	6,1	75,3
Z	11,2	41,0
SZ	11,6	49,1

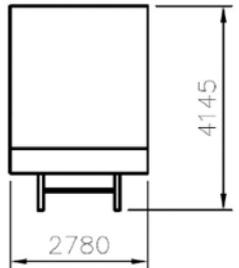
Směru větru odpovídá směr SZ a JV, pro výpočet byl vybrán směr SZ s rychlostí větru 11,6 m/s a IHT 49,1%. Podélný vítr není uvažován.

Dle předpisu SŽ S5/1 přílohy G byl použit korekční součinitel pro zatížení ocelových mostů.

Tabulka 7: Reprezentativní typ mostu č.7 dle Tab. G.1 SŽ S5/1

Most č.	Popis mostu	Aplikovatelný poměr b/d_{tot} pro most s dopravou	Schéma modelu
7	Plnostěnný most trémový bez mostovky, uložení mostnic přímo na hlavní nosníky	0,72 – 1,04	

Tabulka 8: Reprezentativní kolejové vozidlo - KVD3

Kategorie výšky dopravy KVD	Max. výška dopravy [m]	Typický rozměr vozu (zkoušený ve větrném tunelu)
KVD 3 Tratě pro osobní i nákladní dopravu bez dvoupatrových jednotek příměstské dopravy (odpovídá např. SGS + High Cube)	4,30	

Tabulka 9: Korekční součinitel $C_{kor,x}$

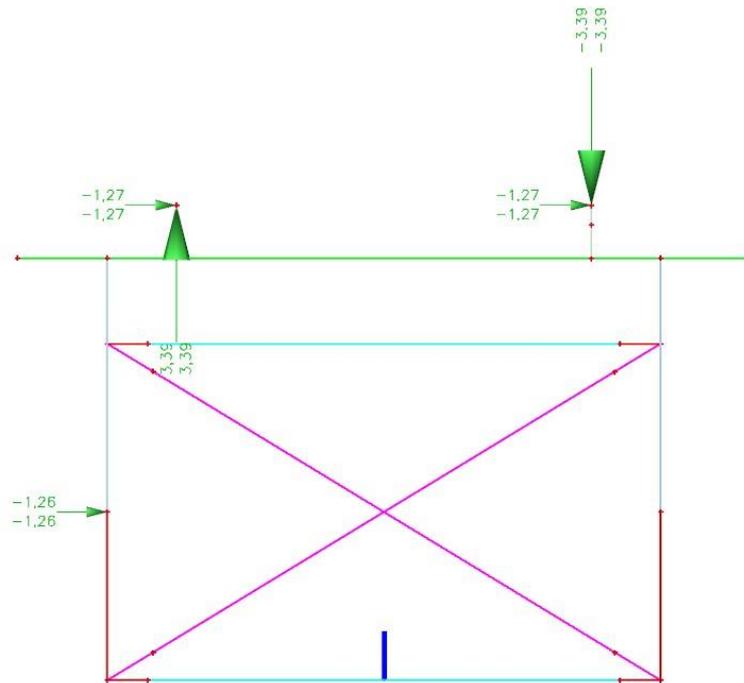
Č.	Typ konstrukce	Úhel šikmo nabíhajícího větru θ [°]*)	KVD 1 (Regionova)	KVD 2 (Kils 12)	KVD 3 (SGS + High Cube)	KVD 4 (City Elephant)
			$C_{kor,x} [-]$			
7	Plnostěnný most trémový bez mostovky, uložení mostnic přímo na hlavní nosníky	$\pm 5^\circ$	0,67	0,67	0,74	0,83
		$\pm 10^\circ$	0,67	0,67	0,74	0,83

Tabulka 10: Výpočet zatížení větrem

PŘÍČNÝ VÍTR S DOPRAVOU NA MOSTĚ		ČSN EN 1991-1-4	ČHMÚ	SŽ S5/1 příloha G	
Kategorie terénu		III.	-	-	
Větrná oblast		I.	-	-	
Výchozí základní rychlost větru	$V_{b,0} =$	22,5	22,0	-	m/s
Součinitel směru větru	$c_{dir} =$	1,0	1,0	-	-
Součinitel ročního období	$c_{season} =$	1,0	1,0	-	-
Základní rychlost větru	$V_b =$	22,5	22,0	-	m/s
Parametr drsnosti terénu	$z_0 =$	0,3	1,0	-	m
Minimální výška dle tab. 4.1	$z_{min} =$	5,0	5,0	-	m
Výška nad terénem	$z =$	7,0	7,0	-	m
Součinitel terénu	$k_r =$	0,215	0,234	-	-
Součinitel drsnosti terénu	$c_r =$	0,678	0,456	-	-
Součinitel ortografie	$c_o =$	1,0	1,156	-	-
Součinitel turbulence	$k_l =$	1,0	1,105	-	-
Intenzita turbulence	$I_v =$	0,317	0,491	-	-
Střední rychlost větru ve výšce z	$V_m =$	15,3	11,6	-	m/s
Měrná hmotnost vzduchu	$\rho =$	1,25	1,25	-	kg/m ³
Základní dynamický tlak	$q_b =$	316,4	302,5	-	N/m ²
Maximální dynamický tlak	$q_p =$	469,3	373,1	-	N/m ²
Součinitel expozice	$c_e =$	1,483	1,233	-	-
Výška kce vystavená větru	$d =$	1,98	1,98	-	m
+ přidavná výška (doprava na mostě)		4,0	4,0	-	m
Celková výška kce vystavená větru	$d_{tot} =$	5,98	5,98	-	m
Šířka konstrukce	$b =$	4,91	4,91	-	m
Poměr šířky a výšky konstrukce	$b / d_{tot} =$	0,82	0,82	-	-
Součinitel síly (Obr. 8.3)	$c_{fx,0} =$	2,30	2,30	-	-
Odklon od svislice	$\alpha_1 =$	0,0	0,0	-	°
Korekce součinitele síly	$c_{kor,x} =$	-	-	0,74	-
Redukovaný součinitel síly	$c_{fx,red} =$	2,30	2,30	1,70	-
Součinitel zatížení větrem	$C =$	3,41	2,84	2,10	-
Tlak větru	$F_w =$	1079,4	858,1	635,1	N/m ²
Ekvivalentní přitížení kolejnic					
- osová vzdálenost kolejnic	$a =$	1,5	m		
- vodorovné zatížení 1 kolejnice	$f_H =$	1270,2	N/m		
- svislé zatížení 1 kolejnice	$f_V =$	3387,2	N/m		

Z výpočtu zatížení větrem je patrné, že postup výpočtu podle normy ČSN EN 1991-1-4 je mnohem konzervativnější než výpočet se zpřesněnými daty a s použitím korekčního součinitele z předpisu S5/1.

Účinky zatížení od větru jsou zahrnuty do dvou zatěžovacích stavů – vítr působící na konstrukci zleva a zprava oboje s přitížením od dopravy.



Obrázek 30: Zatížení větrem - model

4.2.2 Zatížení od teploty

Konstrukce působí jako prostý nosník, nebude tak do výpočtu zahrnuto rovnoměrné teplotní zatížení – konstrukce se může v podélném směru protahovat i zkracovat a tím nevzniká dodatečné napětí.

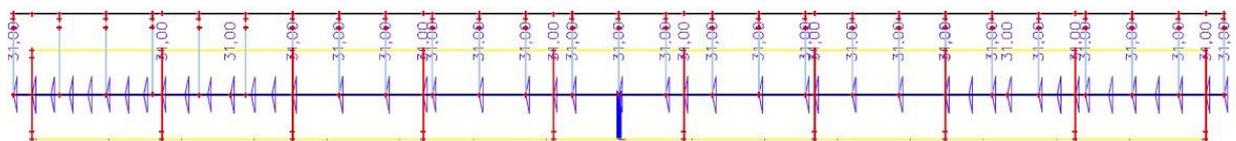
Zatížení nerovnoměrnou složkou teploty je uvažováno dle ČSN EN 1991-1-5 kap. 6.1.4.1.

Nosná konstrukce: typ 1 – ocelová

Mostní svršek: bez kolejového lože, $k_{sur} = 1,0$

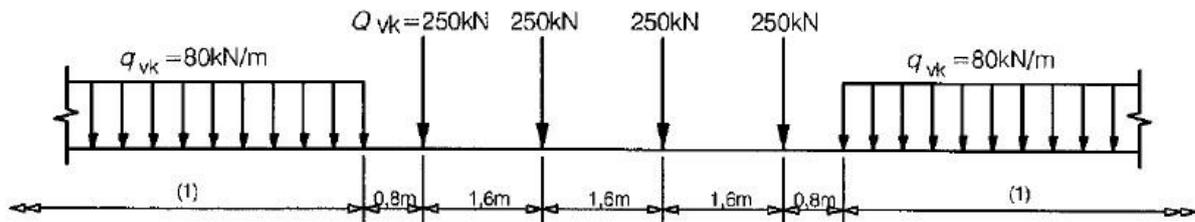
a) Horní povrch teplejší než dolní: $\Delta T_{M,heat} = 18^{\circ}\text{C}$

b) Dolní povrch teplejší než horní: $\Delta T_{M,cool} = 13^{\circ}\text{C}$



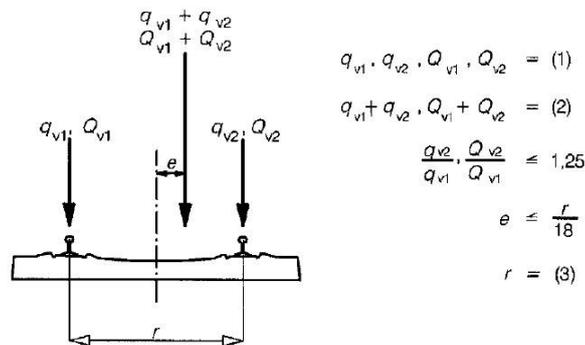
Obrázek 31: Zatížení teplotou - model

4.2.3 Model zatížení LM 71



Obrázek 32: Model zatížení LM 71 a charakteristické hodnoty svislého zatížení [1]

Do výpočetního modelu je zatížení Modelem LM 71 vneseno pomocí funkce „Pohyblivá zatížení“, který nejlépe vyhodnotí účinky příčinkových čar. Dále je zohledněna excentricita svislého zatížení z důvodu bočního posunutí. Výpočet excentricity byl proveden dle ČSN EN 1991-2, kap. 6.3.5.



Obrázek 33: Excentricita svislého zatížení

$$e = \frac{r}{18} = \frac{1500}{18} = 83 \text{ mm}$$

Kde r je příčná vzdálenost mezi kolovými zatíženími.

Poměr na jednotlivé kolejnice:

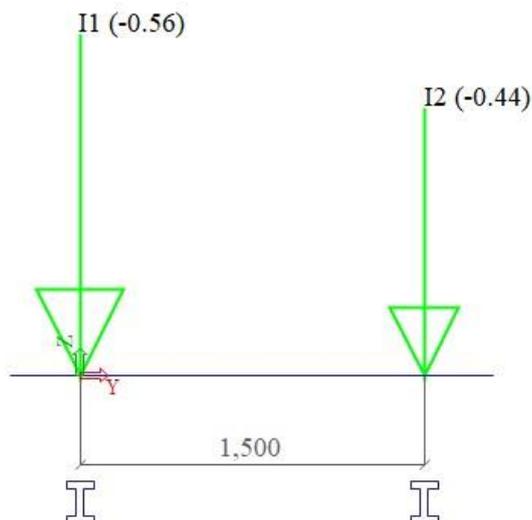
$$y = e + \frac{r}{2} = 83 + \frac{1500}{2} = 833,3 \text{ mm}$$

$$p_1 * y - p_2 * (1500 - y) = 0$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{(1500 - y)}{y} = \frac{(1500 - 833,3)}{833,3} = \frac{666,7}{833,3} = \frac{4}{5}$$

$$p_1 = 4$$

$$p_2 = 5$$



Obrázek 34: Zohlednění excentricity – model

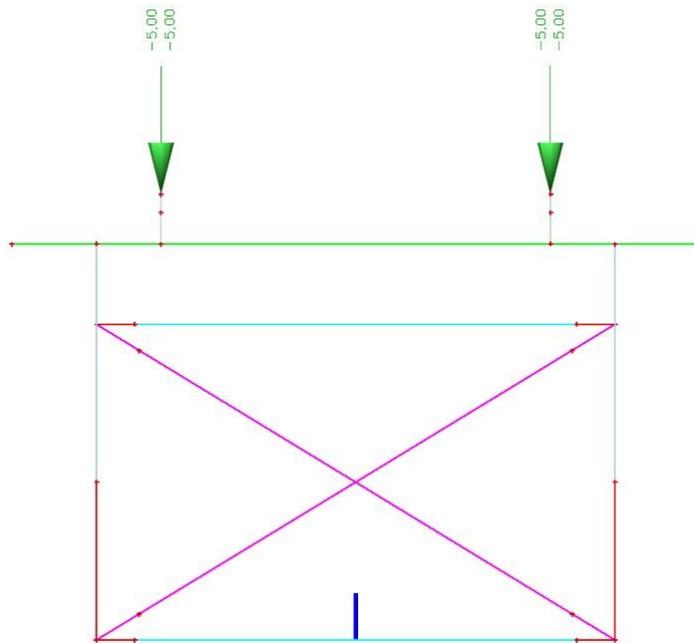
4.2.4 Dynamický součinitel

Dynamický součinitel pro standardně udržovanou kolej se dle ČSN EN 1991-2, kap. 6.4.5. vyjádří jako: $\Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\Phi - 0,2}} + 0,73$; kde L_Φ je „náhradní“ délka definovaná v tabulce 6.2. v ČSN EN 1991-2. Pro dynamický součinitel hlavních nosníků odpovídá náhradní délka $L_\Phi = 16,11$ m (rozpětí mostu).

$$\Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\Phi - 0,2}} + 0,73 = \frac{2,16}{\sqrt{16,11 - 0,2}} + 0,73 = 1,30$$

4.2.5 Model zatížení „nezatížený vlak“

Model proměnného zatížení od dopravy „nezatížený vlak“ je uvažován jako spojitě zatížení o velikosti 10 kN/m.



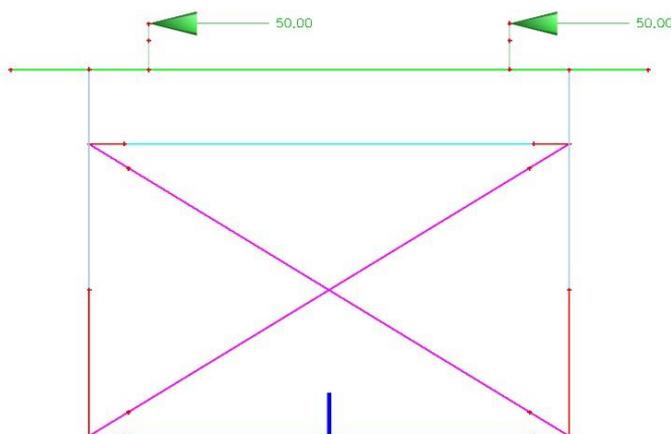
Obrázek 35: Nezatížený vlak - model

4.2.6 Odstředivé síly

Most se nachází v přímém úseku tratě, tudíž odstředivé síly nebudou uvažovány.

4.2.7 Boční ráz

Dle ČSN EN 1991-2, kap. 6.5.2. boční ráz reprezentuje vodorovná osamělá síla, která působí v úrovni temene kolejnic v příčném směru kolmo k ose kolejnice. Uvažuje se pro koleje v přímém úseku i v oblouku. Je uvažována osamělá síla $Q_{sk} = 100$ kN, která je rovnoměrně rozdělena na obě kolejnice, tedy 2×50 kN. Do modelu je aplikována v úrovni příčných ztužidel a to jak zleva tak zprava.



Obrázek 36: Boční ráz – model

4.2.8 Rozjezdové a brzdné síly

Dle ČSN EN 1991-2, kap. 6.5.3. působí rozjezdové a brzdné síly vodorovně v podélném směru v místě temene kolejnic. Uvažuje se, že jsou rovnoměrně rozloženy po příčinné délce $L_{a,b}$. Pro model zatížení LM 71 má rozjezdová síla hodnotu $Q_{lak} = 33 \text{ kN/m}$ a brzdná síla $Q_{lbk} = 20 \text{ kN/m}$. Zároveň musí být splněno $Q_{lak} \leq 1000 \text{ kN}$ a $Q_{lbk} \leq 6000 \text{ kN}$. Délka $L_{a,b}$ se v tomto případě uvažuje jako délka rozpětí mostu, tedy 16,110 m.

$$Q_{lak} = 33 * L_{a,b} = 33 * 16,110 = 531,63 \text{ kN} \leq 1000 \text{ kN}$$

$$Q_{lbk} = 20 * L_{a,b} = 20 * 16,110 = 322,2 \text{ kN} \leq 6000 \text{ kN}$$

4.3 Součinitele zatížení

Stálé zatížení

Dílčí součinitel pro stálé zatížení byl vzhledem ke stáří konstrukce – více než 30 let zvolen $\gamma_G = 1,20$.

Zatížení modelem LM 71

Součinitel zatížení dopravou pro mostní objekty starší 30 let je $\gamma_{FLM 71} = 1,30$.

Zatížení dopravou

Pro zatížení dopravou (boční ráz, rozjezdové/brzdné síly) je obdobně jako u modelu LM 71 uvažován součinitel zatížení $\gamma_Q = 1,30$.

Klimatická zatížení

Dílčí součinitel zatížení větrem je uvažován $\gamma_w = 1,35$ a pro zatížení teplotou $\gamma_T = 1,50$.

4.4 Kombinace

Kombinace zatížení jsou uvažovány podle normy ČSN EN 1990 dle vztahů 6.10a a 6.10b:

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

$$(6.10b) \quad \sum_{j \geq 1} \xi_j \cdot \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Je sestaveno celkem osm kombinací, z nichž první čtyři uvažují polohu modelu zatížení LM 71 vyvolující maximální možný ohybový moment na hlavních nosnících. Další čtyři kombinace zatížení zase vyvolávají maximální posouvající síly v místech na podporami.

Tabulka 11: Kombinace zatížení KZ 1-4

Č.	Název	Popis	γ_G/γ_Q	ξ	ψ_0	Φ_3	gr 11,13	gr 12,14	Zatěžovací stavy
1	KZ1	gr11 - 6.10a - My,max	1,20	-	-	-	-	-	Vlastní tíha
			1,20	-	-	-	-	-	Ostatní stálé
			1,30	-	0,80	-	1,00	-	Rozjezdové/brzdné síly
			1,35	-	0,75	-	-	-	Vítr
			1,50	-	0,60	-	-	-	Teplota
			1,30	-	-	1,30	-	-	LM71 - My, max
			1,30	-	0,80	-	0,50	-	Boční ráz - My, max
2	KZ2	gr11 - 6.10b - My,max	1,20	0,85	-	-	-	-	Vlastní tíha
			1,20	0,85	-	-	-	-	Ostatní stálé
			1,30	-	-	-	1,00	-	Rozjezdové/brzdné síly
			1,35	-	0,75	-	-	-	Vítr
			1,50	-	0,60	-	-	-	Teplota
			1,30	-	-	1,30	-	-	LM71 - My, max
			1,30	-	-	-	0,50	-	Boční ráz - My, max
3	KZ3	gr12 - 6.10a - My,max	1,20	-	-	-	-	-	Vlastní tíha
			1,20	-	-	-	-	-	Ostatní stálé
			1,30	-	0,80	-	-	0,50	Rozjezdové/brzdné síly
			1,35	-	0,75	-	-	-	Vítr
			1,50	-	0,60	-	-	-	Teplota
			1,30	-	-	1,30	-	-	LM71 - My, max
			1,30	-	0,80	-	-	1,00	Boční ráz - My, max
4	KZ4	gr12 - 6.10b - My,max	1,20	0,85	-	-	-	-	Vlastní tíha
			1,20	0,85	-	-	-	-	Ostatní stálé
			1,30	-	-	-	-	0,50	Rozjezdové/brzdné síly
			1,35	-	0,75	-	-	-	Vítr
			1,50	-	0,60	-	-	-	Teplota
			1,30	-	-	1,30	-	-	LM71 - My, max
			1,30	-	-	-	-	1,00	Boční ráz - My, max

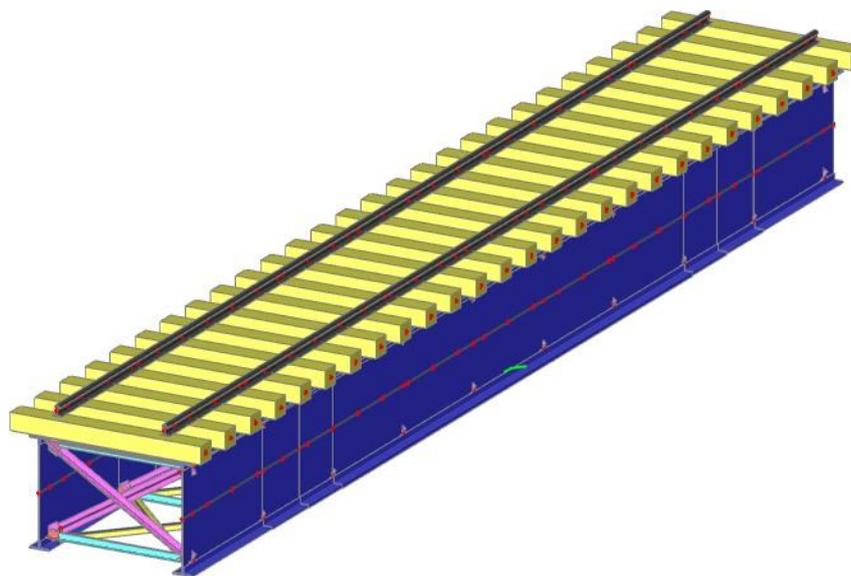
Tabulka 12: Kombinace zatížení KZ 5-8

5	KZ5	gr11 - 6.10a - Vz,max	1,20	-	-	-	-	-	Vlastní tíha
			1,20	-	-	-	-	-	Ostatní stálé
			1,30	-	0,80	-	1,00	-	Rozjezdové/brzdné síly
			1,35	-	0,75	-	-	-	Vítr
			1,50	-	0,60	-	-	-	Teplota
			1,30	-	-	1,30	-	-	LM71 - Vz, max
			1,30	-	0,80	-	0,50	-	Boční ráz - Vz, max
6	KZ6	gr11 - 6.10b - Vz,max	1,20	0,85	-	-	-	-	Vlastní tíha
			1,20	0,85	-	-	-	-	Ostatní stálé
			1,30	-	-	-	1,00	-	Rozjezdové/brzdné síly
			1,35	-	0,75	-	-	-	Vítr
			1,50	-	0,60	-	-	-	Teplota
			1,30	-	-	1,30	-	-	LM71 - Vz, max
			1,30	-	-	-	0,50	-	Boční ráz - Vz, max
7	KZ7	gr12 - 6.10a - Vz,max	1,20	-	-	-	-	-	Vlastní tíha
			1,20	-	-	-	-	-	Ostatní stálé
			1,30	-	0,80	-	-	0,50	Rozjezdové/brzdné síly
			1,35	-	0,75	-	-	-	Vítr
			1,50	-	0,60	-	-	-	Teplota
			1,30	-	-	1,30	-	-	LM71 - Vz, max
			1,30	-	0,80	-	-	1,00	Boční ráz - Vz, max
8	KZ8	gr12 - 6.10b - Vz,max	1,20	0,85	-	-	-	-	Vlastní tíha
			1,20	0,85	-	-	-	-	Ostatní stálé
			1,30	-	-	-	-	0,50	Rozjezdové/brzdné síly
			1,35	-	0,75	-	-	-	Vítr
			1,50	-	0,60	-	-	-	Teplota
			1,30	-	-	1,30	-	-	LM71 - Vz, max
			1,30	-	-	-	-	1,00	Boční ráz - Vz, max

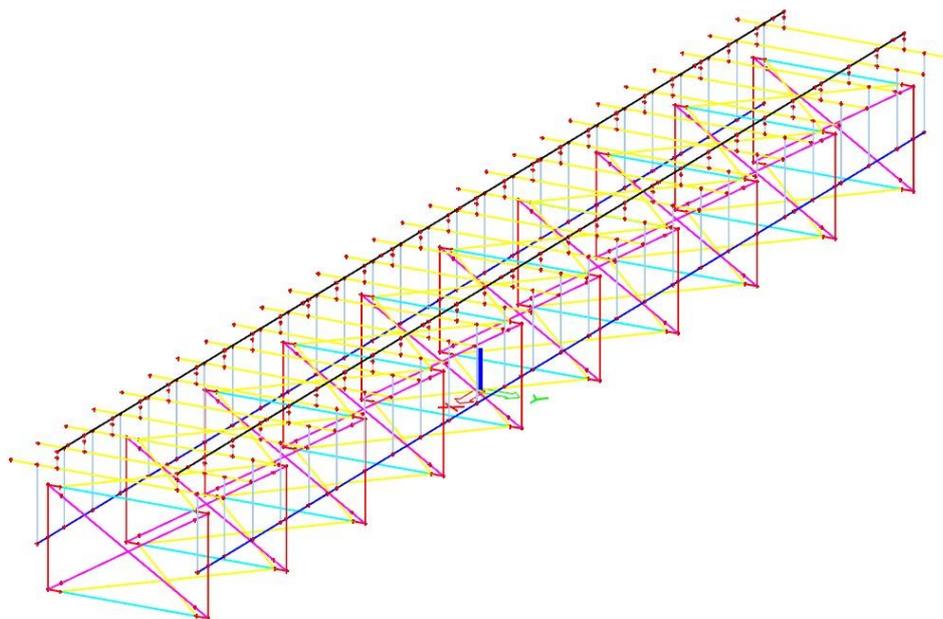
5. VÝPOČETNÍ MODEL

Před vytvořením samotného modelu bylo nutno konstrukci nejdříve přeměřit a narýsovat. Poté byl podle výkresu vytvořen 3D model v programu Autocad, který byl následně importován do výpočetního programu. K získání co nejpřesnějších materiálových vlastností ocele byl proveden odběr vzorku a následné laboratorní měření viz výše.

Pro výpočet byl použit program SCIA Engineer verze 20. Byl uvažován prostorový prutový model. Do modelu byla zanesena jen hlavní nosná konstrukce (hlavní nosníky, příčná ztužení, vodorovná ztužení) a prvky železničního svršku (kolejnice a mostnice). Nenosné části konstrukce jsou v modelu zohledněny pomocí přídatného zatížení. Jednotlivá propojení prvků jsou v modelu reprezentována zjednodušeně pomocí pružných kloubů s příslušnou tuhostí. Ložiska jsou nahrazena klouby se zadanou vůlí. Každému prvku je přiřazen reálný průřez, který charakterizuje všechny jeho vlastnosti. Pruty jsou v modelu k hlavním nosníkům připojeny pomocí fiktivních ramen, kterým byla přiřazena několikanásobná tuhost a nulová objemová tíha. To slouží k tomu, aby byly prvky ve správné poloze a zároveň nebyl ovlivněn výpočet.



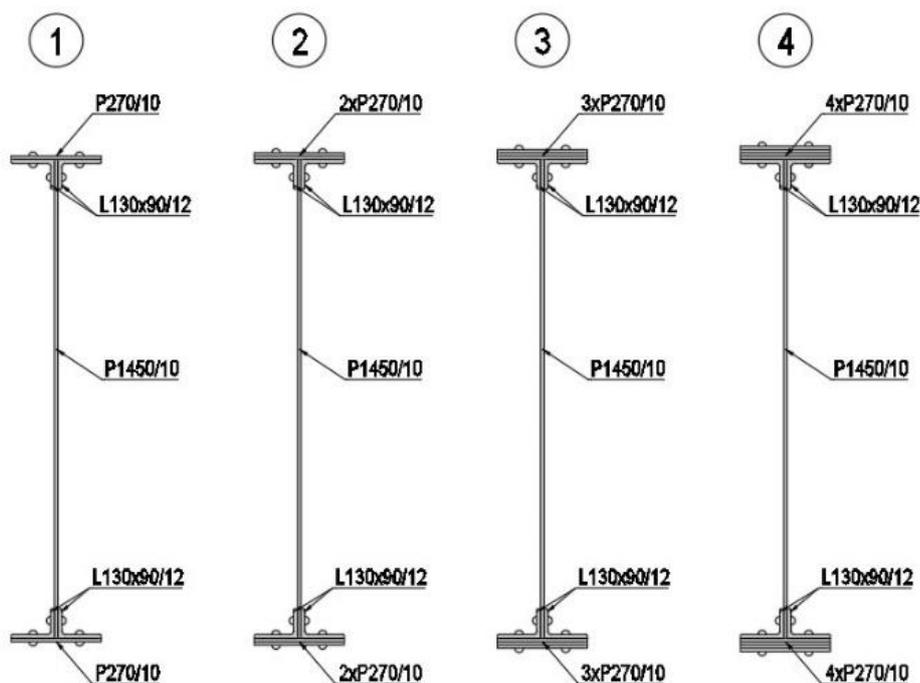
Obrázek 37: Renderovaný model



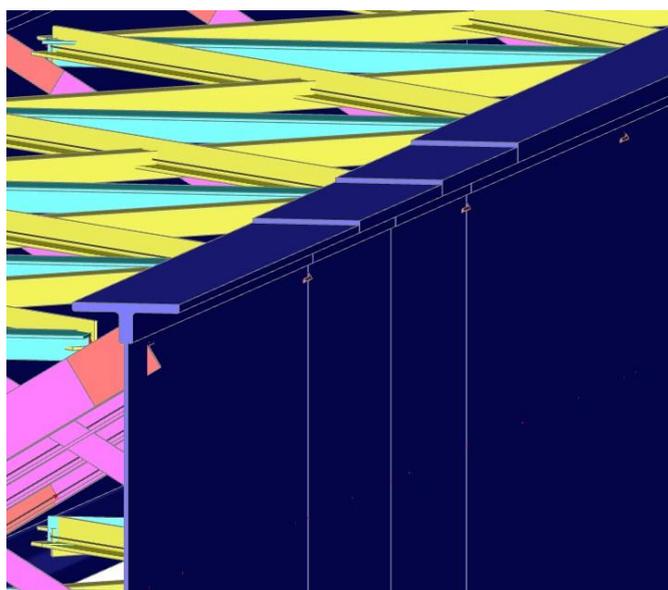
Obrázek 38: Prutový model

5.1 Hlavní nosníky

Hlavní nosníky se skládají ze čtyř úhelníků, stojinového plechu a přídatných plechů na horní a dolní pásnici. Výšky pásnic jsou však v reálu odstupňované. To je v modelu zohledněno rozdělením hlavního nosníku po jeho délce. Těmto částem jsou přiřazeny odpovídající průřezy, tím je v modelu odstupňování nahrazeno. Hlavní nosníky jsou od sebe osově vzdáleny 2 metry. Celý nosník měří 16,610 m i s přesahem 250 mm za osou uložení.



Obrázek 39: Průřezy hlavních nosníků



Obrázek 40: Ukázka odstupňování pásnic hlavního nosníku v renderovaném modelu

5.2 Příčné a vodorovné ztužení

Mezi hlavními nosníky se nachází celkem 10 vazeb příčného ztužení. Pruty ztužení jsou v místech styčnickových plechů připojeny pružným kloubem s odpovídající tuhostí. V oblasti styčnickových plechů jsou průřezy diagonál rozšířeny o plech tloušťky 10 mm. Obdobně

je řešeno i vodorovné ztužení. Křížení diagonál je na reálné konstrukci vyhotoveno pomocí jednonýtového spoje, v modelu je reprezentováno kloubem.

V modelu jsou aplikovány 3 druhy přípojí:

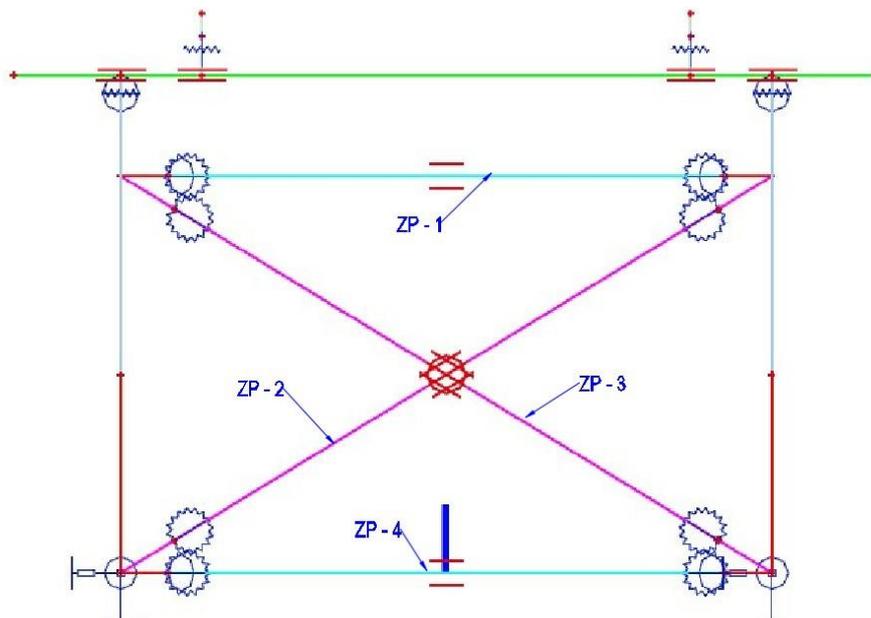
- kloubový přípoj: rotaci (pootočení) kolem zvolené osy není bráněno
- vetknutý přípoj: rotaci (pootočení) kolem zvolené osy je dokonale bráněno
- pružný přípoj: rotaci (pootočení) kolem zvolené osy je částečně bráněno, nastavena počáteční ohybová tuhost [MNm/rad]

Tuhost styčnicku byla spočtena na základě podkladu SŽ S5/1 A 2.1.4 dle vzorce:

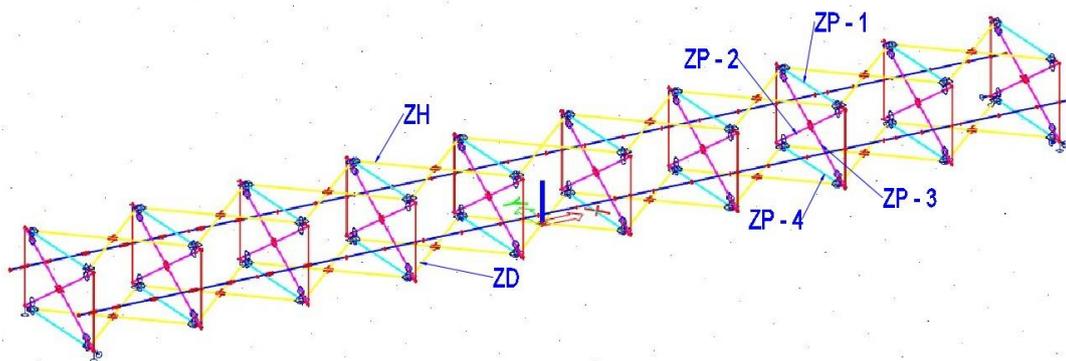
$$S_j = 2 \times 10^{-7} \cdot I + 2,7436$$

Kde: S_j - ohybová počáteční tuhost v MNm/rad

I – moment setrvačnosti připojovaného prutu v mm^4



Obrázek 41: Příčné ztužení v modelu



Obrázek 42: Příčné a vodorovné ztužení v modelu

Tabulka 13: Tuhosti přípojů konstrukčních prvků

PRŮŘEZ	TUHOST PŘÍPOJŮ VOLNÝCH KONCŮ [MN/m, MNm/rad]							
	Začátek prvku				Konec prvku			
	ux, uy, uz	jx	jy	jz	ux, uy, uz	jx	jy	jz
HN-1	TUHÉ	TUHÝ	TUHÝ	TUHÝ	TUHÉ	TUHÝ	TUHÝ	TUHÝ
HN-2	TUHÉ	TUHÝ	TUHÝ	TUHÝ	TUHÉ	TUHÝ	TUHÝ	TUHÝ
HN-3	TUHÉ	TUHÝ	TUHÝ	TUHÝ	TUHÉ	TUHÝ	TUHÝ	TUHÝ
HN-4	TUHÉ	TUHÝ	TUHÝ	TUHÝ	TUHÉ	TUHÝ	TUHÝ	TUHÝ
ZH-1	TUHÉ	TUHÝ	KLOUB	2,84	TUHÉ	TUHÝ	KLOUB	2,84
ZH-2	TUHÉ	TUHÝ	KLOUB	2,84	TUHÉ	TUHÝ	KLOUB	2,84
ZD-1	TUHÉ	TUHÝ	KLOUB	2,84	TUHÉ	TUHÝ	KLOUB	2,84
ZD-2	TUHÉ	TUHÝ	KLOUB	2,84	TUHÉ	TUHÝ	KLOUB	2,84
ZP-O-1	TUHÉ	TUHÝ	2,93	KLOUB	TUHÉ	TUHÝ	2,93	KLOUB
ZP-O-2	TUHÉ	TUHÝ	3,11	KLOUB	TUHÉ	TUHÝ	3,11	KLOUB
ZP-O-3	TUHÉ	TUHÝ	3,11	KLOUB	TUHÉ	TUHÝ	3,11	KLOUB
ZP-O-4	TUHÉ	TUHÝ	2,93	KLOUB	TUHÉ	TUHÝ	2,93	KLOUB
ZP-P-1	TUHÉ	TUHÝ	2,93	KLOUB	TUHÉ	TUHÝ	2,93	KLOUB
ZP-P-2	TUHÉ	TUHÝ	2,84	KLOUB	TUHÉ	TUHÝ	2,84	KLOUB
ZP-P-3	TUHÉ	TUHÝ	2,84	KLOUB	TUHÉ	TUHÝ	2,84	KLOUB
ZP-P-4	TUHÉ	TUHÝ	2,93	KLOUB	TUHÉ	TUHÝ	2,93	KLOUB

5.3 Kolej na mostě

Na mostě se nachází bezстыková kolej, není instalováno kolejové dilatační zařízení. Vzhledem k délce konstrukce (16,610 m) je však dle předpisu SŽDC S3/XII splněna podmínka přípustné dilatující délky, viz tabulka:

Tabulka 14: Největší přípustné dilatující délky

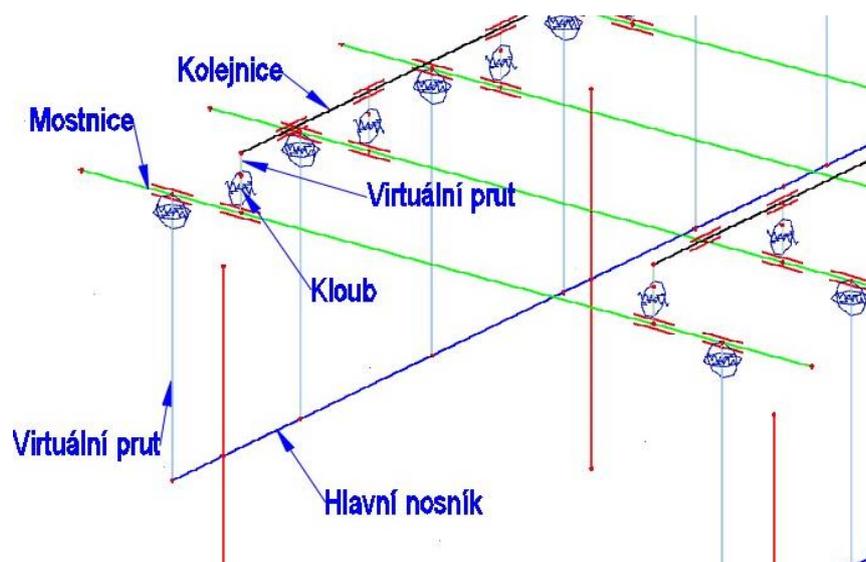
Případ č.	Uspořádání mostních ložisek a dilatující délka L_T	Tvar kolejnice 2)	Mosty s nosnými konstrukcemi										
			ocelovými						ocelobetonovými		betonovými		
			s kolejovým ložem			s mostnicemi uloženými			s přímým uložením koleje	s kolejovým ložem		s kolejovým ložem	
			pražce		centricky	plošné		dřevěné	betonové	pražce		pražce	
			dřevěné	betonové						dřevěné	betonové	dřevěné	betonové
L_T [m]													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1		R 65	125	90	70	23	20	160	120	180	130		
2		UIC 60	110	80	66	23	20	140	103	156	113		
		T,S 49	85	60	60	23	20	100	70	110	80		
3		R 65	125	86	70	25	23	160	110	180	125		
	 počet konstrukcí není omezen	UIC 60	108	74	63	25	23	136	93	153	106		
4		T,S 49	75	51	50	25	23	90	60	100	70		
		R 65	65	46	35	19	17	100	70	110	80		
		UIC 60	61	44	35	19	17	86	61	96	70		
		T,S 49	55	40	35	19	17	60	45	70	50		

V modelu jsou pro přesnější roznos zatížení do konstrukce modelovány mostnice a kolejnice. Je uvažováno pružné chování kolejnic v upevnění dle ČSN EN 1991-2 a MVL 150. Mostnice jsou v modelu zavedeny jako pruty o průřezu 240x260x2650 mm. Jejich osová vzdálenost je 640 mm. Vzhledem k tomu, že na reálné konstrukci jsou připevněny na hlavní nosník šrouby, je jejich spojení provedeno přes virtuální pruty a kloub s možným pružným posunem v podélném i příčném směru. Hodnota tuhosti pružného připojení byla zjištěna iterací.

Kolejnice jsou modelovány jako dva souvislé pruty po celé délce mostu, v osové vzdálenosti 1,5 m. Jejich průřez odpovídá kolejnici S49 (49 E1). Napojeny jsou opět pomocí virtuálních prutů k mostnici. V úrovni paty kolejnic jsou modelovány pružné klouby umožňující podélný a příčný posun kolejnice.

Tabulka 15: Parametry koleje na mostě

Typ mostovky:	Přímé uložení mostnic na hl. nosníky		
Kolejový systém:	Kolejnice 49E1 + dřevěné mostnice		
Podélný plast. odpor koleje (1 bm)	$r_x =$	23,0	kN/m
Podélný plast. odpor kolejnice (1 bm)	$r_{x,1} =$	11,5	kN/m
Vzdálenost upevňovadel	$u =$	0,60	m
Podélný plast. odpor 1 upevňovadla	$R_{x,1} =$	6,9	kN
Limitní posun při dosažení plast. odporu	$u_0 =$	0,5	mm
Podélná tuhost 1 upevňovadla	$K_{x,1} =$	13,8	MN/m



Obrázek 43: Napojení mostnice na hlavní nosník v modelu

5.4 Chodníkové konzoly

Chodníkové konzoly nejsou modelovány, ale jsou nahrazeny osamělými silami a momenty v místech napojení konzol k hlavnímu nosníku. Určení velikosti těchto momentů je blíže popsáno v kapitole 4.1.2.

5.5 Uložení

Na opěře OP1 jsou osazena ocelová jednoválcová ložiska, na opěře OP2 pevná ocelová vahadlová. Podpory v modelu reprezentují reálná ložiska mostní konstrukce.

Při zatížení mostu dochází k posunům v ložiskách (díky konstrukční vůli ložiska) a až poté dojde k přenosům reakcí do spodní stavby. To je zohledněno nastavením pružnosti modelovaných podpor.

Ložiska na opěře OP1 jsou modelována jako pružná v podélném i příčném směru a tuhá ve svislém směru. Na opěře OP2 jsou modelována jako tuhá ve svislém i podélném směru a pružná v příčném směru. Pružné uložení zohledňuje vůle ložisek v daných směrech. Konstrukční vůle byla s ohledem na typ ložisek stanovena 3 mm.

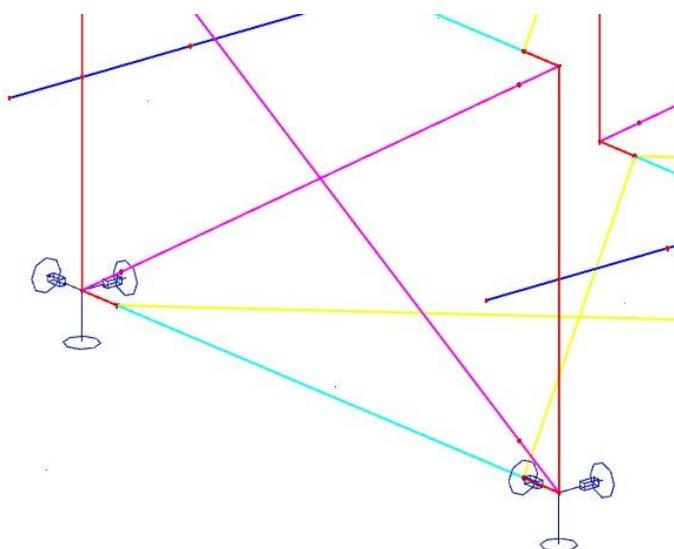
Tabulka 16: Zavedené tuhosti ložisek v jednotlivých směrech

Pevné ložisko

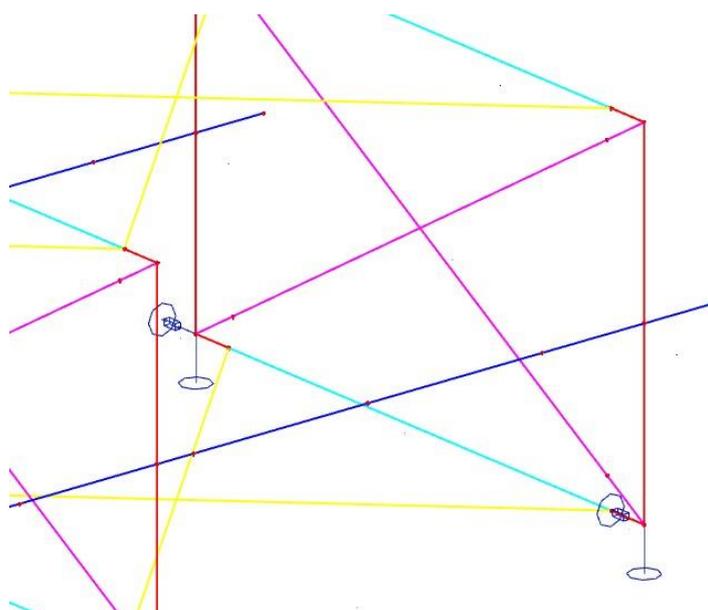
směr X: pružné	$k_x =$	90	MN/m
směr Y: pružné	$k_y =$	15	MN/m
směr Z: tuhé	$k_z =$	∞	MN/m

Podélně posuvné ložisko

směr X: volné	$k_x =$	0	MN/m
směr Y: pružné	$k_y =$	15	MN/m
směr Z: tuhé	$k_z =$	∞	MN/m



Obrázek 44: Posuvná ložiska v modelu



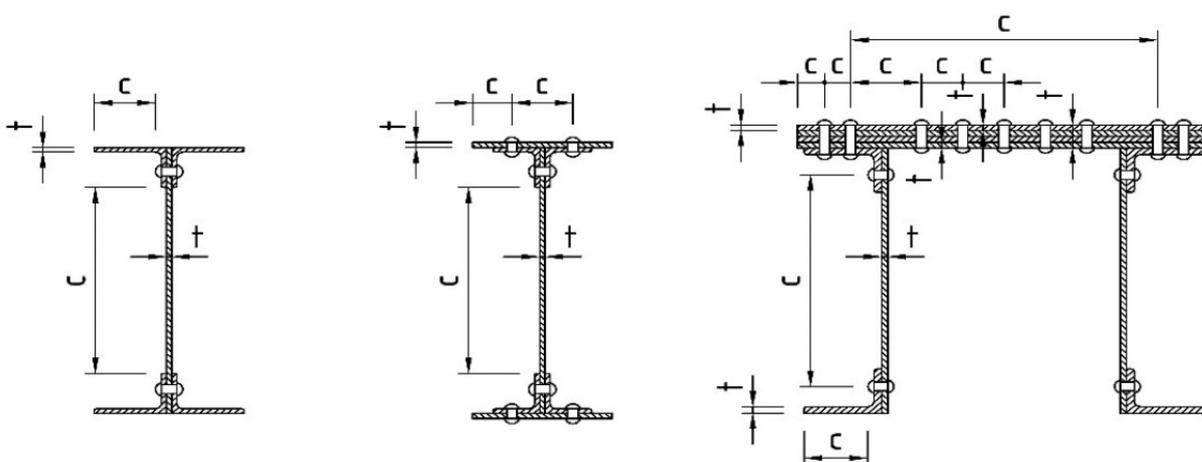
Obrázek 45: Pevná ložiska v modelu

6. POSOUZENÍ ÚNOSNOSTI

V této části bakalářské práce je shrnut postup zatřídění a posouzení jednotlivých prvků. Všechny výpočty jsou v souladu s normami a byly vypočteny pomocí programu Microsoft Excel. Samotné posudky jsou v kapitole 7.

6.1 Zatřídění nosníků

Bylo postupováno dle ČSN EN 1993-1-1 a předpisu SŽ S5/1, který definuje šířky a výšky jednotlivých částí nýtovaných průřezů.



Obrázek 46: Definice šířek pro zatřídění nýtovaných průřezů

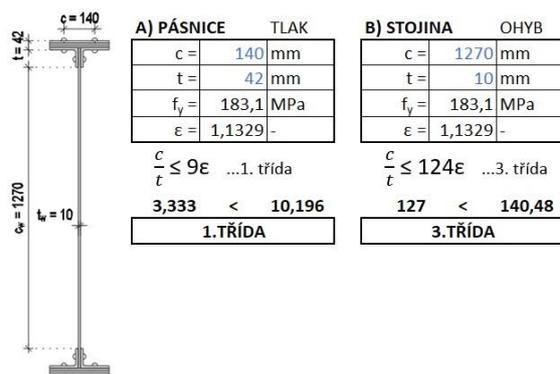
Hlavní nosník PRŮŘEZ 1:

A) PÁSNICE TLAK		B) STOJINA OHYB	
c =	140 mm	c =	1270 mm
t =	22 mm	t =	10 mm
$f_y =$	183,1 MPa	$f_y =$	183,1 MPa
$\epsilon =$	1,133 -	$\epsilon =$	1,1329 -
$\frac{c}{t} \leq 9\epsilon$...1. třída		$\frac{c}{t} \leq 124\epsilon$...3. třída	
6,364 < 10,196		127 < 140,48	
1.TŘÍDA		3.TŘÍDA	

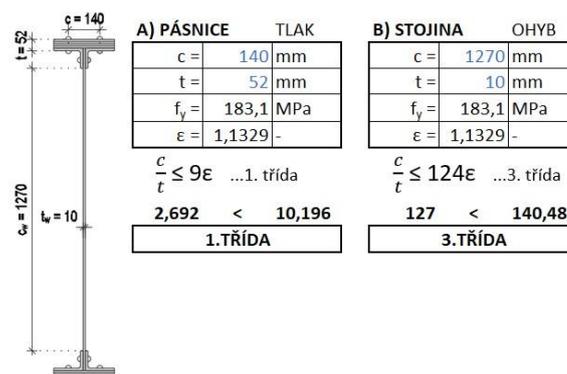
Hlavní nosník PRŮŘEZ 2:

A) PÁSNICE TLAK		B) STOJINA OHYB	
c =	140 mm	c =	1270 mm
t =	32 mm	t =	10 mm
$f_y =$	183,1 MPa	$f_y =$	183,1 MPa
$\epsilon =$	1,1329 -	$\epsilon =$	1,1329 -
$\frac{c}{t} \leq 9\epsilon$...1. třída		$\frac{c}{t} \leq 124\epsilon$...3. třída	
4,375 < 10,196		127 < 140,48	
1.TŘÍDA		3.TŘÍDA	

Hlavní nosník PRŮŘEZ 3:



Hlavní nosník PRŮŘEZ 4:



Průřezy hlavních nosníků spadají do 3. třídy, nebude tak počítáno s efektivními parametry průřezů.

6.2 Průřezové charakteristiky

Tabulka 17: Průřezové charakteristiky prvků

Průřez	Plocha A [m ²]	Moment setrvačnosti	
		I _y [m ⁴]	I _z [m ⁴]
HLN 1	2,99E-02	1,04E-02	7,23E-05
HLN 2	3,53E-02	1,33E-02	1,05E-04
HLN 3	4,07E-02	1,64E-02	1,38E-04
HLN 4	4,61E-02	1,95E-02	1,71E-04
ZP - 1	2,13E-03	9,49E-07	2,88E-06
ZP - 2/3 pole	1,07E+03	4,75E+05	4,75E+05
ZP - 2/3 podp.	2,13E-03	9,49E-07	1,81E-06
ZP - 4	2,13E-03	9,49E-07	2,88E-06
ZH	1,07E+03	4,75E+05	4,75E+05
ZD	1,07E+03	4,75E+05	4,75E+05

6.3 Mezní stav únosnosti (MSÚ)

6.3.1 Tah

Postup pro stanovení namáhání tahem byl posuzován dle normy ČSN EN 1993-1-1, kap. 6.2.3.

$$N_{t,Rd} = \left(\frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}; \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \right)$$

kde $N_{t,Rd}$ = hodnota návrhové normálové síly
 A = plocha průřezu



A_{net} = plocha průřezu oslabeného dírami pro spojovací prostředky

f_y = mez kluzu oceli

f_u = mez pevnosti oceli

γ_{M0} = dílčí součinitel spolehlivosti materiálu ($\gamma_{M0} = 1,0$)

γ_{M2} = dílčí součinitel spolehlivosti materiálu ($\gamma_{M2} = 1,25$)

6.3.2 Tlak se vzpěrem

Namáhání tlakem se vzpěrem je posouzeno dle ČSN EN 1993-1-1, kap. 6.3.1. Do výpočtu jsou uvažovány součinitele vzpěrnosti χ_y, χ_z , které zohledňují vybočení prvku z dané roviny. Vzhledem k nýtované konstrukci jsou uvažovány vzpěrné křivky „c“ – součinitel imperfekce $\alpha_y = \alpha_z = 0,49$.

Návrhová normálová síla:
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

kde

$N_{b,Rd}$ = hodnota návrhové normálové síly ve vzpěrném tlaku

χ = součinitel vzpěrnosti pro příslušný způsob vybočení

A = plocha průřezu

f_y = mez kluzu oceli

γ_{M1} = dílčí součinitel spolehlivosti materiálu ($\gamma_{M1} = 1,0$)

Součinitel vzpěrnosti:
$$\chi = \frac{1}{\varphi + \sqrt{\varphi^2 - \bar{\lambda}^2}}; \quad \chi \leq 1,0$$

kde

χ = součinitel vzpěrnosti pro příslušný způsob vybočení

$\varphi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$

α = součinitel imperfekce dle křivky vzpěrnosti ($\alpha_y = \alpha_z = 0,49$)

$\bar{\lambda}$ = poměrná štíhlost

Poměrná štíhlost:
$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

A = plocha průřezu

f_y = mez kluzu oceli

N_{cr} = pružná kritická síla



Pružná kritická síla:
$$N_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{E \cdot I}{L_{cr}^2}$$

kde
E = Youngův modul pružnosti oceli
I = moment setrvačnosti průřezu pro příslušnou osu ohybu
L_{cr} = vzpěrná délka prutu pro příslušnou osu

6.3.3 Ohyb

V rámci posouzení bylo ověřeno, že nenastává klopení průřezů. Ohyb je tak posuzován dle ČSN EN 1993-1-1, kap. 6.2.5.

Návrhový ohybový moment:
$$M_{y,Rd} = \frac{W_{el,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

kde
M_{y,Rd} = hodnota návrhového ohybového momentu
W_{el,y} = průřezový modul
f_y = mez kluzu oceli
γ_{M1} = dílčí součinitel spolehlivosti materiálu (γ_{M1} = 1,0)

6.3.4 Smyk s boulením

Ověření únosnosti ve smyku za přítomnosti boulení je provedeno dle ČSN EN 1993-1-5, kap. 5.2.

Návrhová posouvající síla:
$$V_{c,Rd} = \frac{\chi_w \cdot A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$$

kde
V_{c,Rd} = hodnota návrhové posouvající síly
A_v = smyková plocha průřezu
f_y = mez kluzu oceli
γ_{M1} = dílčí součinitel spolehlivosti materiálu (γ_{M1} = 1,0)
χ_w = součinitel příspěvku stojiny

Součinitel příspěvku stojiny:
$$\chi_w = \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w}$$

kde
λ̄_w = štíhlost

Štíhlost:
$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 \cdot t \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}}$$



kde h_w = výška stojiny
 t = tloušťka stojiny
 $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$
 κ_τ = součinitel kritického napětí ve smyku

Součinitel kritického napětí ve smyku: $\kappa_\tau = 4,00 + 5,34 \cdot \left(\frac{h_w}{a}\right)^2$

kde h_w = výška stojiny
 a = vzdálenost mezi příčnými výztuhami

6.3.5 Kombinace ohybu a osově síly

Dle ČSN EN 1993-1-1 je kombinace ohybu a normálové síly posuzována dle vzorců 6.61 a 6.62:

$$(6.61): \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$(6.62): \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

kde N_{Ed} , $M_{y,Ed}$ a $M_{z,Ed}$ = hodnoty vnitřních sil od zatížení
 $\Delta M_{y,Ed}$ a $\Delta M_{z,Ed}$ = momenty způsobené posunem těžiště (pouze u 4. třídy – neuplatní se)
 N_{Rk} = návrhová hodnota osově síly bez vlivu vzpěru
 $M_{y,Rk}$ a $M_{z,Rk}$ = návrhové hodnoty ohybových momentů bez vlivu klopení
 χ_y a χ_z = součinitele vzpěrnosti pro vybočení v dané rovině
 χ_{LT} = součinitel klopení
 k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} a k_{zz} = součinitele interakce dle „Metody 2“
v ČSN EN 1993-1-1

6.3.6 Kombinace ohybu a smyku

Pruty namáhané ohybem a smykem jsou ověřovány na tzv. „malý smyk“: $V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{c,Rd}$. Pokud podmínka malého smyku vyhoví, je možné vliv smykové síly zanedbat. V případě, že podmínka nevyhoví, musí se redukovat mez kluzu dle následujících vztahů:

$$\text{Redukce meze kluzu: } (1 - \rho) \cdot f_y$$

kde f_y = mez kluzu oceli

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{c,Rd}} - 1 \right)^2$$

6.3.7 Normálové napětí

Při výpočtu normálového napětí bylo postupováno podle následujícího vzorce:

$$\sigma_x = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{z,Ed} \cdot I_y + M_{y,Ed} \cdot D_{yz}}{I_y \cdot I_z - D_{yz}^2} \cdot y - \frac{M_{y,Ed} \cdot I_z + M_{z,Ed} \cdot D_{yz}}{I_y \cdot I_z - D_{yz}^2} \cdot z$$

kde σ_x = normálové napětí

N_{Ed} = hodnota normálové síly od zatížení

$M_{y,Ed}$ a $M_{z,Ed}$ = hodnoty momentů od zatížení

I_y a I_z = momenty setrvačnosti

D_{yz} = deviační moment

y a z = vzdálenosti krajních bodů průřezu od těžiště

6.3.8 Smykové napětí

Pro výpočet smykového napětí byl použit tento vzorec:

$$\tau_{xz} = \frac{V_{z,Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot t}$$

kde τ_{xz} = smykové napětí od svislé posouvající síly

$V_{z,Ed}$ = hodnota svislé posouvající síly od zatížení

S_y = statický moment setrvačnosti dané části průřezu

I_y = moment setrvačnosti

t = tloušťka prvku



6.3.9 Srovnávací napětí

Pro jednoosou napjatost se srovnávací napětí spočítá upraveným vzorcem podle Misesovy podmínky plasticity:

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_x^2 + 3 \cdot \tau_{xz}^2} \leq f_{yd}$$

kde

σ_e = srovnávací napětí

σ_x = normálové napětí

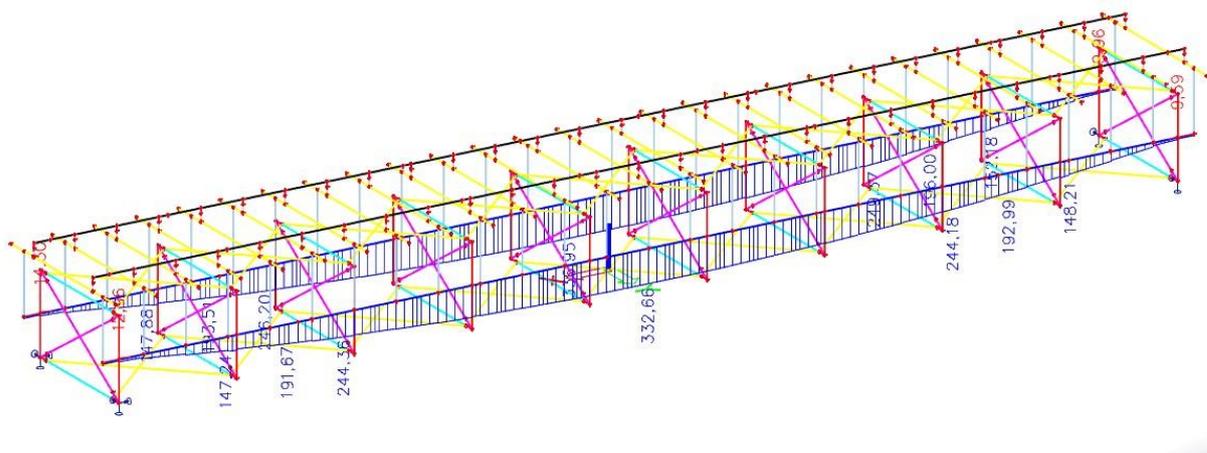
τ_{xz} = smykové napětí od svislé posouvající síly

f_{yd} = návrhová mez kluzu

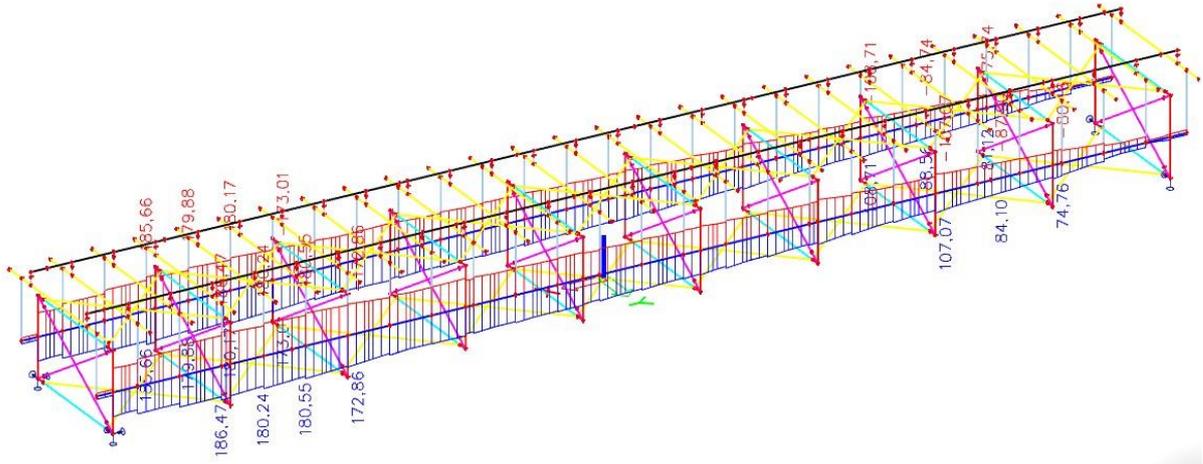
6.4 Průběhy vnitřních sil

V této kapitole je shrnuto vykreslení některých výsledků vnitřních sil z výpočetního modelu.

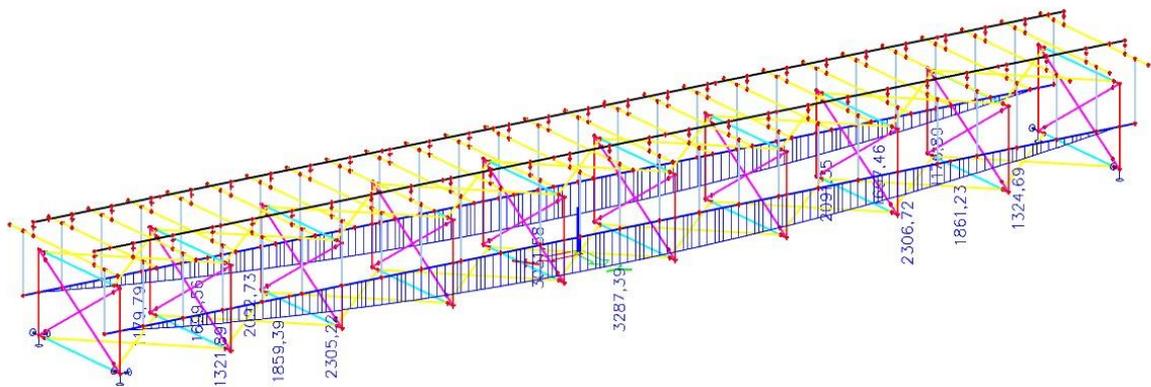
6.4.1 Hlavní nosník střed rozpětí



Obrázek 47: Průběh momentů od stálého zatížení na hlavním nosníku

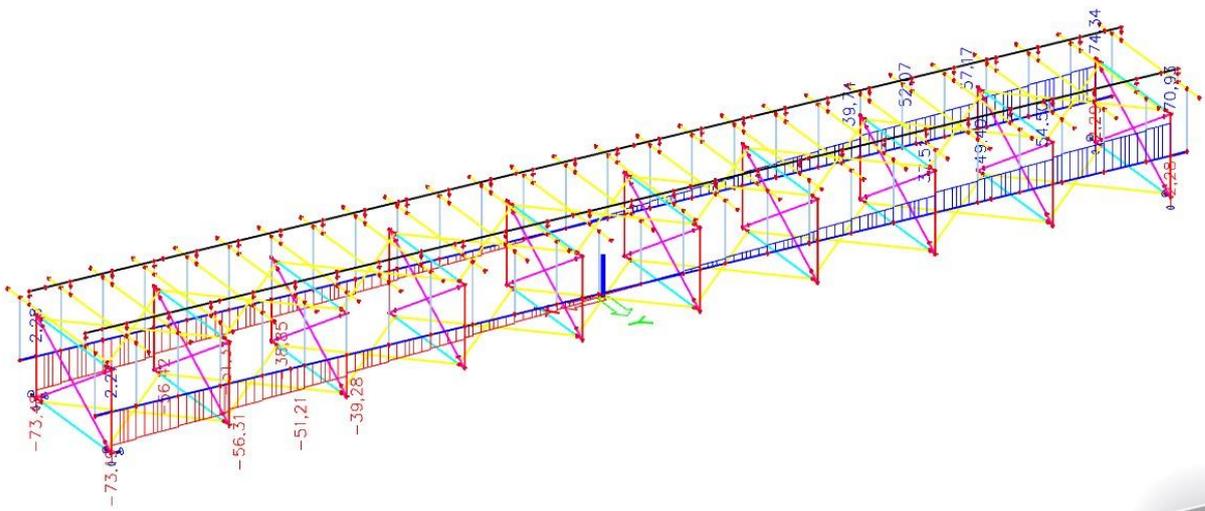


Obrázek 48: Průběh momentů od dopravního zatížení na hlavním nosníku

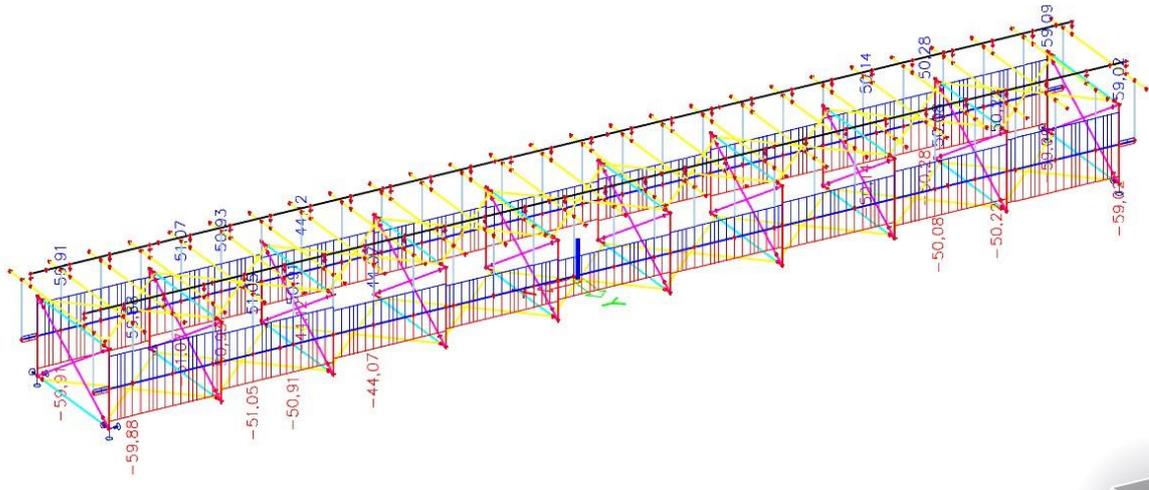


Obrázek 49: Průběh momentů od zatížení modelem LM71 na hlavním nosníku

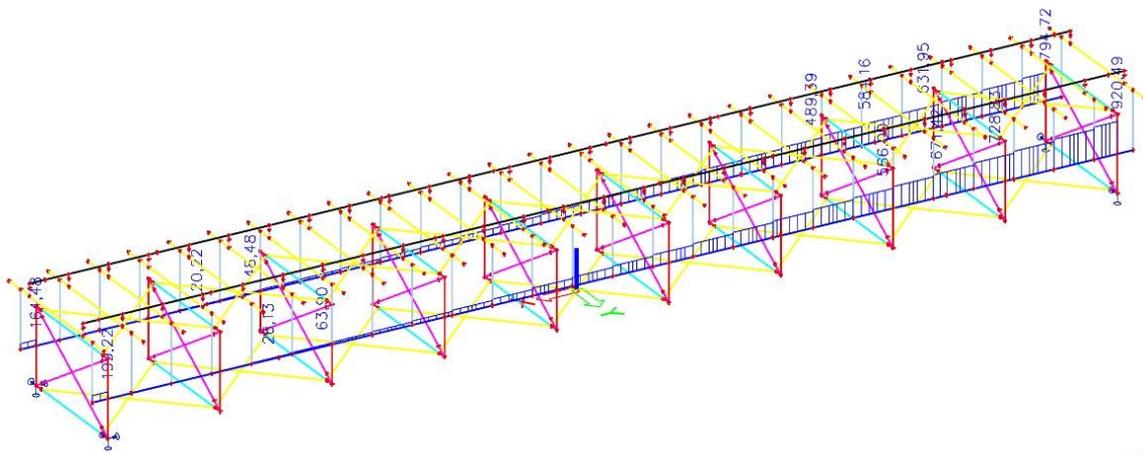
6.4.2 Hlavní nosník nad podporou



Obrázek 50: Průběh posouvající síly od stálého zatížení na hlavním nosníku

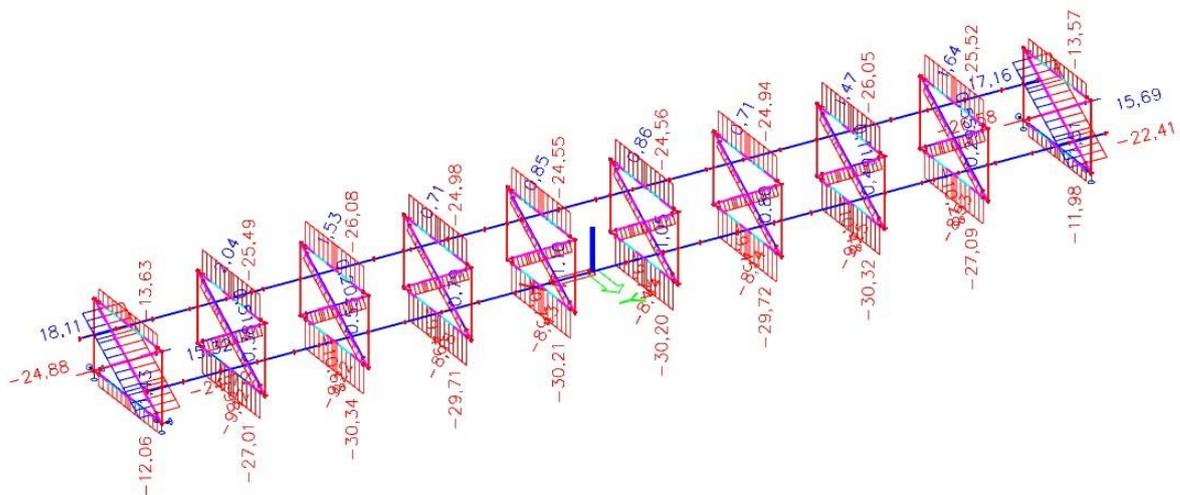


Obrázek 51: Průběh posouvající síly od dopravního zatížení na hlavním nosniku

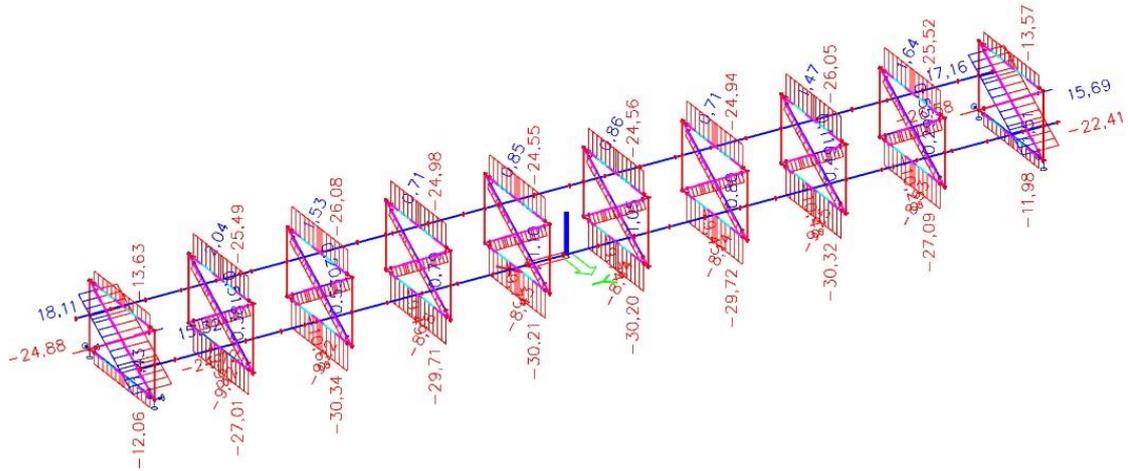


Obrázek 52: Průběh posouvající síly od zatížení modelem LM71 na hlavním nosniku

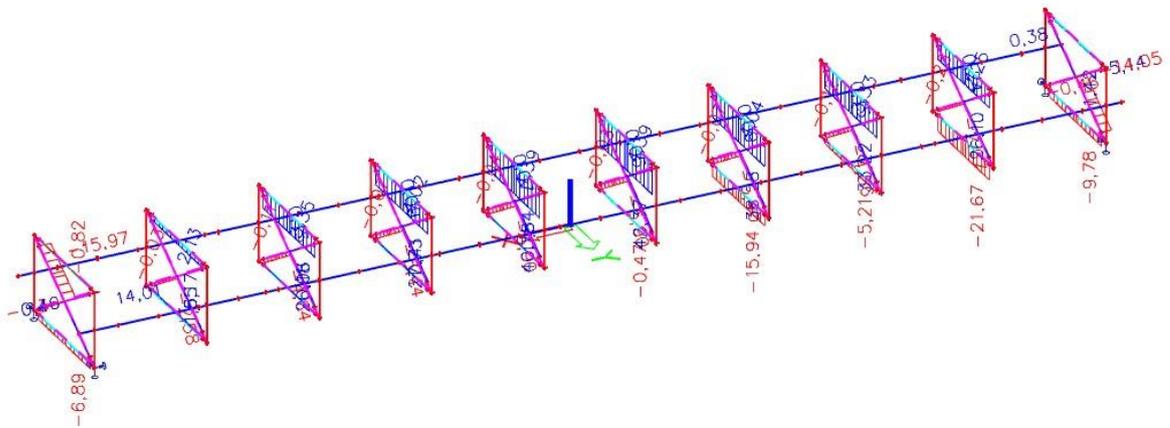
6.4.3 Příčná ztužení



Obrázek 53: Průběh normálové síly od stálého zatížení na příčném ztužení

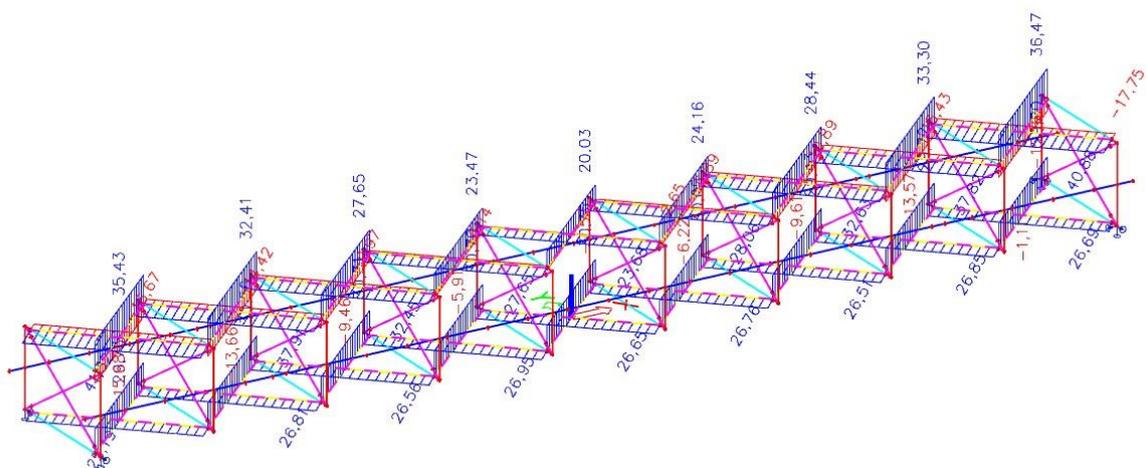


Obrázek 54: Průběh normálové síly od dopravního zatížení na příčném ztužení

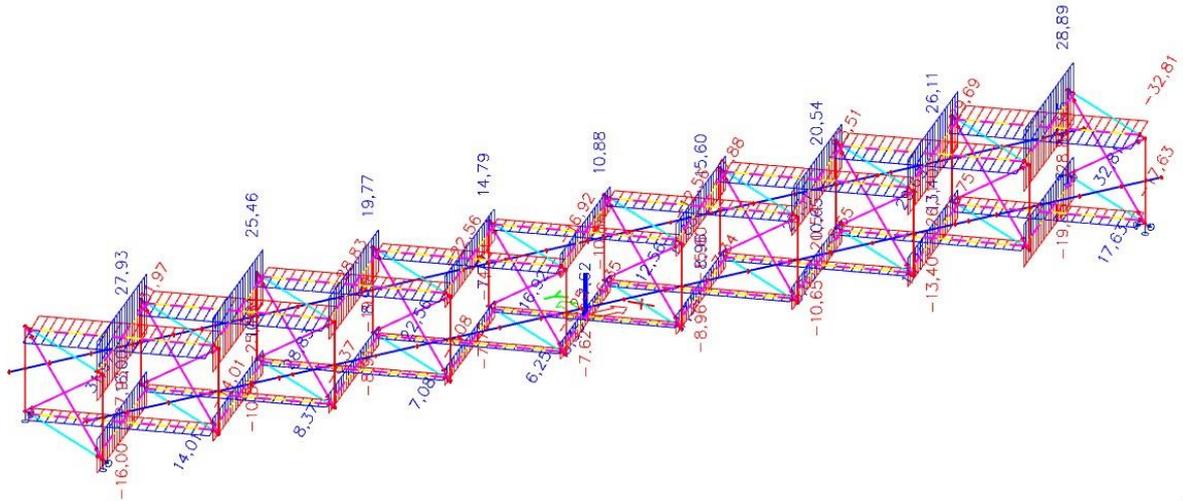


Obrázek 55: Průběh normálové síly od modelu LM71 na příčném ztužení

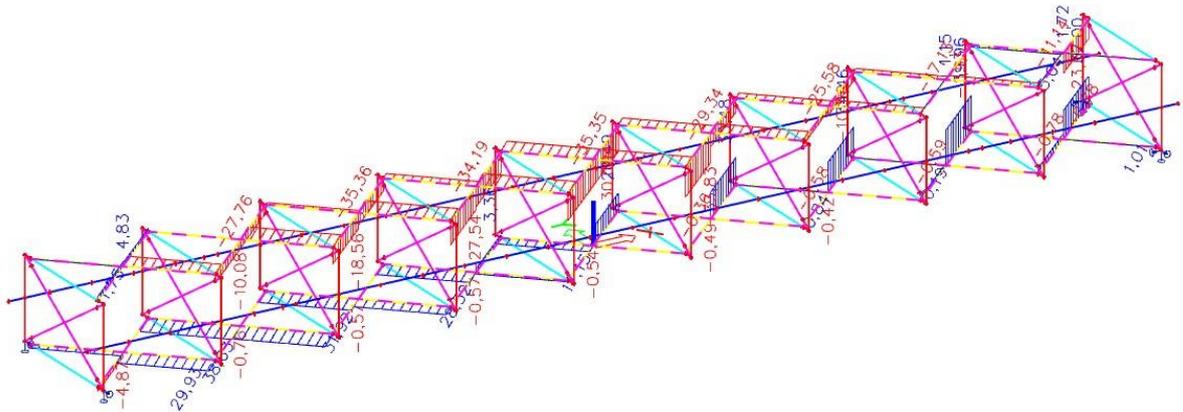
6.4.4 Vodorovná ztužení



Obrázek 56: Průběh normálové síly od stálého zatížení na vodorovném ztužení

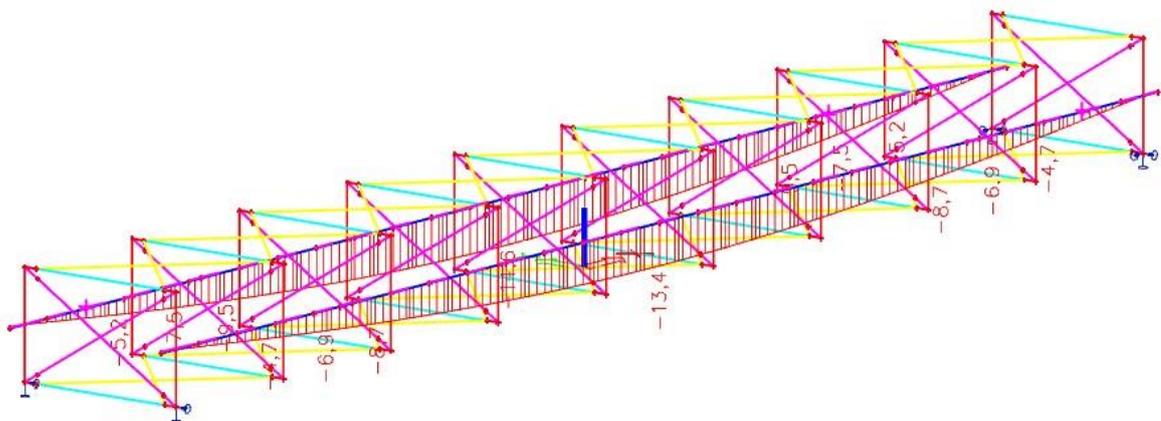


Obrázek 57: Průběh normálové síly od dopravního zatížení na vodorovném ztužení



Obrázek 58: Průběh normálové síly od modelu LM71 na vodorovném ztužení

6.4.5 Průhyb uprostřed nosníku



Obrázek 59: Průhyb od zatížení modelem LM71

7. VÝPOČET ZATÍŽITELNOSTI

Zatížitelnost konstrukce je definována jako bezrozměrná veličina, vyjadřující poměr účinků ostatního svislého dopravního zatížení k účinkům vyvozeným modelem LM71. Rozhodujícím prvkem je ten, jehož zatížitelnost je nejmenší. Pokud zatížitelnost kteréhokoli prvku vyjde menší než 1,0, je nutné ověřit přechodnost konstrukce.

Zatížitelnost je stanovena dle předpisu SŽ S5/1 následujícím vztahem:

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

kde: R_d je návrhová hodnota únosnosti průřezu nebo prvku mostu

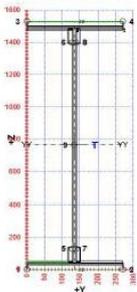
$E_{LM71,Ed}$ je návrhová hodnota účinků zatížení od modelu LM71

$\sum_{i=1}^{n-1} E_{rs,Ed,i}$ jsou návrhové hodnoty ostatních účinků zatížení

Na následujících stránkách jsou posudky vyexportované z programu Microsoft Excel shrnující únosnost a zatížitelnost průřezů. Posudky jsou zpracovány pro hlavní nosníky (ve středu rozpětí a nad podporou), prvky příčného ztužení a prvky vodorovného ztužení. V posouzení jsou zahrnuta korozní oslabení. Na konci této kapitoly je shrnut výpočet zatížitelnosti v mezním stavu použitelnosti.

POSUDEK Č. 1

SCHÉMA PRŮŘEZU



ZATÍŽITELNOST LM71

PRVEK: HLAVNÍ NOSNÍK - STŘED ROZPĚTÍ

OSLABENÍ PRVKU				
Č.	Y [mm]	Z [mm]	y _T [mm]	z _T [mm]
1	270	1	135	1529,5
2	270	1	135	0,5
3	118	8	59	47
4	4	40	132	149
5	0	0	0	0

Celkové oslabení: 3,52%

PARAMETRY									
y _T [m]	z _T [m]	A _{pliny} [m ²]	A _{oslabeny} [m ²]	I _y [m ⁴]	I _z [m ⁴]	D _{vz} [m ²]	I _t [m ⁴]	I _w [m ⁶]	
0,137	0,782	4,7E-02	4,5E-02	1,9E-02	1,6E-04	-5E-05	2,6E-05	9,2E-05	
f _{yk} [MPa]	f _{y0} [MPa]	f _{y1} [MPa]	h _w [m]	t _w [m]	a [m]	L _{cr,y} [m]	L _{cr,z} [m]	L _{LT} [m]	
227,6	200,2	183,8	1,45	0,01	0,90	1,79	1,79	1,79	
α _y	α _z	α _{LT}							
0,49	0,49	0,76							

POSUDEK	VNITŘNÍ SÍLY [kN, kNm]				STABILITA							ÚNOSNOST				
	N	M _y	M _z	V _z	χ _y	χ _z	χ _{lt}	k _{yy}	k _{yz}	k _{zy}	k _{zz}	6.61	6.62	Smyk	Tlak	Ohyb
KZ1	-597,3	3781,3	3,3	75,4	1,000	0,959	1,000	1,001	1,013	1,001	1,013	0,942	0,946	0,048	0,075	0,854
KZ2	-658,5	3778,5	3,8	83,7	1,000	0,959	1,000	0,999	0,986	1,002	0,986	0,949	0,955	0,053	0,083	0,853
KZ3	-610,2	3770,7	5,4	67,5	1,000	0,959	1,000	0,999	0,987	1,001	0,987	0,949	0,954	0,043	0,077	0,851
KZ4	-674,7	3765,2	6,5	73,9	1,000	0,959	1,000	0,999	0,986	1,002	0,986	0,960	0,966	0,047	0,085	0,850
KZ5	-547,9	2575,2	2,9	332,4	1,000	0,959	1,000	0,999	0,988	1,001	0,988	0,660	0,665	0,211	0,069	0,582
KZ6	-587,3	2563,9	3,7	339,1	1,000	0,959	1,000	0,999	0,987	1,001	0,987	0,666	0,670	0,215	0,074	0,579
KZ7	-539,0	2556,1	5,3	322,8	1,000	0,959	1,000	0,999	0,989	1,001	0,989	0,666	0,670	0,205	0,068	0,577
KZ8	-603,4	2550,6	6,3	329,2	1,000	0,959	1,000	0,999	0,987	1,001	0,987	0,677	0,682	0,209	0,076	0,576

POSUDEK	NAPĚTÍ V KRITICKÉM BODU PRŮŘEZU [MPa]																	
	1		2		3		4		5		6		7		8		9	
	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e
KZ1	-164,0	164,0	-176,4	176,4	143,1	143,1	130,7	130,7	-143,9	144,0	111,1	111,1	-144,4	144,4	110,6	110,7	-13,3	16,6
KZ2	-165,7	165,7	-177,2	177,2	141,2	141,2	129,7	129,7	-145,2	145,3	109,6	109,7	-145,6	145,7	109,2	109,2	-14,6	18,4
KZ3	-165,7	165,7	-174,4	174,4	140,5	140,5	131,8	131,8	-143,9	143,9	110,3	110,4	-144,2	144,3	110,0	110,0	-13,6	16,3
KZ4	-167,8	167,8	-174,7	174,7	138,0	138,0	131,0	131,0	-145,2	145,2	108,6	108,7	-145,4	145,5	108,4	108,4	-15,0	17,9
KZ5	-115,4	115,4	-122,7	122,7	93,8	93,8	86,5	86,5	-101,2	102,6	72,5	74,3	-101,4	102,8	72,2	74,0	-12,2	45,8
KZ6	-116,5	116,5	-122,5	122,5	91,7	91,7	85,8	85,8	-101,7	103,1	71,2	73,1	-101,9	103,4	71,0	72,9	-13,0	46,9
KZ7	-116,5	116,5	-119,7	119,7	91,1	91,1	87,9	87,9	-100,4	101,7	71,9	73,6	-100,5	101,8	71,8	73,5	-12,0	44,5
KZ8	-118,6	118,6	-120,0	120,0	88,5	88,5	87,1	87,1	-101,7	103,0	70,2	72,1	-101,7	103,1	70,2	72,0	-13,4	45,7

VYHODNOCENÍ:

ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE KZ4

ÚNOSNOST 97%

NAPĚTÍ 89%

Z_{LM71} 1,045

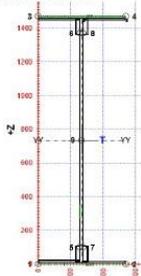


POSUDEK Č. 2

ZATÍŽITELNOST LM71

PRVEK: Hlavní nosník - nad podporou

SCHEMA PRŮŘEZU



OSLABENÍ PRVKU				
Č.	Y [mm]	Z [mm]	Y _f [mm]	Z _f [mm]
1	270	1	135	0,5
2	270	1	135	1469,5
3	6	75	133	312
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Celkové oslabení: 3,25%

PARAMETRY									
Y _f [m]	Z _f [m]	A _{plny} [m ²]	A _{oslabeny} [m ²]	I _y [m ⁴]	I _z [m ⁴]	D _{y,z} [m ⁴]	I _t [m ⁴]	I _w [m ⁶]	
0,135	0,741	3E-02	3E-02	1E-02	7E-05	-4E-07	5E-06	4E-05	
f _{yk} [MPa]	f _{y0} [MPa]	f _{y1} [MPa]	h _w [m]	t _w [m]	a [m]	L _{cr,y} [m]	L _{cr,z} [m]	L _{LT} [m]	
227,6	200,2	183,8	1,45	0,01	0,90	1,79	1,79	1,79	
						α _y	α _z	α _{LT}	
						0,49	0,49	0,76	

	VNITŘNÍ SÍLY [kN, kNm]				STABILITA								ÚNOSNOST						
	N	M _y	M _z	V _z	χ _y	χ _z	χ _{lt}	k _{yy}	k _{yz}	k _{zy}	k _{zz}	6.61	6.62	Smyk	Tlak	Ohyb	Malý smyk	1-p	
POSUDEK	KZ1	-350,6	211,5	13,4	132,4	1,000	0,925	1	1,001	1,015	1,002	1,015	0,292	0,297	0,084	0,070	0,083	ANO	1,000
	KZ2	-423,6	259,6	6,8	135,5	1,000	0,925	1	0,999	0,982	1,002	0,982	0,251	0,257	0,086	0,085	0,102	ANO	1,000
	KZ3	-235,1	129,1	17,8	134,2	1,000	0,925	1	0,999	0,990	1,001	0,990	0,281	0,284	0,085	0,047	0,051	ANO	1,000
	KZ4	-279,3	156,6	12,3	137,7	1,000	0,925	1	0,999	0,988	1,001	0,988	0,242	0,246	0,087	0,056	0,062	ANO	1,000
	KZ5	-328,0	273,6	14,0	1049,4	1,000	0,925	1	0,999	0,986	1,002	0,986	0,346	0,351	0,667	0,065	0,108	NE	0,889
	KZ6	-401,0	321,7	7,4	1052,5	1,000	0,925	1	0,999	0,983	1,002	0,983	0,303	0,310	0,669	0,080	0,127	NE	0,886
	KZ7	-212,6	191,3	18,5	1051,2	1,000	0,925	1	0,999	0,991	1,001	0,991	0,342	0,345	0,668	0,042	0,075	NE	0,887
	KZ8	-256,7	218,8	12,9	1054,7	1,000	0,925	1	0,999	0,989	1,001	0,989	0,298	0,302	0,670	0,051	0,086	NE	0,884

NAPĚTÍ V KRITICKÉM BODU PRŮŘEZU [MPa]																			
	1		2		3		4		5		6		7		8		9		
	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	
	τ _{xz}		τ _{xz}		τ _{xz}		τ _{xz}		τ _{xz}		τ _{xz}		τ _{xz}		τ _{xz}		τ _{xz}		
	POSUDEK	KZ1	-53,2	53,2	-1,2	1,2	-22,8	22,8	29,1	29,1	-26,1	26,8	0,1	6,0	-24,2	25,0	2,0	6,4	-11,9
0,0				0,0		0,0		0,0		3,6		3,5		3,6		3,5		3,6	
KZ2		-46,3	46,3	-20,1	20,1	-9,0	9,0	17,2	17,2	-31,1	31,8	1,1	6,3	-30,2	30,8	2,0	6,5	-14,4	23,7
		0,0		0,0		0,0		0,0		3,6		3,6		3,6		3,6		3,6	
KZ3		-51,9	51,9	17,3	17,3	-33,4	33,4	35,8	35,8	-17,4	18,4	-1,3	6,3	-14,8	16,1	1,2	6,2	-8,0	20,2
		0,0		0,0		0,0		0,0		3,6		3,5		3,6		3,5		3,6	
KZ4		-44,7	44,7	3,1	3,1	-22,2	22,2	25,5	25,5	-20,2	21,2	-0,8	6,3	-18,4	19,5	1,0	6,4	-9,5	21,3
		0,0		0,0		0,0		0,0		3,7		3,6		3,7		3,6		3,6	
KZ5		-58,1	58,1	-3,8	3,8	-18,8	18,8	35,5	35,5	-29,3	56,9	4,7	48,2	-27,3	55,9	6,7	48,4	-11,1	146,0
		0,0		0,0		0,0		0,0		28,2		27,7		28,2		27,7		27,7	
KZ6		-51,2	51,2	-22,6	22,6	-5,0	5,0	23,6	23,6	-34,3	59,8	5,6	48,4	-33,2	59,2	6,7	48,5	-13,6	146,6
		0,0		0,0		0,0		0,0		28,3		27,8		28,3		27,8		27,8	
KZ7		-56,9	56,9	14,7	14,7	-29,4	29,4	42,2	42,2	-20,5	53,0	3,2	48,1	-17,9	52,1	5,8	48,4	-7,2	146,0
		0,0		0,0		0,0		0,0		28,2		27,7		28,2		27,7		27,7	
KZ8		-49,6	49,6	0,5	0,5	-18,2	18,2	31,9	31,9	-23,3	54,3	3,8	48,3	-21,5	53,6	5,6	48,5	-8,7	146,6
		0,0		0,0		0,0		0,0		28,3		27,8		28,3		27,8		27,8	

VYHODNOCENÍ:

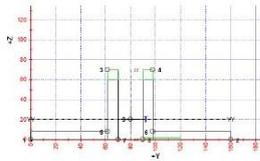
ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE	KZ8
-----------------------	-----

ÚNOSNOST	67%
NAPĚTÍ	73%

Z _{LM71}	>	1
-------------------	---	---



POSUDEK Č. 3
 SCHEMA PRŮŘEZU



ZATÍŽITELNOST LM71

PRVEK: **DOLNÍ PRUT PŘÍČNÉHO ZTUŽENÍ**

OSLABENÍ PRVKU				
Č.	Y [mm]	Z [mm]	Y _T [mm]	Z _T [mm]
1	8	10	66	65
2	8	10	94	65
3	30	2	105	1
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Celkové oslabení: 10,4%

PARAMETRY									
Y _T [m]	Z _T [m]	A _{plny} [m ²]	A _{oslabeny} [m ²]	I _y [m ⁴]	I _z [m ⁴]	D _{yz} [m ⁴]	I _t [m ⁴]	I _w [m ⁶]	
0,079	0,017	2E-03	2E-03	6E-07	3E-06	2E-08	5E-08	2E-10	
f _{yk} MPa	f _{y0} MPa	f _{y1} MPa	h _w [m]	t _w [m]	a [m]	L _{cr,y} [m]	L _{cr,z} [m]	L _{cr,t} [m]	
227,6	200,2	183,8	0,05	0,02	0,90	1,71	1,71	1,71	
						α _y	α _z	α _t	
						0,49	0,49	0,76	

POSUDEK	VNITŘNÍ SÍLY [kN, kNm]				STABILITA								ÚNOSNOST				
	N	M _y	M _z	V _z	χ _y	χ _z	χ _{tt}	k _{yy}	k _{yz}	k _{zy}	k _{zz}	6.61	6.62	Smyk	Tlak	Ohyb	
	KZ1	-74,6	0,3	0,0	0,4	0,601	0,889	1,000	1,192	1,060	1,007	1,060	0,403	0,280	0,005	0,357	0,039
KZ2	-76,3	0,3	0,0	0,4	0,601	0,889	1,000	0,803	0,939	1,007	0,939	0,397	0,287	0,005	0,365	0,040	
KZ3	-71,7	0,3	0,0	0,5	0,601	0,889	1,000	0,815	0,942	1,006	0,942	0,384	0,282	0,006	0,343	0,050	
KZ4	-72,7	0,4	0,0	0,5	0,601	0,889	1,000	0,813	0,942	1,006	0,942	0,392	0,289	0,006	0,348	0,054	
KZ5	-59,2	0,3	0,0	0,4	0,601	0,889	1,000	0,847	0,952	1,005	0,952	0,317	0,232	0,004	0,283	0,040	
KZ6	-60,9	0,3	0,0	0,4	0,601	0,889	1,000	0,843	0,951	1,005	0,951	0,326	0,239	0,005	0,291	0,042	
KZ7	-56,3	0,3	0,0	0,5	0,601	0,889	1,000	0,855	0,955	1,005	0,955	0,313	0,233	0,005	0,269	0,051	
KZ8	-57,2	0,4	0,0	0,5	0,601	0,889	1,000	0,852	0,954	1,005	0,954	0,321	0,241	0,006	0,274	0,056	

POSUDEK	NAPĚTÍ V KRITICKÉM BODU PRŮŘEZU [MPa]																	
	1		2		3		4		5		6		7		8		9	
	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e
KZ1	-46,8	46,8	-46,2	46,2	-17,8	17,8	-17,7	17,7	-43,3	43,3	-43,2	43,2	-46,6	46,6	-46,5	46,5	-39,5	39,5
KZ2	-48,0	48,0	-47,4	47,4	-17,8	17,8	-17,7	17,7	-44,4	44,4	-44,2	44,2	-47,8	47,8	-47,7	47,7	-40,3	40,3
KZ3	-47,4	47,4	-46,6	46,6	-10,2	10,2	-10,0	10,0	-42,9	42,9	-42,7	42,7	-47,1	47,1	-46,9	46,9	-37,9	37,9
KZ4	-48,8	48,8	-47,9	47,9	-8,1	8,1	-7,9	7,9	-43,8	43,8	-43,6	43,6	-48,4	48,4	-48,3	48,3	-38,4	38,4
KZ5	-39,0	39,0	-38,4	38,4	-8,8	8,8	-8,6	8,6	-35,3	35,3	-35,2	35,2	-38,7	38,7	-38,6	38,6	-31,3	31,3
KZ6	-40,2	40,2	-39,5	39,5	-8,8	8,8	-8,6	8,6	-36,4	36,4	-36,2	36,2	-39,9	39,9	-39,8	39,8	-32,2	32,2
KZ7	-39,5	39,5	-38,7	38,7	-1,2	1,2	-1,0	1,0	-34,9	34,9	-34,7	34,7	-39,2	39,2	-39,0	39,0	-29,7	29,7
KZ8	-40,9	40,9	-40,0	40,0	0,9	0,9	1,1	1,1	-35,8	35,8	-35,6	35,6	-40,5	40,5	-40,4	40,4	-30,2	30,2

VYHODNOCENÍ:

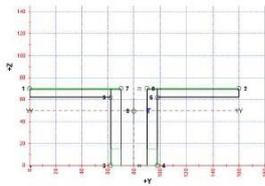
ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE KZ1

ÚNOSNOST 40%
 NAPĚTÍ 24%

Z_{LM71} 4,577



POSUDEK Č. 4
 SCHEMA PRŮŘEZU



ZATÍŽITELNOST LM71

PRVEK: HORNÍ PRUT PŘÍČNÉHO ZTUŽENÍ

OSLABENÍ PRVKU				
Č.	Y [mm]	Z [mm]	Y _T [mm]	Z _T [mm]
1	8	15	66	7,5
2	8	15	94	7,5
3	70	1	35	69,5
4	70	1	125	69,5
5	0	0	0	0

Celkové oslabení: 18,0%

PARAMETRY								
Y _T [m]	Z _T [m]	A _{pliny} [m ²]	A _{oslabeny} [m ²]	I _y [m ⁴]	I _z [m ⁴]	D _{yz} [m ⁴]	I _t [m ⁴]	I _w [m ⁶]
0,080	0,054	2E-03	2E-03	5E-07	3E-06	0E+00	5E-08	2E-10
f _{yk} MPa	f _{y0} MPa	f _{y1} MPa	h _w [m]	t _w [m]	a [m]	L _{cr,y} [m]	L _{cr,z} [m]	L _{LT} [m]
227,6	200,2	183,8	0,05	0,02	0,90	1,71	1,71	1,71
						α _y	α _z	α _{LT}
						0,49	0,49	0,76

POSUDEK	VNITŘNÍ SÍLY [kN, kNm]				STABILITA								ÚNOSNOST			
	N	M _y	M _z	V _z	χ _y	χ _z	χ _{lt}	k _{yy}	k _{yz}	k _{zy}	k _{zz}	6.61	6.62	Smyk	Tah	Ohyb
KZ1	19,7	0,3	0,0	0,5	0,542	0,886	1	1,068	1,018	0,998	1,018	0,349	0,289	0,006	0,062	0,220
KZ2	20,1	0,4	0,0	0,5	0,542	0,886	1	1,070	1,018	0,998	1,018	0,359	0,297	0,006	0,063	0,226
KZ3	19,9	0,4	0,0	0,6	0,542	0,886	1	1,069	1,018	0,998	1,018	0,413	0,348	0,008	0,063	0,278
KZ4	20,5	0,5	0,0	0,6	0,542	0,886	1	1,071	1,018	0,998	1,018	0,444	0,376	0,008	0,064	0,304
KZ5	18,5	0,3	0,0	0,5	0,542	0,886	1	1,064	1,017	0,998	1,017	0,313	0,259	0,006	0,058	0,194
KZ6	18,9	0,3	0,0	0,5	0,542	0,886	1	1,065	1,017	0,998	1,017	0,323	0,267	0,006	0,059	0,200
KZ7	18,7	0,4	0,0	0,6	0,542	0,886	1	1,065	1,017	0,998	1,017	0,377	0,318	0,007	0,059	0,252
KZ8	19,3	0,4	0,0	0,6	0,542	0,886	1	1,067	1,017	0,998	1,017	0,408	0,346	0,007	0,061	0,278

POSUDEK	NAPĚTÍ V KRITICKÉM BODU PRŮŘEZU [MPa]																	
	1		2		3		4		5		6		7		8		9	
	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e
KZ1	23,5	23,5	23,5	23,5	-29,0	29,0	-29,0	29,0	17,5	17,5	17,5	17,5	23,5	23,5	23,5	23,5	11,4	11,4
KZ2	24,2	24,2	24,2	24,2	-30,0	30,0	-30,0	30,0	18,0	18,0	18,0	18,0	24,2	24,2	24,2	24,2	11,6	11,6
KZ3	26,9	26,9	26,9	26,9	-39,6	39,6	-39,6	39,6	19,3	19,3	19,3	19,3	26,9	26,9	26,9	26,9	11,5	11,5
KZ4	28,7	28,7	28,7	28,7	-44,0	44,0	-44,0	44,0	20,4	20,4	20,4	20,4	28,7	28,7	28,7	28,7	11,8	11,9
KZ5	21,4	21,4	21,4	21,4	-25,0	25,0	-25,0	25,0	16,1	16,1	16,1	16,1	21,4	21,4	21,4	21,4	10,7	10,7
KZ6	22,0	22,0	22,0	22,0	-25,9	25,9	-25,9	25,9	16,6	16,6	16,6	16,6	22,0	22,0	22,0	22,0	10,9	10,9
KZ7	24,8	24,8	24,8	24,8	-35,5	35,5	-35,5	35,5	17,9	17,9	17,9	17,9	24,8	24,8	24,8	24,8	10,8	10,8
KZ8	26,5	26,5	26,5	26,5	-40,0	40,0	-40,0	40,0	18,9	19,0	18,9	18,9	26,5	26,5	26,5	26,5	11,1	11,2

VYHODNOCENÍ:

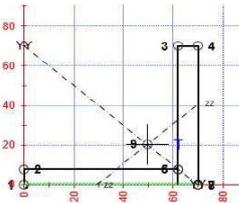
ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE KZ4

ÚNOSNOST 44%
 NAPĚTÍ 22%

Z_{LM71} 1,834



POSUDEK Č. 5
 SCHÉMA PRŮŘEZU



ZATÍŽITELNOST LM71

PRVEK: DIAGONÁLA PŘÍČNÉHO ZTUŽENÍ - V POLI

OSLABENÍ PRVKU				
Č.	Y [mm]	Z [mm]	Y _T [mm]	Z _T [mm]
1	70	1	35	0,5
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Celkové oslabení: 6,63%

PARAMETRY								
Y _T [m]	Z _T [m]	A _{plny} [m ²]	A _{oslabeny} [m ²]	I _y [m ⁴]	I _z [m ⁴]	D _{yz} [m ⁴]	I _t [m ⁴]	I _w [m ⁶]
0,051	0,022	1,1E-03	9,9E-04	4,5E-07	4,4E-07	3E-07	2,4E-08	7,0E-12
f _{yk} [MPa]	f _{y0} [MPa]	f _{y1} [MPa]	h _w [m]	t _w [m]	a [m]	L _{cr,y} [m]	L _{cr,z} [m]	L _{cr,T} [m]
227,6	200,2	183,8	0,07	0,01	0,90	0,98	0,98	0,98
						α _y	α _z	α _{Lr}
						0,49	0,49	0,76

	VNITŘNÍ SÍLY [kN, kNm]				STABILITA							ÚNOSNOST					
	N	M _y	M _z	V _z	χ _y	χ _z	χ _{lt}	k _{yy}	k _{yz}	k _{zy}	k _{zz}	6.61	6.62	Smyk	Tlak	Ohyb	
POSUDEK	KZ1	-26,6	0,1	0,0	0,1	0,882	0,878	1	1,043	1,044	1,005	1,044	0,206	0,206	0,002	0,167	0,013
	KZ2	-28,9	0,1	0,0	0,1	0,882	0,878	1	0,953	0,952	1,005	0,952	0,205	0,207	0,002	0,182	0,013
	KZ3	-35,4	0,1	0,1	0,2	0,882	0,878	1	0,943	0,942	1,006	0,942	0,268	0,270	0,003	0,223	0,018
	KZ4	-40,0	0,1	0,0	0,2	0,882	0,878	1	0,936	0,934	1,007	0,934	0,282	0,285	0,003	0,251	0,016
	KZ5	-26,7	0,1	0,1	0,1	0,882	0,878	1	0,957	0,956	1,005	0,956	0,220	0,222	0,002	0,168	0,018
	KZ6	-29,0	0,1	0,0	0,1	0,882	0,878	1	0,953	0,952	1,005	0,952	0,223	0,225	0,002	0,182	0,018
	KZ7	-35,5	0,1	0,1	0,2	0,882	0,878	1	0,943	0,941	1,007	0,941	0,286	0,288	0,003	0,223	0,024
	KZ8	-40,1	0,1	0,1	0,2	0,882	0,878	1	0,935	0,934	1,007	0,934	0,300	0,302	0,003	0,252	0,021

	NAPĚTÍ V KRITICKÉM BODU PRŮŘEZU [MPa]																
	1		2		3		4		5		6		7		8		
	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	
POSUDEK	KZ1	-44,6	44,6	-42,6	42,6	-12,2	12,2	-10,2	10,2	-27,6	27,6	-27,6	27,6	-27,7	27,7	-27,7	27,7
		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
	KZ2	-42,5	42,5	-40,9	40,9	-17,3	17,3	-15,9	15,9	-30,3	30,3	-30,3	30,3	-30,6	30,6	-30,6	30,6
		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
	KZ3	-59,3	59,3	-56,6	56,6	-16,0	16,0	-13,5	13,5	-37,0	37,0	-37,0	37,0	-37,1	37,1	-37,1	37,1
		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
	KZ4	-57,7	57,7	-55,6	55,6	-25,3	25,3	-23,5	23,5	-41,6	41,6	-41,6	41,6	-41,9	41,9	-41,9	41,9
		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
KZ5	-52,6	52,6	-49,8	49,8	-5,8	5,8	-3,0	3,0	-28,0	28,0	-28,0	28,0	-28,1	28,1	-28,1	28,1	
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	
KZ6	-50,6	50,6	-48,1	48,1	-11,0	11,0	-8,7	8,7	-30,6	30,6	-30,6	30,6	-30,9	30,9	-30,9	30,9	
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	
KZ7	-67,3	67,3	-63,8	63,8	-9,7	9,7	-6,3	6,3	-37,3	37,4	-37,3	37,3	-37,5	37,5	-37,5	37,5	
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	
KZ8	-65,8	65,8	-62,8	62,8	-18,9	18,9	-16,3	16,3	-42,0	42,0	-42,0	42,0	-42,2	42,2	-42,2	42,2	
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	

VYHODNOCENÍ:

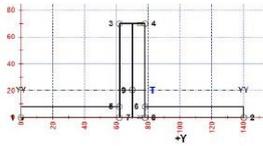
ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE KZ8

ÚNOSNOST 30%
 NAPĚTÍ 34%

Z_{LM71} 11,52



POSUDEK Č. 6
 SCHÉMA PRŮŘEZU



ZATÍŽITELNOST LM71

PRVEK: DIAGONÁLA PŘÍČNÉHO ZTUŽENÍ - NAD PODPOROU

OSLABENÍ PRVKU				
Č.	Y [mm]	Z [mm]	Y _T [mm]	Z _T [mm]
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Celkové oslabení: 0,00%

PARAMETRY								
Y _T [m]	Z _T [m]	A _{plny} [m ²]	A _{oslabeny} [m ²]	I _y [m ⁴]	I _z [m ⁴]	D _{yz} [m ⁴]	I _t [m ⁴]	I _w [m ⁶]
0,070	0,020	2,1E-03	2,1E-03	9,7E-07	1,9E-06	1E-23	1,1E-07	3,4E-11
f _{yk} [MPa]	f _{y0} [MPa]	f _{y1} [MPa]	h _w [m]	t _w [m]	a [m]	L _{cr,y} [m]	L _{cr,z} [m]	L _{cr,t} [m]
227,6	200,2	183,8	0,07	0,02	0,90	0,98	0,98	0,98
						α _y	α _z	α _t
						0,49	0,49	0,76

POSUDEK	VNITŘNÍ SÍLY [kN, kNm]				STABILITA								ÚNOSNOST				
	N	M _y	M _z	V _z	χ _y	χ _z	χ _t	k _{yy}	k _{yz}	k _{zy}	k _{zz}	6.61	6.62	Smyk	Tlak	Ohyb	
	KZ1	-72,6	0,1	0,2	0,1	0,881	0,943	1	1,055	1,037	1,004	1,037	0,277	0,262	0,001	0,212	0,013
KZ2	-79,8	0,1	0,2	0,1	0,881	0,943	1	0,940	0,959	1,005	0,959	0,281	0,266	0,001	0,233	0,013	
KZ3	-100,7	0,1	0,3	0,1	0,881	0,943	1	0,924	0,949	1,006	0,949	0,375	0,356	0,001	0,294	0,015	
KZ4	-114,9	0,1	0,3	0,1	0,881	0,943	1	0,913	0,941	1,007	0,941	0,406	0,385	0,001	0,336	0,015	
KZ5	-72,4	0,1	0,2	0,1	0,881	0,943	1	0,945	0,963	1,004	0,963	0,271	0,258	0,001	0,212	0,013	
KZ6	-79,6	0,1	0,2	0,1	0,881	0,943	1	0,940	0,959	1,005	0,959	0,280	0,266	0,001	0,233	0,013	
KZ7	-100,5	0,1	0,3	0,1	0,881	0,943	1	0,924	0,949	1,006	0,949	0,374	0,356	0,001	0,294	0,015	
KZ8	-114,7	0,1	0,3	0,1	0,881	0,943	1	0,913	0,941	1,007	0,941	0,405	0,385	0,001	0,336	0,015	

POSUDEK		NAPĚTÍ V KRITICKÉM BODU PRŮŘEZU [MPa]																	
		1		2		3		4		5		6		7		8		9	
		σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e
KZ1	-45,8	45,8	-27,6	27,6	-29,8	29,8	-27,7	27,7	-36,8	36,8	-34,7	34,7	-37,7	37,7	-35,6	35,6	-34,4	34,4	
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	
KZ2	-46,9	46,9	-33,3	33,3	-32,9	32,9	-31,4	31,4	-40,0	40,0	-38,4	38,4	-40,9	40,9	-39,3	39,3	-37,8	37,8	
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	
KZ3	-63,3	63,3	-37,5	37,5	-42,5	42,5	-39,5	39,5	-50,8	50,8	-47,9	47,9	-51,9	51,9	-48,9	48,9	-47,7	47,7	
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	
KZ4	-68,1	68,1	-46,2	46,2	-49,0	49,0	-46,5	46,5	-57,3	57,3	-54,8	54,8	-58,4	58,4	-55,9	55,9	-54,4	54,4	
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	
KZ5	-45,7	45,7	-27,5	27,5	-29,7	29,7	-27,6	27,6	-36,8	36,8	-34,7	34,7	-37,7	37,7	-35,6	35,6	-34,3	34,3	
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	
KZ6	-46,8	46,8	-33,2	33,2	-32,9	32,9	-31,3	31,3	-39,9	39,9	-38,3	38,3	-40,8	40,8	-39,2	39,2	-37,7	37,7	
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	
KZ7	-63,2	63,2	-37,5	37,5	-42,4	42,4	-39,5	39,5	-50,7	50,7	-47,8	47,8	-51,8	51,8	-48,9	48,9	-47,6	47,6	
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	
KZ8	-68,0	68,0	-46,1	46,1	-48,9	48,9	-46,4	46,4	-57,3	57,3	-54,7	54,7	-58,3	58,3	-55,8	55,8	-54,3	54,3	
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	

VYHODNOCENÍ:

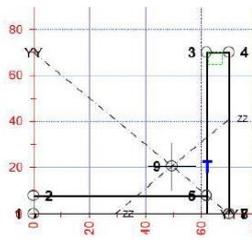
ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE KZ4

ÚNOSNOST 41%
 NAPĚTÍ 34%

Z_{LM71} 9,89



POSUDEK Č. 7
 SCHÉMA PRŮŘEZU



ZATÍŽITELNOST LM71

PRVEK: HORNÍ VODOROVNÉ ZTUŽENÍ

OSLABENÍ PRVKU				
Č.	Y [mm]	Z [mm]	Y _T [mm]	Z _T [mm]
1	5	5	65	67,5
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Celkové oslabení: 2,37%

PARAMETRY									
Y _T [m]	Z _T [m]	A _{plny} [m ²]	A _{oslabeny} [m ²]	I _y [m ⁴]	I _z [m ⁴]	D _{yz} [m ⁴]	I _t [m ⁴]	I _w [m ⁶]	
0,049	0,019	1,1E-03	1,0E-03	4,3E-07	4,8E-07	3E-07	2,4E-08	7,0E-12	
f _{yk} [MPa]	f _{y0} [MPa]	f _{y1} [MPa]	h _w [m]	t _w [m]	a [m]	L _{cr,y} [m]	L _{cr,z} [m]	L _{LT} [m]	
227,6	200,2	183,8	0,07	0,01	0,90	1,17	1,17	1,17	
						α _y	α _z	α _{LT}	
						0,49	0,49	0,76	

	VNITŘNÍ SÍLY [kN, kNm]				STABILITA								ÚNOSNOST				
	N	M _y	M _z	V _z	χ _y	χ _z	χ _{it}	k _{yy}	k _{yz}	k _{zy}	k _{zz}	6.61	6.62	Smyk	Tlak	Ohyb	
POSUDEK	KZ1	-62,4	0,1	0,0	-0,1	0,819	0,836	1,000	1,131	1,121	1,013	1,121	0,454	0,442	0,001	0,402	0,034
	KZ2	-65,9	0,1	0,0	-0,1	0,819	0,836	1,000	0,862	0,872	1,014	0,872	0,453	0,448	0,001	0,424	0,027
	KZ3	-76,7	0,1	0,0	-0,1	0,819	0,836	1,000	0,839	0,851	1,017	0,851	0,526	0,521	0,001	0,494	0,032
	KZ4	-83,6	0,1	0,0	-0,1	0,819	0,836	1,000	0,825	0,837	1,018	0,837	0,568	0,563	0,001	0,539	0,029
	KZ5	-64,6	0,2	0,0	-0,1	0,819	0,836	1,000	0,864	0,874	1,014	0,874	0,460	0,458	0,001	0,417	0,039
	KZ6	-68,0	0,1	0,0	-0,1	0,819	0,836	1,000	0,857	0,868	1,015	0,868	0,471	0,467	0,001	0,438	0,032
	KZ7	-78,9	0,2	0,0	-0,1	0,819	0,836	1,000	0,835	0,847	1,017	0,847	0,544	0,540	0,001	0,508	0,037
	KZ8	-85,8	0,1	0,0	-0,1	0,819	0,836	1,000	0,820	0,833	1,019	0,833	0,586	0,582	0,001	0,553	0,034

	NAPĚTÍ V KRITICKÉM BODU PRŮŘEZU [MPa]																
	1		2		3		4		5		6		7		8		
	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	
POSUDEK	KZ1	-88,0	88,0	-83,7	83,7	-28,6	28,6	-25,9	25,9	-62,3	62,3	-62,3	62,3	-63,9	63,9	-63,9	63,9
		τ _{xz}	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	KZ2	-80,4	80,4	-77,4	77,4	-42,4	42,4	-40,9	40,9	-65,7	65,7	-65,7	65,7	-67,2	67,2	-67,2	67,2
		τ _{xz}	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	KZ3	-94,2	94,2	-90,7	90,7	-48,8	48,8	-47,0	47,0	-76,5	76,5	-76,5	76,5	-78,2	78,2	-78,2	78,2
		τ _{xz}	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	KZ4	-99,3	99,3	-96,0	96,0	-57,6	57,6	-55,9	55,9	-83,1	83,1	-83,1	83,1	-84,7	84,7	-84,7	84,7
		τ _{xz}	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	KZ5	-93,5	93,5	-88,6	88,6	-26,6	26,6	-23,5	23,5	-64,7	64,7	-64,7	64,7	-66,5	66,5	-66,5	66,5
		τ _{xz}	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	KZ6	-85,9	85,9	-82,3	82,3	-40,4	40,4	-38,6	38,6	-68,1	68,1	-68,1	68,1	-69,9	69,9	-69,9	69,9
		τ _{xz}	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	KZ7	-99,7	99,7	-95,6	95,6	-46,8	46,8	-44,6	44,6	-78,9	78,9	-78,9	78,9	-80,9	80,9	-80,9	80,9
		τ _{xz}	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	KZ8	-104,8	104,8	-100,9	100,9	-55,6	55,6	-53,6	53,6	-85,5	85,5	-85,5	85,5	-87,4	87,4	-87,4	87,4
		τ _{xz}	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

VYHODNOCENÍ:

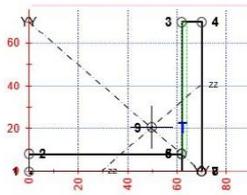
ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE KZ8

ÚNOSNOST 59%
 NAPĚTÍ 52%

Z_{LM71} 2,659



POSUDEK Č. 8
 SCHÉMA PRŮŘEZU



ZATÍŽITELNOST LM71

PRVEK: DOLNÍ VODOROVNÉ ZTUŽENÍ

OSLABENÍ PRVKU				
Č.	Y [mm]	Z [mm]	Y _T [mm]	Z _T [mm]
1	2	62	63	39
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Celkové oslabení: 11,7%

PARAMETRY										
Y _T [m]	Z _T [m]	A _{přiny} [m ²]	A _{oslabeny} [m ²]	I _y [m ⁴]	I _z [m ⁴]	D _{yz} [m ⁴]	I _t [m ⁴]	I _w [m ⁶]		
0,048	0,018	1,1E-03	9,3E-04	4,0E-07	4,6E-07	3E-07	2,4E-08	7,0E-12		
f _{yk} MPa	f _{y0} MPa	f _{y1} MPa	h _w [m]	t _w [m]	a [m]	L _{cr,y} [m]	L _{cr,z} [m]	L _{LT} [m]		
227,6	200,2	183,8	0,07	0,01	0,90	1,17	1,17	1,17		
						α _y	α _z	α _{LT}		
						0,49	0,49	0,76		

	VNITŘNÍ SÍLY [kN, kNm]				STABILITA								ÚNOSNOST				
	N	M _y	M _z	V _z	χ _y	χ _z	χ _{it}	k _{yy}	k _{yz}	k _{zy}	k _{zz}	6.61	6.62	Smyk	Tah	Ohyb	
POSUDEK	KZ1	86,8	0,2	0,2	0,3	0,823	0,844	1	1,198	1,179	0,980	1,179	0,781	0,754	0,005	0,507	0,054
	KZ2	90,2	0,2	0,1	0,3	0,823	0,844	1	1,206	1,186	0,979	1,186	0,779	0,751	0,005	0,526	0,054
	KZ3	91,4	0,2	0,2	0,3	0,823	0,844	1	1,209	1,189	0,979	1,189	0,825	0,796	0,005	0,534	0,057
	KZ4	96,0	0,2	0,1	0,3	0,823	0,844	1	1,219	1,198	0,978	1,198	0,832	0,801	0,005	0,560	0,057
	KZ5	86,4	0,2	0,1	0,2	0,823	0,844	1	1,197	1,178	0,980	1,178	0,752	0,726	0,004	0,504	0,049
	KZ6	89,7	0,2	0,1	0,2	0,823	0,844	1	1,205	1,185	0,979	1,185	0,750	0,723	0,004	0,524	0,049
	KZ7	91,0	0,2	0,1	0,3	0,823	0,844	1	1,208	1,188	0,979	1,188	0,796	0,767	0,004	0,531	0,052
	KZ8	95,5	0,2	0,1	0,3	0,823	0,844	1	1,218	1,197	0,978	1,197	0,802	0,772	0,004	0,558	0,052

NAPĚTÍ V KRITICKÉM BODU PRŮŘEZU [MPa]																	
	1		2		3		4		5		6		7		8		
	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	σ _x	σ _e	
	τ _{xz}		τ _{xz}		τ _{xz}		τ _{xz}		τ _{xz}		τ _{xz}		τ _{xz}		τ _{xz}		
POSUDEK	KZ1	26,2	26,2	35,6	35,6	167,4	167,4	175,1	175,1	95,2	95,2	95,2	95,2	93,6	93,6	93,6	93,6
		0,0		0,0		0,0		0,0		0,7		1,0		0,0		0,0	
	KZ2	37,7	37,7	46,4	46,4	164,7	164,7	171,4	171,4	97,8	97,8	97,8	97,8	95,8	95,8	95,8	95,8
		0,0		0,0		0,0		0,0		0,7		0,9		0,0		0,0	
	KZ3	27,5	27,5	37,3	37,3	176,2	176,2	184,4	184,4	100,4	100,4	100,4	100,4	98,7	98,7	98,7	98,7
		0,0		0,0		0,0		0,0		0,8		1,0		0,0		0,0	
	KZ4	40,3	40,3	49,4	49,4	174,8	174,8	181,9	181,9	104,2	104,2	104,2	104,2	102,1	102,1	102,1	102,1
		0,0		0,0		0,0		0,0		0,7		1,0		0,0		0,0	
KZ5	35,1	35,1	43,2	43,2	157,6	157,6	164,2	164,2	94,1	94,1	94,1	94,1	92,5	92,5	92,5	92,5	
	0,0		0,0		0,0		0,0		0,6		0,8		0,0		0,0		
KZ6	46,5	46,5	54,1	54,1	154,9	154,9	160,4	160,4	96,7	96,7	96,7	96,7	94,6	94,6	94,6	94,6	
	0,0		0,0		0,0		0,0		0,6		0,8		0,0		0,0		
KZ7	36,4	36,4	45,0	45,0	166,4	166,4	173,4	173,4	99,3	99,3	99,3	99,3	97,6	97,6	97,6	97,6	
	0,0		0,0		0,0		0,0		0,6		0,9		0,0		0,0		
KZ8	49,1	49,1	57,1	57,1	165,0	165,0	171,0	171,0	103,1	103,1	103,1	103,1	101,0	101,0	101,0	101,0	
	0,0		0,0		0,0		0,0		0,6		0,8		0,0		0,0		

VYHODNOCENÍ:

ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE KZ4

ÚNOSNOST 83%
 NAPĚTÍ 92%

Z_{LM71} 1,517



7.1 Mezní stav použitelnosti (MSP)

Při mezním stavu použitelnosti byla zkoumána svislá deformace uprostřed rozpětí. Z dopravních zatížení bylo bráno pouze zatížení Modelem LM71. Limitní hodnota průhybu se stanoví jako:

$$\delta_{lim} = \frac{L}{600} = \frac{16110}{600} = 26,85 \text{ mm}$$

Zatížitelnost pro MSP se dle předpisu SŽ S5/1 stanoví jako:

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

kde: δ_{lim} je mezní hodnota přetvoření podle kritéria příslušného mezního stavu použitelnosti

δ_{LM71} je hodnota přetvoření vyvolaná svislým proměnným zatížením železniční dopravou, reprezentovaným modelem zatížení 71 (podle povahy kritéria i včetně dynamických vlivů)

$\sum_{i=1}^{n-1} \delta_{rs,i}$ jsou hodnoty přetvoření od ostatních relevantních stálých zatížení

Tabulka 18: Zatížitelnost v MSP - hlavní nosník

	u_z [mm]
Vlastní tíha	1,1
Ostatní stálé	0,3
LM 71 x Φ_3	17,42
Průhyb celkem	18,82
ZATÍŽITELNOST	1,461

7.2 Přehled zatížitelnosti

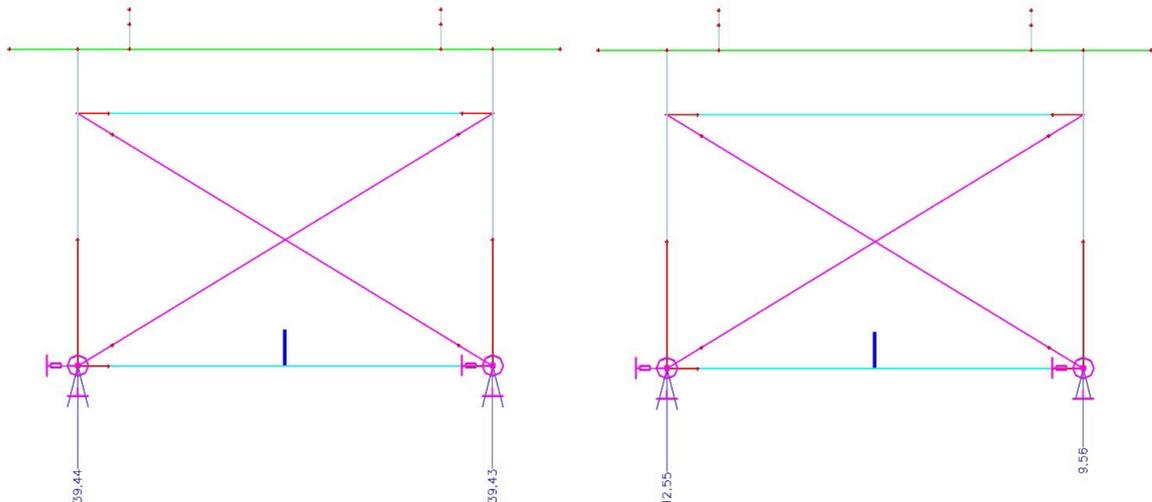
Tabulka 19: Přehled zatížitelnosti

Č.	PRVEK	Z _{LM71}
1	Hlavní nosník - střed rozpětí	1,045
2	Hlavní nosník - na podporou	> 1
3	Dolní prut příčného ztužení	4,577
4	Horní prut příčného ztužení	1,834
5	Diagonála příč. ztužení v poli	11,523
6	Diagonála příč. ztužení nad podporou	9,892
7	Diagonála horního vodorovného ztužení	2,659
8	Diagonála dolního vodorovného ztužení	1,517
MSP	Hlavní nosník - střed rozpětí	1,461

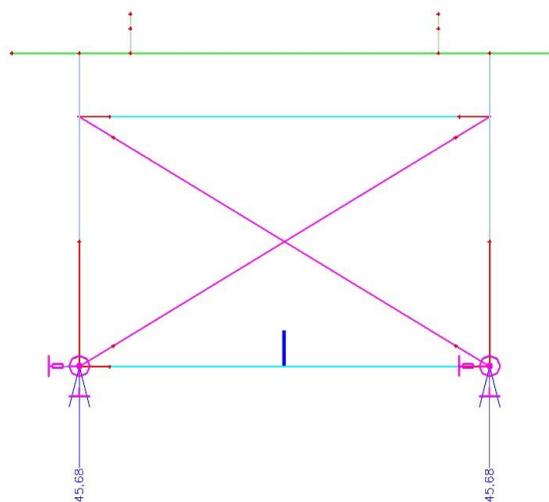
Z hlediska zatížitelnosti vychází u všech ověřovaných prvků zatížitelnost větší než 1, tím je zaručena přechodnost pro traťovou třídu D4/60.

8. STABILITA KONSTRUKCE

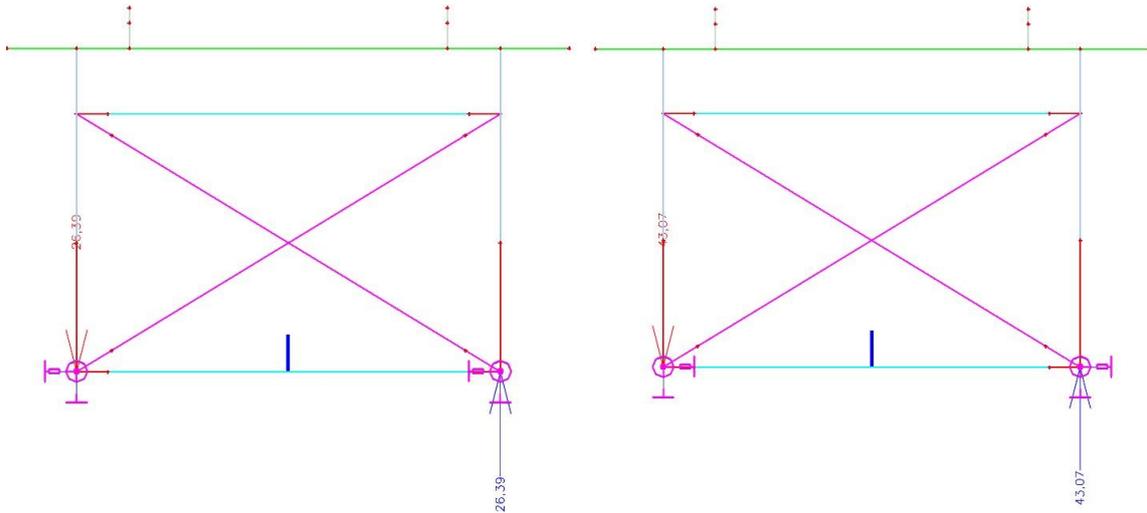
Vzhledem k typu konstrukce bylo potřeba ověřit stabilitu konstrukce proti překlopení. Při tomto ověření působí vlastní tíha, ostatní zatížení a zatížení modelem „nezatížený vlak“ jako stabilizující zatížení, pro které je součinitel zatížení uvažován jako 1,0. Naopak pro destabilizující zatížení (vítr a boční ráz) je součinitel zatížení 1,35. Boční ráz byl redukován na 35 kN.



Obrázek 60: Reakce od stálých zatížení



Obrázek 61: Reakce od modelu "Nezatížený vlak"



Obrázek 62: Reakce od bočního rázu a od větru

Tabulka 20: Výpočet stability konstrukce + schéma

Stabilizující reakce:	
Vlastní tíha:	39,43 kN
Ostatní stálé:	9,48 kN
Nezatížený vlak:	45,68 kN
$R_{stb} =$	94,59 kN

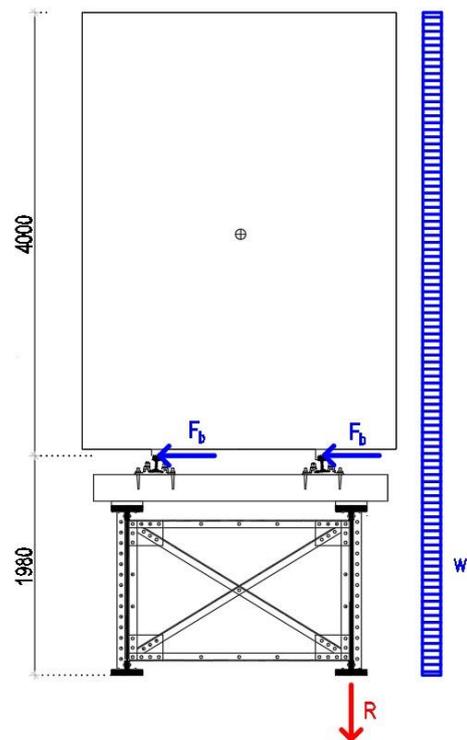
Destabilizující reakce:	
Vítr:	43,07 kN
Boční ráz:	26,39 kN
$R_{des} =$	93,771 kN

$$V_{stb} = 1$$

$$V_{des} = 1,35$$

$$R_{stb} > R_{des}$$

$$94,59 > 93,771 \quad \text{VYHOVUJE}$$



9. ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se věnovala prohlídce železničního mostu km 21, 031 TÚ 0661 Ústí nad Labem západ – Trmice (mimo) – Bílina (mimo), výpočtu jeho zatížitelnosti a přechodnosti. V první fázi byla provedena prohlídka, přeměření konstrukce a korozní průzkum. Následně byly odebrány vzorky oceli a byly provedeny tvrdoměrné zkoušky. Veškerá získaná data byla následně zpracována.

Při prohlídce nebyla zjištěna žádná závažnější závada. Největším nedostatkem byl shledán poškozený protikorozní nátěr, a tím způsoben korozní stav konstrukce. Vzhledem ke stáří mostu se ale jedná o očekávatelný závěr, který nijak neohrožuje současnou funkčnost. Do budoucna by bylo vhodné obnovit protikorozní ochranu konstrukce.

Byla zhotovena výkresová dokumentace a protokoly korozního průzkumu. Následně byl vytvořen 3D model v programu SCIA Engineer. Výpočtem bylo zjištěno, že nejkritičtější místem konstrukce je hlavní nosník ve středu rozpětí, kde byla zatížitelnost stanovena $Z_{LM71} = 1,045$. Bylo ověřeno, že most je schopen přenést provozní zatížení traťové třídy D4/60.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČSN EN 1991-2: 2005 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou*. Praha: ČNI.
- [2] ČSN EN 1991-1-4: 2007 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení větrem*. Praha: ČNI.
- [3] ČSN EN 1993-2: 2008 Eurokód 3: *Navrhování ocelových konstrukcí - Část 2: Ocelové mosty*. Praha: ČNI.
- [4] ČSN EN 1991-1-5: 2005 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí - Část 1-5: Obecná zatížení - Zatížení teplotou*. Praha: ČNI.
- [5] ČSN EN 1993-1-1: 2006 Eurokód 3: *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: ČNI
- [6] ČSN EN 1993-1-5: 2020 Eurokód 3: *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-5: Boulení stěn, ed. 3*. Praha: ČNI.
- [7] ČSN EN 1990: 2015 Eurokód: *Zásady navrhování konstrukcí, ed. 2*. Praha: ČNI.
- [8] Google maps [online]. [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://goo.gl/maps/nAzs8D2BTiuvybMA6>
- [9] Protokol o podrobné prohlídce mostního objektu, 2018 [interní dokument], archivováno: Správa železnic, s.o.
- [10] Archivní projektová dokumentace (r. 1963), archivováno: Správa železnic, s.o.
- [11] Předpis SŽ S5/1, Správa železnic, s.o. (2021)

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Pohled na most.....	11
Obrázek 2: Satelitní snímek.....	12
Obrázek 3: Obě konstrukce ze spodu	12
Obrázek 4: Schéma mostního objektu	13
Obrázek 5: Příčné řezy hlavního nosníku.....	14
Obrázek 6: Příčné ztužení.....	15
Obrázek 7: Připojení ztužidel k hlavnímu nosníku	15
Obrázek 8: Pevné ložisko	16
Obrázek 9: Posuvné ložisko	16
Obrázek 10: Opěra mostu	17
Obrázek 11: Ukázka výkresu opěry z archivní dokumentace	17
Obrázek 12: Železniční svršek	18
Obrázek 13: Upevnění K	18
Obrázek 14: Výkres příčného řezu	19
Obrázek 15: Ukázka výkresu příčného řezu z archivní dokumentace.....	20
Obrázek 16: Místo tvrdoměrné zkoušky	20
Obrázek 17: Místo odběru vzorku na konstrukci	23
Obrázek 18: Odebrané vzorky oceli a plastbetonu	23
Obrázek 19: Vzorky před a po provedení zkoušky	24
Obrázek 20: Ukázka archu ke koroznímu průzkumu a karta prvku	25
Obrázek 21: Koroze na hlavním nosníku	26
Obrázek 22: Koroze pod vrstvou plastbetonu nad horní pásnicí hlavního nosníku	27
Obrázek 23: Koroze na horním pase příčného ztužení.....	27
Obrázek 24: Koroze na dolním pase příčného ztužení	28
Obrázek 25: Pohled na OP1.....	29
Obrázek 26: Uvolněný šroub / vrtule	30
Obrázek 27: Vyosení ložiska.....	30
Obrázek 28: Ostatní stálé zatížení - model.....	32
Obrázek 29: Poloha větru	33
Obrázek 30: Zatížení větrem - model	36
Obrázek 31: Zatížení teplotou - model	36
Obrázek 32: Model zatížení LM 71 a charakteristické hodnoty svislého zatížení [1]	37

Obrázek 33: Excentricita svislého zatížení.....	37
Obrázek 34: Zohlednění excentricity – model	38
Obrázek 35: Nezatížený vlak - model	39
Obrázek 36: Boční ráz – model	40
Obrázek 37: Renderovaný model	43
Obrázek 38: Prutový model.....	44
Obrázek 39: Průřezy hlavních nosníků.....	45
Obrázek 40: Ukázka odstupňování pásnic hlavního nosníku v renderovaném modelu.....	45
Obrázek 41: Příčné ztužení v modelu.....	46
Obrázek 42: Příčné a vodorovné ztužení v modelu.....	47
Obrázek 43: Napojení mostnice na hlavní nosník v modelu.....	49
Obrázek 44: Posuvná ložiska v modelu.....	50
Obrázek 45: Pevná ložiska v modelu	50
Obrázek 46: Definice šířek pro zařazení nýtovaných průřezů.....	51
Obrázek 47: Průběh momentů od stálého zatížení na hlavním nosníku.....	57
Obrázek 48: Průběh momentů od dopravního zatížení na hlavním nosníku.....	58
Obrázek 49: Průběh momentů od zatížení modelem LM71 na hlavním nosníku	58
Obrázek 50: Průběh posouvající síly od stálého zatížení na hlavním nosníku.....	58
Obrázek 51: Průběh posouvající síly od dopravního zatížení na hlavním nosníku.....	59
Obrázek 52: Průběh posouvající síly od zatížení modelem LM71 na hlavním nosníku	59
Obrázek 53: Průběh normálové síly od stálého zatížení na příčném ztužení	59
Obrázek 54: Průběh normálové síly od dopravního zatížení na příčném ztužení	60
Obrázek 55: Průběh normálové síly od modelu LM71 na příčném ztužení.....	60
Obrázek 56: Průběh normálové síly od stálého zatížení na vodorovném ztužení.....	60
Obrázek 57: Průběh normálové síly od dopravního zatížení na vodorovném ztužení	61
Obrázek 58: Průběh normálové síly od modelu LM71 na vodorovném ztužení.....	61
Obrázek 59: Průhyb od zatížení modelem LM71.....	61
Obrázek 60: Reakce od stálých zatížení	73
Obrázek 61: Reakce od modelu "Nezatížený vlak".....	73
Obrázek 62: Reakce od bočního rázu a od větru	74

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Data z tvrdoměrných zkoušek	22
Tabulka 2: Shrnutí materiálových charakteristik.....	24
Tabulka 3: Tabulka A.1 SŽ S5/1	24
Tabulka 4: Ostatní stálé zatížení - pravý nosník.....	31
Tabulka 5: Ostatní stálé zatížení - levý nosník.....	32
Tabulka 6: Rychlost větru s návratností 50 let a turbulence v místě stavby dle ČHMÚ (GPS: 50.587571 N, 13.814938 E, 190 m n. m., výška 7 m, drsnost 1,0, $v_{b,0} = 22.0$ m/s)	33
Tabulka 7: Reprezentativní typ mostu č.7 dle Tab. G.1 SŽ S5/1	34
Tabulka 8: Reprezentativní kolejové vozidlo - KVD3	34
Tabulka 9: Korekční součinitel $C_{kor,x}$	34
Tabulka 10: Výpočet zatížení větrem	35
Tabulka 11: Kombinace zatížení KZ 1-4	41
Tabulka 12: Kombinace zatížení KZ 5-8	42
Tabulka 13: Tuhosti přípojů konstrukčních prvků	47
Tabulka 14: Největší přípustné dilatující délky.....	48
Tabulka 15: Parametry koleje na mostě	48
Tabulka 16: Zavedené tuhosti ložisek v jednotlivých směrech.....	50
Tabulka 17: Průřezové charakteristiky prvků.....	52
Tabulka 18: Zatížitelnost v MSP - hlavní nosník	71
Tabulka 19: Přehled zatížitelnosti	72
Tabulka 20: Výpočet stability konstrukce + schéma.....	74

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 01- Přehledný výkres nosné konstrukce

Příloha 02 – Přehledný výkres korozního poškození

