

DIPLOMOVÝ SEMINÁŘ

**Ocelový železniční most
OSKAR**

Vypracoval: Martin Werunský

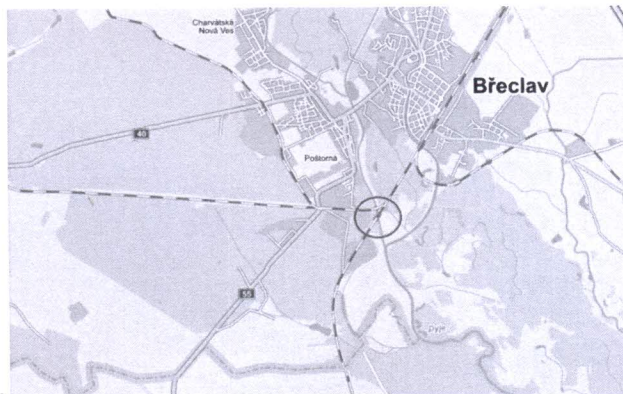
OBSAH

1. Základní údaje	3
2. Popis konstrukce	6
3. Problematika bezстыkové koleje a mostu	11
4. Způsoby snížení dilatace	14
5. Systém řízení dilatace mostu - Oskar	16
6. Probíhající monitoring	18
7. Zatěžovací zkouška	20
8. Tvorba modelu	29

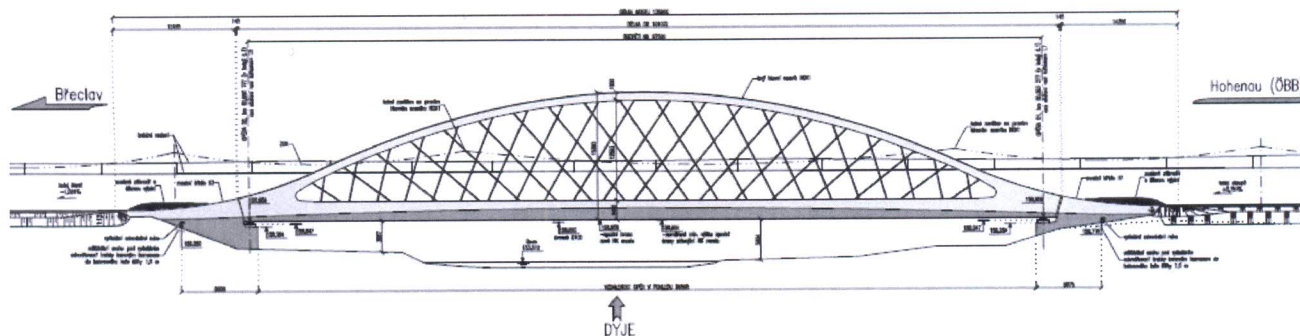
1) Základní údaje,

Základní údaje o mostu OSKAR

Most Oskar je ocelový jednokolejný železniční most nacházející se na 80,930km železničního koridoru, který spojuje Prahu s Vídní. Jeho dominantou je vysoký oblouk se síťovým uspořádáním závěsů, jehož vzepětí je 14 metrů. Most přemostňuje zhruba 30 metrů široké odlehčovací rameno řeky Dyje. Most je konstruován jako šikmý s šikmostí 41° , je široký 8,15m a jeho ocelová nosná konstrukce je dlouhá více jak 100m. Stavební výška je 1329mm.



Obr.1: Poloha mostu vyznačena červeně

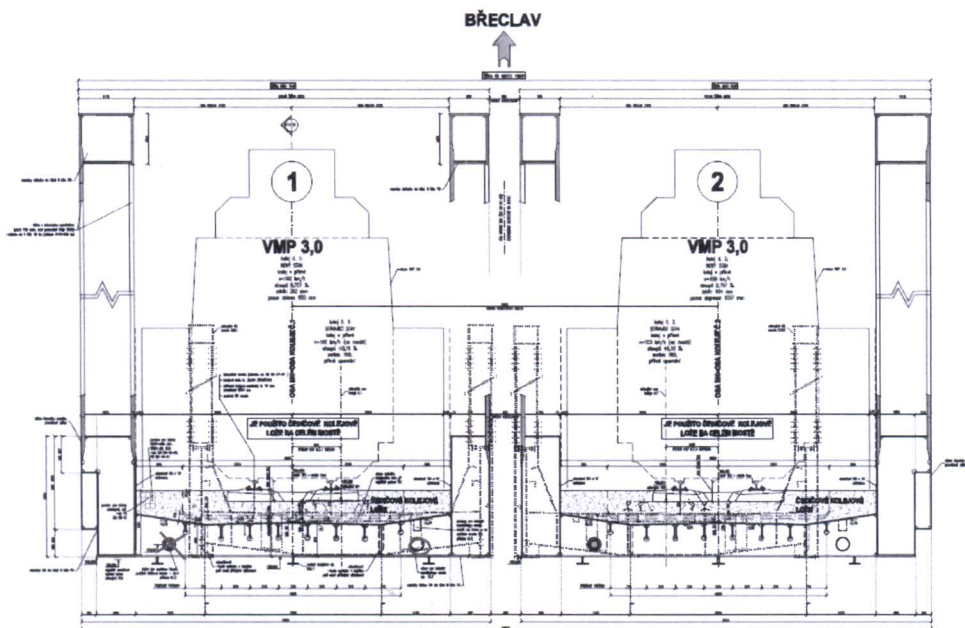


Obr.2: Pohled na most Oskar

VMP, železniční svršek

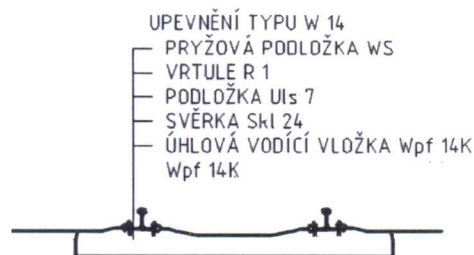
Návrhová rychlost trati, kterou Oskar přes řeku Dyji převádí je nyní 160km/h. Most byl ovšem projektován na rychlost až 192km/h. Vyprojektování mostu na vyšší rychlost než 160km/h zohledňuje výhledové zvýšení návrhové traťové rychlosti. S rychlostí 160km/h se váže i šířka VMP, která má v případě mostu OSKAR 3,0m – VMP 3,0.

Trať převedená přes most je v přímé. Výškově je niveleta trati zaoblena tak, že před opěrou 01 trať stoupá 0,757‰, za opěrou 02 klesá -1,561‰. Zakružovací výškový oblouk trati má vrchol na mostní konstrukci a jeho poloměr je 26 000m.

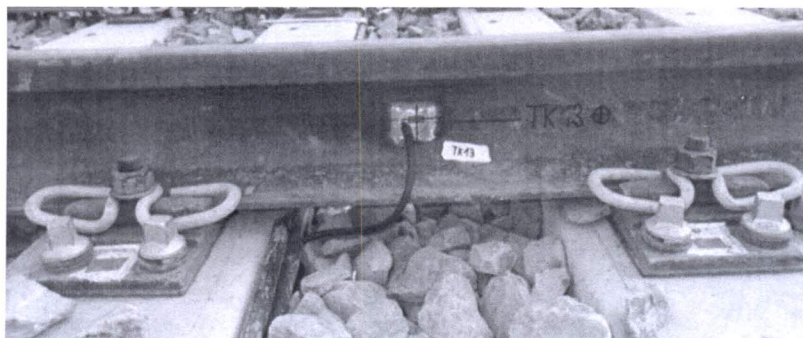


Obr.3: Příčný řez mostem

Na mostě je ze statických důvodů zřízeno uzavřené čedičové kolejové lože. Železniční svršek je tvořen standardními betonovými pražci B91S. Kolejnice UIC 60 jsou k nim upevněny pomocí pružných svěrek Skl 24. V místě 10m před a za dilatačními spárami jsou mezi NK a opěrami použity výhybkové pražce. Kolejnice jsou k těmto pražcům uchyceny pomocí svěrek se sníženou držebností.



Obr.4: Železniční svršek na mostě Oskar

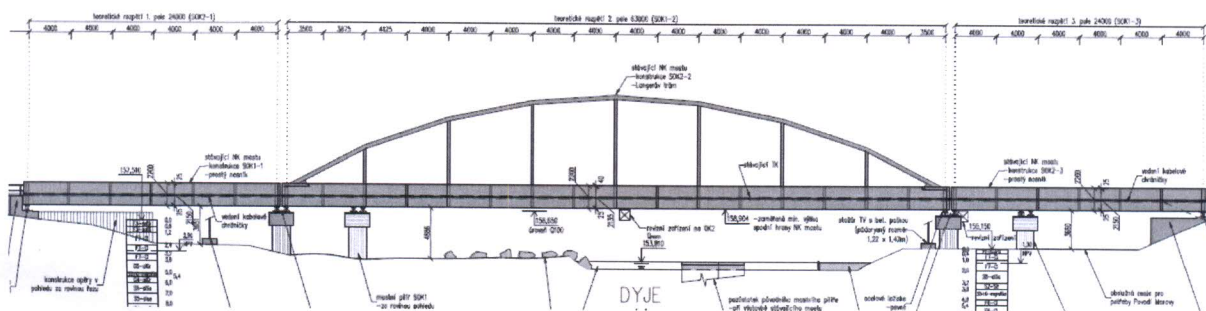


Obr.5: Kolejový svršek tvořený výhybkovými pražci a svěrkami s nízkou držebností.

Původní most

Původně se na místě Oskara nacházel ocelový jednokolejný most o třech polích. Krajní pole byly dlouhé 24,000m a hlavní nosným systémem byl 2,2m vysoký plnostěnný ocelový nosník. Střední nejdelší pole bylo dlouhé 63,000 a nosným systémem byl 2,2m vysoký plnostěnný nosník podporovaný obloukem – tzv. langerův rám.

Tento most byl již od svého zavedení do provozu předurčen k tomu, že bude v budoucnu zdemolován. Jeho nosný systém byl prototypem, který nebyl příliš vhodný a způsob zřízení železničního svršku na něm nebyl nejvhodnější. Jednalo se o pevnou jízdní dráhu s nemožností rektifikace koleje, navíc dynamické účinky přenášené z koleje do mostní konstrukce byly vysoké. Osud mostu se začal naplňovat při jedné běžné prohlídce, kdy bylo zjištěno několik zásadních závad. Nejhorší závadou se jevila nakloněná ložiska mostu. V roce 2011 byla provedena diagnostika spodní stavby. Po vyhodnocení výsledků diagnostiky bylo zjištěno, že pilíře jsou špatně provedeny. Tento fakt přispěl k definitivnímu verdiktu, že most a spodní stavba musí být zbourány a nahrazeny novým.



Obr. 6: Původní most přes odlehčovací rameno Dyje



Obr.7: Pohled na železniční svršek původního mostu

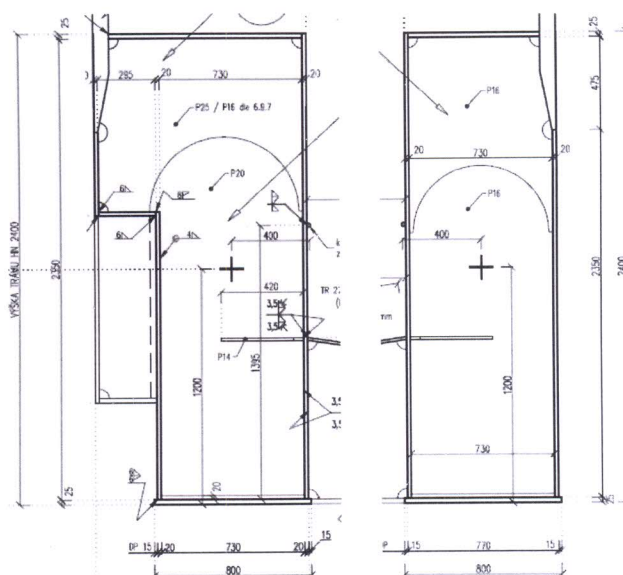


Obr.8: Demolice původního mostu

2) Popis konstrukce

Trámy hlavního nosníku

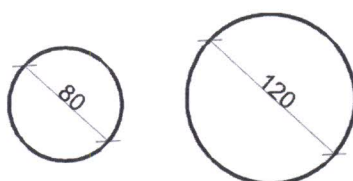
Vnitřní trám hlavního nosníku má obdélníkový uzavřený průřez s rozměry 0,80x2,40m. Vnější trám je též obdélníkového uzavřeného průřezu s rozměry 1,085x2,400m. Evidentní rozšíření tohoto trámu je zajištěno odskočením vnější stojiny o 315mm. Tloušťka bočních stěn nosníku je 20mm, tloušťka horní a spodní stěny je 25mm. Trámy hlavního nosníku jsou konstruovány s nadvýšením až 90mm, jehož maximální hodnota je dosažena uprostřed rozpětí trámů. Nadvýšení vyrovnává průhyb od vlastní tíhy, stálého zatížení a 25% nahodilého zatížení dopravou. Ve vnitřních prostorách trámu se nacházejí systémová DIA v místech napojení příčných výtuh a taktéž v místech připojení vybraných táhel. Veprostřed trámů se nachází prostor pro zabudování případného balastu. Trámy jsou vyrobeny z oceli S355.



Obr.9: Příčný řez vnitřním a vnějším trámem

Táhla hlavního nosníku

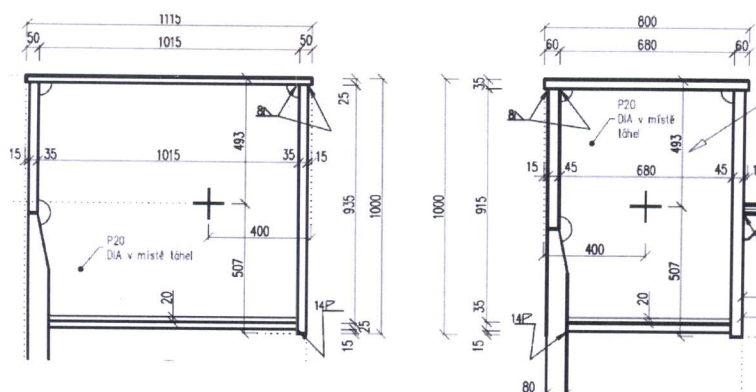
Táhla hlavního nosníku mají plný kruhový průřez o průměru 80mm a v koncových částech plný kruhový průřez o průměru 120 mm. Nejkratší táhlo měří 4209 mm a nejdelší 14 883mm. Hlavní nosník je s obloukem spojen celkem 40ti táhly, jejichž uspořádání je symetrické podle osy mostu. Úhel sevření táhel a hlavního nosníku se mění od $33,5^\circ$ po $2,5^\circ$ do 81° . Počtem táhel a jejich úhlem je docíleno tzv. síťovaného oblouku. Původně bylo navrženo křížící se táhla propojit spojkami, ale po nepříjemné zkušenosti s jejich nadměrným kmitáním při přejezdu vlaků bylo rozhodnuto, že bude vhodnější propojit je tlumícími spojkami. Táhla jsou vyrobena z oceli S460.



Obr.10: Průřezy středovým a krajním táhlem hlavního nosníku

Oblouky hlavního nosníku

Vnitřní oblouk hlavního nosníku je uzavřeného obdélníkového průřezu s konstantní výškou a šířkou po celé jeho délce. Vnitřní oblouk je vysoký 1,0m a široký 0,8m. Boční stěny mají tloušťku 45mm, horní stěna 35mm a spodní stěna 20mm. Vnější oblouk je též uzavřeného obdélníkového průřezu s konstantní výškou a šířkou po celé jeho délce. Vnější oblouk je vysoký 1,0m a široký 1,115m. Boční stěny mají tloušťku 35mm, horní i spodní stěny mají tloušťku 25mm. Tvar oblouků se dá popsat parabolou 2° . V místě napojení každého táhla je oblouk vybaven DIA. DIA se taktéž nacházejí v místech připojení ztužidel oblouků. Na obou obloucích jsou navrženy revizní a odvodňovací prvky. Oblouky jsou budovány bez nadvýšení. Oblouky jsou vyrobeny z oceli S355.



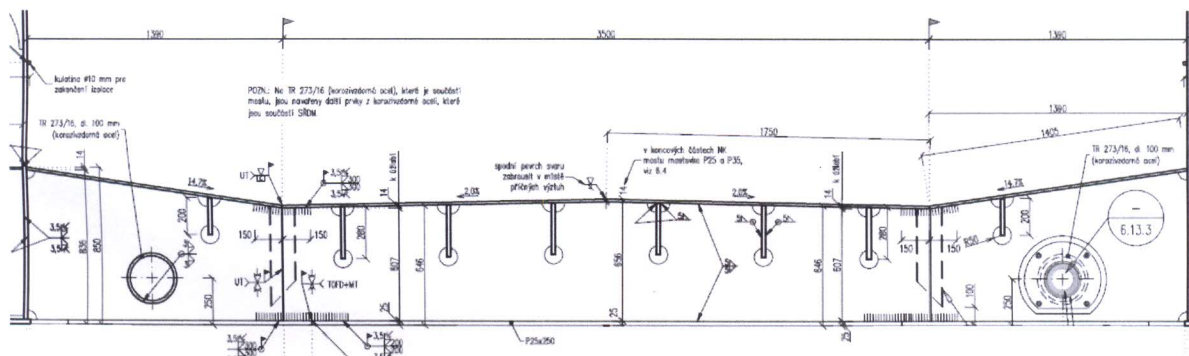
Obr.11: Příčný řez vnějším a vnitřním obloukem

Mostovkový plech

Mostovkový plech má tloušťku 14mm po celé délce, výjimku tvoří koncové oblasti, kde tloušťka plechu dosahuje skokem hodnoty 25mm a 35mm z důvodu zvýšeného namáhání. Mostovkový plech je spádován pod spádem 2% od středu do úžlabí a pod spádem 14,7% od hlavního nosníku do úžlabí tak, aby docházelo k jeho spolehlivému odvodnění. Plech je vyroben z oceli S355.

Podélné výtuhy mostovkového plechu

Podélné výtuhy mostovkového plechu ve střední části mezi úžlabími jsou vyrobeny z plechu P22x280mm a jejich osová vzdálenost je 570mm. Těchto výtuh je celkem 6. Mezi hlavním nosníkem a úžlabím se nachází vždy 1 výtuh z plechu P22x200mm která je od krajních výtuh ve střední části vzdálena 718mm. Výtuhy jsou vyrobeny z oceli S355. V koncových oblastech je tloušťka podélných výtuh zvětšena na 25mm. V místech, která jsou asociovány se SŘDM jsou výtuhy rozšířeny až na 30mm. Výtuhy jsou vyrobeny z oceli S355.



Obr.12: Mostovkový plech s podélnými výtuhami

Příčné výtuhy mostovkového plechu

Příčné výtuhy mostovkového plechu mají osovou vzdálenost 2,420m a jejich stojiny jsou tvořeny z plechů 14 nebo 16mm a pásnice z plechu P25x250mm. Výtuhy jsou vyrobeny z oceli S355. V koncových oblastech se osová vzdálenost příčných výtuh zvyšuje na 2,620m a 2,820m - osové vzdálenosti se zvětšují směrem k ložiskům mostu. Nejkrajnější výtuhy jsou zkrácené kvůli šikmosti mostu. Výtuhy jsou vyrobeny z oceli S355.

Koncové příčné výztuhy

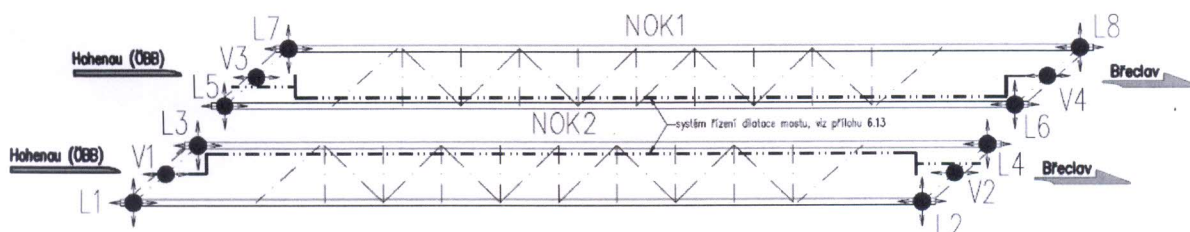
Koncové příčné výztuhy jsou tvořeny 3-stěnným uzavřeným průřezem a jsou vyztuženy nosnými DIA, jejichž tloušťka je 25mm. Jejich teoretická délka je 10,720m. Výztuhy jsou vyrobeny z oceli S355.

Kalotová ložiska

Most je uložen na 4 kalotových ložiscích, jejichž minimální požadovaná svislá únosnost je 16MN a vodorovná únosnost je 1,6MN. Ložiska se mohou v podélném směru posunout o více jak 100mm, v příčném směru o více jak 15mm. Každé ložisko je k ocelové konstrukci a ke kotevní desce připevněno pomocí 8mi šroubů M30 10.9.

Vodící ložiska

Vodící ložiska slouží k přenosu vodorovných příčných sil a jsou umístěna uprostřed krajních příčníků. Tato ložiska se mohou v podélném směru posunout o více jak 100mm, a jejich minimální vodorovná únosnost je více jak 1,5MN. Ložiska jsou připojena k horní i dolní ložiskové desce pomocí šroubů M30 10.9. Kotvení ložisek zajišťují závitové kotevní tyče M36, které jsou zabetonovány do úložného prahu opěry.



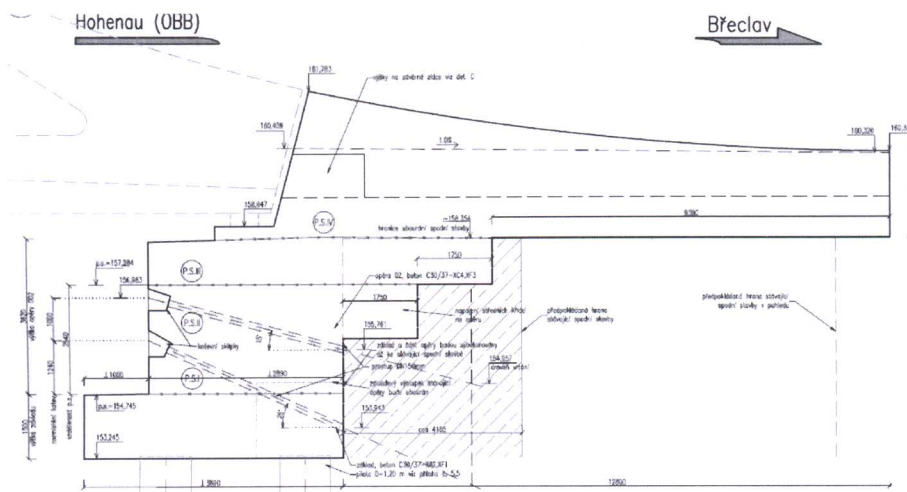
Obr.13: Schéma ložisek, ložiska V1, V2, V3 a V4 jsou vodící ložiska, ostatní jsou kalotová

Břeclavská opěra (002)

Břeclavská opěra je uložena na 1,5m vysokém a více jak 25,5m širokém základovém bloku, který je vybudován na celkem 30ti velkopřůměrových pilotách o průměru 1,2m. Maximální délka pilot je 18,8m. Břeclavská opěra je vysoká 3,62m a je vybudována z betonu C30/37. Je kotvena celkem 4mi zemními kotvami. Po obou stranách opěry jsou vybudována 2,345 široká mostní křídla, jejichž délka dosahuje až 15m.

Vídeňská opěra (001)

Vídeňská opěra je uložena na 1,5m vysokém základovém bloku, jehož šířka dosahuje více jak 25m. Základový blok je uložen na 30ti velkopřůměrových pilotách o průměru 1,2m a délce 18,8m. Opěra je vysoká 3,64m. Materiál, ze kterého byla postavena je beton C30/37. Do základů je kotvena celkem 4 kotvami. Po obou stranách opěry jsou vybudována 2,345 široká mostní křídla, jejichž délka dosahuje až 15m.



Obr.14: Boční pohled na Břeclavskou opěru

3) Problematika bezстыkové koleje a mostu

V dnešní době se snaha budovat téměř všechny železniční tratě, ať už regionální nebo koridorové, s bezстыkovou kolejí. Bezстыková kolej je v širé trati kromě zatížení od železničních vozidel také zatížena také teplotními změnami. Pokud je kolejový rošt správně konstruován, neměla by ani při extrémních teplotách dojít k poškození koleje nebo jejímu vybočení. Opatření proti poruše je například dostatečně pevné uchycení koleje nebo budování nadvýššeného kolejového lože v obloucích.

Zatížení koleje v širé trati lze popsat diferenciální rovnicí:

$$-EA \frac{d^2 u}{dx^2} + k \cdot u = q_x$$

k – konstanta vyjadřující lineární závislost mezi posunutím koleje a podélným odporem na zemním tělese [kN/m^2]

u – podélné posunutí koleje [m]

q_x – spojité zatížení způsobené brzdnými nebo rozjezdovými silami [kN/m]

V případě, že trať vede přes most, je kolej mimo jiné zatížena od teplotních změn konstrukce a také od deformace konstrukce, která je způsobená provozním zatížením. To způsobuje další namáhání koleje a může díky tomu dojít k nežádoucímu jevu jako je vybočení nebo lomu.

Zatížení bezстыkové koleje na mostě lze popsat vztahy:

$$-EA \frac{d^2 u}{dx^2} + k_m \cdot (u - u_m) = q_x$$

$$u_m = l_m \cdot \alpha_m \cdot \Delta T_m$$

l_m – dilatační délka mostu [m]

k_m – konstanta vyjadřující lineární závislost mezi posunutím koleje a podélným odporem na mostě [kN/m^2]

α_m – součinitel teplotní roztažnosti pro konstrukci

ΔT_m – teplotní rozdíl mezi aktuální teplotou mostu a teplotou mostu, při níž byla zřízena bezстыková kolej na mostě [K]

Hodnota součinitele α_m se ještě rozlišuje pro typ mostní konstrukce a charakter železničního svršku.

Most		$\alpha_m [10^{-6} K^{-1}]$
Průběžné kolejové lože	Ocelový	6
	Ocelobetonový	5
	Betonový	5
Prvková otevřená mostovka		9
Kolejnice		12

Tab.1 – součinitelé teplotní roztažnosti v závislosti na mostní konstrukci

Je zřejmé, že bezстыková kolej je na mostě v jistých případech mnohem více namáhána než v širé trati. Snahou je, aby nedošlo k překročení maximálního povoleného napětí v koleji:

	Maximální tahové napětí [MPa]	Maximální tlakové napětí [MPa]
Štěrkové lože	92	72
Pevná jízdní dráha	92	92

Tab. 2 – maximální povolené napětí v koleji

Aby bylo zabráněno překročení maximálních napětí, rozdělují se konstrukce mostů do několika dilatačních délek. Dilatační délky závisí na materiálu konstrukce, statickém schématu konstrukce, typu kolejnice a typu uložení kolejnice. Maximální dilatační délky v závislosti na předchozích parametrech jsou uvedeny v následující tabulce:

Případ č.	Uspořádání mostních ložisek a dilatační délka L_T	Tvar kolejnice 2)	Mosty s nosnými konstrukcemi									
			ocelovými					ocelobetonovými		betonovými		
			s kolejovým ložem		s mostnicemi uloženými			s přímým uložením	s kolejovým ložem		s kolejovým ložem	
			pražce	pražce	centricky	plátně	koleje	pražce	pražce	pražce	pražce	
			dřevěné	betonové	centricky	plátně	koleje	dřevěné	betonové	dřevěné	betonové	
			L_T [m]									
1			4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1												
2		R 65	125	90	70	23	20	160	120	180	130	
		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	
		UIC 60	108	74	63	25	23	136	93	153	106	
		T,S 49	75	51	50	25	23	90	60	100	70	
4		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	

Při kombinaci jednotlivých případů rozhoduje přísnější kritérium.
1) Pro nové mosty nepřipustný případ 2) Kolejnice tv. T jen u dosavadního stavu.

Tab.3: Omezení dilatačních délek mostů v závislosti na statickém schématu a materiálu, ze kterých byly zkonstruovány

Dilatační délku NELZE rozdělit zřízením kolejového styku na mostní konstrukci!

Dalším způsobem, jak snížit namáhání bezстыkové koleje od teplotních změn, je upínat tuto kolej při dovolené upínací hodnotě, která má rozsah od 17°C až do 23°C.

Pro stanovení teplotní změny nosné konstrukce od chvíle, kdy na ní byla zřízena bezстыková kolej, byly definovány montážní teploty této konstrukce s nejistotou 5°C.

$$T_{0.K.min} = +10 \text{ °C a } T_{0.K.max} = +15 \text{ °C}$$

Odtud lze vypočítat teplotní změnu mostní konstrukce od doby zřízení bezстыkové koleje:

$$T_{K.min} = T_{e.min} - T_{0.K.max} = T_{e.min} - 15 \text{ °C resp. } T_{K.max} = T_{e.max} - T_{0.K.min} = T_{e.max} - 10 \text{ °C}$$

Typ mostní konstrukce	$T_{e.min}$	$T_{e.max}$	$T_{K.min}$	$T_{K.max}$
1. typ – ocelové konstrukce	-35,0	+54,0	-50,0	+44,0
2. typ – ocelobetonové konstrukce	-27,5	+42,5	-42,5	+32,5
3. typ – betonové konstrukce	-24,0	+39,5	-39,0	+29,5

Tab. 4 Změny teploty mostní konstrukce od chvíle zřízení bezстыkové koleje

4) Způsoby snížení dilatace

Dilatační kolejové zařízení

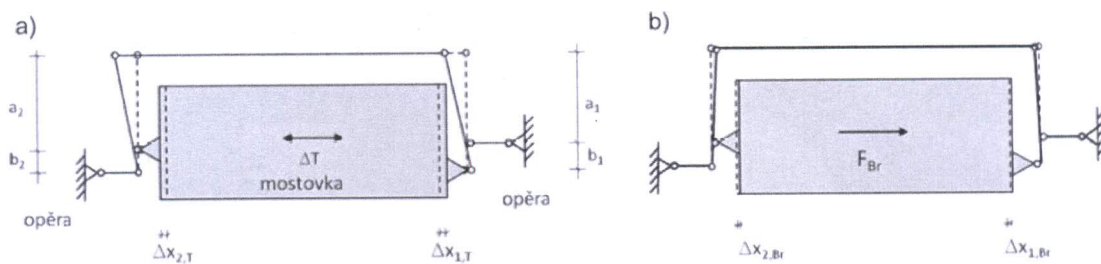
V dnešní době je snaha všechny železniční tratě, ať už regionální nebo koridorové, budovat s bezстыkovou kolejí. V případě, že trať vede přes most, je nutné zajistit správnou interakci mezi mostem a bezстыkovou kolejí a taktéž její dilataci. Dilatace je důležitá z hlediska teplotní roztažnosti koleje. Pokud by koleji nebylo dovoleno volně dilatovat, hrozilo by nebezpečí jejího vybočení v případě horkých dní, nebo by hrozilo, že dojde k jejímu křehkému lomu za mrazivých dní. Aby se tak nestalo, jsou v dnešní době k dispozici malé a velké dilatační kolejové zařízení. Dilatační zařízení je tvořeno dvěma podélně seříznutými kolejnicemi, které mohou volně dilatovat nezávisle na sobě. Pro stávající železniční mosty, na kterých se zřizuje bezстыková kolej, je to v rámci možností vhodné řešení problematiky bezстыkové koleje. Stinná stránka dilatačního kolejového zařízení je nezanedbatelná cena a nutnost údržby a čištění. Pro delší mosty je nutné nechat vyrobít těchto zařízení i několik, což úměrně zvyšuje jejich pořizovací cenu a cenu údržby.



Obr.15: Kolejové dilatační zařízení

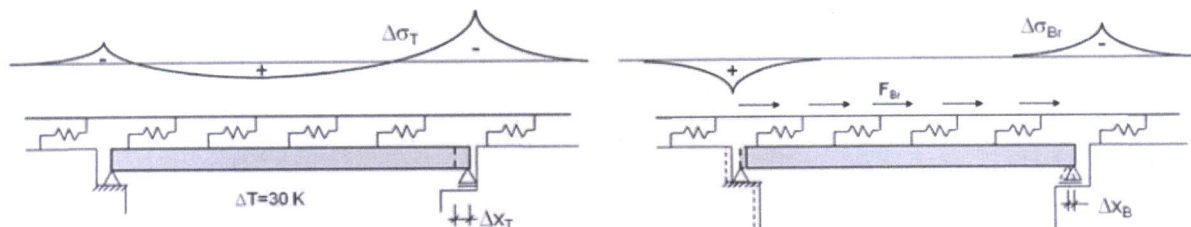
Systém řízení dilatace mostu

S rostoucími nároky na rychlost přepravy zboží a cestujících se zohledněním jejich komfortu a nároky na co nejmenší údržbu je snaha místo kolejových dilatačních zařízení zřizovat tzv. Systém pro řízení dilatace mostu (ŘSDM) neboli řídicí tyče. Řídicí tyč je horizontální zařízení pákového charakteru, jehož unikátní vlastností je přenesení pevného bodu mostu z opěry doprostřed rozpětí. Díky tomu se redukuje dilatační pohyby zhruba na polovinu. Tím je docíleno menšího zatížení od normálových napětí způsobeného změnou teploty anebo zatížením, které je vyvozeno rozjezdovými nebo brzdovými silami drážního vozidla. Největších napětí je díky funkci řídicí tyče dosaženo nad závěry, nikoliv uprostřed rozpětí mostu.



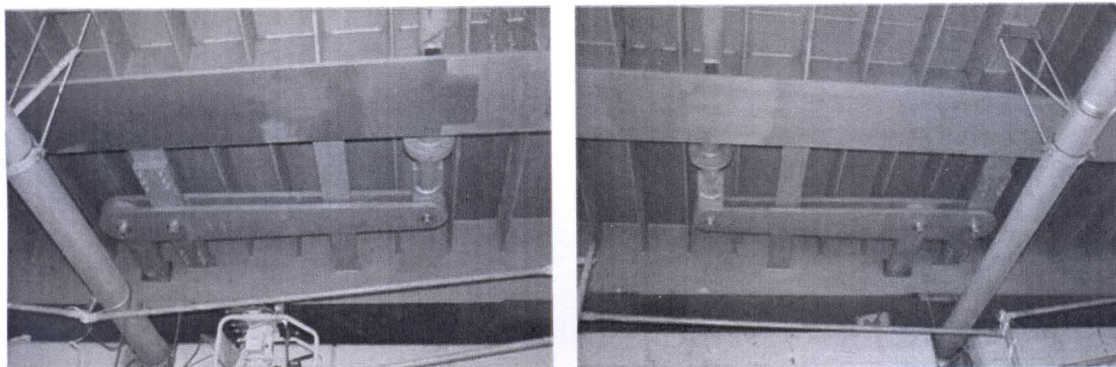
Obr. 6 Princip působení řídící tyče a) při změně teploty, b) od působení brzdných sil

Obr.16



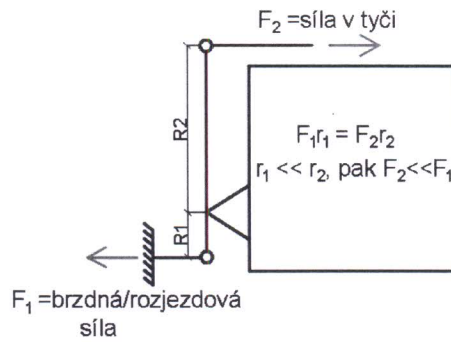
Napětí v koleji od změny teploty a brždění

Obr.17



Obr.18: Řídící tyče – detail u opěr (Drážďany)

Konstrukce řídící tyče je staticky určitá, tudíž v případě teplotních změn v ní nedojde k zniku normálových sil. Navíc páková konstrukce je unikátní v tom, že se do samotné tyče dostane jen zlomek brzdných nebo rozjezdových sil, což je způsobeno rozdělením brzdového nosníku kloubem na kratší a delší část. Díky tomu je možné konstruovat tyč z malých profilů – zpravidla trubek TR.

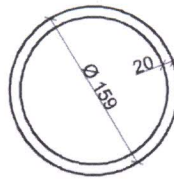


Obr.19: Přenos brzdných sil řídicí tyče a rozdělení sil

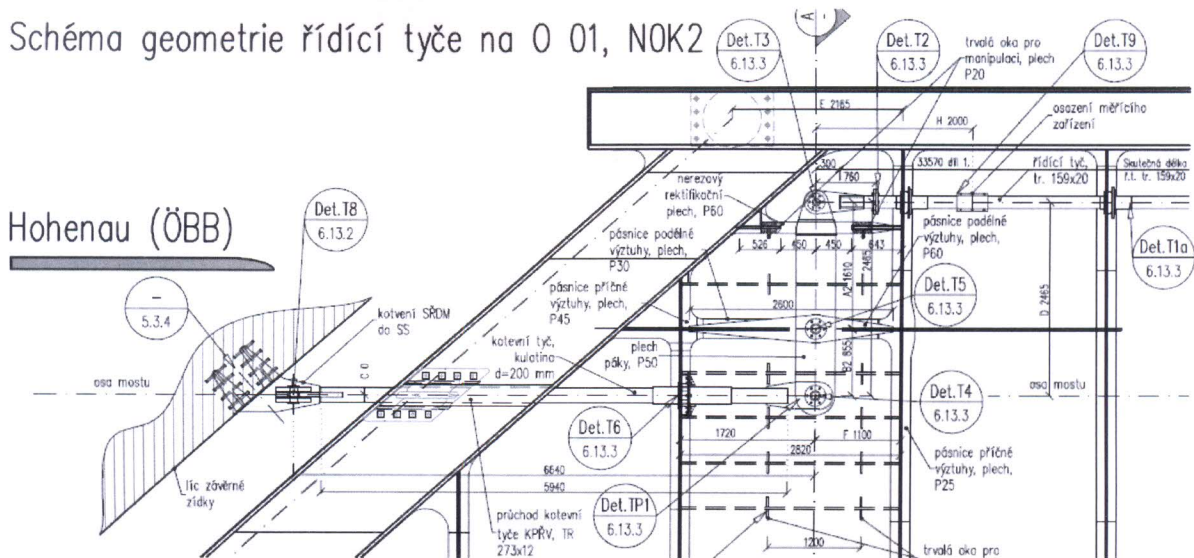
5) Systém pro řízení dilatace mostu (SŘDM) – OSKAR

Vzhledem k rozpětí mostu Oskar, jež je téměř 100m je nezbytně nutné vyřešit interakci bezstykové koleje a mostu. Dilatační kolejové zařízení by bylo kvůli pořizovacím a udržovacím nevhodné, proto se projektant rozhodl pro řešení této problematiky řídicí tyčí od Mayer/Wunstorf.

Řídicí tyč je tvořena trubkou o profilu TR159/20 z oceli S355, páky SŘDM jsou vyrobeny z plechu P50x500 z oceli S460.



Obr.20: Profil řídicí tyče – TR159/20



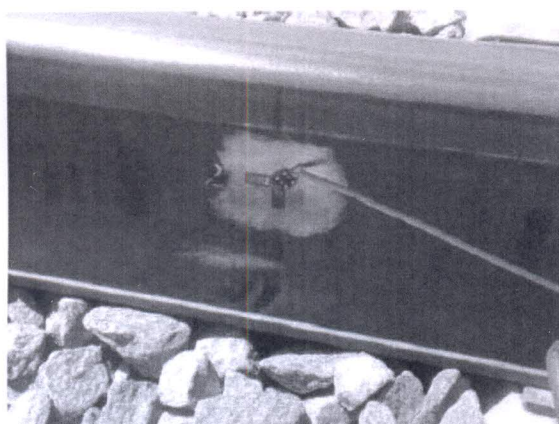
Obr.21: Výkres řídicí tyče nad opěrou 01

6) Probíhající monitoring

V těchto chvílích probíhá na mostě Oskar dlouhodobý monitoring. Cílem tohoto monitoringu je komplexní snímání dat z nosné konstrukce, kotev základů i z kolejnic s jejich následným zpracováním a vyhodnocením.

V případě měření hodnot železničního svršku se měří napětí v kolejnicích a jejich posuny.

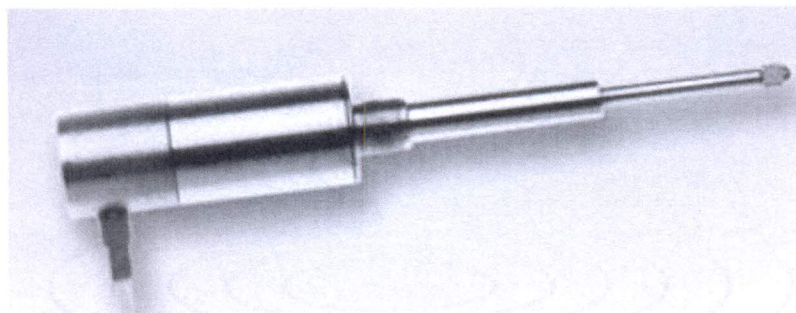
Napětí se měří pomocí tenzometrů HBM10/120LY11, které jsou umístěny v těžištích kolejnic. Aby bylo možné lépe vyhodnocovat data ovlivněná změnou teploty, jsou na mostě rozmístěny celkem 3 kolejnice o délce 1 metru. Na těchto kolejnicích jsou umístěny tenzometry stejným způsobem, jako na kolejnicích, které jsou pojížděny drážními vozidly.



Obr.23: Pohled na tenzometr umístěný v těžišti kolejnice

Přenos dat z kolejového lože a železničního svršku je zajištěn pomocí 4žilových kabelů, jež jsou chráněné UV plastovou objímkou. Tato objímka nejenže chrání kabely před klimatickými podmínkami, umožňuje i přejetí podbiječky kolejového lože. Aby nedocházelo k pohybu kabelů a tím i rušením dat, jsou kabely uchyceny na pražcích lanovými přichytkami.

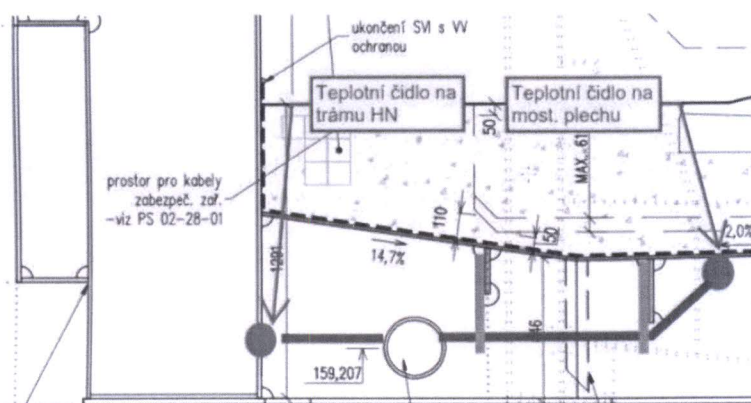
Posuny koleje jsou měřeny pomocí indukčního snímače ISDTK50 s rozsahem měření 0-50mm.



Obr.24: Indukční snímač ISDTK50 pro snímání posunů koleje

Pro zjištění a vyhodnocení posunů mostu jsou použity 2 druhy potenciometrických snímačů Megatron s rozsahy 0-100mm a 0-200mm. Snímač s nižším rozsahem je uložen na ložisku mostu, snímač s větším rozsahem měří SŘDM. Na SŘDM jsou taktéž umístěny tenzometry HBM10/120LY11 pro měření normálových napětí.

Teplota se v průběhu monitoringu měří pomocí čidel Analog Devices AD592. Teplota se měří uprostřed rozpětí zespoda na mostovkovém plechu a na hlavním nosníku pod mostovkovým plechem. Na koncích mostu se kromě výše zmíněných měřených míst ještě měří teplota zhruba půl metru nad kolejovým ložem.



Obr.25: Místa, ve kterých se měří teplota v půlce rozpětí mostu

V průběhu monitoringu je také zaznamenáváno zrychlení konstrukce snímači ADXL326 s rozsahem 5g. Celkem 6 těchto snímačů bylo rozmístěno na stěny hlavních nosníků pod úrovní mostovkového plechu zhruba na úrovni teplotních čidel. Účelem měření zrychlení konstrukce je monitoring změny tuhosti nosné konstrukce a změny tuhosti kolejového lože.

Monitoring zemních kotev je umožněn díky použití snímačů Dynamag DSCS80. Tyto snímače jsou instalovány u obou opěr a jsou uchyceny na chráničky kotev.

7) Zatěžovací zkouška

V létě 2016 (pravděpodobně 23-25.8) budou provedeny 2 dynamické zkoušky.

První bude dynamická zatěžovací zkouška NOK1 a NOK2 jejímž cílem je zjištění chování konstrukce při příčném kmitání a kmitání závěsů.

Druhá zkouška, která bude provedena, bude brzdná zkouška, která má otestovat funkčnost a zatížení SŘDM – řídicí tyče.

Zatěžovací břemena

Zatěžovacím břemenem bude v případě dynamické zatěžovací zkoušky souprava tvořená dvěma lokomotivami Siemens Taurus ES64U2 a 9ti nákladními vozy Falls (lokomotivy se budou nacházet na obou koncích soupravy). Podle předpokladů by měla tato souprava věrně reprezentovat standardní zatížení železniční dopravou.

V případě brzdné zkoušky bude zatěžovacím břemenem souprava tvořená dvěma lokomotivami Siemens Taurus E64U2 a jen jedním nákladním vozem Falls.

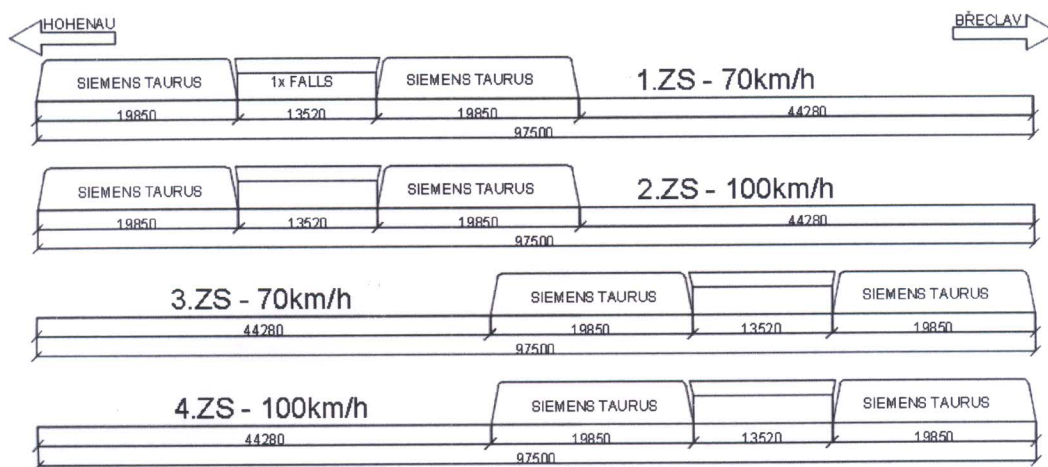


Obr.26: Lokomotiva Taurus, hmotnost 87t



Obr.27: Vůz Falls, hmotnost 80t

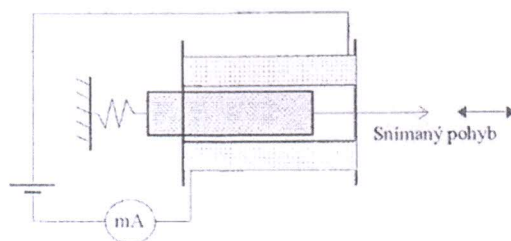
Brzdná zatěžovací zkouška se bude skládat s celkem 4 zatěžovacích stavů. Při prvních dvou zatěžovacích stavech pojedou zatěžovací souprava od Břeclavi směrem na Hohenau a strojvůdce bude mít za úkol zastavit čelo lokomotivy nad závěrem mostu blíže k Hohenau. V prvním zatěžovacím stavu pojedou souprava rychlostí 70km/h, v druhém zatěžovacím stavu pojedou 100km/h. Ve zbylých dvou zatěžovacích stavech se provede stejný postup, ale v opačném směru.



Obr.28: Grafické zobrazení zatěžovacích stavů pro lepší přehlednost

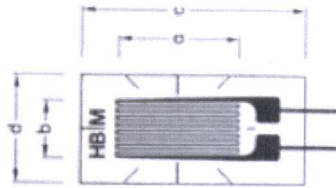
Měřená místa konstrukce

Při zatěžovacích zkouškách se bude měřit odezva konstrukce na několika vybraných místech. Relativními snímači se bude měřit svislý průhyb nosné konstrukce v polovině její rozpětí. K tomu, abychom získali přesný údaj o průhybu pole, je nezbytně nutné znát i hodnotu, o kterou se zatláčí ložiska mostu při přejezdu zatěžovacího břemena. Výslednou hodnotu průhybu konstrukce získáme odečtením dvou předchozích zmíněných údajů. Pro průhyb hlavních nosníků budou použity indukční snímače dráhy W10, pro zjištění zatláčení ložisek indukční LVDT snímač Micro-Epsilon DTA-3G-CA. Tatkéž bude měřen průhyb koncového příčnicku uprostřed rozpětí, k tomu budou použity opět snímače firmy Micro-Epsilon DTA-3G-CA.

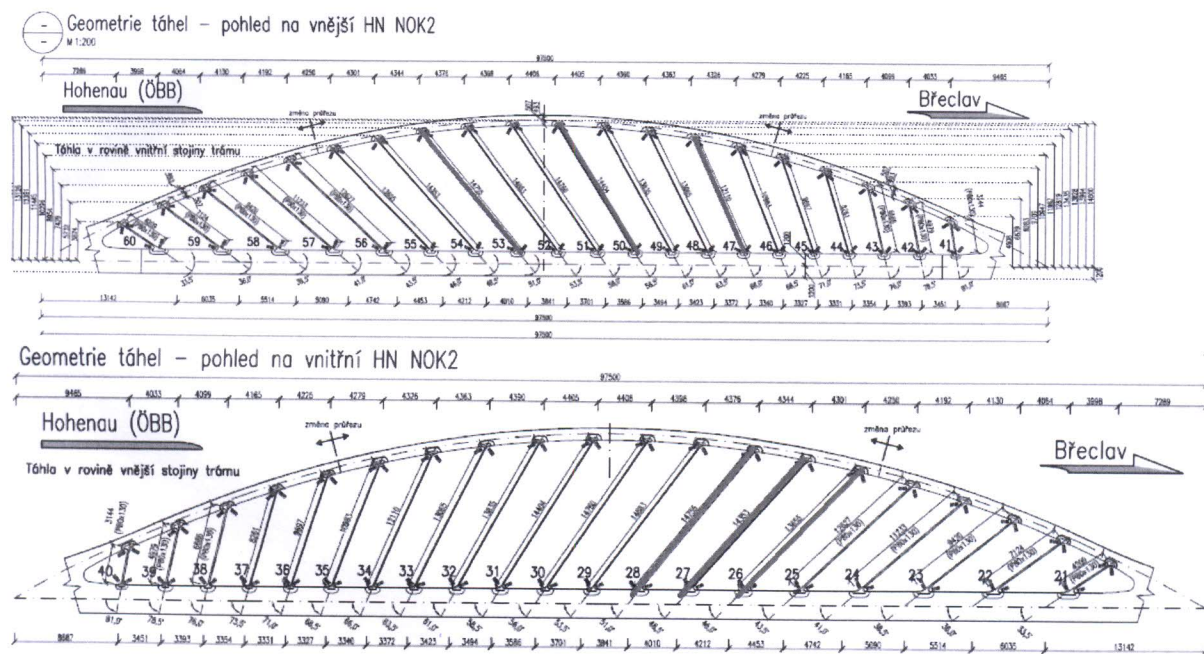


Obr.29: Princip funkce indukčního snímače: Při pohybu jádra cívky se v cívce indukuje napětí, které je pak změřeno a zaznamenáno

Pro měření změny napětí, popřípadě poměrné deformace vybraných prvků na nosné konstrukci budou použity tenzometry typu HBM 10/120 LY11. Napětí v táhlech oblouků bude měřeno na vybraných prvcích. Tenzometry budou umístěny doprostřed prvku po obou stranách – vnitřní a vnější – a uspořádány to ztn. tenzometrického polomostu.



Obr.30: Tenzometr HBM 10/120



Obr.31: Červeně jsou zvýrazněna měřená táhla.

Napětí na hlavním nosníku bude měřeno na jeho horním a dolním povrchu. Taktěž bude měřeno napětí v SDŘM – řídicí tyči. Obojí napětí bude snímáno výše zmíněnými tenzometry.

Posun koleje při brzdění vlakové soupravy bude snímán indukčním snímačem ISDT50-K2405.

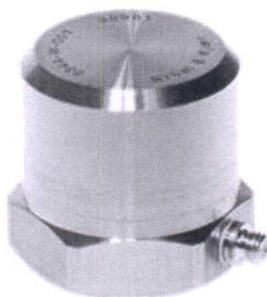
Kvůli šikmosti mostu budou taktěž měřeny vodorovné posuny NK potenciometrickými snímači Megatron s rozsahem 0-100mm. Na řídicí tyči bude taktěž umístěn snímač Megatron, tentokrát s rozsahem 0-200mm.



Obr.32: Potenciometrický snímač Megatron MSLPS

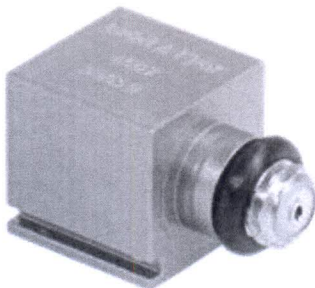
Měření zrychlení nosné konstrukce

Zrychlení nosné konstrukce bude měřeno piezoelektrickými snímači od firmy Brüel & Kjær. 1. Snímač, snímač 8344, s vlastní frekvencí vyšší než 10kHz, pracovním rozsahem 0,2 Hz až 3kHz a citlivostí 2500mV/g.



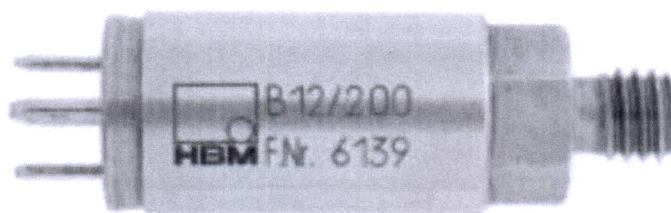
Obr.33: Piezoelektrický snímač Brüel & Kjær, typ 8344

Dalším použitým snímačem jest piezometrický snímač typ 4507, jehož vlastní frekvence je 18kHz pracovním rozsahem 0,2 Hz až 3kHz a citlivostí 100mV/g.



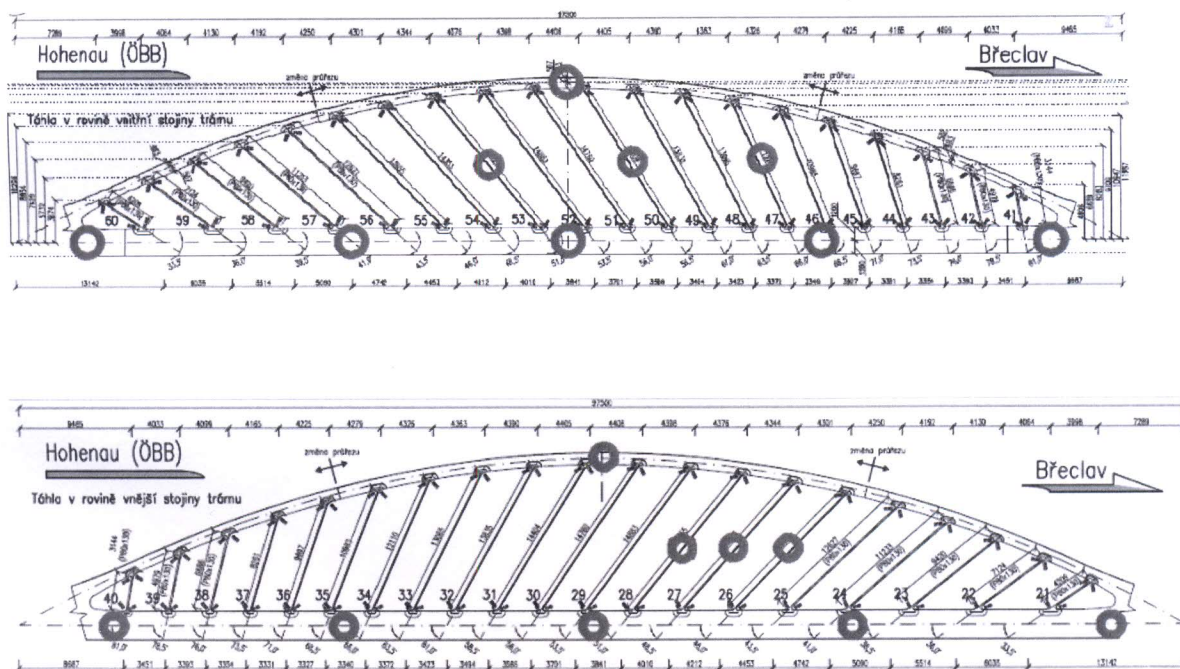
Obr.34: Piezoelektrický snímač Brüel & Kjær, typ 4507

Dalšími použitými snímači jsou indukční snímač zrychlení od firmy Hottinger-Baldwin Messtechnik a absolutní snímač zrychlení TLA 05N od firmy Techlab.



Obr.35: Snímač zrychlení B12/200 od firmy Hottinger-Baldwin Messtechnik

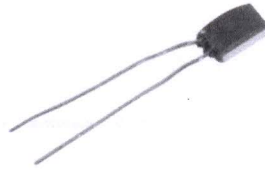
Zrychlení bude měřeno v y-vém a z-vém směru v místě prvního portálu mostu, na hlavním nosníku, ve středu oblouku, uprostřed a ve čtvrtinách hlavního pole a na vybraných táhlech.



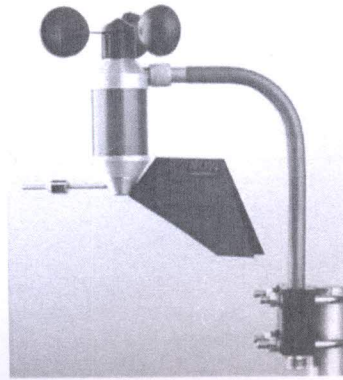
Obr.36: Červeně vyznačená místa, na nichž budou měřeny zrychlení ve směru y, a z

Měření teploty ovzduší a vlivu větru

Aby bylo možné s dostatečnou přesností vyhodnotit výsledky měření, popř. vyloučit chyby měření způsobené teplotou ovzduší nebo rychlostí větru, která má negativní vliv na měření kmitání závěsů a odezvu nosné konstrukce, budou v průběhu celé zkoušky obě tyto veličiny měřeny. Teplota bude měřena ve stínu vzniklém od hlavní nosné konstrukce platinovými teploměry a rychlost a směr větru budou měřeny elektronickým anemometrem.



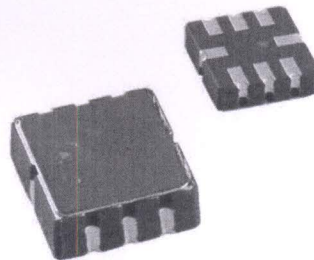
Obr.37: Platinové teplotní čidlo PT100



Obr.38: Anemometr ANA 954 pro měření rychlosti a směru větru

Zjištění polohy zatěžovacího břemena

Poloha zatěžovacího břemena bude monitorována snímači zrychlení, které budou uloženy na pražcích. Snímačů bude rozmístěno celkem 14 jak na mostě, tak i před ním a za ním.

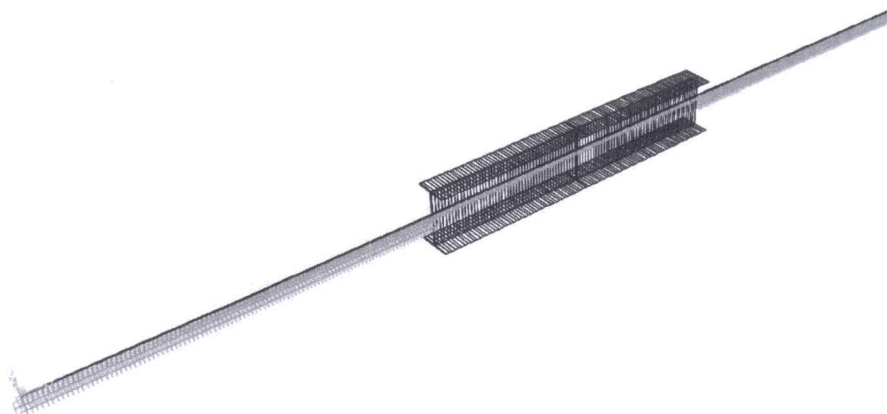


Obr.39: Snímač polohy zatěžovacího břemena ADXL 278

8) Tvorba modelu

V této fázi, která je přípravou pro samotnou tvorbu diplomové práce nebyl vytvořen kompletní model mostu Oskar. Místo toho byl vytvořen zkušební model, který měl ověřit chování bezstykové koleje vedoucí přes most při přejezdu zkušebním břemenem, jenž tvoří 2 lokomotivy Taurus a nákladní vagón Falls.

Model byl vytvořen jako prutový v programu CSI Bridge. Samotný most Oskar byl nahrazen jedním prutem, který reprezentoval průměrný moment setrvačnosti skutečného mostu Oskar a jeho průměrnou průřezovou plochu. Kolej byla modelována do vzdálenosti 100m před a 100m za most.

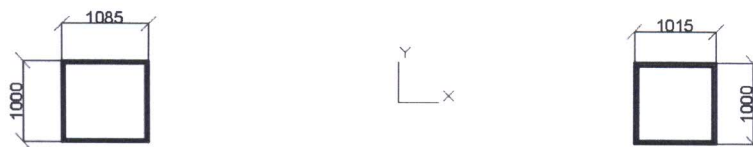


Obr.39: Model pro řešení problematiky interakce bezstykové koleje a mostu

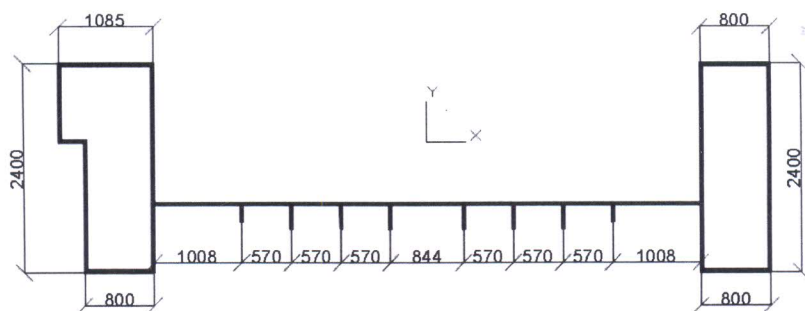
Postup vytvoření náhradního prutu reprezentujícího Oskara:

1. Z výkresové dokumentace byl obkreslen příčný řez hlavními nosníky, podélnými výztuhami a plechem mostovky. Následně byl spočítán I_y a plocha tohoto průřezu. Stejný postup se provedl i s příčným řezem oblouků.

Obr. 40: Průřez spodní nosnou částí, $I_y = 2,314e11mm^4$, $A=4\ 100\ 173mm^2$

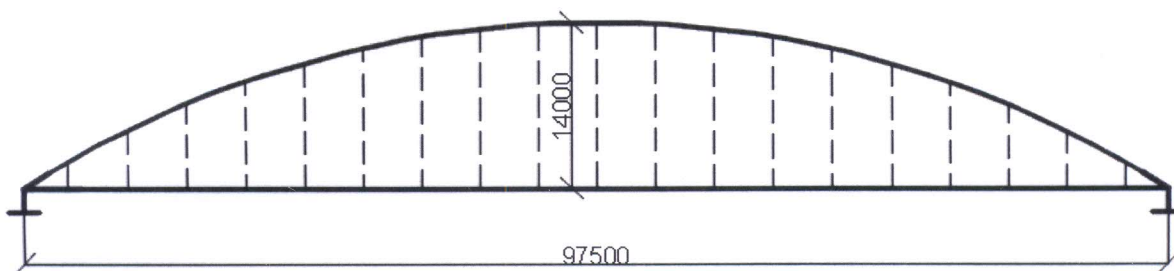


Průřez oblouky, $I_y = 4,048e10mm^4$, $A = 274\ 047mm^2$



Obr.41: Průřez spodní nosnou částí, $I_y = 2,314e11mm^4$, $A=4\ 100\ 173mm^2$

- Následně spočítán moment setrvačnosti příčného řezu mostu Oskar po 1 metru po celé délce rozpětí a z toho byl odvozen průměrný moment setrvačnosti mostu.



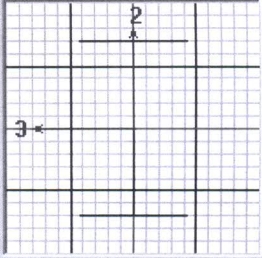
Obr.42: V každém řezu byl spočítán I_y , a následně byl stanoven průměrný I_y . Pozn: Řezy byly rozděleny po 1 metru, na obrázku je řezů podstatně méně – jedná se jen vysvětlení provedení

Průměrný moment setrvačnosti celého mostu: $I_y = 2,672e13mm^4$

Průměrná průřezová plocha celého mostu: $A = 684\ 852mm^2$

- Byl vytvořen ekvivalentní prut reprezentující most Oskar

Dimensions	
Outside height (t3)	16500.
Top flange width (t2)	10000.
Top flange thickness (tf)	12.
Web thickness (tw)	27.
Bottom flange width (t2b)	10000.
Bottom flange thickness (tfb)	12.

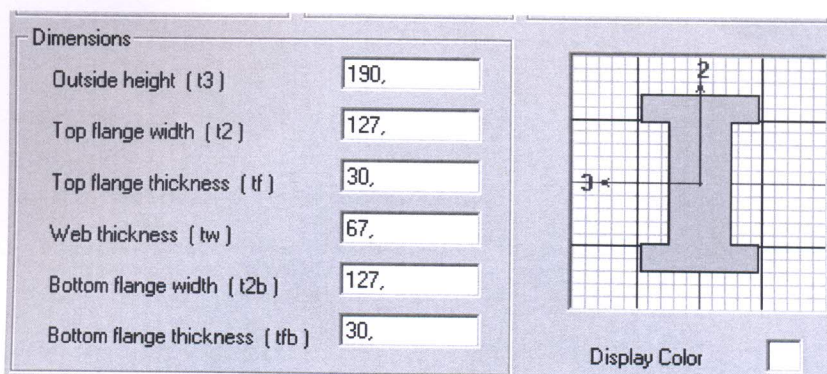


Display Color

Obr.43: Prut reprezentující Oskara zadaný do CSI Bridge

Modelování koleje

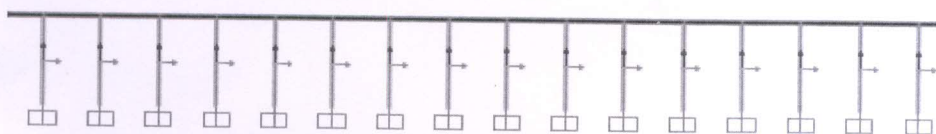
Prut, který představuje obě kolejnice trati je zadán tak, že má stejnou plochu a moment setrvačnosti I_y jako dvě kolejnice UIC60.



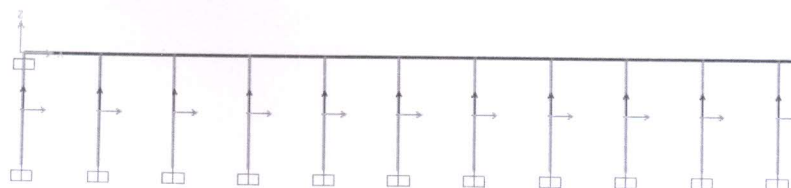
Obr.43: Prut reprezentující kolejnice UIC60.

Modelování kolejnicových podpor a odporu kolejového lože

Kolejnicové podpory – pražce – jsou modelovány jako linky s pružnoplastickou charakteristikou. Na rozdíl od skutečné trati, kde jsou do sebe pražce ve vzdálenosti 0,6m, jsou v případě tohoto modelu modelovány ve vzdálenosti 1,0m. Interakci mezi linky a podložím zajišťuje tuhé vetknutí.



Obr.44: Způsob modelování kolejnicových podpor



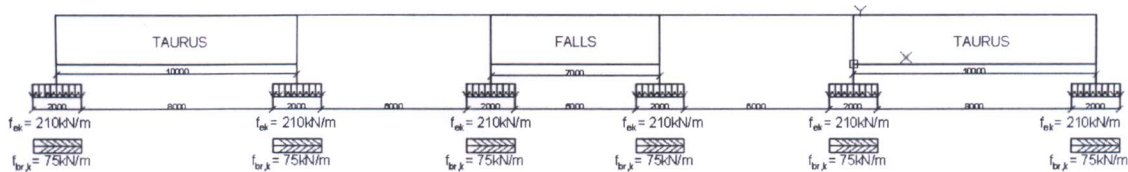
Obr.45: Krajní vetknutí kolejnice, aby bylo zajištěno její správné působení

Pojížděné břemeno

Pojížděné břemeno bylo vytvořeno tak, aby reprezentovalo skutečné zatížení zatěžovací soupravou tvořenou 2x Taurusem a 1x Fallsem. Nápravové síly byly spojitě rozloženy na délku 2 metrů. Svislé zatížení od nápravových sil bylo zjednodušeně uvažováno stejné jak od lokomotivy, tak i od nákladního vozu. Hodnota svislého zatížení činí 210kN/m.

Brzdná síla byla uvažována zjednodušeně 75kN/m pro všechny nápravy.

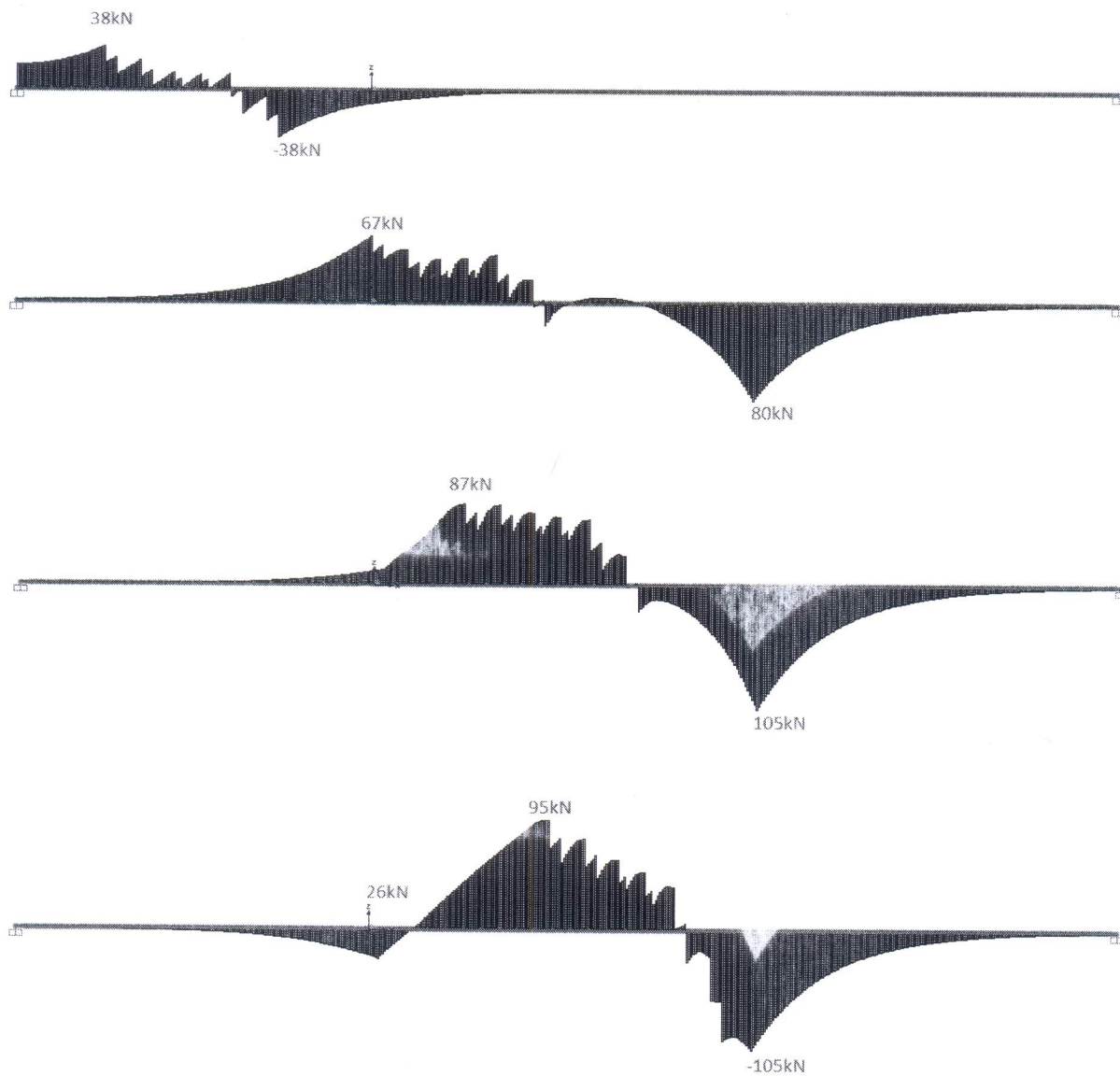
Zatěžovacím břemenem byl model postupně zatěžován po 4 metrech.



Obr.46: Zatěžovací břemeno zadané do CSI Bridge.

9) Výsledky

Změna průběhu normálové síly při přejezdu vlaku přes most v závislosti na poloze vlaku:



10) Závěr

I přesto, že je model výrazně zjednodušený, lze na něm vydedukovat, jaký průběh normálové síly v koleji nejspíše spatříme po vyhodnocení experimentálních dat ze zatěžovacích zkoušek. Hodnoty takto vypočtené jsou velice zkreslené, ale předpokládáme, že se nebudou až tak moc lišit od naměřených dat. V modelu je zadána normová tuhost kolejového lože, ale tato hodnota je pouze orientační a oproti skutečnosti se bude nejspíše lišit.

Zdroje

- [1] RYJÁČEK, Pavel. *Zpráva o zahájení monitoringu*. Praha: ČVUT, 2015
- [2] RYJÁČEK, Pavel. *Program dynamické zatěžovací zkoušky a brzdných zkoušek*. Praha: , 2016
- [3] PLÁŠEK, Otto. *Bezстыková kolej na mostech, 17. konference železniční dopravní cesta*. Brno: VUT, Brno, 2012
- [4] KMOŠEK, David. *Rekonstrukce mostu v km 80,930 trati Hohenau-Přerov, technická zpráva*. Brno: EXprojekt s.r.o, 2015
- [5] FRÝBA, Ladislav. *Dynamika železničních mostů*. Praha: Československá akademie věd, 1992
- [6] VLASÁK, Martin. *Metodika posouzení bezстыkové koleje na mostě*. Praha: , 2013
- [7] MEYER, Hartmut. *Das Steuerstabsystem Meyer/Wunstorf Wirkungsweise und Erfahrungen*. Berlin: , 1998.