



Spolufinancováno Evropskou unií

Nástroj pro propojení Evropy

Projekt „Modernizace trati Praha hl. n. - Praha Smíchov“ je spolufinancovaný EU z programu Nástroj pro propojení Evropy (CEF)


Za tuto publikaci odpovídá pouze její autor. Evropská unie nenese odpovědnost za jakékoli využití informací v ní obsažených.

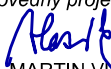

NÁVRH PD k projednání

Číslo změny:	Obsah změny:	Datum změny:
01	-	-
02	-	-
03	-	-

Investor:  <small>Správa železniční dopravní cesty</small>	Správa železniční dopravní cesty, s.o. Dlážděná 1003/7, 110 00 Praha 1 Stavební správa západ Sokolovská 278/1955, 190 00 Praha 9
--	---

Účastníci Společnosti "SP+MTP+SPEU_Praha hl. - Praha-Smíchov"		
		

Správce:  SUDOP PRAHA a.s. Olšanská 1a, 130 80 Praha 3 tel.: +420 267 094 111 e-mail: praha@sudop.cz	Vedoucí týmu: ING. MICHAL MEČL	Asistent vedoucího týmu: ING. TOMÁŠ MARTINEK Specialista profese: ING. MARTIN VLASÁK
---	--	---

Středisko: SUDOP PRAHA a.s., STŘEDISKO - MOSTŮ			
Vedoucí střediska: ING. DANA WANGLER	Odpovědný projektant SO, IO, PS:  ING. MARTIN VLASÁK	Vypracoval: doc. Ing. PAVEL RYJÁČEK, Ph.D. ČVUT V PRAZE, F. STAVEBNÍ	Kontroloval:  ING. TOMÁŠ MARTINEK

Název akce: REKONSTRUKCE ŽELEZNIČNÍCH MOSTŮ POD VYŠEHRADEM	Číslo smlouvy: 16 354 201	
	Projektový stupeň: PD	
Část: STAVEBNÍ ČÁST MOSTY, PROPUSTKY A ZDI	Datum: 04/2020	
	Číslo části: E.1.4	
Název přílohy: SO 20-20-05 ŽEL. M. V EV. KM 3,706 STATICKÁ A DYNAMICKÁ ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKA	Měřítko: -	Počet formátů: A4
	Číslo přílohy: 011.2	



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Rekonstrukce železničních mostů pod Vyšehradem

Statická a dynamická ověřovací zatěžovací zkouška mostu



Zodpovědný řešitel: **doc. Ing. Pavel Ryjáček, Ph.D.**

pavel.ryjacek@fsv.cvut.cz,

tel. +420 602 250 860

Řešitelský kolektiv: **prof. Ing. M. Polák, CSc., Ing. T. Plachý, Ph.D.**
Ing. Martin Macho, Doc. Ing. J. Litoš, Ph.D. a kol.

Datum: **30.7.2017**

Obsah

1.	IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE	2
2.	ZÁKLADNÍ ÚDAJE O MOSTĚ	3
3.	ÚVOD	3
4.	HARMONOGRAM MĚŘENÍ	5
5.	POLOHA MĚŘENÝCH MÍST A ZATÍŽENÍ	10
5.1.	POLOHA ZKUŠEBNÍHO ZATÍŽENÍ	10
5.2.	POLOHA MĚŘENÝCH MÍST	10
5.3.	USPOŘÁDÁNÍ MĚŘICÍ LINKY	19
5.3.1.	Induktivní snímače dráhy DTA-3G-CA	19
5.3.2.	Snímač zrychlení 8344	19
5.3.3.	Snímače zrychlení B12/200	19
5.3.4.	Tenzomerický snímač poměrných deformací LY11 10/120	20
5.3.5.	Teploměr ALMEMO 2290-2	20
5.3.6.	Měřicí ústředna Pulse – Front end 3560B-120	20
5.3.7.	Měřicí ústředna DEWE 5000	20
5.3.8.	Měřicí ústředna EMS DV 803	20
5.3.9.	Měřicí ústředna Spider 8	20
5.4.	PODMÍNKY PŘI MĚŘENÍ	21
5.5.	SCHÉMA ZKUŠEBNÍCH ZATÍŽENÍ	21
6.	VÝSLEDKY STATICKÉ A DYNAMICKÉ ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY	23
6.1.	PRŮHYBY MOSTU	23
6.2.	SZZ - NAPĚTÍ A POSUNY HLAVNÍ NOSNÉ KONSTRUKCE	23
6.3.	VLASTNÍ TVARY A FREKVENCE	29
6.3.1.	Teoretické hodnoty	29
6.3.2.	Experimentální hodnoty	32
6.3.3.	Porovnání experiment – měření	36
6.4.	VYNUCENÉ KMITÁNÍ – PŘEJEZDY BŘEMEN	41
7.	ZÁVĚR	64
8.	PŘÍLOHA 1: VYHODNOCENÍ SPEKTER NAPĚTÍ OD ZATÍŽENÍ DOPRAVOU	65
8.1.	PODKLADY	65
8.2.	VYHODNOCOVANÁ MÍSTA	65
8.3.	METODIKA A ZPŮSOB VÝPOČTU SPEKTER NAPĚTÍ	66
8.4.	VÝSTUPY A VÝSLEDKY	67
8.5.	ZÁVĚR	75

1. Identifikační údaje

Objednatel: SUDOP Praha, a.s.

se sídlem : Olšanská 1a, 130 80 Praha

jednající: Ing. Dana Wangler

IČ : 25793349

DIČ : CZ25793349

Zapsaný: V obchodním rejstříku u Městského soudu v Praze oddíl B, složka 6088

Zhotovitel projektu:

SUDOP Praha, a.s.

se sídlem : Olšanská 1a, 130 80 Praha

jednající: Ing. Dana Wangler

IČ : 25793349

DIČ : CZ25793349

Zapsaný: V obchodním rejstříku u Městského soudu v Praze oddíl B, složka 6088

Zhotovitel: ČVUT v Praze, Fakulta stavební

se sídlem: Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6

jednající: prof. Ing. Alena Kohoutková, CSc.

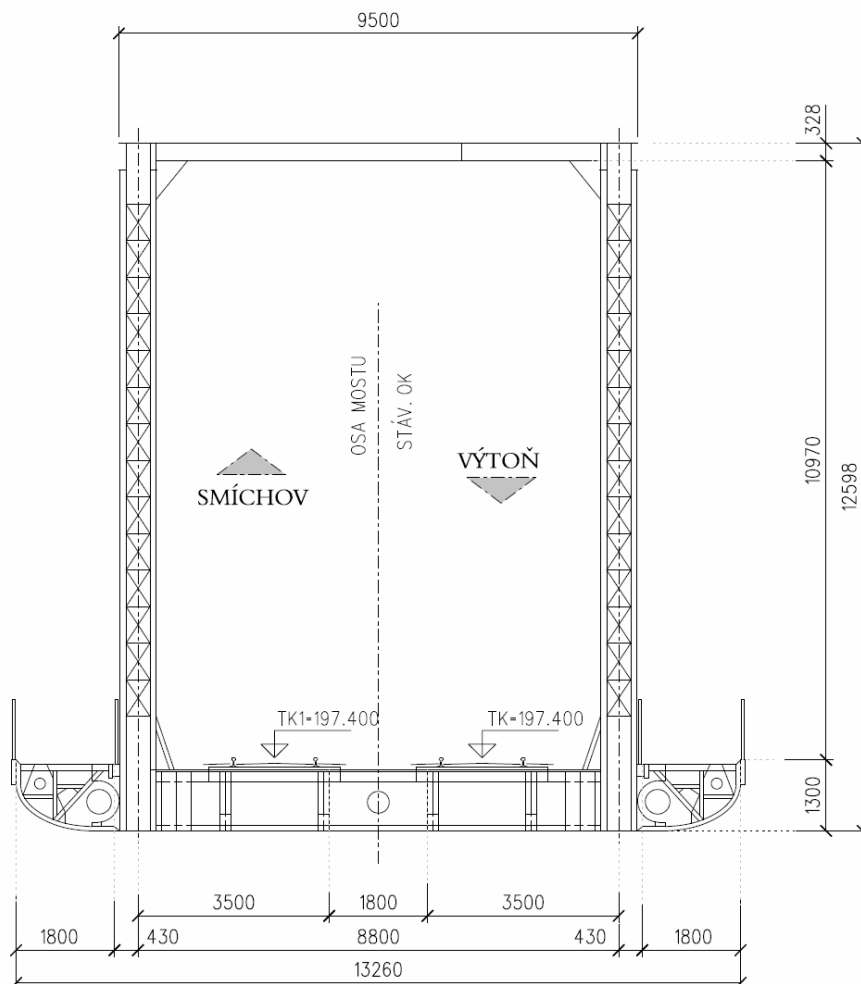
IČ : 68407700

DIČ : CZ68407700

Zapsaný: Živnostenský list: Obvodní úřad městské části Praha 6, spis. zn.
ŽO/11315/2008/Rec/2

2. Základní údaje o mostě

Stávající historická konstrukce mostu přes Vltavu z roku 1901 o délce $3 \times 72 \text{ m} \approx 220 \text{ m}$ je dvoukolejná ocelová nýtovaná s parabolicky zakřiveným horním pásem. Příhradové nosníky mostu jsou trojúhelníkové svislicové násobné soustavy.



Obr. 1 Příčný řez

3. Úvod

Na mostním objektu byla dne 11.5.2017 prováděna **ověřovací statická a dynamická zatěžovací zkouška**. Účelem je ověření shody měřených veličin stanovených na výpočetním modelu mostu pro případnou jeho úpravu (kalibraci dle skutečně naměřených hodnot). Dále se jedná o stanovení únavových účinků dopravy na mostě (stanovení spekter dopravního zatížení)

Z výsledků zkoušky bude vyhodnocena shoda předpokladu deformací a napětí s výsledky měření a první vlastní tvary a frekvence (torzní a ohybové). Nejedná se tedy o zatěžovací zkoušku dle ČSN 73 6209 resp. podle stavebně technického řádu drah (vyhl. Sb.177/95, §6e).

Tento dokument podává základní vyhodnocení ze statické a dynamické zkoušky mostu. Vzhledem k rozsahu získaných dat vyhodnocení dále pokračuje, uvedená data slouží zejména pro kalibraci výpočetního modelu.

Při statické zatěžovací zkoušce bylo měřeno:

- svislý průhyb (radarovou interferometrií),
- deformace koncového příčnicku
- normálové napětí na vybraných prvcích mostní konstrukce (horní a dolní pásy, diagonály, příčníky, podélníky),

Při dynamické zatěžovací zkoušce byla měřena odezva konstrukce na dynamické zatížení přejezdy zkušebního zatížení:

- zrychlení svislé deformace u_z a příčné deformace u_y ve středu rozpětí a cca v 1/4 rozpětí
- normálové napětí na vybraných prvcích mostní konstrukce shodně se statickou zkouškou,

Frekvence snímání měřených veličin bude upravena pro jednotlivé zatěžovací stavy. S ohledem na rušení blízkou elektrifikovanou tramvajovou tratí byla použita frekvence 50 Hz.

4. Harmonogram měření

Čas - absolutní		Čas - relativní		Interval	Zatěž. stav	Typ měření	Popis	Poznámka
Začátek	Konec	Začátek	Konec					
0:00							Kolej č.2 - most v 2. poli tandem	Přijetí vozidla od Smíchova (PMD)
0:30		0:00					Zahájení zkoušky	
0:30	0:35	0:00	0:05	0:05	SZS1	Statické	Najetí vozidla - ZS1	Najetí na most v 1. poli (tandem)
0:35	0:40	0:05	0:10	0:05	SZS1	kolej č.2	Uklidnění mostu - ZS1	V koleji č.1 provoz (mezery mezi vlaky cca 20 min), nutno dle výlukového grafikonu
0:40	0:50	0:10	0:20	0:10	SZS1		Měření deformace - ZS1	
0:50	0:50	0:20	0:20	0:00	SZS1		Odjetí vozidla - ZS1	
0:50	0:55	0:20	0:25	0:05	SZS1		Uklidnění mostu - ZS1	
0:55	1:00	0:00	0:05	0:05	SZS2	Statické	Najetí vozidla - ZS2	Od 0:50:00 - nickolejný provoz
1:00	1:05	0:05	0:10	0:05	SZS2	kolej č.1	Uklidnění mostu - ZS2	
1:05	1:15	0:10	0:20	0:10	SZS2		Měření deformace - ZS2	
1:15	1:15	0:20	0:20	0:00	SZS2		Odjetí vozidla - ZS2	
1:15	1:20	0:20	0:25	0:05	SZS2		Uklidnění mostu - ZS2	
1:20	1:25	0:00	0:05	0:05	SZS3	Statické	Najetí vozidla - ZS3	
1:25	1:30	0:05	0:10	0:05	SZS3	kolej č.2	Uklidnění mostu - ZS3	
1:30	1:40	0:10	0:20	0:10	SZS3		Měření deformace - ZS3	
1:40	1:40	0:20	0:20	0:00	SZS3		Odjetí vozidla - ZS3	
1:40	1:45	0:20	0:25	0:05	SZS3		Uklidnění mostu - ZS3	
1:45	2:00	0:25	0:40	0:15	DZS0		Referenční přejezd - pomalá jízda	tandem kolej 2
2:00	2:10	0:00	0:10	0:10	DZS1	Dynamické	Přejezd vozidlem - 30 km/h	tandem kolej 2
2:10	2:15	0:10	0:15	0:05	DZS1		Uklidnění mostu - DZS1	
2:15	2:25	0:15	0:25	0:10	DZS2	Dynamické	Přejezd vozidlem - 60 km/h	tandem kolej 2
2:25	2:25	0:25	0:25	0:00	DZS2		Uklidnění mostu - DZS2	
2:25	2:30	0:25	0:30	0:05			Přesun do koleje 2	
2:30	2:40	0:30	0:40	0:10	DZS3	Dynamické	Přejezd vozidlem - 30 km/h	tandem kolej 1
2:40	2:45	0:40	0:45	0:05	DZS3		Uklidnění mostu - DZS3	
2:45	2:55	0:45	0:55	0:10	DZS4	Dynamické	Přejezd vozidlem - 60 km/h	tandem kolej 1
2:55	3:00	0:55	1:00	0:05	DZS4		Uklidnění mostu - DZS4	
3:00	3:10	1:00	1:10	0:10	BZS1	Dynamické	Zkouška - Brzdné účinky 60->0 km/h	tandem kolej 1
3:10	3:20	1:10	1:20	0:10	RZS1	Dynamické	Zkouška - Rozjezdové účinky 0->20 km/h	tandem kolej 1
3:20	3:30	1:20	1:30	0:10	BZS2	Dynamické	Zkouška - Brzdné účinky 60->0 km/h	tandem kolej 1
3:30	3:40	1:30	1:40	0:10	RZS2	Dynamické	Zkouška - Rozjezdové účinky 0->20 km/h	tandem kolej 1
3:40	3:50	1:40	1:50	0:10	BZS3	Dynamické	Zkouška - Brzdné účinky 60->0 km/h	tandem kolej 2
3:50	4:00	1:50	2:00	0:10	RZS3	Dynamické	Zkouška - Rozjezdové účinky 0->20 km/h	tandem kolej 2
4:00	4:10	2:00	2:10	0:10	BZS4	Dynamické	Zkouška - Brzdné účinky 60->0 km/h	tandem kolej 2 Od 4:15:00 - provoz v koleji 1
4:10	4:20	2:10	2:20	0:10	RZS4	Dynamické	Zkouška - Rozjezdové účinky 0->20 km/h	tandem kolej 2
4:20	4:35	0:00	0:15	0:15	SZS0	Statické	Najetí vozidla - ZS0 - najetí nápravou nad př.	Čmelák v koleji 2
4:35	4:45	0:15	0:25	0:10			Ukončení zkoušky	Odjezd směr ČB (PMD)

Obr. 2 Harmonogram zkoušky – plán měření - Sudop Praha

Začátek ZZ: 00:56

Konec ZZ : 05:00

Celkový čas 5:00 hod

Zatěžovací stavy dle účelu:

- Statické zatěžovací stavy:

SZS0 Statický zatěž. stav L/0 nesymetrický (v koleji 2) - nad příčnickem (2:10)

SZS1 Statický zatěž. stav L/2 nesymetrický (v koleji 2) - vyloučená kolej 2 (0:56)

SZS2 Statický zatěž. stav L/2 nesymetrický (v koleji 1) - nickolejný provoz (1:27)

SZS3 Statický zatěž. stav L/2 symetrický (v obou kolejích) - nickolejný provoz (1:50)



- Dynamické zatěžovací stavy:

- DZS0 Dynamický zatěž. stav - pomalý přejezd 0 km/h směr Smíchov a zpět v koleji 1 (2:40)
DZS1 Dynamický zatěž. stav - přejezd 30 km/h v koleji 1 směr Smíchov
DZS2 Dynamický zatěž. stav - přejezd 60 km/h (v koleji 1) směr Smíchov
DZS3 Dynamický zatěž. stav - přejezd 5 km/h (v koleji 1), na Smíchov a zpět na Prahu (3:41)
DZS4 Dynamický zatěž. stav - přejezd 30 km/h (v koleji 1), směr Smíchov (3:51)
DZS5 Dynamický zatěž. stav - přejezd 60 km/h (v koleji 1) (3:59)

- Brzdné zatěžovací stavy:

- BZS1 Brzdňý zatěž. stav - zabrzdění z rychlosti 40 km/h na 0 v koleji 2, směr Smíchov, rozjezd směr Smíchov (4:11)
BZS2 Brzdňý zatěž. stav - zabrzdění z rychlosti 40 km/h v koleji 2 směr Praha, rozjezd směr Praha, nepovedený stav (4:18)
BZS3 Brzdňý zatěž. stav - zabrzdění z rychlosti 60 km/h v koleji 1 směr Smíchov (nevhodné zastavení, dále se pokračovalo brzděním ze 40 km/h) (3:04)
BZS4 Brzdňý zatěž. stav - zabrzdění z rychlosti 40 km/h v koleji 1 směr Praha, následný rozjezd směr Praha (3:19),
BZS5 Brzdňý zatěž. stav - zabrzdění z rychlosti 40 km/h směrem na hl. nádraží, následný rozjezd směr Smíchov

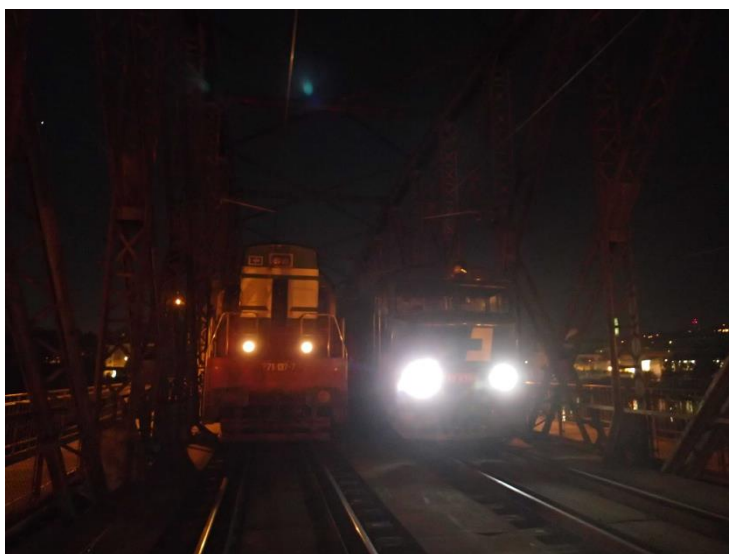
Zatěžovací stavy dle pořadí chronologicky:

- SZS1 Statický zatěž. stav L/2 nesymetrický (v koleji 2) - vyloučená kolej 2 (0:56)



Obr. 3 SZZ 1 – poloha břemene

- SZS2 Statický zatěž. stav L/2 nesymetrický (v koleji 1) - nickolejný provoz (1:27)
SZS3 Statický zatěž. stav L/2 symetrický (v obou kolejích) - nickolejný provoz (1:50)



Obr. 4 SZS 3 – poloha břemene

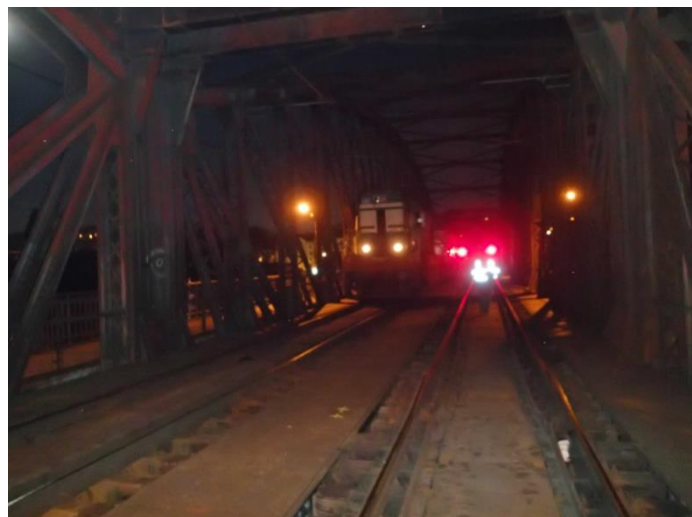
SZS0 Statický zatěž. stav L/0 nesymetrický (v koleji 2) - nad příčnickem (2:10)

DZS0 Dynamický zatěž. stav - pomalý přejezd 0 km/h směr Smíchov a zpět v koleji 1 (2:40)

DZS1 Dynamický zatěž. stav - přejezd 30 km/h v koleji 1 směr Smíchov (2:49)

DZS2 Dynamický zatěž. stav - přejezd 60 km/h (v koleji 1) směr Smíchov (2:55)

BZS3 Brzdňý zatěž. stav - zabrzdění z rychlosti 60 km/h v koleji 1 směr Smíchov (nevhodné zastavení, dále se pokračovalo brzděním ze 40 km/h) (3:04)



Obr. 5 BZS 3 – poloha břemene

BZS4 Brzdňý zatěž. stav - zabrzdění z rychlosti 40 km/h v koleji 1 směr Praha2, následný rozjezd směr Praha (3:12),

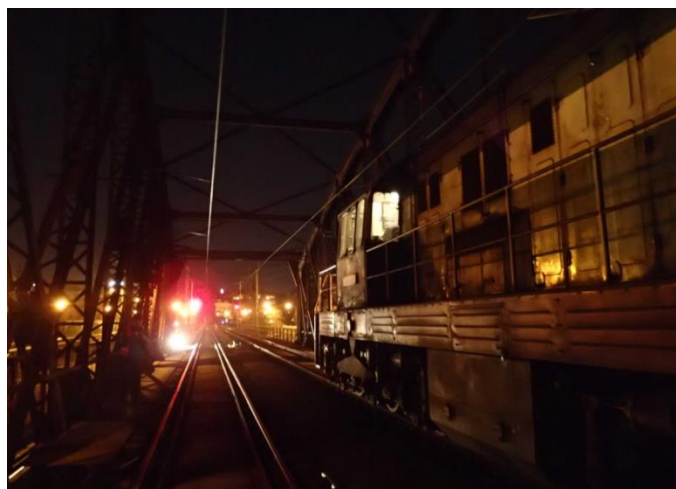
- zastavení u styčnicku 10



Obr. 6 BZS 4 – poloha břemene

BZS5 Brzdňý zatěž. stav - zabrzdění z rychlosti 40 km/h směrem na hl. nádraží, následný rozjezd směr Smíchov (3:21)

- zastavení u styčnicku 7



Obr. 7 BZS 5 – poloha břemene

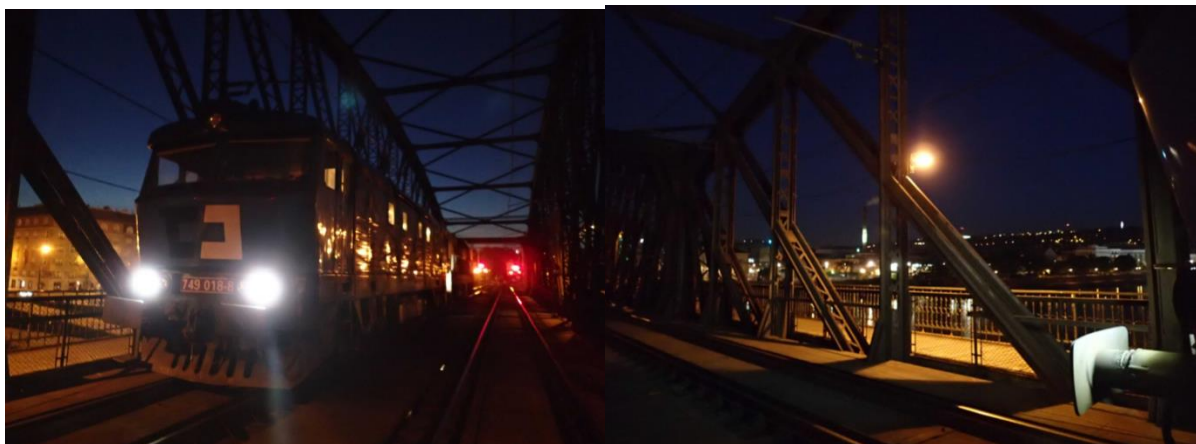
DZS3 Dynamický zatěž. stav - přejezd 5 km/h (v koleji 1), na Smíchov a zpět na Prahu (3:41)

DZS4 Dynamický zatěž. stav - přejezd 30 km/h (v koleji 1), směr Smíchov (3:51)

DZS5 Dynamický zatěž. stav - přejezd 60 km/h (v koleji 1) (3:59)

BZS1 Brzdňý zatěž. stav - zabrzdění z rychlosti 40 km/h na 0 v místě L/2 v koleji 2, směr Smíchov, rozjezd směr Smíchov (4:11)

- zastavení u styčnicku 12



Obr. 8 BZS 1 – poloha břemene

BZS2 Brzdňý zatěžovací stav - zabrzdění z rychlosti 40 km/h v koleji 2 směr Praha, rozjezd směr Praha (4:18)

- zastavení konce vlaku na rozhraní pole 2 a 3



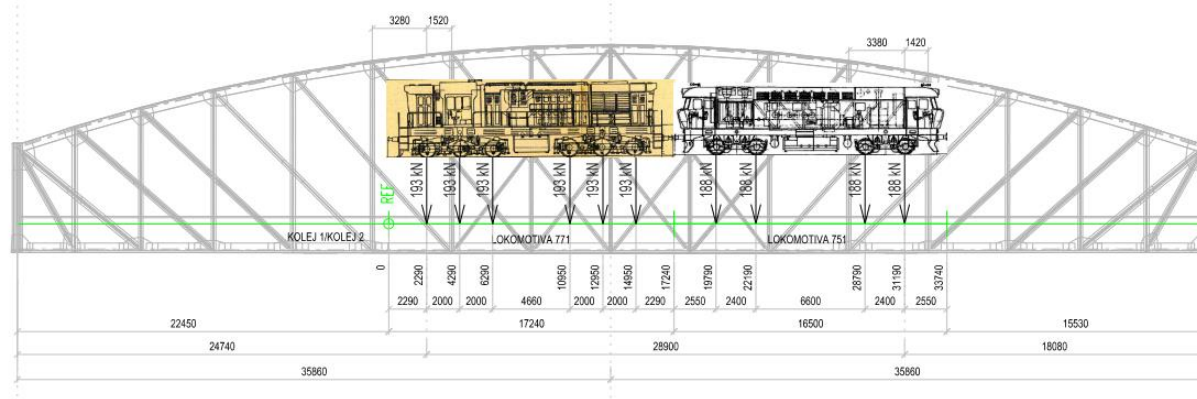
Obr. 9 BZS 2 – poloha břemene

5. Poloha měřených míst a zatížení

5.1. Poloha zkušebního zatížení

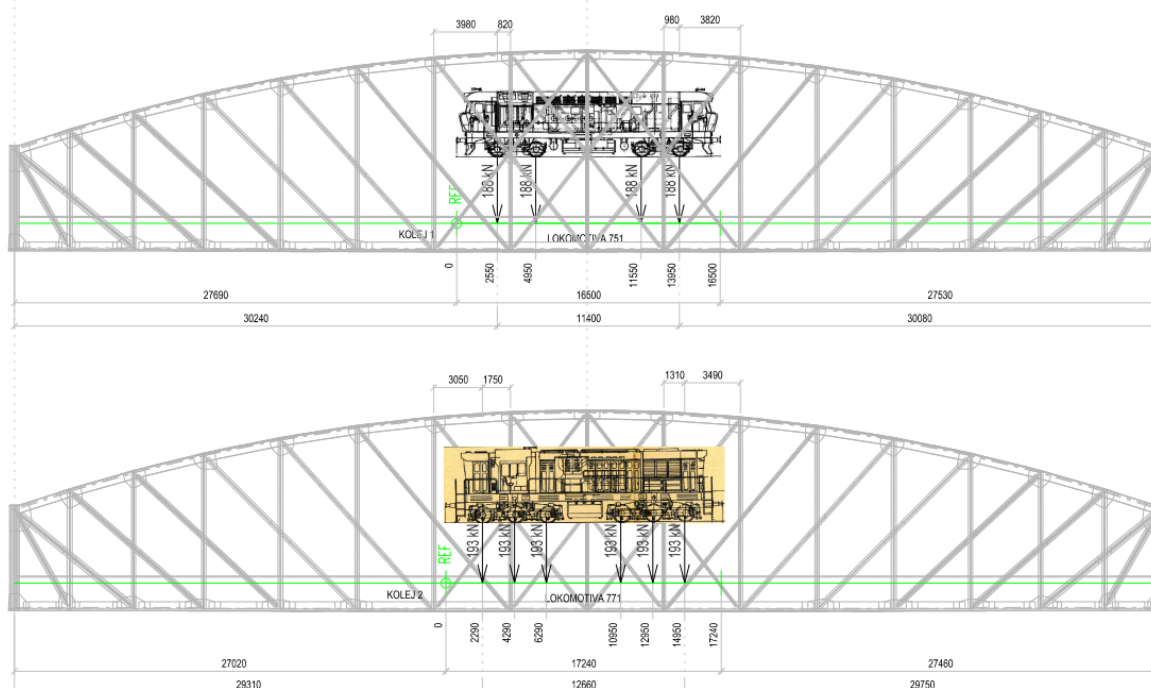
Poloha zkušebního zatížení je definována pro statickou zatěžovací zkoušku.

ZATĚŽOVACÍ STAV ZS1 a ZS2 uz.min L/2 - NESYMETRICKÝ V JEDNÉ KOLEJI



Obr. 10 Poloha zkušebního zatížení při SZZ - ZS1 a ZS2

ZATĚŽOVACÍ STAV ZS3 uz.min L/2 - SYMETRICKÝ V OBOU KOLEJÍCH



Obr. 11 Poloha zkušebního zatížení při SZZ – ZS3

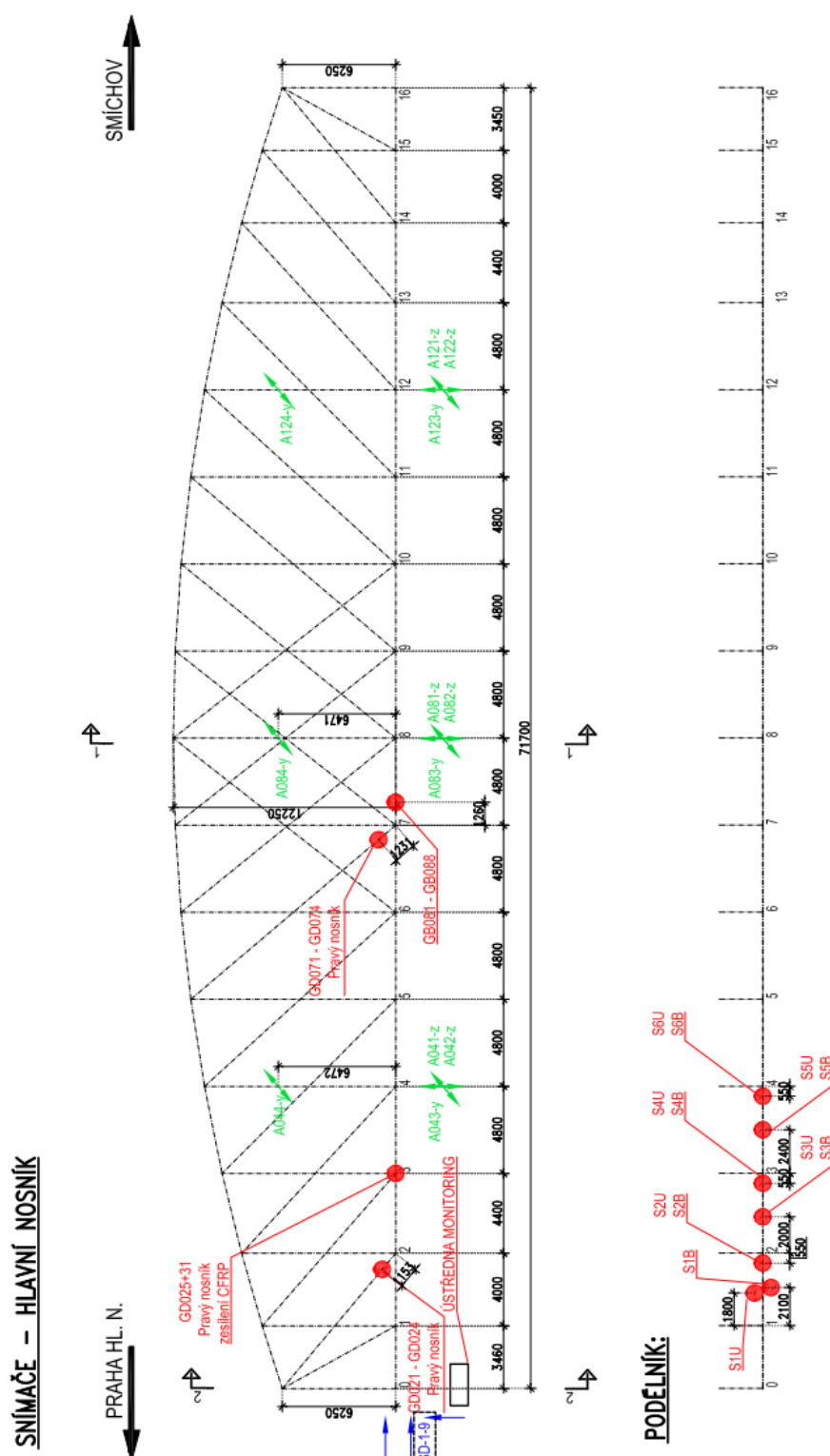
5.2. Poloha měřených míst

Při statické zatěžovací zkoušce bylo měřeno:

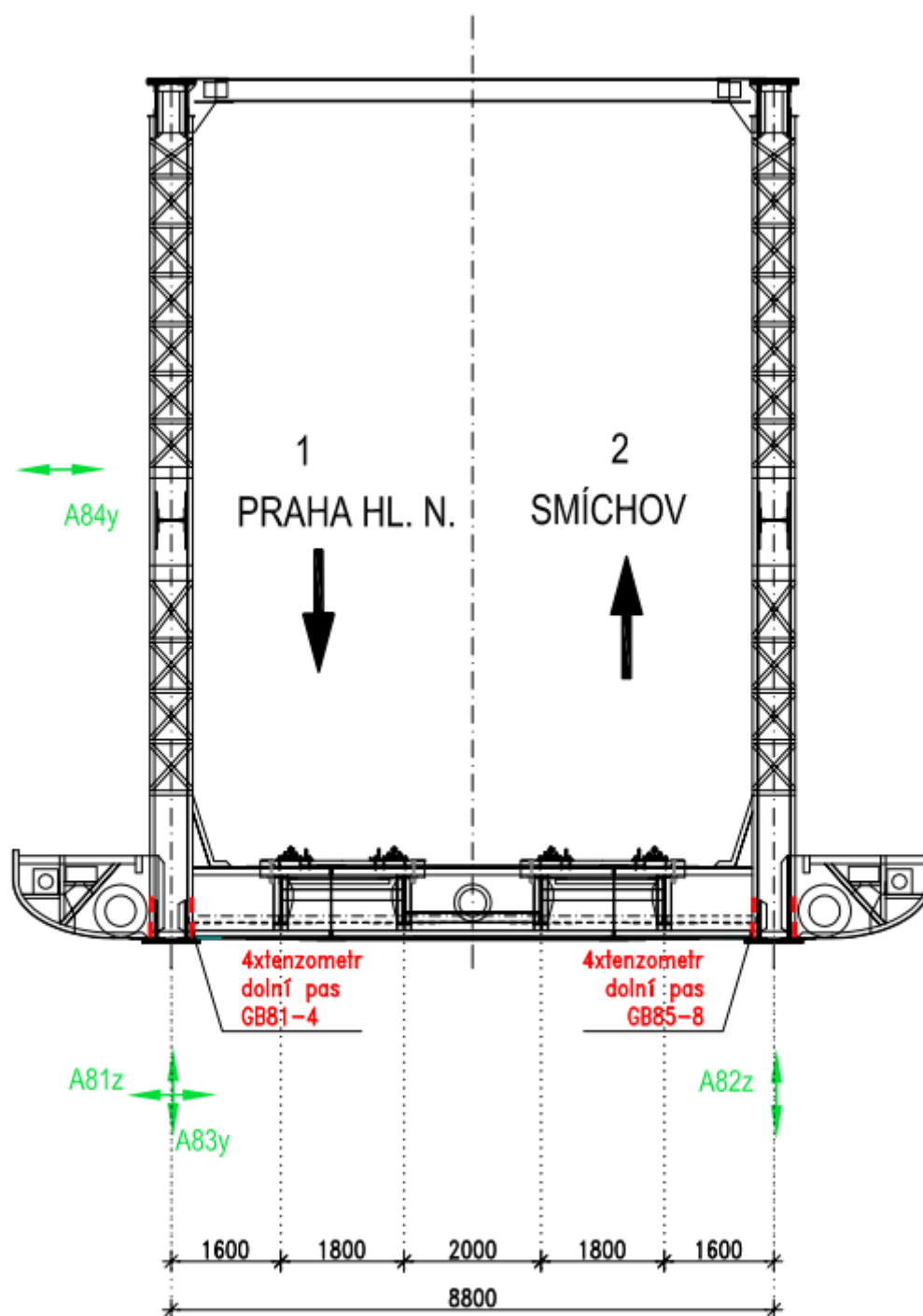
- deformace koncového příčnicku (ISD1, ISD2, ISD3, ISD4, ISD5, ISD6, ISD7, ISD8, ISD9)
- poměrné přetvoření na koncovém příčnicku (C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8)
- poměrné přetvoření na podélnících (S1U, S2U, S3U, S4U, S5U, S6U, S1B, S2B, S3B, S4B, S5B, S6B)
- poměrné přetvoření na diagonálách 2 a 7 hlavního nosníku (GD021, GD022, GD023, GD024, GD071, GD072, GD073, GD074)
- poměrné přetvoření na zesíleném dolním pase (GD025, GD031)
- poměrné přetvoření na dolním pase uprostřed rozpětí (GB081, GB082, GB083, GB084, GB085, GB086, GB087, GB088)

Při dynamické zatěžovací zkoušce byla dále měřena odezva konstrukce na dynamické zatížení přejezdy zkušebního zatížení:

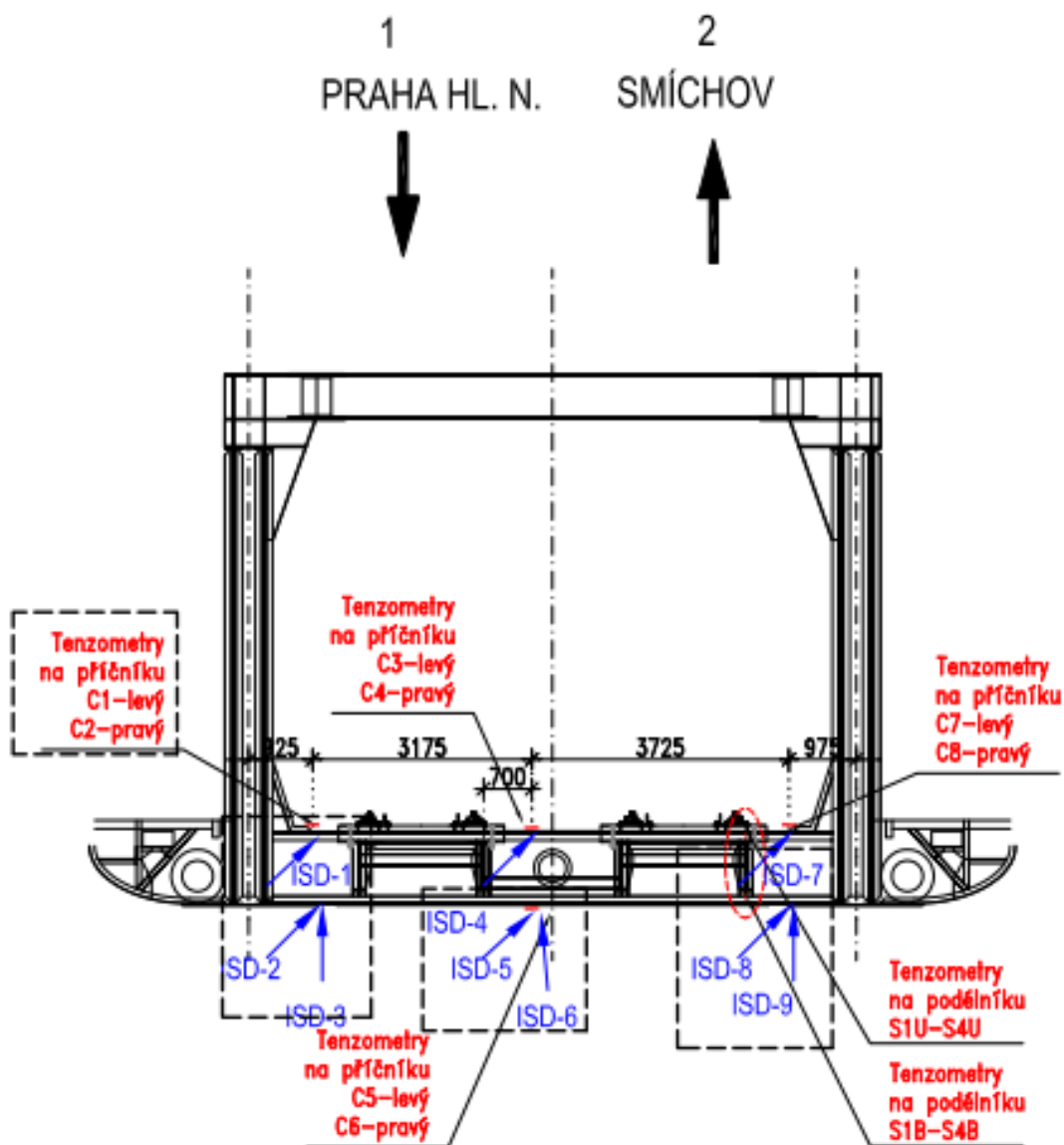
- zrychlení svislé deformace u_z a příčné deformace u_y ve středu rozpětí a cca v 1/4 rozpětí



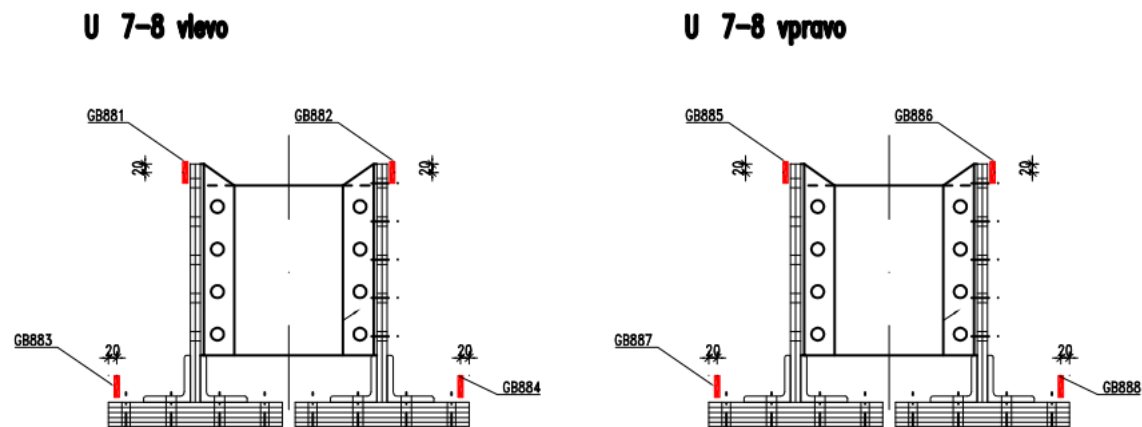
Obr. 12 Podélný řez – poloha snímačů na NK a na podélnících



Obr. 13 Příčný řez uprostřed rozpětí



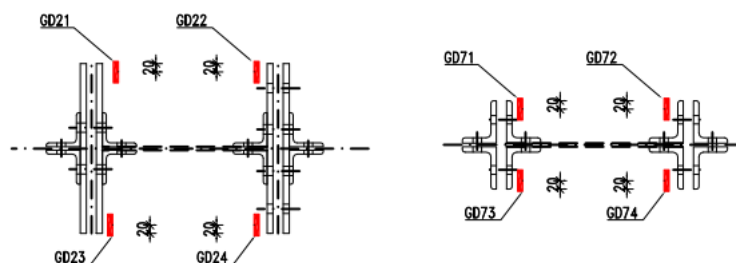
Obr. 14 Příčný řez u koncového příčniku



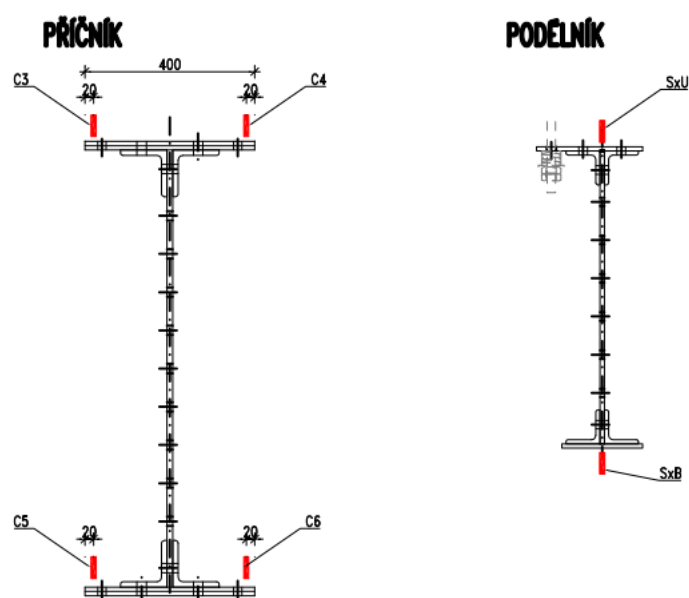
Obr. 15 Specifikace polohy snímačů na dolním pase

D 2

D 8



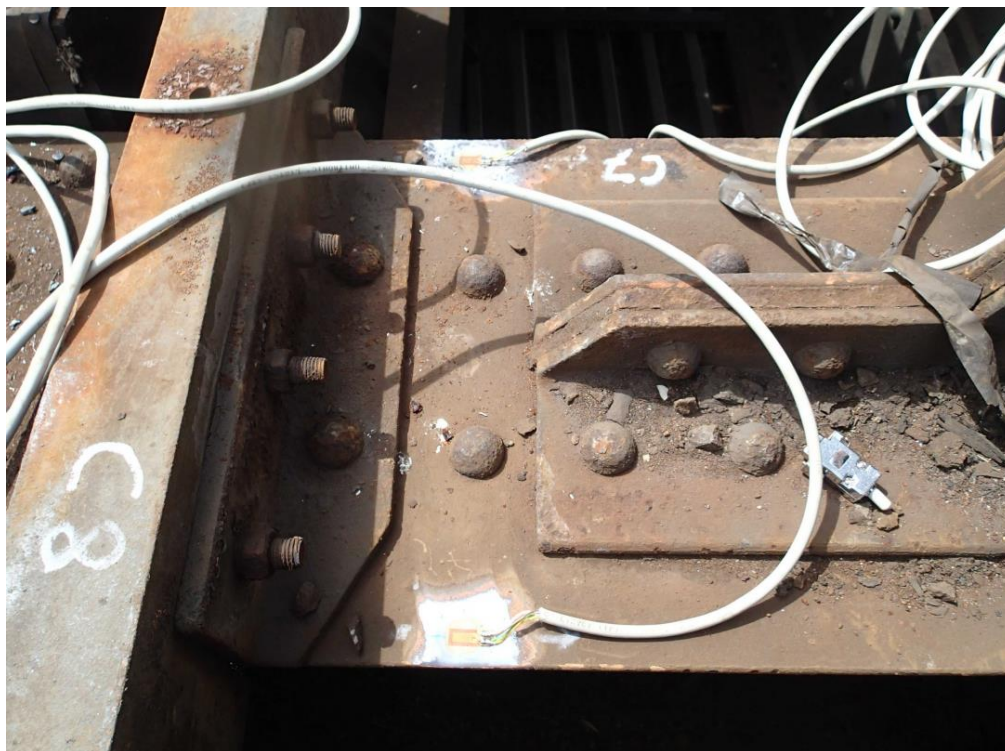
Obr. 16 Specifikace polohy snímačů na diagonálách



Obr. 17 Specifikace polohy snímačů na příčniku a podélníku



Obr. 18 Znáznornění polohy tenzometru na horní pásnici podélníku



Obr. 19 Znáznornění polohy tenzometru na horní pásnici příčnicku



Obr. 20 Znáznornění polohy tenzometru na dolní pásnici příčniku



Obr. 21 Znáznornění polohy tenzometru na diagonále



Obr. 22 Znáznornění polohy tenzometru na diagonále



Obr. 23 Znáznornění polohy tenzometru na diagonále



Obr. 24 Znáznornění polohy tenzometru na dolním pase

5.3. Uspořádání měřicí linky

Při statické a dynamické zatěžovací zkoušce byla použita měřicí linka složená z prvků popsaných níže.

5.3.1. Induktivní snímače dráhy DTA-3G-CA

Snímač DTA-3G-CA je induktivní snímač dráhy firmy Micro-Epsilon. Frekvenční rozsah těchto snímačů je 0 - 400 Hz, měřicí rozsah je ± 3 mm, třída přesnosti 0,5, nosná frekvence je 5 kHz, maximální napájecí napětí 5 V, citlivost 133 mV/V, teplotní pracovní rozsah -20° až $+80^{\circ}\text{C}$.

5.3.2. Snímač zrychlení 8344

Absolutní snímač zrychlení 8344 je vysoce citlivý seismický piezoelektrický snímač zrychlení vyráběný firmou Brüel&Kjær. Vlastní frekvence snímače je vyšší než 10 kHz, pracovní rozsah 0,2 Hz až 3 kHz. Citlivost snímače je cca 250 mV/g. Pracovní teplotní rozsah se pohybuje od -50 do $+100^{\circ}\text{C}$. Příčná citlivost snímače je menší než 5%.

5.3.3. Snímače zrychlení B12/200

Absolutní snímač zrychlení B12/200 je induktivní snímač zrychlení vyrobený firmou Hottinger-Baldwin Messtechnik s nosnou frekvencí 5 kHz (odpor $L1+L2$ cca. 40 Ω , indukčnost $L1+L2$ cca 7 až 10 mH, pracovní napětí 2 až 10 V_{eff}, zpoždění fáze mezi vstupním a výstupním napětím je menší než 2°). Vlastní frekvence snímače je 200 Hz, pracovní rozsah 0 až 100 Hz, jmenovité zrychlení 200 m/s², výstupní signál pro jmenovité zrychlení je 80 mV/V. Pracovní teplotní rozsah -10 až $+60^{\circ}\text{C}$. Tlumení je silikonovým olejem $D = 0,6 \pm 0,1$ při 23°C . Příčná citlivost je menší než 3%. Při měření byly snímače namontovány na kovové přípravky, které byly přilepeny ke sledované konstrukci.

5.3.4. Tenzomerický snímač poměrných deformací LY11 10/120

Tenzometrický snímač poměrných deformací LY11-10/120 je odporový foliový tenzometr vyráběný firmou Hottinger Baldwin Messtechnik. Délka měřicí mřížky tenzometru je 10 mm a základní odpor je 120 Ω . Příčná citlivost snímače je menší než -0,5%.

5.3.5. Teploměr ALMEMO 2290-2

K základnímu měření teploty vzduchu a nosné konstrukce mostu během zkoušky byl použit digitální teploměr ALMEMO 2290-2 firmy Ahlborn (výrobní číslo 952450, poř. č. 280 OL181) se sondou F.HA646-1 a s nejistotou měření 0,2°C.

5.3.6. Měřicí ústředna Pulse – Front end 3560B-120

Měřicí ústředna Front end 3560B-120 je elektronická měřicí ústředna vyráběná firmou Brüel&Kjær, která je při měření ovládána pomocí osobního počítače s nainstalovaným řídicím programem Pulse. Měřicí ústředna Front end 3560B-120 je určena pro měření vibrací.

5.3.7. Měřicí ústředna DEWE 5000

DEWE 5000 je třicetidvoukanálová elektronická měřicí ústředna firmy Dewetron. Součástí ústředny je zabudovaný notebook, který slouží k řízení měření a on-line dynamické analýze měřených signálů.

Ústředna umožňuje současné vzorkování 32 vstupních kanálů s 24-bitovým rozlišením. Měřené údaje jsou nahrávány přímo na pevný disk, vzhledem k dnešním kapacitám pevných disků ústředna umožňuje nahrávání velmi dlouhých záznamů.

5.3.8. Měřicí ústředna EMS DV 803

EMS DV 803 je měřicí ústředna pro rozsáhlá dynamická i statická měření v laboratoři i v průmyslovém prostředí. Umožňuje přímé měření až 32 kanálů (tenzometrů, akcelerometrů, termočlánků a dalších čidel v různých kombinacích). Součástí každého kanálu je předzesilovač a samostatný šestnáctibitový A/D převodník se vzorkovací frekvencí až 3200 Hz. Měřicí ústředna je určena k samostatným dlouhodobým i krátkodobým měřením například mechanického namáhání, vibrací, teplot, tlaků a podobně. Naměřená data jsou ukládána do velké interní paměti typu Compact Flash a přenášejí se do počítače (notebooku) přes ethernetové rozhraní. Součástí dodávky je obslužný program pro správu měření, grafické zobrazování naměřených dat a jejich export do textových a jiných formátů. Pro přímou dálkovou správu měření byl dodán GSM modem (GPRS/EDGE/3G).

5.3.9. Měřicí ústředna Spider 8

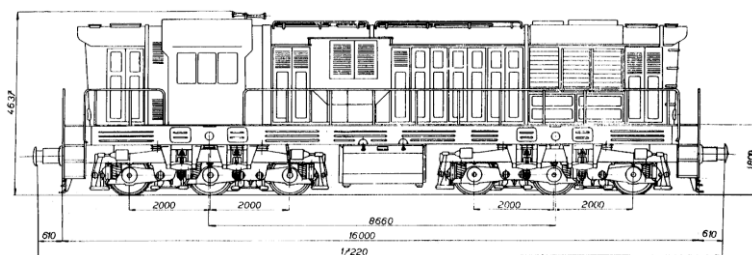
Spider 8 je osmikanálová elektronická měřicí ústředna firmy Hottinger Baldwin Messtechnik, která je řízena pomocí osobního počítače přes USB port, port tiskárny nebo sběrnici RS 232. Všechna elektronická zařízení pro obsluhu jednotlivých kanálů a provádění měření jsou zabudována v jediné skříňce a ovládat je lze pouze pomocí programu CATMAN přes počítač. Měřicí ústředna Spider 8 je především určena pro elektrická měření mechanických veličin (především dráhy, zrychlení, poměrné deformace, síly, tlaku, a teploty) prováděných zejména pomocí odporových tenzometrů, induktivních snímačů, potenciometrů a odporových snímačů. Ústřednu lze použít také k registraci průběhu elektrického stejnosměrného napětí. Všechny kanály mají svůj vlastní A/D převodník, který je schopen měřit s frekvencí převodu od 1 až do 9600 vzorků/s. Pro zajištění současného měření na všech aktivních kanálech jsou A/D převodníky navzájem synchronizovány. V případě rozsáhlejšího měření je možné sdružit několik osmikanálových ústředn až do maximálního počtu 64 kanálů.

5.4. Podmínky při měření

Měření bylo zahájeno v nočních hodinách cca po půlnoci dne 11.5.2017, při teplotách 8,5°C a ukončeno v 5:00 kdy teplota klesla cca na 4,5°C. Rychlost větru byla minimální, cca 1-2 m/s.

5.5. Schéma zkušebních zatížení

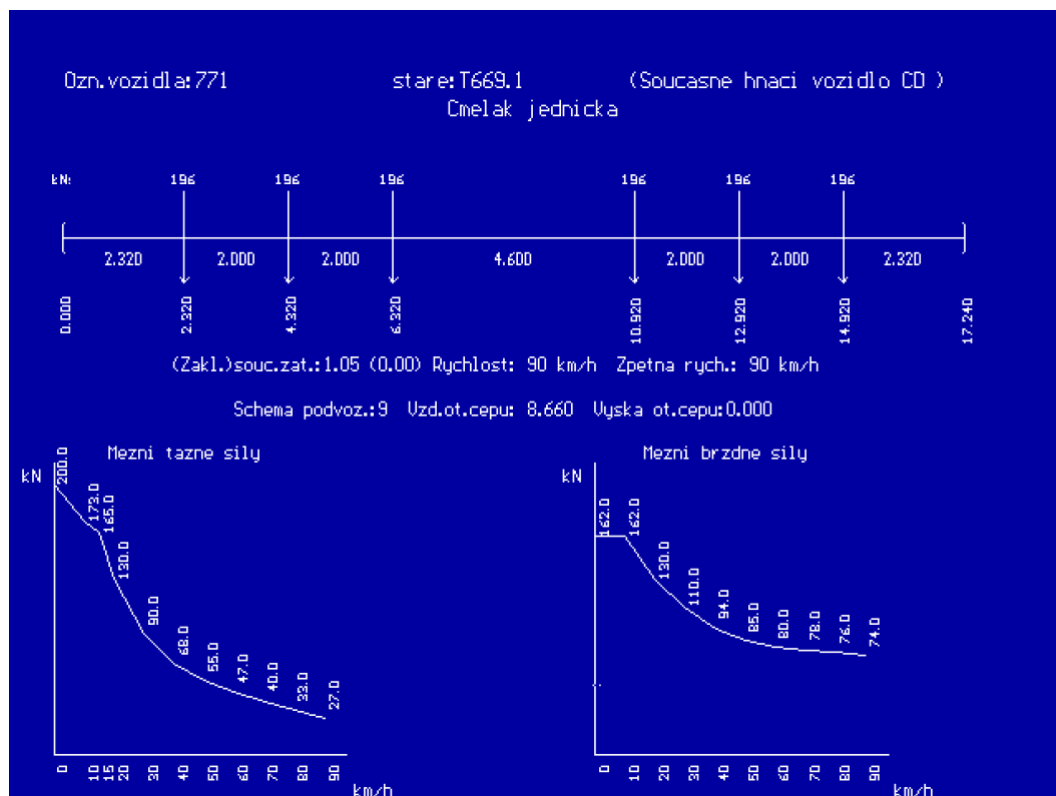
Pro zkoušení bylo použito vozidlo ř. 771 (Čmelák - jednička)



Obr. 25 Rozměry zkušebního zatížení - vůz ř. 771

Nápravové síly:

6 x 19 t (celkem 112 t)



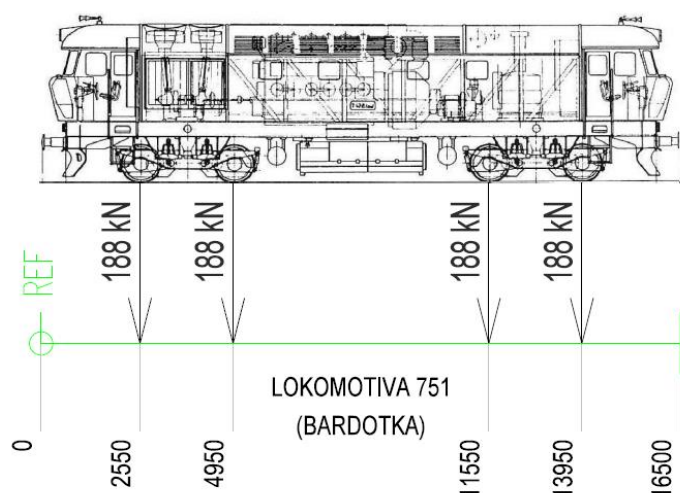
Obr. 26 Brzdné síly zkušebního zatížení - vůz ř. 771

Předpokládaná mezní brzdná vodorovná síla : **162 kN**

Dále jako zkušební zatížení bylo použito hnací vozidlo řady 749 (Bardotka) o hmotnosti 75 t

Rekonstrukce železničních mostů pod Vyšehradem

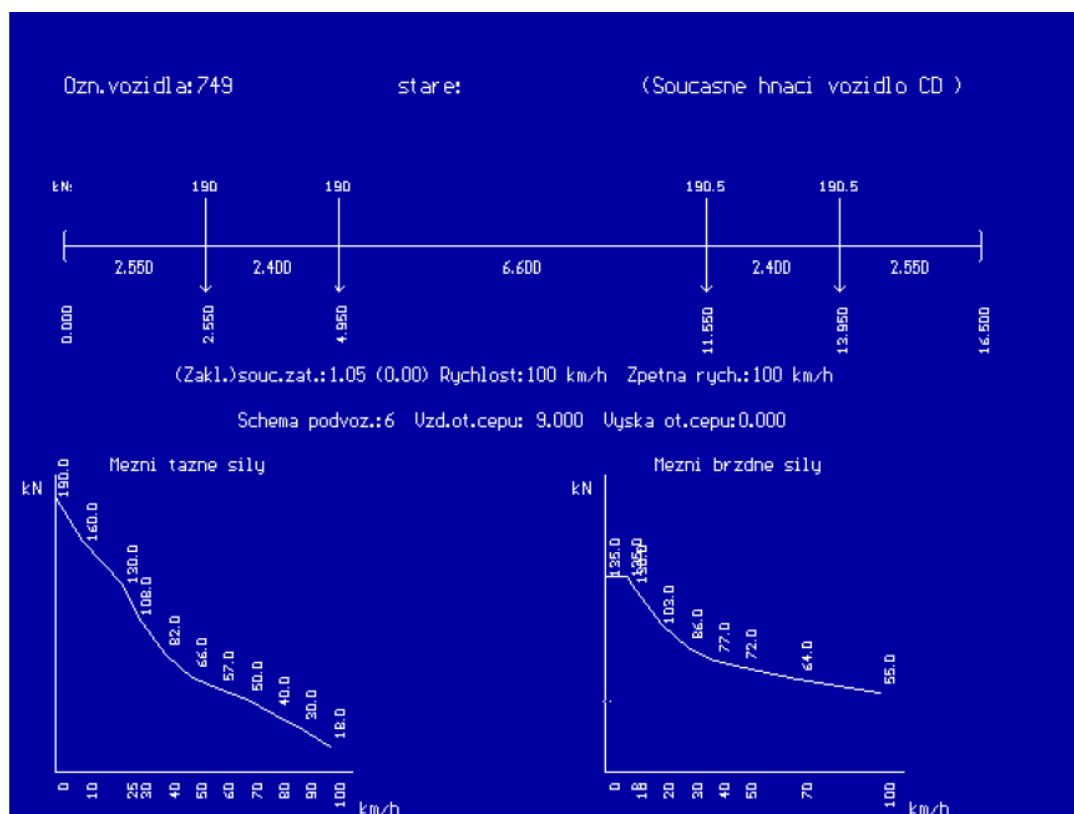
Statická a dynamická ověřovací zatěžovací zkouška mostu



Obr. 27 Rozměry zkušebního zatížení - vůz ř. 749

Nápravové síly: **4 x 18,8 t**

Brzdné síly uvedené v programu MQA:



Obr. 28 Brzdné síly zkušebního zatížení - vůz ř. 749

Předpokládaná mezní brzdná vodorovná síla : **135 kN**

6. Výsledky statické a dynamické zatěžovací zkoušky

6.1. Průhyby mostu

Průhyby mostu byly měřeny radarovou interferometrií a jsou předmětem samostatné zprávy firmy VINTEGRA.

6.2. SZZ - Napětí a posuny hlavní nosné konstrukce

Hodnoty deformací koncového příčnicku ve sledovaných místech ISD1 až ISD9 vyhodnocené při SZZ jsou uvedeny v Tab. 1 (zatěžovací stavy SZS1 a SZS2) a Tab. 2 (zatěžovací stavy SZS3 a SZS0).

Hodnoty napětí hlavní nosné konstrukce v místech s nalepenými odporovými tenzometry, které byly vyhodnoceny při SZZ jsou uvedeny v Tab. 3 až Tab. 6. Pro přepočet poměrných deformací na napětí byl použit modul pružnosti $E = 200 \text{ GPa}$, který odpovídá svárkové oceli a výsledkům získaným z provedených materiálových zkoušek.

Měřené místo	Zatěžovací stav ZS1			Zatěžovací stav ZS2		
	Stot [mm]	Sr [mm]	Se [mm]	Stot [mm]	Sr [mm]	Se [mm]
ISD1	0.14	-0.16	0.29	0.40	-0.18	0.58
ISD2	0.49	-0.15	0.64	0.58	-0.16	0.75
ISD3	0.34	-0.05	0.39	0.06	0.00	0.06
ISD4	0.05	-0.04	0.10	0.38	-0.10	0.48
ISD5	0.89	-0.09	0.98	0.61	-0.13	0.74
ISD6	1.16	0.00	1.17	0.04	0.03	0.01
ISD7	0.07	-0.16	0.23	0.57	-0.15	0.72
ISD8	0.33	-0.14	0.47	0.95	-0.12	1.07
ISD9	0.33	0.00	0.33	0.06	0.01	0.05

Pozn.: S_{tot} – celková deformace příčnicku ve sledovaném místě konstrukce od použitého zkušebního zatížení,

S_r – deformace příčnicku ve sledovaném místě konstrukce po odstranění použitého zkušebního zatížení,

S_e – rozdíl deformace S_{tot} a S_r ,

Tab. 1 Vyhodnocené statické hodnoty deformací koncového příčnicku (sledovaná místa ISD1 až ISD9 (měřicí ústředna Dewetron)) při zatěžovacích stavech SZS1 a SZS2.

Měřené místo	Zatěžovací stav SZS3			Zatěžovací stav SZS0		
	Stot [mm]	Sr [mm]	Se [mm]	Stot [mm]	Sr [mm]	Se [mm]
ISD1	0.80	-0.14	0.94	0.74	-0.19	0.93
ISD2	1.17	-0.13	1.30	1.05	-0.17	1.23
ISD3	0.08	-0.01	0.09	0.08	-0.04	0.12
ISD4	0.54	-0.04	0.58	0.50	-0.28	0.78
ISD5	0.79	-0.07	0.86	0.78	-0.22	1.00
ISD6	0.05	0.01	0.04	0.07	-0.01	0.07
ISD7	0.42	-0.15	0.56	0.57	-0.16	0.73
ISD8	0.61	-0.11	0.72	0.83	-0.15	0.98
ISD9	0.08	0.00	0.08	0.09	-0.01	0.10

Pozn.: S_{tot} – celková deformace příčnicku ve sledovaném místě konstrukce od použitého zkušebního zatížení,

S_r – deformace příčnicku ve sledovaném místě konstrukce po odstranění použitého zkušebního zatížení,

S_e – rozdíl deformace S_{tot} a S_r ,

Tab. 2 Vyhodnocené statické hodnoty deformací koncového příčnicku (sledovaná místa ISD1 až ISD9 (měřicí ústředna Dewetron)) při zatěžovacích stavech SZS3 a SZS0.

Zatěžovací stav SZS1			
Měřené místo	Stot [MPa]	Sr [MPa]	Se [MPa]
C1	3.4	-0.7	4.1
C2	2.4	-0.1	2.5
C3	0.8	0.3	0.5
C4	-1.0	-0.1	-0.8
C5	0.6	0.6	0.0
C6	-1.0	0.7	-1.7
C7	6.2	-0.2	6.4
C8	-3.0	0.0	-3.1
S1U	1.3	0.0	1.3
S2U	2.5	0.2	2.3
S3U	1.9	0.1	1.8
S4U	1.5	0.2	1.4
S5U	1.6	0.1	1.5
S6U	3.4	-0.1	3.5
S1B	2.7	0.6	2.2
S2B	0.9	-0.1	1.0
S3B	1.9	-0.1	2.1
S4B	1.4	-0.1	1.5
S5B	1.4	0.0	1.3
S6B	-1.0	-0.1	-0.9
GD021	11.8	0.8	11.0
GD022	12.6	0.7	11.9
GD023	12.9	0.4	12.5
GD024	10.0	0.3	9.7
GD025	-1.0	-3.0	2.0
GD031	1.2	0.1	1.1
GD071	12.1	0.2	11.9
GD072	10.8	-1.4	12.2
GD073	16.7	-0.6	17.3
GD074	12.0	-0.8	12.9
GB081	3.3	-1.3	4.6
GB082	3.5	-1.4	5.0
GB083	2.9	-1.5	4.4
GB084	4.4	-1.1	5.5
GB085	6.2	-1.6	7.8
GB086	12.6	0.8	11.7
GB087	7.7	-0.5	8.2
GB088	10.0	-0.7	10.7

Tab. 3 Vyhodnocené statické hodnoty napětí (měřicí ústředna EMS a Dewetron) při zatěžovacím stavu SZS1.

Zatěžovací stav SZS2			
Měřené místo	Stot [MPa]	Sr [MPa]	Se [MPa]
C1	1.1	0.0	1.1
C2	-4.5	0.0	-4.4
C3	1.1	0.0	1.1
C4	-0.6	0.0	-0.6
C5	0.7	0.4	0.4
C6	-1.6	0.4	-2.0
C7	1.1	0.0	1.1
C8	-4.7	0.1	-4.8
S1U	0.6	-0.1	0.6
S2U	1.3	0.1	1.2
S3U	1.3	0.1	1.2
S4U	1.1	0.0	1.1
S5U	2.5	0.0	2.5
S6U	3.0	-0.1	3.1
S1B	1.9	0.1	1.8
S2B	0.1	-1.0	1.1
S3B	0.4	-0.9	1.3
S4B	0.6	-0.4	1.1
S5B	2.2	0.2	2.0
S6B	1.1	0.2	0.9
GD021	5.6	0.0	5.6
GD022	5.3	0.0	5.3
GD023	5.8	0.0	5.8
GD024	4.6	0.1	4.5
GD025	3.8	0.7	3.0
GD031	2.6	0.8	1.8
GD071	9.5	0.7	8.8
GD072	3.9	1.5	2.4
GD073	13.3	1.0	12.3
GD074	4.7	1.9	2.8
GB081	13.2	1.3	11.8
GB082	13.6	1.3	12.2
GB083	14.0	1.6	12.4
GB084	13.3	1.6	11.7
GB085	7.7	2.1	5.6
GB086	8.2	0.2	8.0
GB087	8.7	1.6	7.2
GB088	8.5	1.8	6.8

Tab. 4 Vyhodnocené statické hodnoty napětí (měřicí ústředna EMS a Dewetron) při zatěžovacím stavu SZS2.

Zatěžovací stav SZS3			
Měřené místo	Stot [MPa]	Sr [MPa]	Se [MPa]
C1	6.7	-0.5	7.2
C2	-2.7	0.0	-2.8
C3	1.0	0.0	1.0
C4	-0.7	-0.1	-0.6
C5	0.7	0.5	0.1
C6	-1.6	0.5	-2.1
C7	3.1	-0.2	3.3
C8	-4.4	-0.1	-4.3
S1U	0.9	0.0	0.9
S2U	1.8	0.1	1.7
S3U	1.8	0.1	1.7
S4U	1.4	0.1	1.3
S5U	1.9	-0.1	1.9
S6U	2.4	0.0	2.5
S1B	2.4	0.3	2.1
S2B	1.3	0.6	0.8
S3B	1.5	-0.2	1.6
S4B	1.1	-0.3	1.4
S5B	1.1	0.0	1.1
S6B	0.2	-0.1	0.3
GD021	8.1	0.1	8.0
GD022	8.3	0.1	8.2
GD023	8.6	-0.1	8.7
GD024	6.8	-0.1	6.8
GD025	3.2	0.7	2.5
GD031	2.1	0.8	1.3
GD071	18.9	0.2	18.7
GD072	7.8	1.3	6.5
GD073	21.5	0.5	21.0
GD074	8.7	1.8	6.8
GB081	6.6	0.9	5.8
GB082	5.1	0.7	4.4
GB083	9.6	0.8	8.7
GB084	9.7	0.8	9.0
GB085	3.0	1.8	1.1
GB086	6.1	-0.8	6.8
GB087	7.6	0.8	6.7
GB088	8.9	1.2	7.7

Tab. 5 Vyhodnocené statické hodnoty napětí (měřicí ústředna EMS a Dewetron) při zatěžovacím stavu SZS3.

Zatěžovací stav SZS0			
Měřené místo	Stot [MPa]	Sr [MPa]	Se [MPa]
C1	5.5	0.7	4.8
C2	-3.2	0.4	-3.6
C3	-19.0	-0.3	-18.7
C4	-13.1	0.4	-13.5
C5	9.3	0.3	9.0
C6	9.7	0.7	8.9
C7	4.0	-0.2	4.2
C8	1.2	-0.1	1.3
S1U	2.8	0.0	2.7
S2U	6.7	0.2	6.5
S3U	6.7	0.2	6.5
S4U	-5.2	0.1	-5.3
S5U	2.2	0.2	2.0
S6U	2.3	0.1	2.3
S1B	-1.0	0.1	-1.1
S2B	-3.6	0.1	-3.7
S3B	19.0	0.0	19.0
S4B	10.1	-0.4	10.5
S5B	1.8	-0.1	1.9
S6B	1.2	0.0	1.2
GD021	9.9	0.1	9.8
GD022	7.4	0.0	7.4
GD023	11.5	0.2	11.2
GD024	5.7	0.0	5.6
GD025	8.5	-1.5	10.1
GD031	5.0	-0.1	5.1
GD071	-3.8	-0.3	-3.5
GD072	-4.5	0.0	-4.5
GD073	-4.4	-0.4	-4.0
GD074	-4.1	-0.2	-3.9

Tab. 6 Vyhodnocené statické hodnoty napětí (měřicí ústředna EMS a Dewetron) při zatěžovacím stavu SZS0.

Přesnost výsledků získaných snímači GB085 a GB086 je oproti ostatním snímačům zhoršena vyšší časovou nestabilitou kvazistatické hodnoty na těchto dvou měřených místech. Proto jsou v Tab. 3 až Tab. 5 hodnoty naměřené těmito dvěma snímači označeny kurzívou.

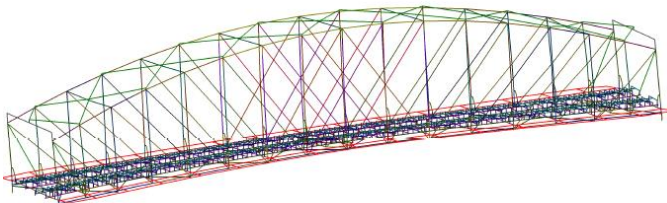
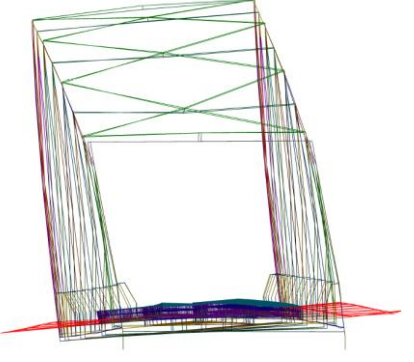
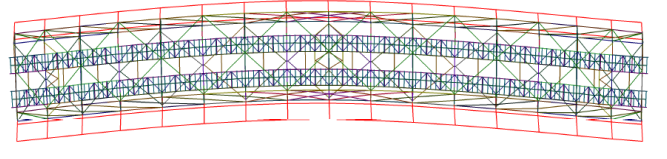
6.3. Vlastní tvary a frekvence

6.3.1. Teoretické hodnoty

Teoretické hodnoty byly stanoveny SUDOPem Praha v programu MIDAS

VLASTNÍ FREKVENCE - VÝPOČETNÍ MODEL

EIGENVALUE ANALYSIS		
Mode No	Vlastní frekvence pro tuhost $K_x=500 \text{ mN.m-1}$	Popis tvaru
	(Hz)	
1	2,03	Vodorovný 1 vlna
2	2,85	Vodorovný - příčný 1 vlna
3	4,15	Vodorovný 2 vlny
4	4,35	Podélný ohybový 1 vlna
5	5,15	Torzní 2 vlny
6	5,28	Torzní 1 vlna
7	6,41	Vodorovný 3 vlny
8	7,58	Vodorovný - příčný 2 vlny
9	8,55	Vodorovný 4 vlny
10	9,09	Podélný ohybový 2 vlny

1. tvar vybočení 1,99	Vodorovný 1 vlna
	
	

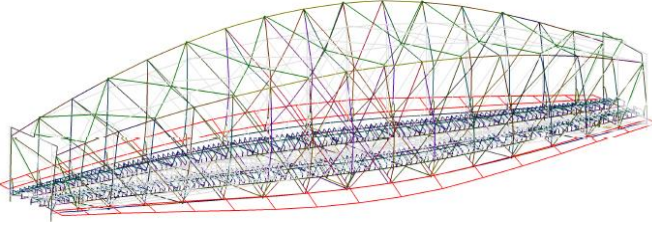
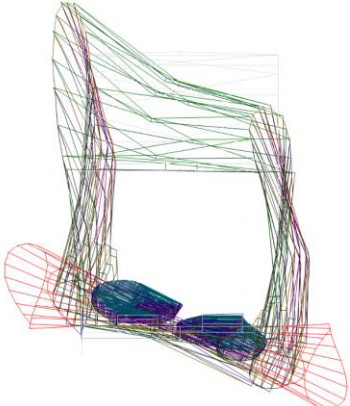
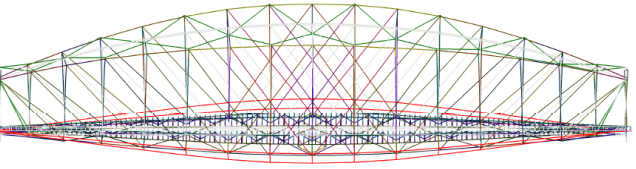
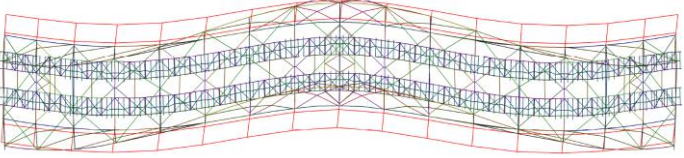
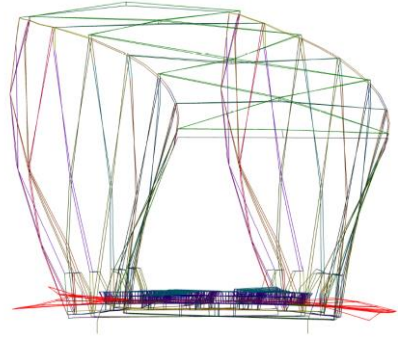
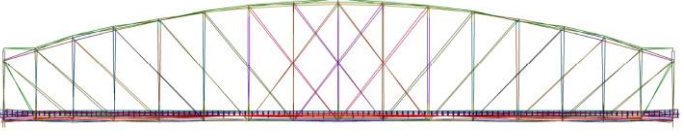
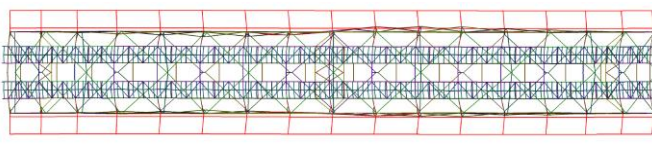
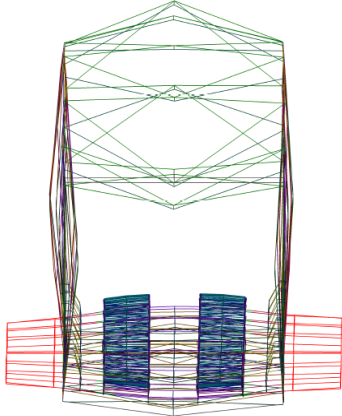
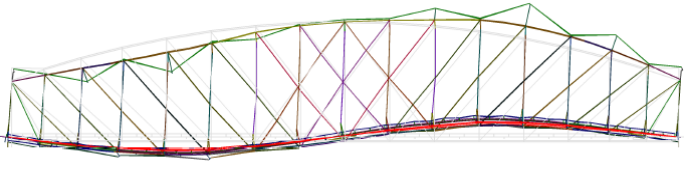
Rekonstrukce železničních mostů pod Vyšehradem

Statická a dynamická ověřovací zatěžovací zkouška mostu

2. tvar vybočení 2,84	Vodorovný - příčný 1 vlna
3. tvar vybočení 4,14	Podélný ohybový 1 vlna
5. tvar vybočení 5,10	Torzní 2 vlny

Rekonstrukce železničních mostů pod Vyšehradem

Statická a dynamická ověřovací zatěžovací zkouška mostu

6. tvar vybočení 5,27	Torzní 1 vlna
	
	
7. tvar vybočení 6,41	Vodorovný 3 vlny
	
	
10. tvar vybočení 8,95	Podélný ohybový 2 vlny
	
	

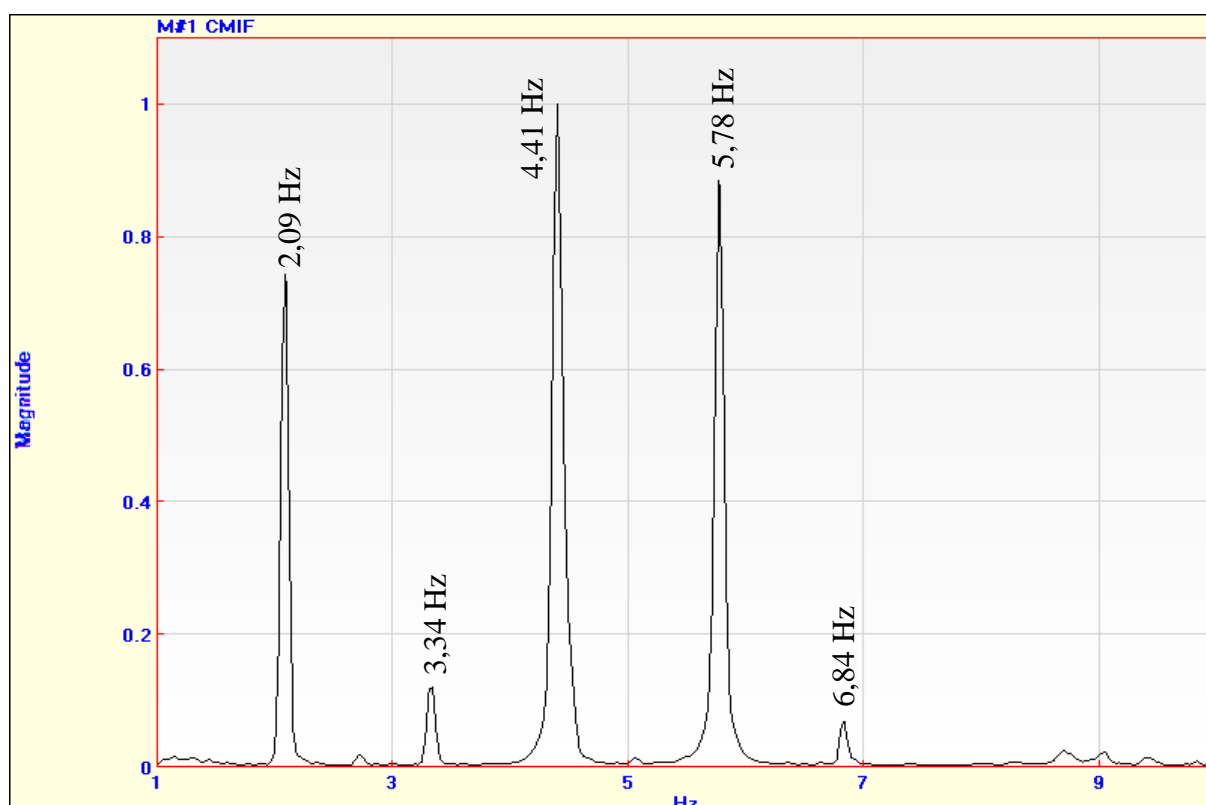
6.3.2. Experimentální hodnoty

Při dynamické zatěžovací zkoušce bylo také provedeno vyhodnocení frekvencí a tvarů vlastního kmitání mostu. Vzhledem k omezenému počtu snímačů a časovým možnostem zkoušky, kdy nebylo možné snímače během zkoušky přemísťovat, bylo možné vyhodnotit jen několik základních frekvencí a tvarů vlastního kmitání. K vyhodnocení byly použity snímače zrychlení umístěné na dolních pásech a na svislicích hlavních nosníků, a to v bodech A041 až A124 podle schématu na Obr. 12 a Obr. 13. Frekvence a tvary vlastního kmitání byly jednak vyhodnoceny z dokmitání mostu po jednotlivých přejezdech zkušební soupravou a také ze záznamů seismického neklidu. Časové záznamy byly rychlou Fourierovou transformací převedeny z časové do frekvenční oblasti. Pro delší záznamy bylo využito průměrování z několika časových oken, počet oken byl volen v závislosti na délce záznamu. Z výsledných frekvenčních spekter bylo ve frekvenční oblasti 0,5 až 10 Hz z rezonančních špiček vyhodnoceno 5 frekvencí vlastního kmitání (viz Obr. 29 a Tab 7). K těmto frekvencím byly vyhodnoceny i odpovídající vlastní tvary $\{r_{(j)}\}$ a to z 9 měřených bodů A041 až A124. V obrázcích vlastních tvarů Obr. 30 až Obr. 35 byly pro lepší zobrazení přidány ještě body mostu v příčných řezech nad oběma podporami, kterým byly přiřazeny nulové pořadnice vlastních tvarů.

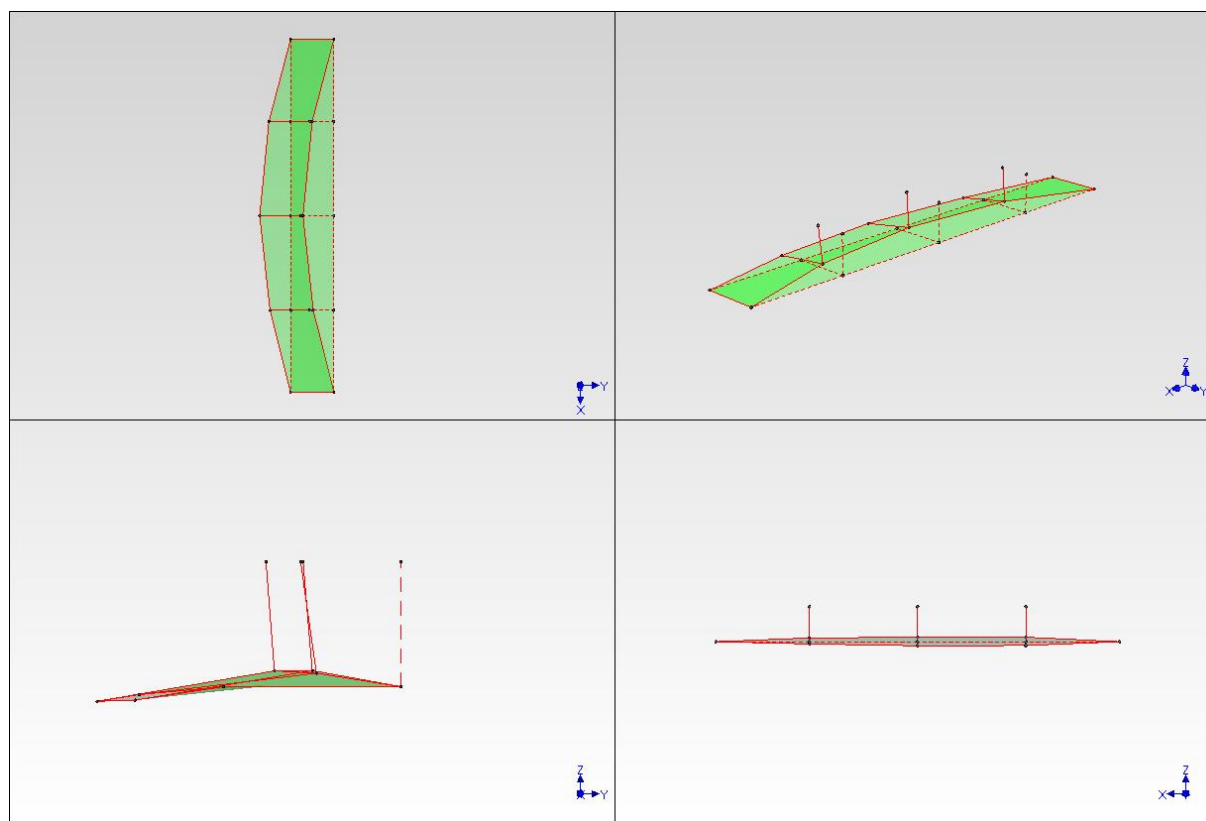
č. (j)	frekvence $f_{(j)}$ [Hz] $U_{k=2,0}$		vlastního tvaru
(1)	2.09	± 0.06	1.tvar vodorov. příčného kmit. mostu
(2)	3.34	± 0.06	1.tvar vodorov. příčného kmit. horního pásu příhr. konstr.
(3)	4.41	± 0.06	1. tvar svislého ohybového kmitání mostu
(4)	5.78	± 0.06	1. tvar kroutivého kmitání mostu
(5)	6.84	± 0.06	tvar kmitání horního pásu příhradové konstrukce

Tab. 7 Vyhodnocené frekvence vlastního kmitání $f_{(j)}$ zkoumaného mostního objektu.

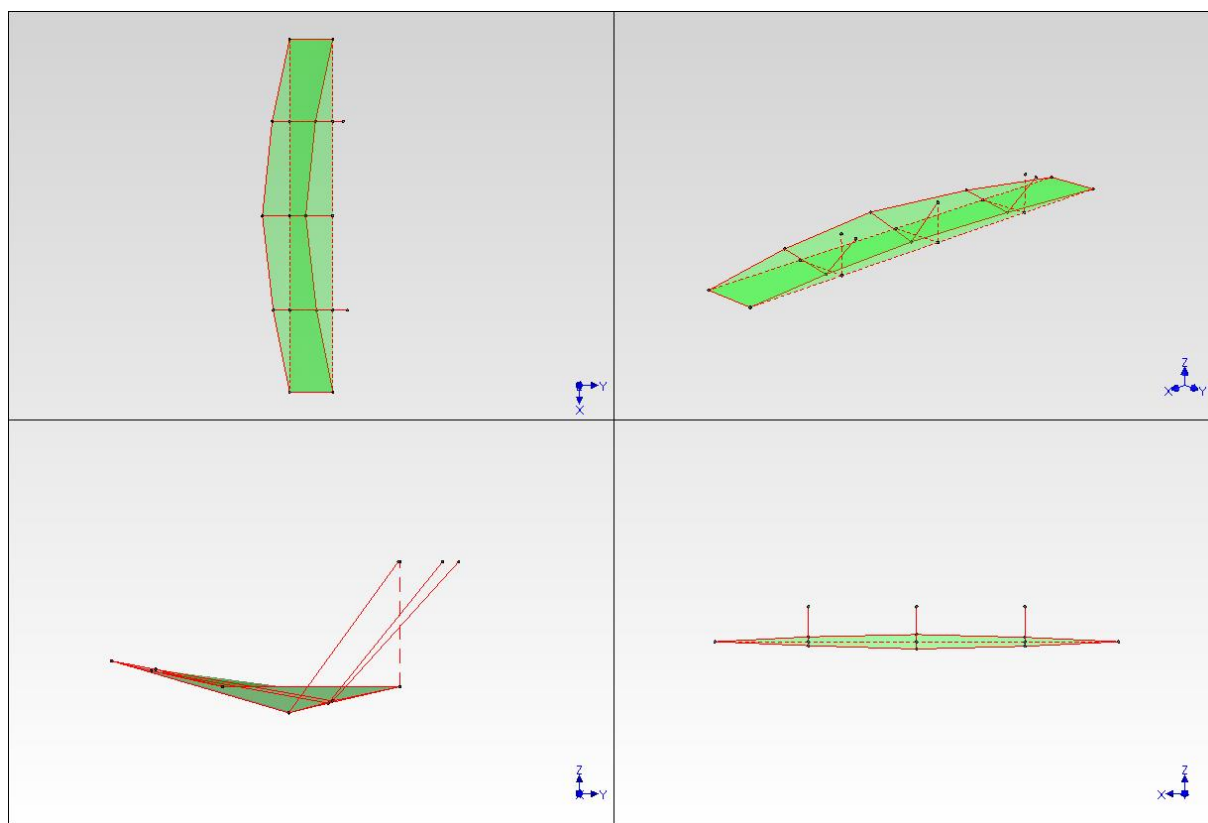
Poznámka: Výsledky zkoušky jsou ovlivněny nepřesnostmi měření. Rozšířená nejistota $U_{k=2}$ určuje interval vyhodnocené veličiny, který představuje pravděpodobnost pokrytí cca. 95%.



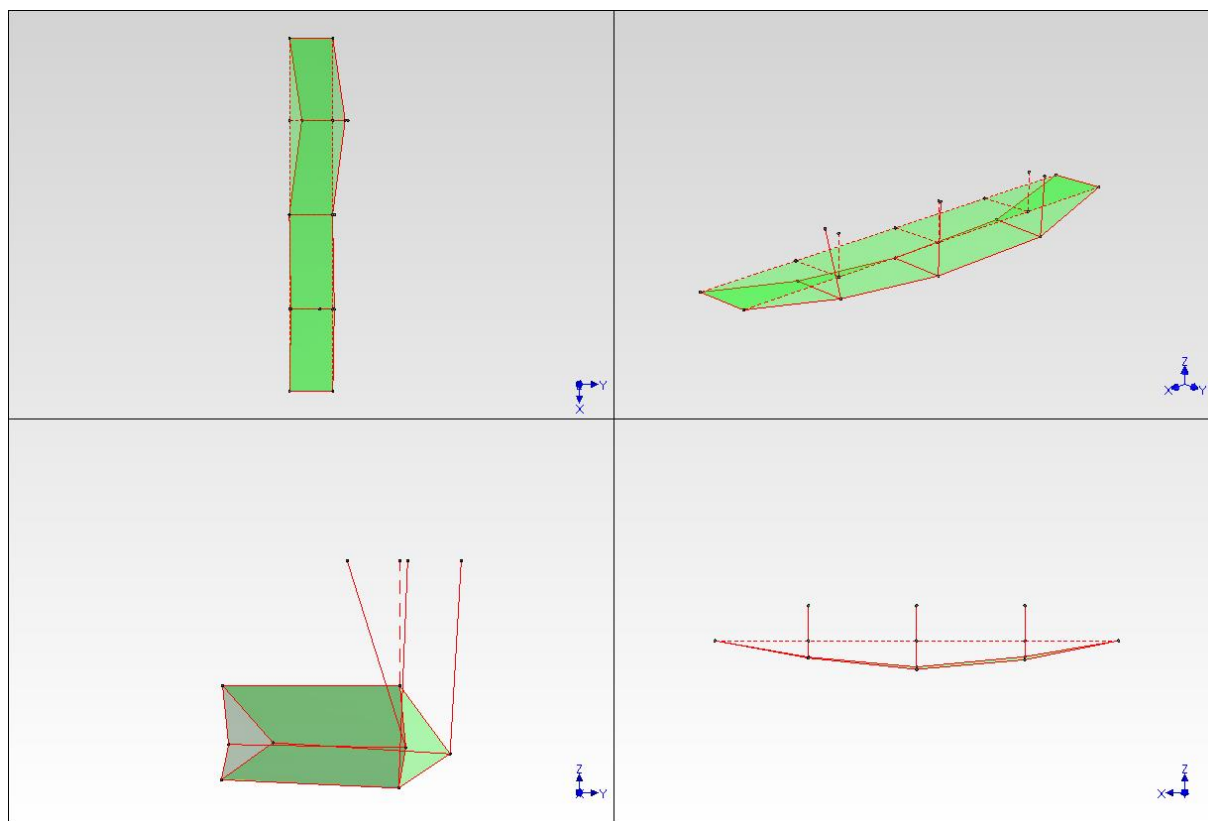
Obr. 29 Complex Mode Indicator Function (CMIF) s vyznačenými vlastními frekvencemi



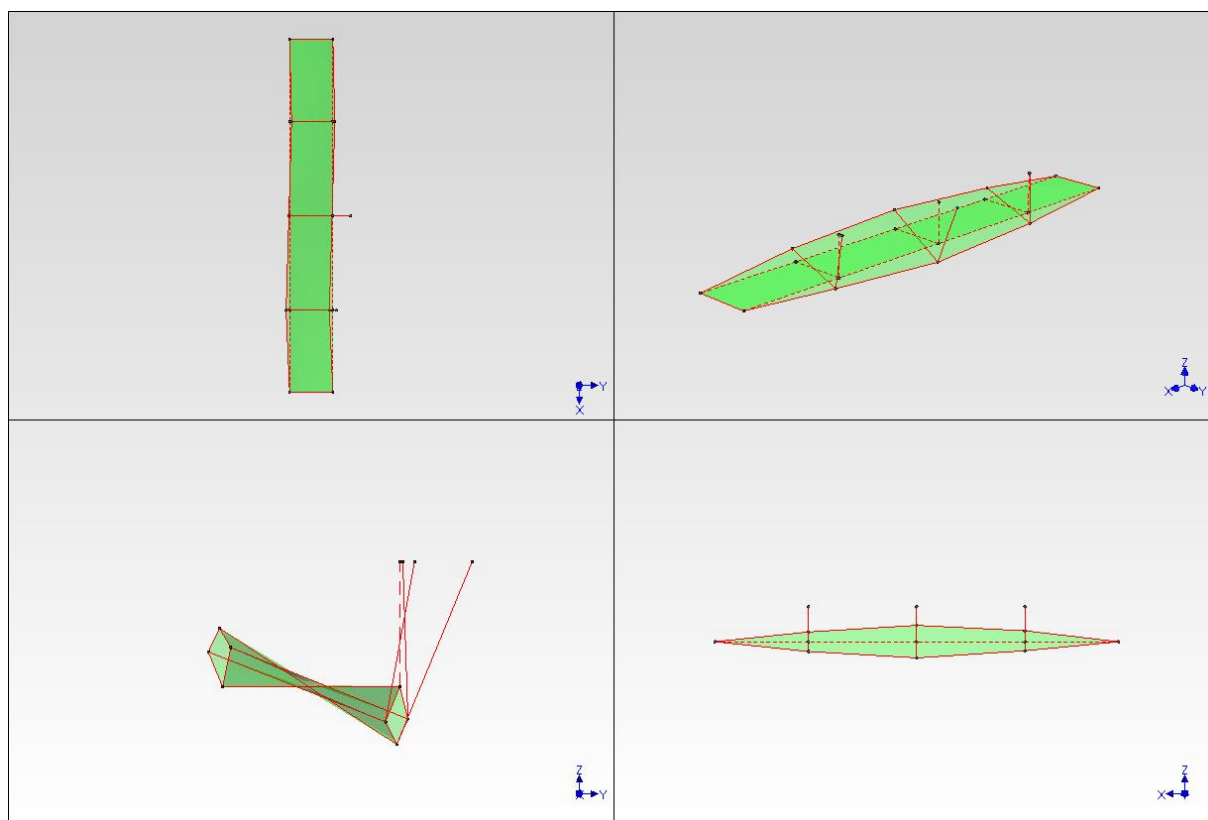
Obr. 30 1. změřený tvar vlastního kmitání, $f_{(1)} = 2,09$ Hz.



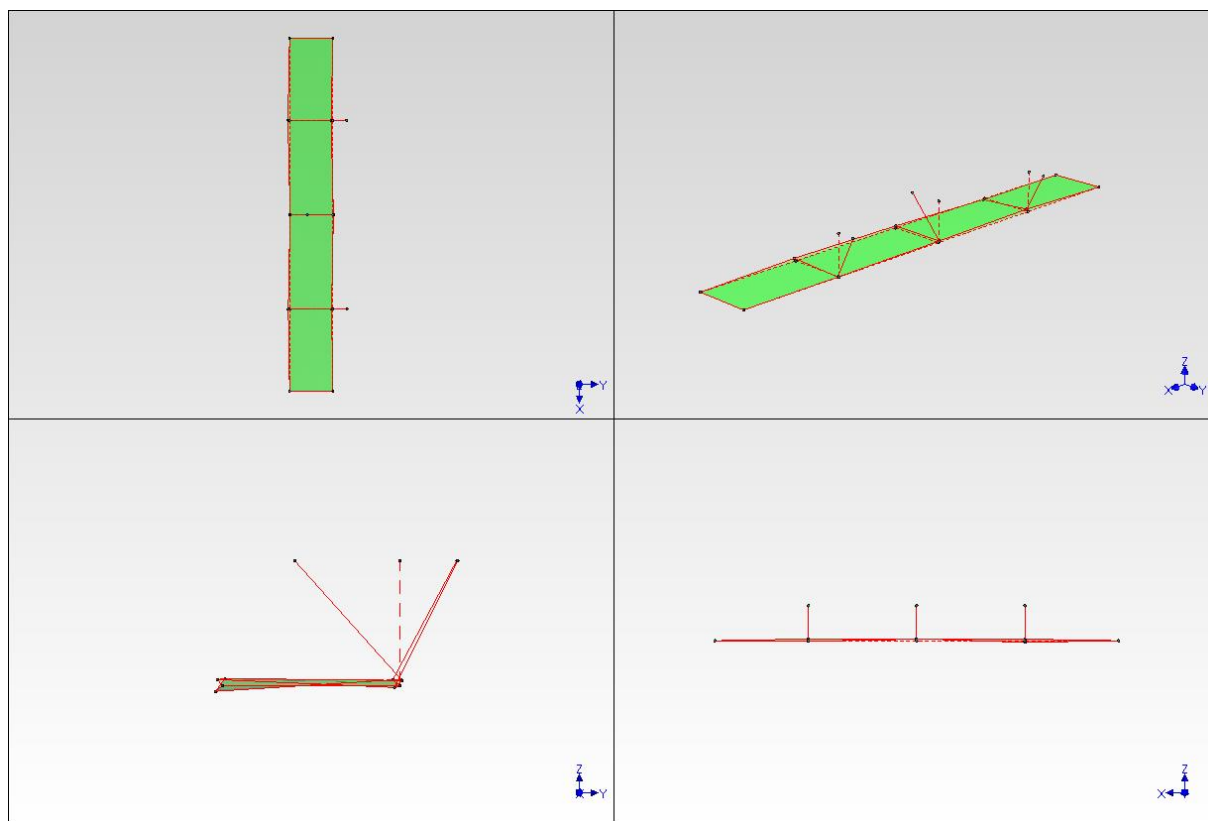
Obr. 31 2. změřený tvar vlastního kmitání, $f_{(2)} = 3,34 \text{ Hz}$.



Obr. 32 3. změřený tvar vlastního kmitání, $f_{(3)} = 4,41 \text{ Hz}$.



Obr. 33 4. změřený tvar vlastního kmitání, $f_{(4)} = 5,78 \text{ Hz}$.



Obr. 34 5. změřený tvar vlastního kmitání, $f_{(5)} = 6,84 \text{ Hz}$.

6.3.3. Porovnání experiment – měření

Frekvence a tvary vlastního kmitání vyhodnocené při dynamické zatěžovací zkoušce byly porovnány s vypočtenými frekvencemi a tvary vlastního kmitání určenými v dynamickém výpočtu mostu. Cílem tohoto porovnání bylo zpřesnění charakteristik MKP modelu.

Pro porovnání bylo použito kritérií z normy ČSN 736209 změna Z1. Odchylka porovnávaných vlastních frekvencí $\Delta_{(j)}$ se počítá na základě vzorce uvedeného v ČSN 736209 pod číslem (10).

$$\Delta_{(j)} = \frac{f_{(j)cal} - f_{(j)obs}}{f_{(j)cal}} \cdot 100 \quad [\%]. \quad (1)$$

Přípustné mezní odchylky jsou stanoveny v Tabulce 1 z ČSN 73 6209 změna Z1. Pro nejnižší ověřovanou vlastní frekvenci $f_{(min)cal}$, která je příslušná ke globálnímu vlastnímu tvaru hlavní nosné konstrukce s dominantními pořadnicemi ve svislém směru, je stanoven interval +10 až -15 %, pro kteroukoliv vyšší ověřovanou vlastní frekvenci $f_{(j)cal}$ je interval vymezen výrazem

$$\pm \left(14 + \frac{f_{(j)cal}}{f_{(min)cal}} \right) \leq \pm 25 \quad [\%]. \quad (2)$$

Pro vyšetřovaný mostní objekt je porovnání odpovídajících si změřených a vypočtených frekvencí vlastního kmitání pomocí odchylky $\Delta_{(j)}$ uvedeno v Tab. 8. V této tabulce jsou pro porovnané vlastní frekvence uvedeny i mezní odchylky určené na základě vzorce (2).

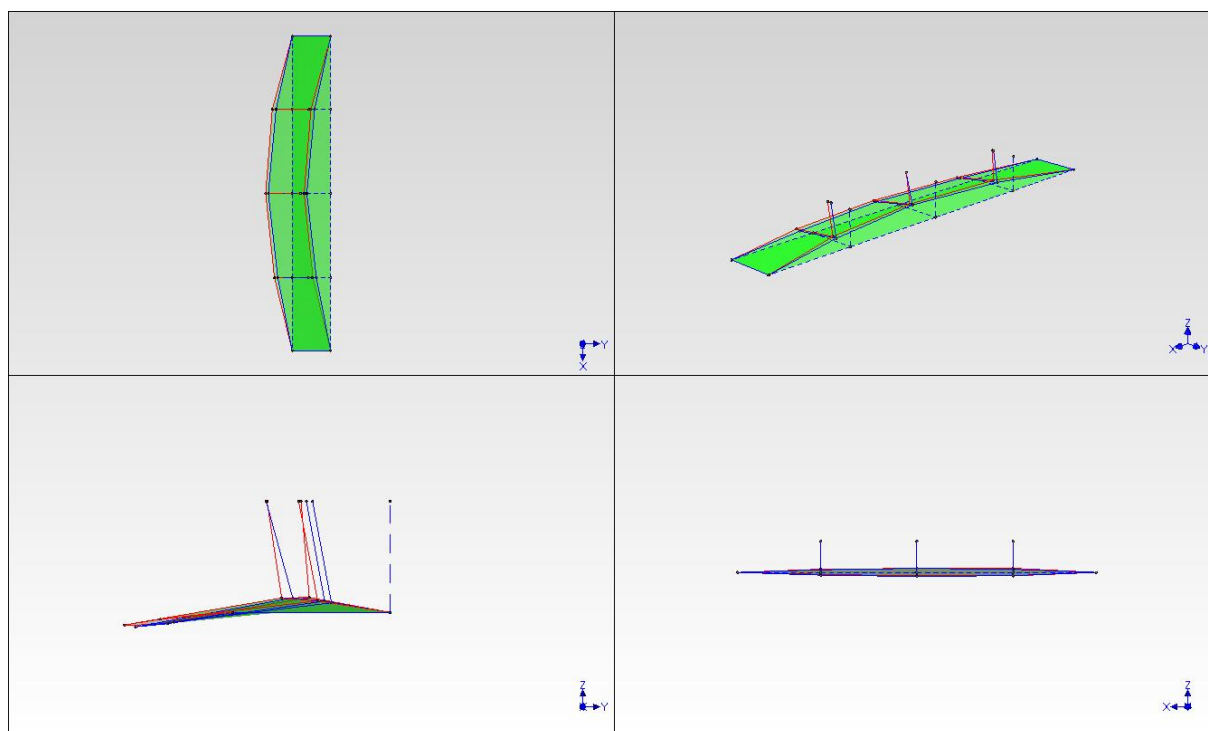
Vzájemné přiřazení srovnávaných dvojic vlastních frekvencí bylo provedeno na základě vizuálně posouzené podobnosti experimentálně určených a teoretických vlastních tvarů (viz Obr. 35 až Obr. 39). Pro lepší porovnání byly z vypočítaných vlastních tvarů vybrány pořadnice ve stejných bodech a směrech, v jakých bylo na reálné konstrukci měřeno.

Vlastní frekvence vypočtené		Vlastní frekvence naměřené			Odchylka vlastních frekvencí	Přípustná mezní odchylka frekvencí
Poř. č.	$f_{(j)}$	Poř. č.	$f_{(j)}$	Rozšířená nejistota $U_{k=2}$	$\Delta_{(j)}$	$\Delta_{(j)}$
(j)	[Hz]	(j)	[Hz]	[Hz]	[%]	[%]
(1)	2.03	(1)	2.09	+/- 0.06	-3.0 +/- 2.9	+10 ; -15
(2)	2.85	(2)	3.34	+/- 0.06	-17.2 +/- 1.8	+10 ; -15
(3)	4.15		x	+/- 0.06		+10 ; -15
(4)	4.35	(3)	4.41	+/- 0.06	-1.4 +/- 1.4	+/- 15.0
(5)	5.15		x	+/- 0.06		+/- 15.2
(6)	5.28	(4)	5.78	+/- 0.06	-9.5 +/- 1.0	+/- 15.3
(7)	6.41	(5)	6.84	+/- 0.06	-6.7 +/- 0.9	+/- 15.5

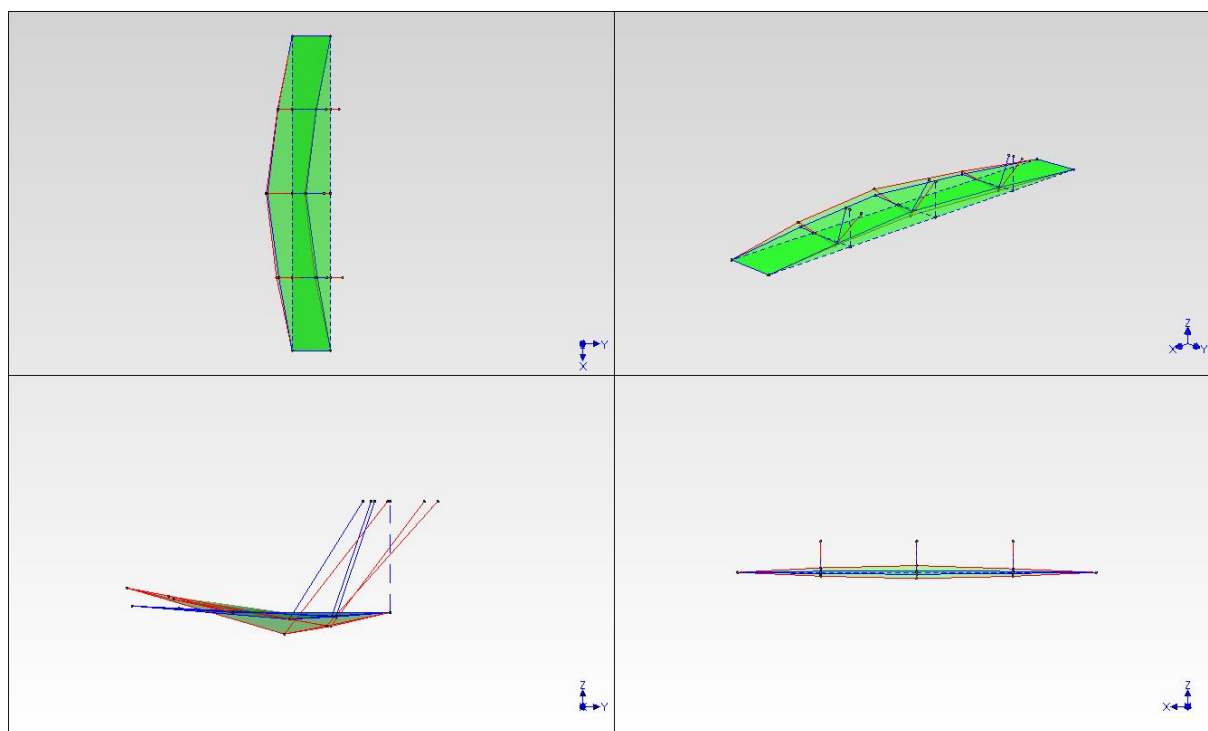
Tab. 8 Porovnání odpovídajících si vypočtených a naměřených frekvencí vlastního kmitání pomocí odchylky $\Delta_{(j)}$ sledovaného mostního objektu.

Poznámka: Výsledky zkoušky jsou ovlivněny nepřesnostmi měření. Rozšířená nejistota $U_{k=2}$ určuje interval vyhodnocené veličiny, který představuje pravděpodobnost pokrytí cca. 95%.
x – Tyto frekvence a tvary vlastního kmitání nebyly při orientační modální analýze naměřeny. Jedná se o tvary s převažující vodorovnou složkou kmitání, které byly přejezdem zkušební soupravy s převažujícími svislými účinky obtížně vybuditelné.

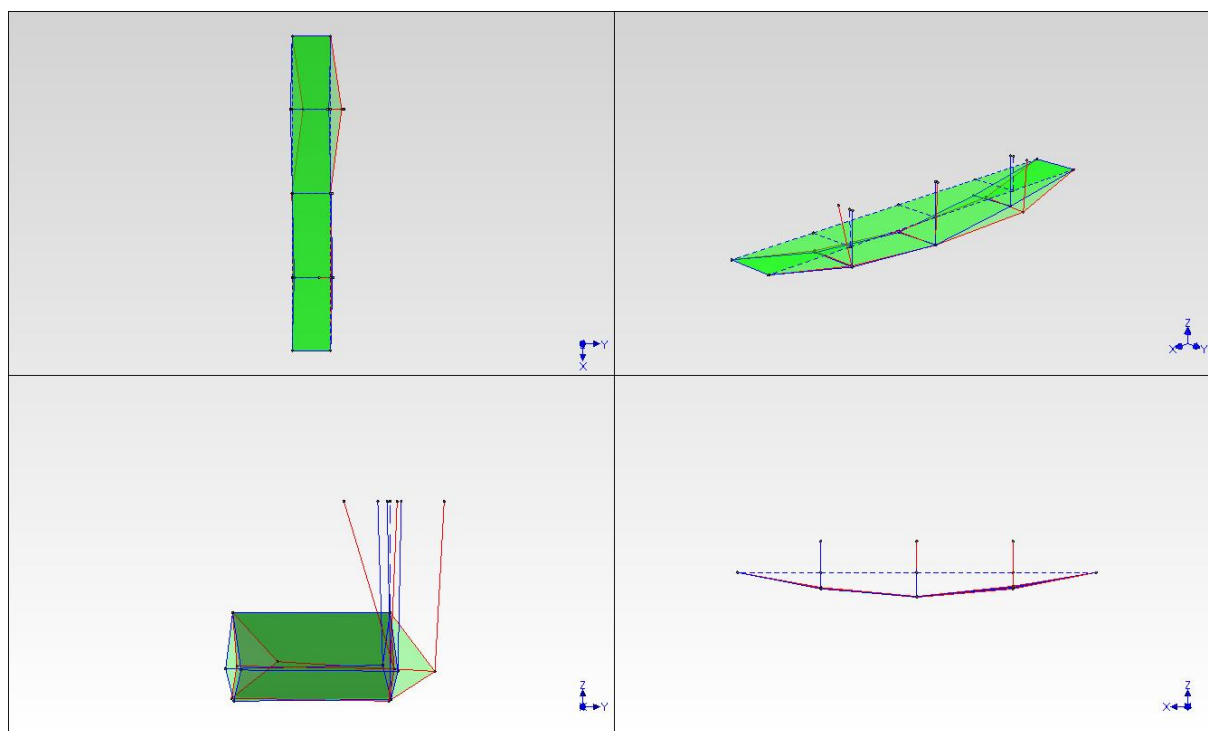
Jak je patrné z Obr. 35 až Obr. 39, teoretické vlastní tvary kmitání mají shodný počet uzlových linií se zkouškou zjištěnými vlastními tvary a linie leží ve shodných polích konstrukce, všechny porovnávané dvojice vlastních tvarů vykazují velmi dobrou shodu. Jak je z Tab. 8 patrné, odchylka $\Delta_{(j)}$ překračuje mezní odchylku pro dvojici porovnávaných frekvencí příslušných k 2. tvaru vlastního kmitání, pro ostatní porovnávané frekvence je toto kritérium splněno.



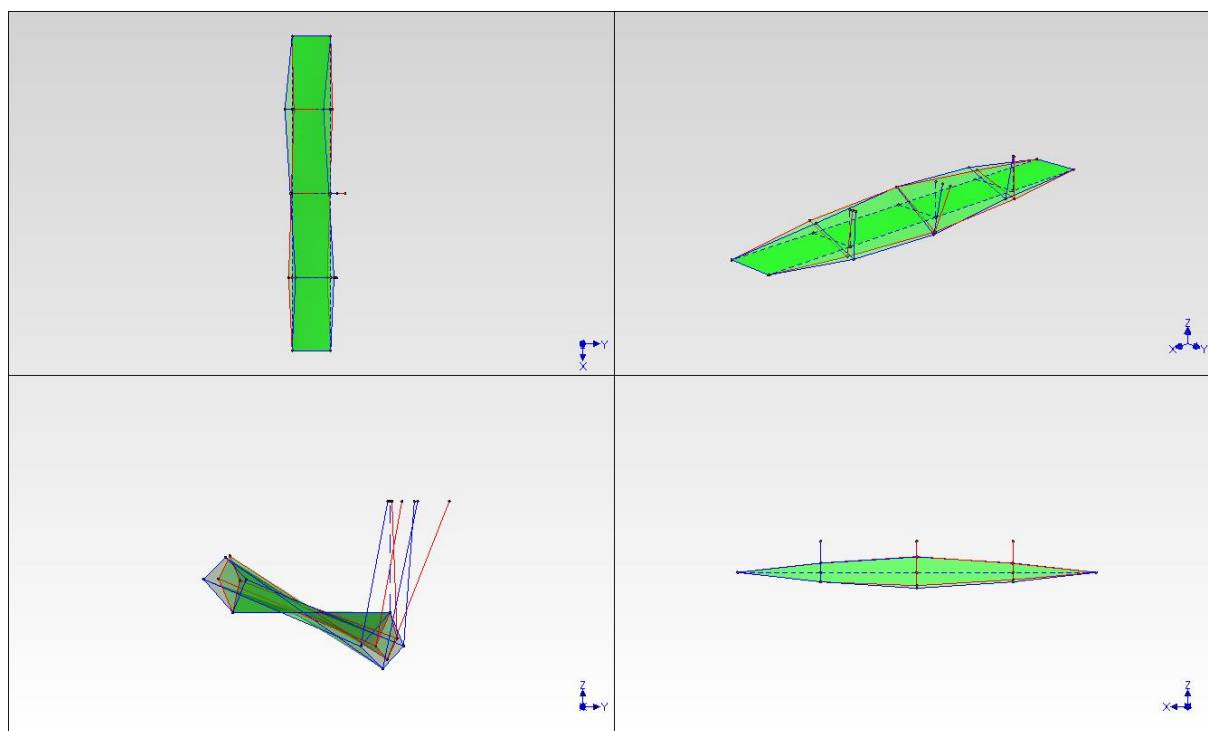
Obr. 35 Porovnání 1. vypočteného tvaru (modře) a 1. změřeného tvar (červeně) vlastního kmitání mostu.



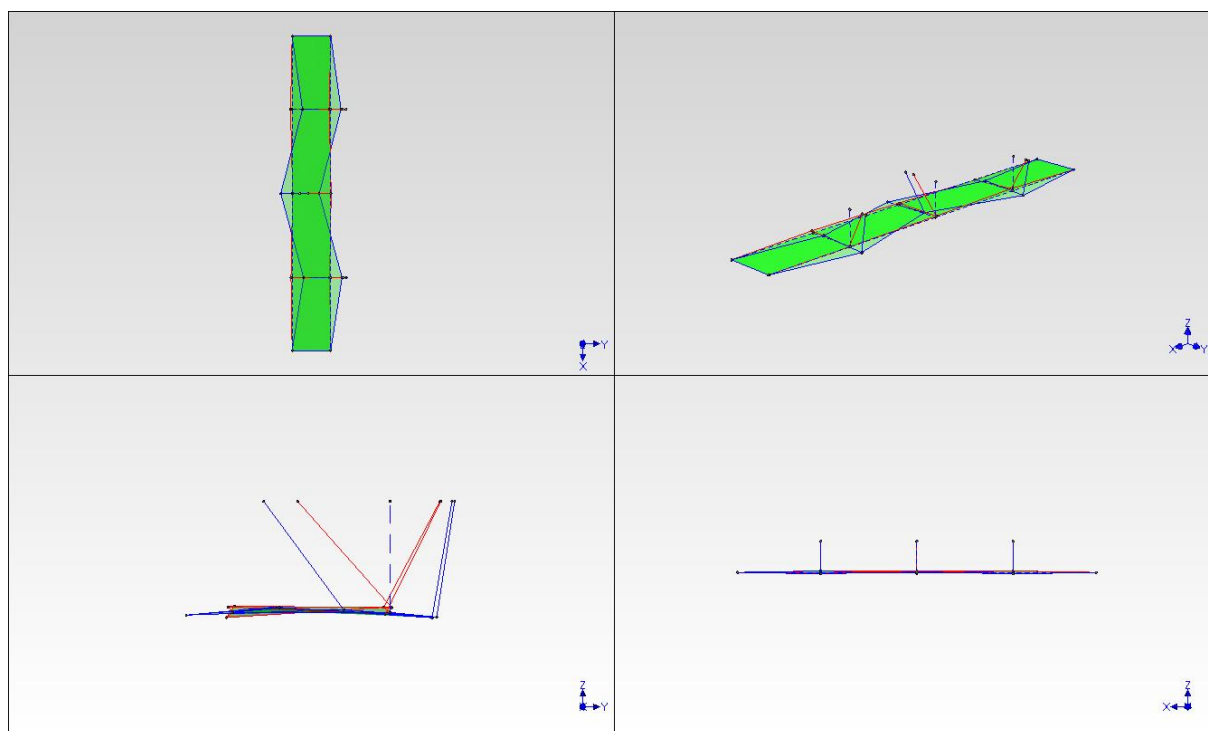
Obr. 36 Porovnání 2. vypočteného tvaru (modře) a 2. změřeného tvar (červeně) vlastního kmitání mostu.



Obr. 37 Porovnání 4. vypočteného tvaru (modře) a 3. změřeného tvar (červeně) vlastního kmitání mostu.



Obr. 38 Porovnání 6. vypočteného tvaru (modře) a 4. změřeného tvar (červeně) vlastního kmitání mostu.



Obr. 39 Porovnání 7. vypočteného tvaru (modře) a 5. změřeného tvar (červeně) vlastního kmitání mostu.

6.4. Vynucené kmitání – přejezdy břemen

Z každého pořízeného záznamu kmitání, které bylo vyvoláno přejezdy zkušebních železničních vozidel po mostovce mostu, bylo vyhodnoceno:

- pět extrémních výkmitů napětí v každém bodu mostní konstrukce, do kterého byl nalepen odporový tenzometr,
- pět extrémních výkmitů průhybu v každém bodu, do kterého byl umístěn snímač průhybu,
- pět extrémních výkmitů zrychlení v každém bodu, ve kterém byl umístěn snímač zrychlení.

Pro přepočet poměrných deformací na napětí byl použit modul pružnosti $E = 200 \text{ GPa}$, který odpovídá plávkové oceli a provedeným materiálovým zkouškám. Extrémní vyhodnocené výkmity napětí jsou číselně uvedeny v Tab. 9 až Tab. 14. V tabulkách Tab. 15 až Tab. 18 jsou uvedeny hodnoty výkmitů deformací a zrychlení.

Zatěž. stav	Extrémní výkmity napětí								
	C1		C2		S5B	S6B	S5U		S6U
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
DZS0	-2.3	9.6	-3.1	2.4	2.7	2.9	-0.4	2.5	1.8
DZS1	-2.6	9.7	-4.4	2.4	3.0	3.0	-0.6	2.6	3.1
DZS2	-2.6	10.3	-4.7	2.3	3.0	3.0	-0.9	2.6	3.4
DZS3	-0.4	4.1	-6.1	3.3	21.7	7.7	-14.6	5.7	11.9
DZS4	-0.3	5.0	-6.2	3.8	22.1	7.5	-14.6	5.8	12.0
DZS5	-1.3	5.8	-6.9	3.9	23.8	7.9	-15.0	6.0	12.1
BZS1	-0.5	4.4	-6.1	3.7	21.8	7.3	-15.8	8.0	12.7
BZS2	-1.1	4.1	-5.5	3.3	20.7	8.1	-12.7	7.5	12.5
BZS3	-2.7	10.7	-5.8	2.5	3.1	3.2	-0.5	2.8	3.3
BZS4	-2.3	11.3	-6.2	2.0	2.9	3.0	-0.7	2.4	3.2
BZS5	-2.0	11.0	-5.3	2.3	3.0	3.1	-0.9	2.7	3.4

Pozn.: Pro tenzometry S5B, S6B a S6U jsou uvedeny pouze výkmity pro dominantní způsob dynamického namáhání.

Pro tenzometry C1, C2 a S5U jsou uvedeny výkmity pro oba způsoby dynamického namáhání.

Tab. 9 Extrémní výkmity napětí vyhodnocené při přejezdech zkušebních železničních vozidel (tenzometry C1, C2, S5B, S6B, S5U a S6U (měřicí ústředna Dewetron)).

Rekonstrukce železničních mostů pod Vyšehradem
Statická a dynamická ověřovací zatěžovací zkouška mostu

Popis záznamu	Extrémní výkmity napětí							
	C3	C4	C5	C6	C7		C8	
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
DZS0	-12.0	-9.4	6.5	6.3	4.5	-0.7	2.8	-6.5
DZS1	-11.9	-9.5	6.5	6.5	4.7	-0.7	2.6	-6.5
DZS2	-11.8	-9.7	7.1	6.0	4.0	-0.7	3.2	-6.3
DZS3	-10.0	-8.3	5.4	4.0	8.9	-1.5	1.5	-5.6
DZS4	-9.8	-8.3	5.3	3.6	9.5	-1.3	1.5	-6.4
DZS5	-9.7	-9.1	6.3	3.8	9.3	-1.3	1.7	-5.9
BZS1	-10.1	-7.9	4.8	3.7	10.9	-1.1	0.8	-7.7
BZS2	-0.5	-1.3	0.7	0.4	3.3	-0.7	0.4	-1.9
BZS3	-11.6	-9.9	7.0	5.9	4.2	-0.8	2.9	-6.7
BZS4	-11.7	-9.7	6.9	6.2	4.1	-0.7	2.9	-7.1
BZS5	-0.5	-1.2	1.0	0.4	1.9	-0.8	0.4	-5.2
BZS1 OD	-0.8	-1.4	0.4	0.4	7.6	-0.7	0.0	-4.6
BZS2 OD	-10.1	-7.6	7.6	6.4	9.9	-2.1	1.6	-6.4
BZS3 OD	-11.5	-9.5	9.2	8.9	5.4	-0.7	4.8	-6.8
BZS4 OD	-12.5	-9.6	6.3	6.6	4.9	-0.7	0.4	-6.7
BZS5 OD	-11.3	-9.7	8.6	8.8	5.4	-1.0	5.6	-6.9
DZS0 ZP	-11.6	-9.5	25.2	25.8	19.7	-0.7	15.9	-6.1
DZS1 ZP	-10.8	-9.4	9.9	9.0	6.8	-0.7	5.0	-6.2
DZS2 ZP	-11.3	-9.7	6.8	6.8	4.7	-0.9	2.8	-6.3
DZS3 ZP	-9.8	-7.8	7.2	6.0	8.4	-2.0	1.6	-6.0
DZS4 ZP	-9.7	-7.8	8.9	7.1	9.8	-1.4	1.5	-6.5
DZS5 ZP	-9.7	-8.0	5.0	4.1	10.3	-1.9	1.6	-5.9

Pozn.: BZS1 OD – označuje záznam kmitání mostu způsobeného rozjezdem a odjezdem zkušebního železničního vozidla z mostu po zatěžovacím stavu BZS1.

DZS0 ZP – označuje záznam kmitání mostu způsobeného přejezdem zkušebního vozidla přes most nedefinovanou rychlostí po zatěžovacím stavu DZS0.

Pro tenzometry C3 až C6 jsou uvedeny pouze výkmity pro dominantní způsob dynamického namáhání.

Pro záznam DZS2 byly extrémní výkmity vyhodnoceny pouze z části záznamu neovlivněné rušením při průjezdu tramvaje.

Pro tenzometry C7 a C8 jsou uvedeny výkmity pro oba způsoby dynamického namáhání.

Tab. 10 Extrémní výkmity napětí vyhodnocené při přejezdech zkušebními železničními vozidly (tenzometry C3 až C8 (měřicí ústředna EMS)).



Popis záznamu	Extrémní výkmity napětí							
	S1U [MPa]	S2U [MPa]	S3U [MPa]	S4U [MPa]	S1B [MPa]	S2B [MPa]	S3B [MPa]	S4B [MPa]
DZS0	-2.0	3.0	-1.5	2.3	3.7	3.1	2.1	2.9
DZS1	-1.4	2.9	-1.1	2.4	3.7	3.2	2.7	3.2
DZS2	-1.4	3.6	-0.8	3.0	4.6	4.1	3.5	3.4
DZS3	-12.0	10.2	-13.1	8.2	20.9	9.1	23.6	9.3
DZS4	-12.2	10.2	-12.6	8.1	20.7	8.8	23.0	9.2
DZS5	-11.2	10.6	-12.8	8.0	20.2	9.0	23.4	9.2
BZS1	-13.0	10.0	-12.4	7.9	22.2	9.1	22.4	9.0
BZS2	-0.9	1.7	-1.0	1.5	1.6	1.0	1.5	1.4
BZS3	-1.6	3.1	-0.8	2.5	3.8	2.7	2.8	3.2
BZS4	-1.9	3.1	-0.9	2.3	3.7	3.1	2.7	3.3
BZS5	-0.7	1.6	-0.7	1.6	2.4	1.3	1.7	1.1
BZS1 OD	-1.6	2.6	-1.0	1.6	3.0	1.0	2.0	1.6
BZS2 OD	-9.9	12.2	-12.6	8.3	22.0	10.1	24.8	9.4
BZS3 OD	-1.8	9.5	-1.1	6.7	8.6	6.2	5.4	5.0
BZS4 OD	-1.9	3.1	-0.9	2.1	3.5	2.5	2.2	3.1
BZS5 OD	-1.9	4.7	-0.9	3.7	3.6	2.6	2.2	2.9
DZS0 ZP	-2.0	23.2	-0.8	18.9	19.8	16.3	11.6	8.7
DZS1 ZP	-1.5	4.9	-1.0	5.7	7.0	5.9	4.3	3.2
DZS2 ZP	-2.0	4.0	-1.2	2.4	5.1	3.5	3.4	3.8
DZS3 ZP	-10.5	10.9	-12.3	8.3	21.4	9.5	23.9	9.3
DZS4 ZP	-10.4	10.8	-12.1	8.3	21.1	9.7	23.8	9.3
DZS5 ZP	-10.1	11.0	-12.1	8.3	20.8	9.7	24.0	9.6

Pozn.: BZS1 OD – označuje záznam kmitání mostu způsobeného rozjezdem a odjezdem zkušebního železničního vozidla z mostu po zatěžovacím stavu BZS1.

DZS0 ZP – označuje záznam kmitání mostu způsobeného přejezdem zkušebního vozidla přes most nedefinovanou rychlostí po zatěžovacím stavu DZS0.

Pro záznam DZS2 byly extrémní výkmity vyhodnoceny pouze z části záznamu neovlivněné rušením při průjezdu tramvaje.

V tabulce jsou uvedeny pouze výkmity pro dominantní způsob dynamického namáhání v jednotlivých sledovaných místech.

Tab. 11 Extrémní výkmity napětí vyhodnocené při přejezdech zkušebních železničních vozidel (tenzometry S1U až S4U a S1B až S4B (měřicí ústředna EMS)).

Popis záznamu	Extrémní výkmity napětí					
	GDO21 [MPa]	GDO22 [MPa]	GDO23 [MPa]	GDO24 [MPa]	GDO25 [MPa]	GDO31 [MPa]
DZS0	9.7	6.9	10.7	6.1	10.8	6.6
DZS1	9.5	7.5	10.2	5.9	10.3	5.8
DZS2	9.7	7.4	10.2	5.8	11.7	6.8
DZS3	20.1	23.1	21.2	16.3	18.0	10.8
DZS4	20.3	18.6	23.6	16.1	18.3	10.8
DZS5	20.0	19.1	22.1	15.8	19.0	11.4
BZS1	20.4	18.6	23.7	15.9	17.9	11.0
BZS2	5.2	5.8	6.2	4.9	0.9	0.8
BZS3	9.6	7.2	10.3	5.9	10.7	6.4
BZS4	9.7	7.2	10.3	6.0	10.5	6.1
BZS5	5.9	5.6	6.3	4.8	4.3	2.7
BZS1 OD	12.4	13.2	13.7	10.6	2.8	2.2
BZS2 OD	20.3	5.6	23.0	16.0	18.5	10.9
BZS3 OD	9.9	7.3	10.2	6.0	11.4	6.5
BZS4 OD	9.5	7.4	10.7	6.0	10.9	6.5
BZS5 OD	9.4	7.3	10.2	6.0	10.7	6.0
DZS0 ZP	10.0	7.4	8.5	5.8	10.6	6.5
DZS1 ZP	9.5	7.3	10.1	5.9	10.8	6.5
DZS2 ZP	9.7	7.6	10.2	5.9	11.1	6.4
DZS3 ZP	15.9	18.5	23.1	0.5	18.2	10.8
DZS4 ZP	20.3	0.3	23.0	16.0	18.2	10.9
DZS5 ZP	20.1	18.5	23.0	16.1	18.1	10.7

Pozn.: BZS1 OD – označuje záznam kmitání mostu způsobeného rozjezdem a odjezdem zkušebního železničního vozidla z mostu po zatěžovacím stavu BZS1.

DZS0 ZP – označuje záznam kmitání mostu způsobeného přejezdem zkušebního vozidla přes most nedefinovanou rychlostí po zatěžovacím stavu DZS0.

Pro záznam DZS2 byly extrémní výkmity vyhodnoceny pouze z části záznamu neovlivněné rušením při průjezdu tramvaje.

V tabulce jsou uvedeny pouze výkmity pro dominantní způsob dynamického namáhání.

Tab. 12 Extrémní výkmity napětí vyhodnocené při přejezdech zkušebních železničních vozidel (tenzometry GD021 až GD031 (měřicí ústředna EMS)).

Rekonstrukce železničních mostů pod Vyšehradem
Statická a dynamická ověřovací zatěžovací zkouška mostu

Popis záznamu	Extrémní výkmity napětí							
	GDO71		GDO72		GDO73		GDO74	
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
DZS0	11.1	-2.5	3.7	-5.1	13.6	-4.8	4.2	-5.5
DZS1	10.6	-4.2	4.0	-4.8	12.7	-4.6	3.8	-5.4
DZS2	11.0	-3.5	4.3	-4.5	13.0	-4.3	4.0	-4.8
DZS3	19.5	-10.6	13.8	-7.1	21.6	-11.2	15.0	-8.3
DZS4	19.8	-10.1	14.6	-7.6	21.8	-11.2	15.8	-8.5
DZS5	20.4	-9.9	15.1	-7.7	22.8	-10.4	16.1	-7.8
BZS1	11.5	-10.1	10.9	-8.1	16.1	-11.0	12.2	-8.2
BZS2	7.9	-0.7	9.8	-0.8	9.2	-1.0	10.0	-1.0
BZS3	11.5	-4.0	4.7	-4.7	13.9	-4.7	4.7	-5.3
BZS4	3.8	-4.0	0.9	-4.8	6.9	-4.6	1.3	-5.4
BZS5	11.3	-0.8	4.7	-0.7	14.2	-1.0	4.6	-1.0
BZS1 OD	19.8	-0.4	10.4	-1.3	22.0	-0.6	14.9	-1.5
BZS2 OD	19.5	-9.8	10.0	-6.9	21.7	-10.2	15.8	-7.3
BZS3 OD	10.8	-4.2	4.3	-5.0	13.1	-4.6	4.5	-5.7
BZS4 OD	10.8	-4.4	4.0	-4.8	13.2	-4.8	4.0	-5.4
BZS5 OD	10.5	-3.9	4.1	-4.5	13.8	-4.3	4.4	-5.0
DZS0 ZP	10.8	-4.3	4.1	-4.9	12.8	-5.2	3.8	-5.8
DZS1 ZP	2.5	-3.7	4.2	-4.4	13.6	-4.2	4.4	-4.7
DZS2 ZP	10.9	-3.7	4.4	-4.6	13.1	-4.2	4.3	-5.2
DZS3 ZP	19.6	-5.3	14.2	-6.5	1.0	-4.4	15.7	-6.5
DZS4 ZP	19.4	-10.1	1.2	-7.6	21.8	-10.8	15.8	-8.1
DZS5 ZP	19.4	-5.8	14.5	-6.4	21.8	-4.7	15.7	-8.0

Pozn.: BZS1 OD – označuje záznam kmitání mostu způsobeného rozjezdem a odjezdem zkušebního železničního vozidla z mostu po zatěžovacím stavu BZS1.

DZS0 ZP – označuje záznam kmitání mostu způsobeného přejezdem zkušebního vozidla přes most nedefinovanou rychlostí po zatěžovacím stavu DZS0.

Pro záznam DZS2 byly extrémní výkmity vyhodnoceny pouze z části záznamu neovlivněné rušením při průjezdu tramvaje.

V tabulce jsou uvedeny výkmity pro oba způsoby dynamického namáhání.

Tab. 13 Extrémní výkmity napětí vyhodnocené při přejezdech zkušebních železničních vozidel (tenzometry GD071 až GD074 (měřicí ústředna EMS)).



Rekonstrukce železničních mostů pod Vyšehradem
Statická a dynamická ověřovací zatěžovací zkouška mostu

Popis záznamu	Extrémní výkmity napětí							
	GB081 [MPa]	GB082 [MPa]	GB083 [MPa]	GB084 [MPa]	GB085 [MPa]	GB086 [MPa]	GB087 [MPa]	GB088 [MPa]
DZS0	14.2	14.1	15.0	14.3	9.2	11.7	10.3	10.6
DZS1	10.4	10.2	10.8	10.3	9.0	10.4	9.8	9.2
DZS2	12.9	12.7	13.6	12.8	7.1	8.9	8.2	7.9
DZS3	6.0	6.4	6.0	7.2	9.9	12.7	10.5	13.0
DZS4	6.2	6.6	6.2	7.0	9.8	11.9	10.6	13.3
DZS5	7.5	7.5	7.5	8.2	10.3	13.5	11.7	13.8
BZS1	7.5	7.5	7.6	9.0	12.1	15.8	12.6	14.6
BZS2	3.7	3.6	3.5	3.7	5.7	6.0	5.3	6.0
BZS3	13.5	13.5	14.1	12.6	8.0	9.2	8.9	8.6
BZS4	12.6	13.0	14.1	12.3	7.9	10.2	9.3	9.8
BZS5	13.1	12.9	14.2	12.9	7.8	9.1	9.1	8.5
BZS1 OD	6.3	6.4	6.3	7.3	10.0	14.8	11.7	13.0
BZS2 OD	8.4	7.9	8.9	8.8	11.8	13.6	11.5	13.4
BZS3 OD	11.4	11.7	12.7	12.9	11.4	14.5	12.5	13.7
BZS4 OD	12.4	12.4	15.5	14.3	10.0	12.3	11.3	11.7
BZS5 OD	13.3	13.3	14.6	13.3	8.9	10.5	10.1	9.3
DZS0 ZP	13.4	12.3	16.9	15.4	11.6	15.1	12.9	14.1
DZS1 ZP	13.6	13.6	15.8	13.7	9.9	12.6	11.0	11.4
DZS2 ZP	12.3	12.2	13.5	12.3	7.8	9.9	8.9	9.4
DZS3 ZP	6.7	7.0	6.7	8.0	10.7	13.1	10.9	12.8
DZS4 ZP	6.8	7.2	6.8	8.1	11.1	13.3	10.9	13.5
DZS5 ZP	8.1	8.6	8.4	9.7	12.6	16.3	13.1	15.2

Pozn.: BZS1 OD – označuje záznam kmitání mostu způsobeného rozjezdem a odjezdem zkušebního železničního vozidla z mostu po zatěžovacím stavu BZS1.

DZS0 ZP – označuje záznam kmitání mostu způsobeného přejezdem zkušebního vozidla přes most nedefinovanou rychlostí po zatěžovacím stavu DZS0.

Pro záznam DZS2 byly extrémní výkmity vyhodnoceny pouze z části záznamu neovlivněné rušením při průjezdu tramvaje.

V tabulce jsou uvedeny pouze výkmity pro dominantní způsob dynamického namáhání.

Přesnost výsledků získaných snímači GB085 a GB086 je oproti ostatním snímačům zhoršena vyšší časovou nestabilitou kvazistatické hodnoty na těchto dvou měřených místech.

Tab. 14 Extrémní výkmity napětí vyhodnocené při přejezdech zkušebních železničních vozidel (tenzometry GB081 až GB088 (měřicí ústředna EMS)).



Rekonstrukce železničních mostů pod Vyšehradem
Statická a dynamická ověřovací zatěžovací zkouška mostu

Zatěž. stav	Extrémní výkmity průhybů								
	ISD1	ISD2	ISD3	ISD4	ISD5	ISD6	ISD7	ISD8	ISD9
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
DZS0	0.96	1.32	0.22	0.73	1.01	0.74	0.57	0.72	0.16
DZS1	0.94	1.32	0.38	0.54	0.92	0.74	0.55	0.70	0.16
DZS2	0.93	1.35	0.38	0.53	0.98	0.77	0.55	0.72	0.16
DZS3	0.67	0.78	0.16	0.65	0.87	0.74	0.87	1.20	0.33
DZS4	0.68	0.82	0.15	0.64	0.83	0.72	0.84	1.21	0.34
DZS5	0.75	0.84	0.17	0.65	0.90	0.79	0.87	1.24	0.38
BZS1	0.83	1.01	0.13	0.72	1.04	0.71	0.99	1.38	0.33
BZS2	1.00	1.15	0.12	1.07	1.27	0.08	1.16	1.36	0.11
BZS3	0.66	1.04	0.35	0.30	0.66	0.73	0.32	0.49	0.16
BZS4	0.91	1.36	0.31	0.53	0.91	0.70	0.53	0.75	0.16
BZS5	1.52	1.88	0.29	1.12	1.47	0.11	0.98	1.16	0.12

Pozn.: V tabulce jsou uvedeny pouze výkmity pro dominantní směr pohybu měřeného místa.

Tab. 15 Extrémní výkmity průhybů vyhodnocené při přejezdech zkušebních železničních vozidel (snímače průhybu ISD1 až ISD9 (měřicí ústředna Dewetron)).

Zatěž. stav	Extrémní výkmity vertikálních vibrací											
	A041Z		A042Z		A081Z		A082Z		A121Z		A122Z	
	Min. [m/s ²]	Max. [m/s ²]	Min. [m/s ²]	Max. [m/s ²]	Min. [m/s ²]	Max. [m/s ²]	Min. [m/s ²]	Max. [m/s ²]	Min. [m/s ²]	Max. [m/s ²]	Min. [m/s ²]	Max. [m/s ²]
DZS0	-0.23	0.22	-0.13	0.11	-0.17	0.17	-0.14	0.12	-0.23	0.23	-0.14	0.17
DZS1	-0.65	0.66	-0.36	0.34	-0.60	0.72	-0.37	0.34	-0.67	0.66	-0.50	0.46
DZS2	-1.05	1.02	-0.74	1.02	-0.84	0.99	-0.57	0.67	-0.87	0.87	-0.64	0.69
DZS3	-0.29	0.26	-0.33	0.32	-0.17	0.18	-0.30	0.24	-0.20	0.21	-0.39	0.38
DZS4	-0.42	0.38	-0.62	0.80	-0.30	0.27	-0.46	0.35	-0.51	0.52	-0.81	0.69
DZS5	-0.84	0.74	-1.37	1.44	-0.44	0.48	-0.99	0.71	-0.89	0.93	-1.24	1.42
BZS1	-0.43	0.49	-0.67	0.86	-0.38	0.30	-0.42	0.56	-0.29	0.32	-0.26	0.33
BZS2	-0.24	0.30	-0.30	0.29	-0.25	0.28	-0.32	0.44	-0.36	0.41	-0.69	0.84
BZS3	-1.00	0.78	-0.61	0.67	-0.68	0.76	-0.47	0.56	-0.54	0.59	-0.50	0.47
BZS4	-0.61	0.56	-0.36	0.30	-0.35	0.42	-0.35	0.27	-0.23	0.24	-0.17	0.20
BZS5	-0.36	0.32	-0.23	0.26	-0.43	0.46	-0.31	0.33	-0.73	0.71	-0.52	0.55
BZS1 OD	-0.27	0.20	-0.20	0.27	-0.22	0.18	-0.35	0.36	-0.38	0.49	-0.67	0.77
BZS2 OD	-0.33	0.28	-0.62	0.49	-0.26	0.23	-0.32	0.29	-0.23	0.27	-0.46	0.44
BZS4 OD	-0.57	0.60	-0.40	0.37	-0.66	0.62	-0.38	0.34	-0.24	0.29	-0.19	0.21
BZS5 OD	-0.70	0.65	-0.29	0.33	-0.46	0.41	-0.30	0.37	-0.24	0.24	-0.19	0.17

Tab. 16 Extrémní výkmity vertikálních vibrací (zrychlení) vyhodnocené při přejezdech zkušebních železničních vozidel (snímače zrychlení A041Z až A122Z (měřicí ústředna Pulse)) ve frekvenčním intervalu do 30 Hz.



Rekonstrukce železničních mostů pod Vyšehradem
Statická a dynamická ověřovací zatěžovací zkouška mostu

Zatěž. stav	Extrémní výkyny horizontálních vibrací					
	A041Y		A081Y		A121Y	
	Min. [m/s ²]	Max. [m/s ²]	Min. [m/s ²]	Max. [m/s ²]	Min. [m/s ²]	Max. [m/s ²]
DZS0	-0.17	0.15	-0.13	0.12	-0.14	0.13
DZS1	-0.49	0.45	-0.34	0.38	-0.30	0.36
DZS2	-0.69	0.72	-0.71	0.76	-0.55	0.53
DZS3	-0.39	0.37	-0.17	0.18	-0.21	0.23
DZS4	-0.41	0.48	-0.27	0.36	-0.35	0.30
DZS5	-0.82	0.66	-0.64	0.57	-0.62	0.76
BZS1	-0.38	0.31	-0.33	0.29	-0.22	0.20
BZS2	-0.16	0.21	-0.17	0.16	-0.41	0.34
BZS3	-0.69	0.60	-0.40	0.38	-0.44	0.42
BZS4	-0.52	0.41	-0.29	0.36	-0.21	0.19
BZS5	-0.19	0.21	-0.40	0.42	-0.42	0.42
BZS1 OD	-0.15	0.15	-0.27	0.25	-0.32	0.28
BZS2 OD	-0.32	0.31	-0.25	0.31	-0.25	0.26
BZS4 OD	-0.33	0.33	-0.24	0.29	-0.13	0.12
BZS5 OD	-0.36	0.36	-0.28	0.29	-0.17	0.19

Tab. 17 Extrémní výkyny horizontálních vibrací (zrychlení) vyhodnocené při přejezdech zkušebních železničních vozidel (snímače zrychlení A041Y až A121Y (měřicí ústředna Pulse)) ve frekvenčním intervalu do 30 Hz.

Zatěž. stav	Extrémní výkmity horizontálních vibrací					
	A044Y		A084Y		A124Y	
	Min. [m/s ²]	Max. [m/s ²]	Min. [m/s ²]	Max. [m/s ²]	Min. [m/s ²]	Max. [m/s ²]
DZS0	-0.67	0.70	-0.60	0.63	-0.49	0.50
DZS1	-1.08	0.98	-2.03	1.57	-2.38	2.05
DZS2	-2.58	2.39	-2.44	2.35	-4.58	4.41
DZS3	-0.80	0.78	-0.70	0.63	-0.81	0.80
DZS4	-1.21	1.65	-1.50	1.19	-2.44	2.03
DZS5	-2.48	2.99	-2.63	2.40	-3.79	4.37
BZS1	-1.99	1.81	-1.24	1.24	-0.81	0.73
BZS2	-1.19	1.18	-1.72	1.58	-2.36	2.54
BZS3	-2.90	2.82	-2.56	2.03	-2.38	2.48
BZS4	-1.37	1.34	-1.00	0.98	-0.61	0.61
BZS5	-1.07	1.20	-2.08	1.98	-3.18	3.45
BZS1 OD	-0.95	0.99	-1.23	1.40	-2.10	2.33
BZS2 OD	-1.12	1.05	-1.18	1.03	-0.78	0.79
BZS4 OD	-1.05	1.21	-1.10	1.21	-0.48	0.63
BZS5 OD	-1.66	1.53	-1.05	1.03	-0.60	0.61

Tab. 18 Extrémní výkmity horizontálních vibrací (zrychlení) vyhodnocené při přejezdech zkušebních železničních vozidel (snímače zrychlení A044Y až A124Y (měřicí ústředna Spider)) ve frekvenčním intervalu do 30 Hz.

Rekonstrukce železničních mostů pod Vyšehradem
Statická a dynamická ověřovací zatěžovací zkouška mostu

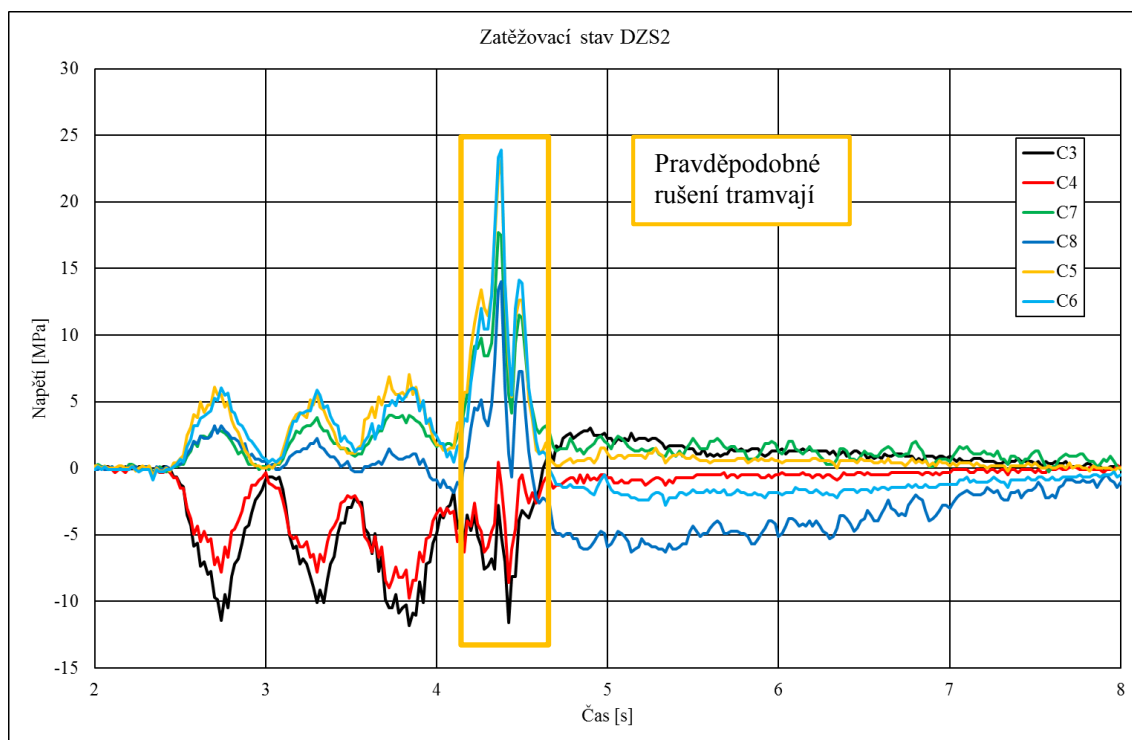
Veličina	Vyhodnocení dynamického součinitele							
	GBO81	GBO82	GBO83	GBO84	GBO85	GBO86	GBO87	GBO88
Sstat [MPa]	13.4	13.1	14.4	13.5	9.1	11.9	10.3	12.3
Sdyn [MPa]	14.2	14.1	15.0	14.3	10.3	13.5	11.7	13.8
δ	1.06	1.07	1.04	1.06	1.13	1.14	1.13	1.13
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Sstat [MPa]	9.4	-5.9	-11.3	-9.0	6.3	5.9	4.3	-5.9
Sdyn [MPa]	10.3	-6.9	-11.9	-9.7	7.1	6.5	4.7	-6.5
δ	1.09	1.16	1.06	1.09	1.12	1.11	1.09	1.10
	S1U	S2U	S3U	S4U	S1B	S2B	S3B	S4B
Sstat [MPa]	-11.7	9.9	-12.7	8.0	20.3	8.9	23.4	9.1
Sdyn [MPa]	-11.2	10.6	-12.8	8.1	20.7	9.1	23.6	9.3
δ	0.96	1.08	1.01	1.01	1.02	1.02	1.01	1.02
	S5B	S6B	S5U	S6U	GD021	GD022		
Sstat [MPa]	21.2	7.5	-14.0	11.9	19.9	18.2		
Sdyn [MPa]	23.8	7.9	-15.8	12.1	20.3	19.1		
δ	1.12	1.06	1.13	1.01	1.02	1.05		
	GDO23	GDO24	GDO25	GDO31	GD071	GD072	GD073	GD074
Sstat [MPa]	22.9	16.1	18.0	10.6	19.3	13.4	21.3	14.6
Sdyn [MPa]	23.6	16.1	19.0	11.4	20.4	15.1	22.8	16.1
δ	1.03	1.00	1.06	1.08	1.06	1.13	1.07	1.10

Tab. 19 Hodnoty dynamických součinitelů pro jednotlivá měřená místa.

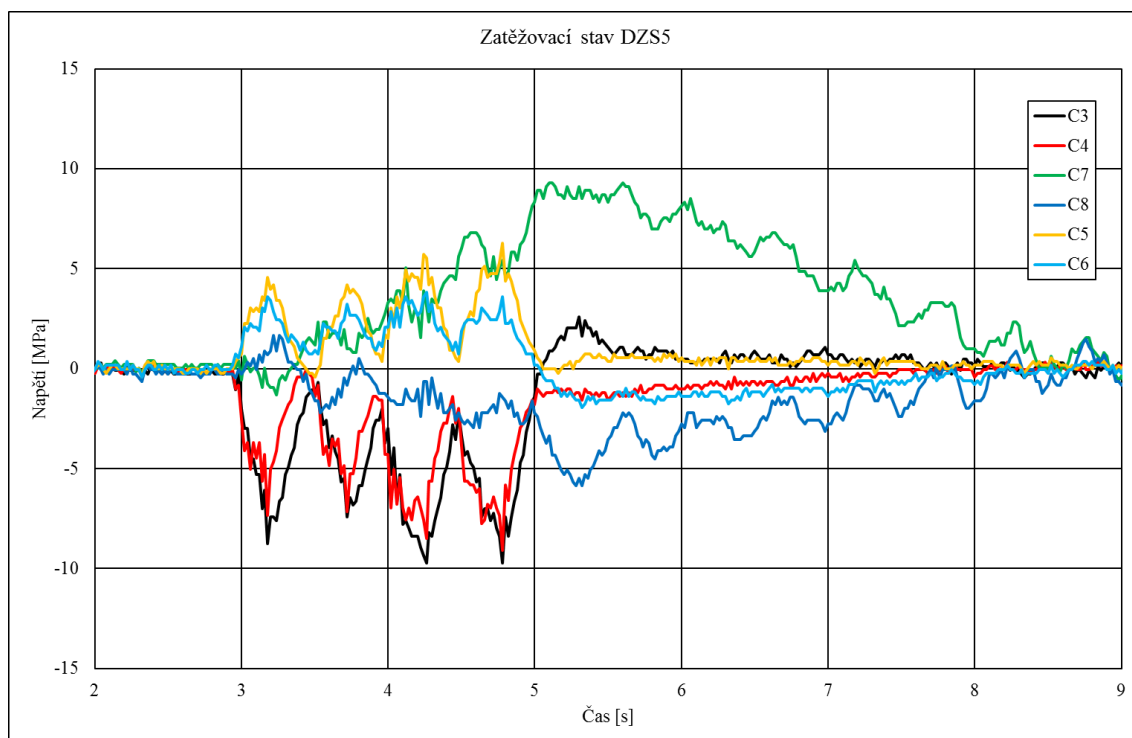
Pro jednotlivá měřená místa jsou v Tab. 19 uvedeny hodnoty dynamických součinitelů, které byly vyhodnoceny jako poměr mezi největší naměřenou hodnotou veličiny z přejezdů zkušebního vozidla v průběhu zatěžovacích stavů DZS1, DZS2, DZS4 a DZS5 ke kvazistatické hodnotě měřené veličiny, která byla vyhodnocena z přejezdů DZS0 nebo DZS3, při kterých zkušební vozidlo přes mostní konstrukci projíždělo pomalou rychlostí. Pro vyhodnocení byla vyloučena část přejezdu v DZS2 ovlivněna rušením při průjezdu tramvaje.

Pro sledovaná místa mostní konstrukce jsou vykresleny vybrané časové průběhy s výraznou dynamickou odezvou v měřítku napětí na Obr. 40 až Obr. 50, průhybů na Obr. 51 a zrychlení na Obr. 52 až Obr. 54.

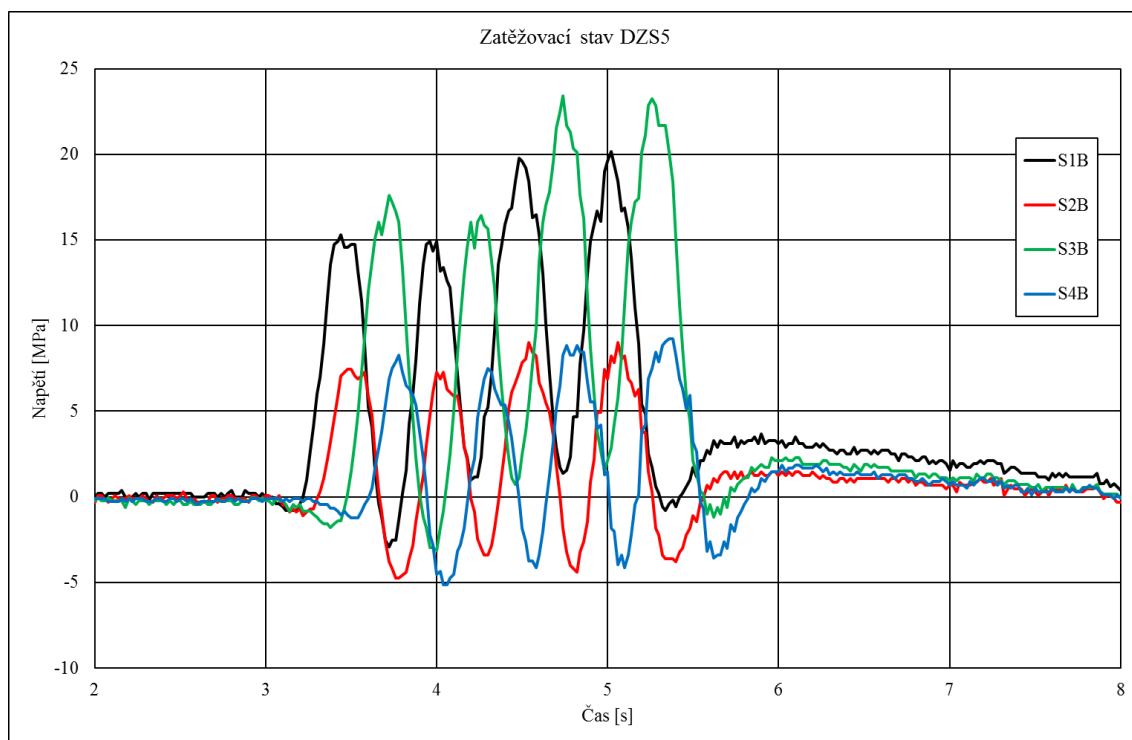
Pro všechny zatěžovací stavy zaměřené na účinky brždění (BZS1 až BZS5) jsou vykresleny časové průběhy deformací koncového příčnicku (snímače ISD1 až ISD9) na Obr. 55 až Obr. 60 a napětí koncového příčnicku (snímače C1 až C8) na Obr. 61 až Obr. 64.



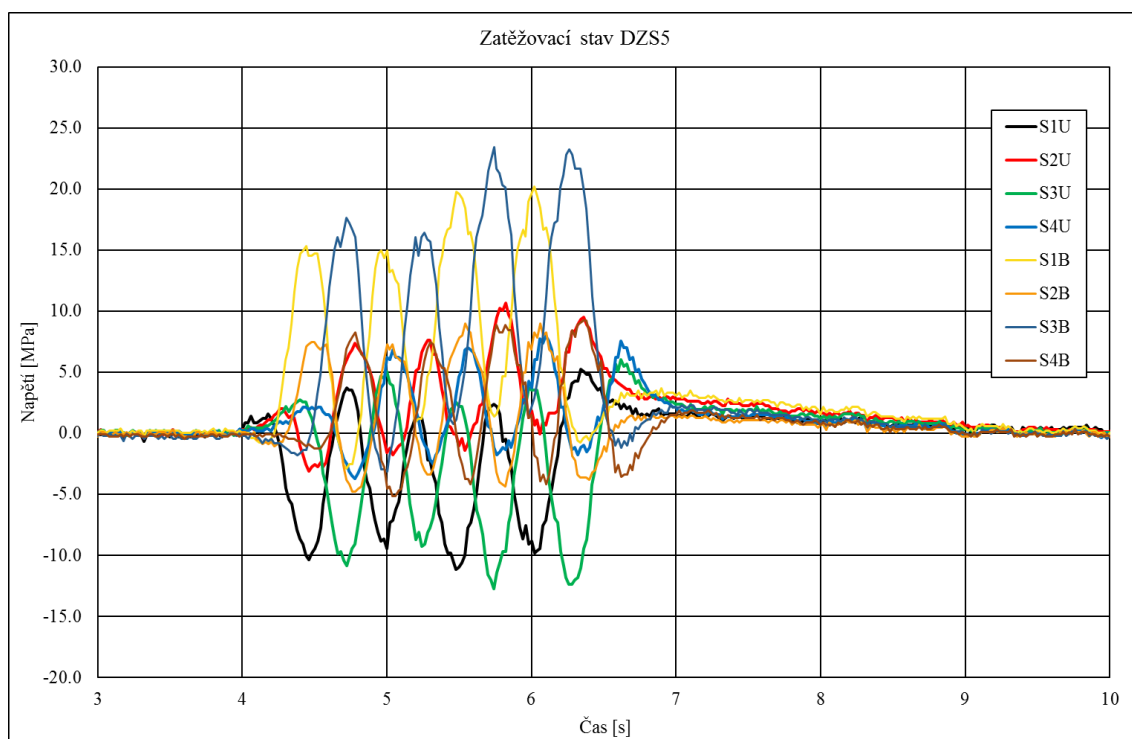
Obr. 40 Časový průběh napětí C3 až C8 při přejezdu zkušebního železničního vozidla DZS2.



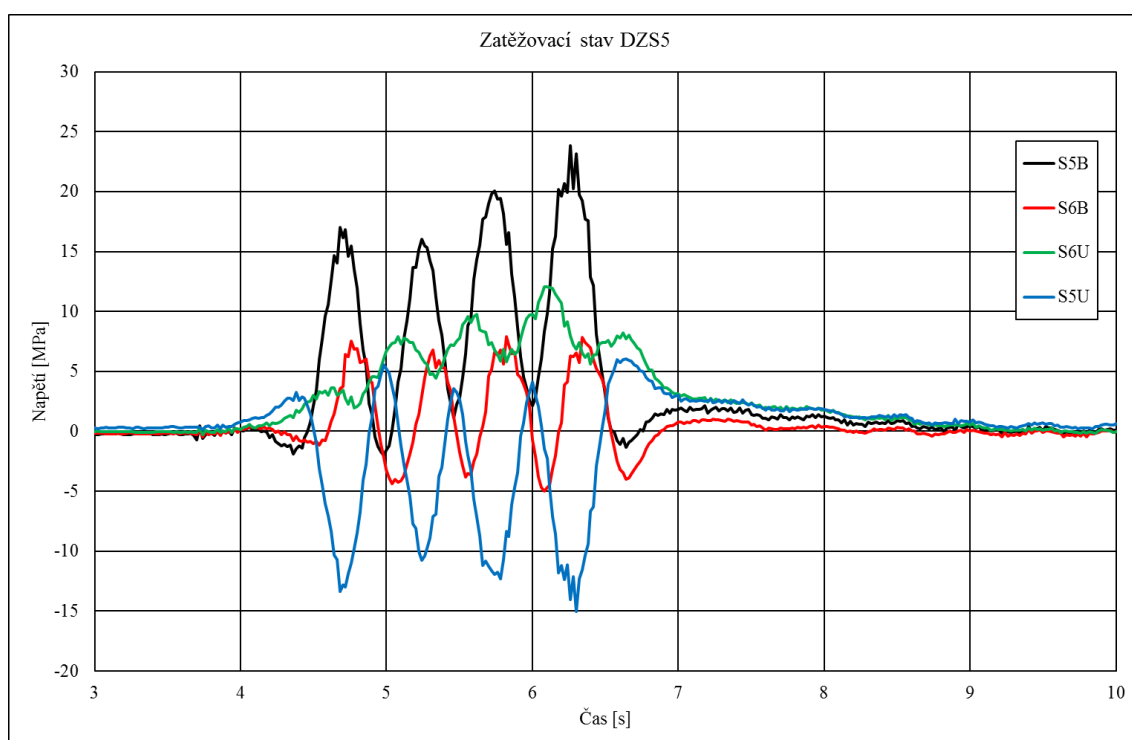
Obr. 41 Časový průběh napětí C3 až C8 při přejezdu zkušebního železničního vozidla DZS5.



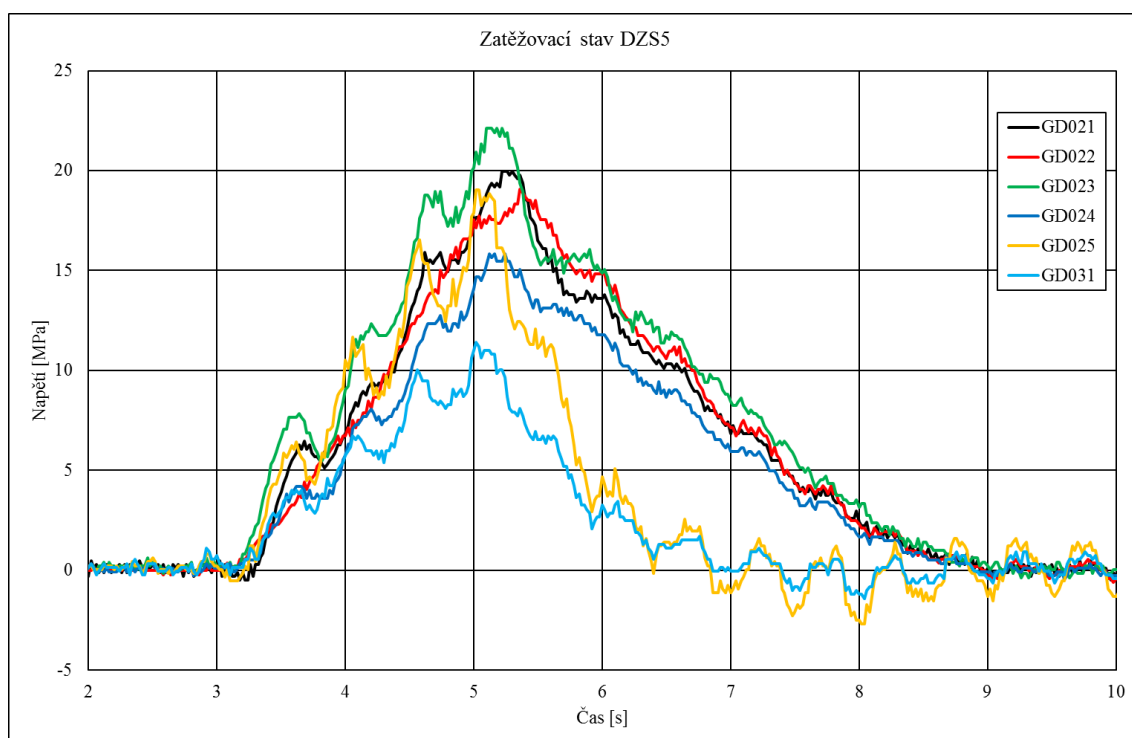
Obr. 42 Časový průběh napětí S1B až S4B při přejezdu zkušebního železničního vozidla DZS5.



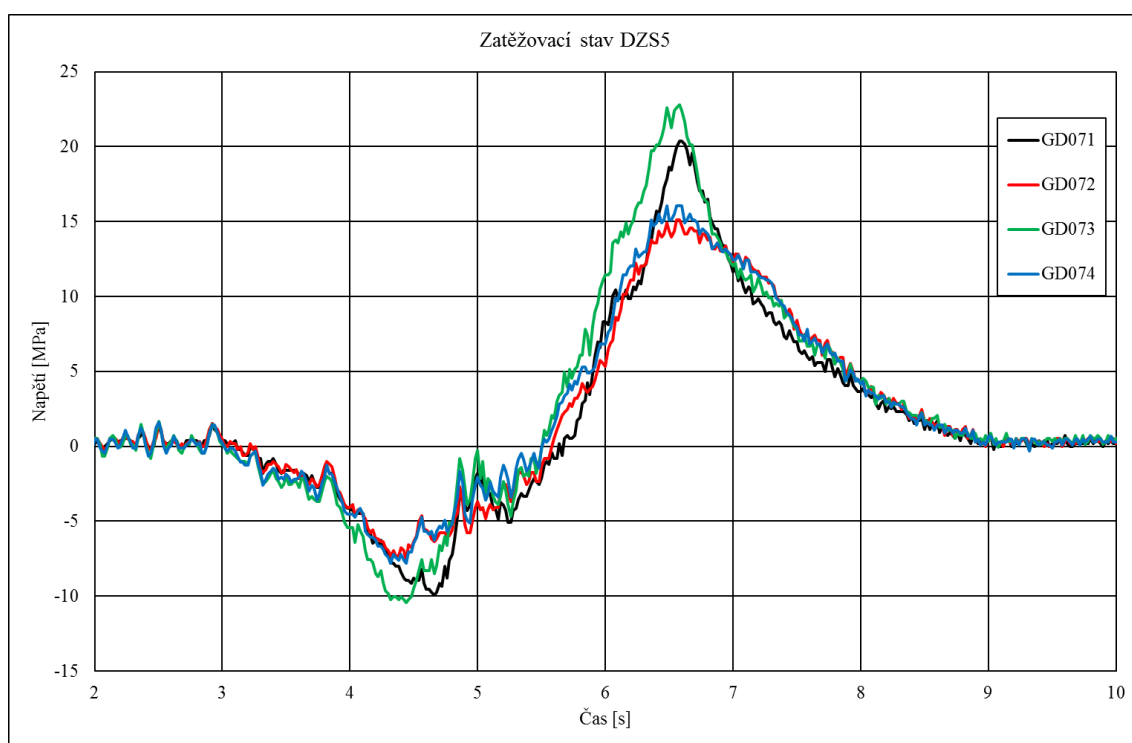
Obr. 43 Časový průběh napětí v místech S1U až S4B při přejezdu zkušebního železničního vozidla DZS5 (ústředna EMS).



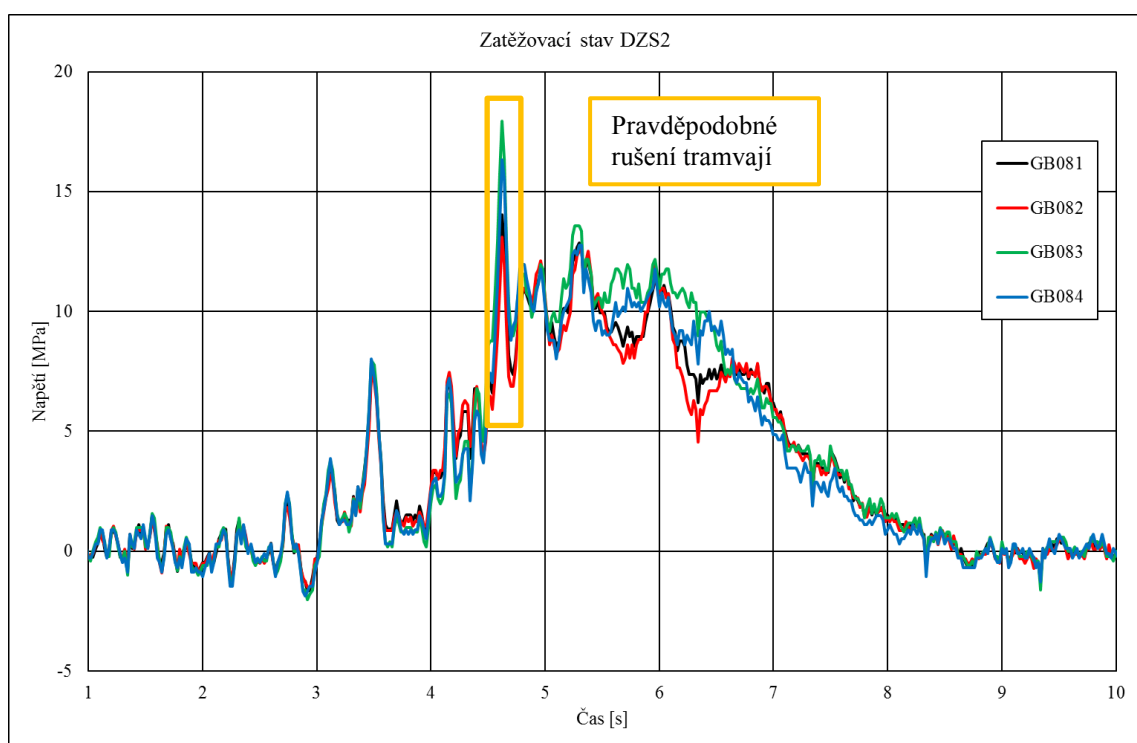
Obr. 44 Časový průběh napětí S5B až S6U při přejezdu zkušebního železničního vozidla DZS5 (ústředna Dewetron).



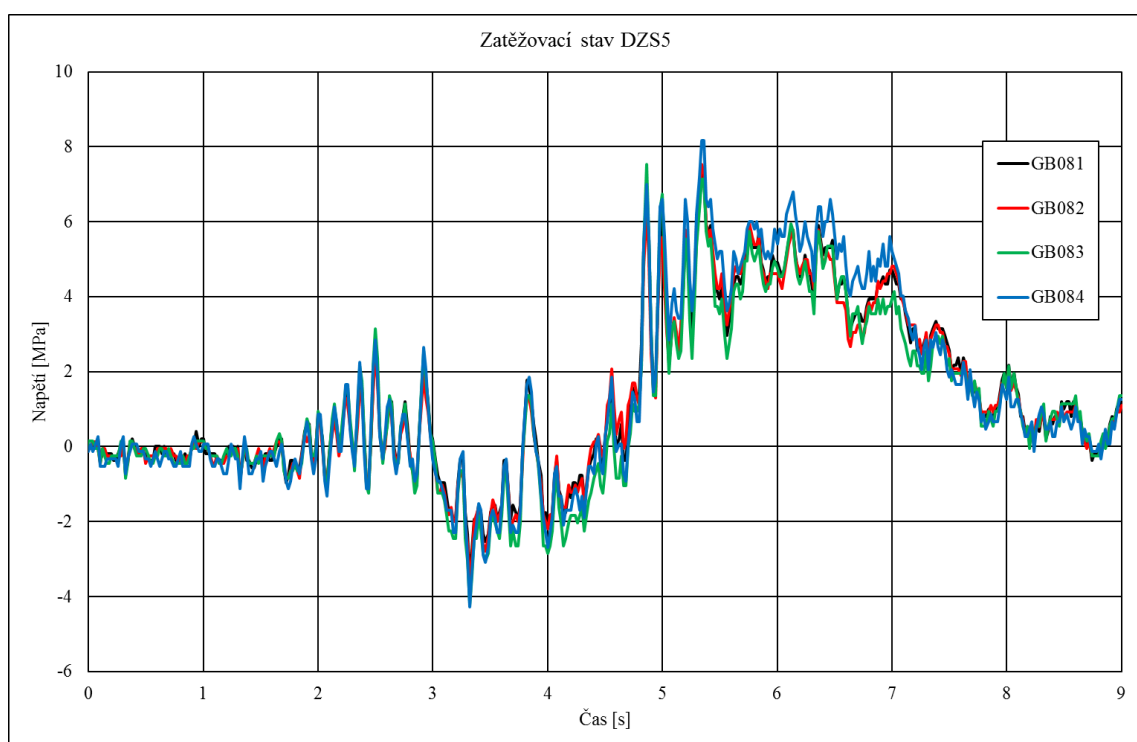
Obr. 45 Časový průběh napětí GD021 až GD031 při přejezdu zkušebního železničního vozidla DZS5.



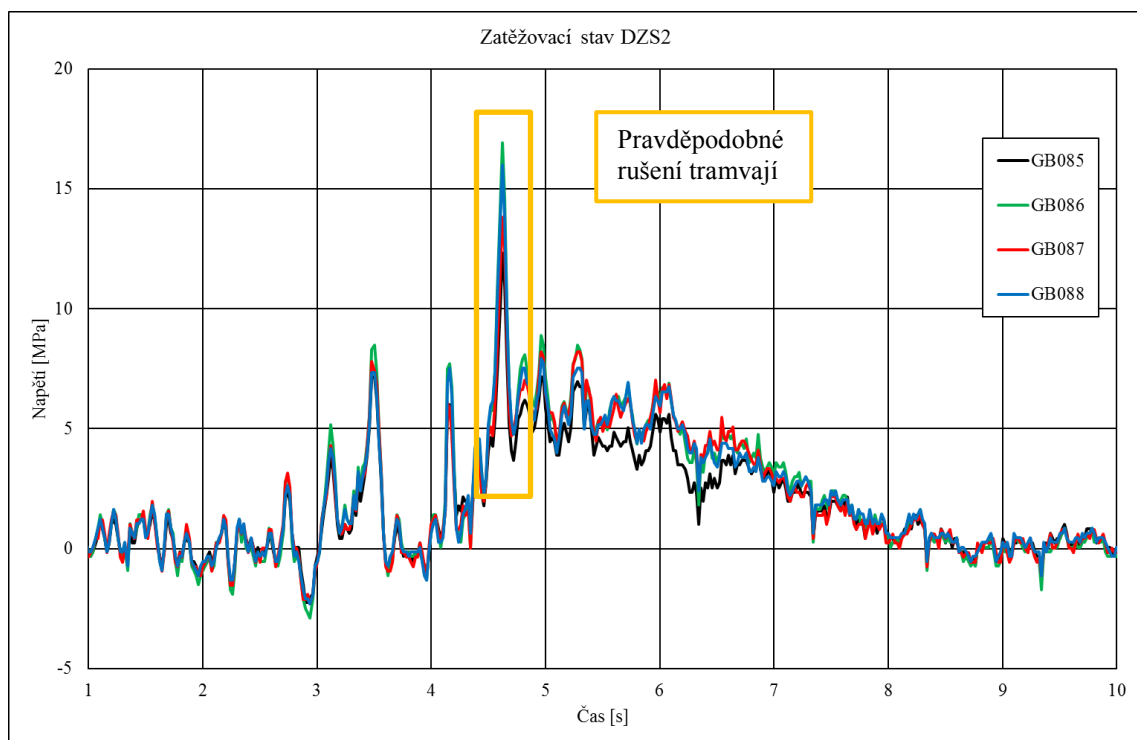
Obr. 46 Časový průběh napětí GD071 až GD074 při přejezdu zkušebního železničního vozidla DZS5.



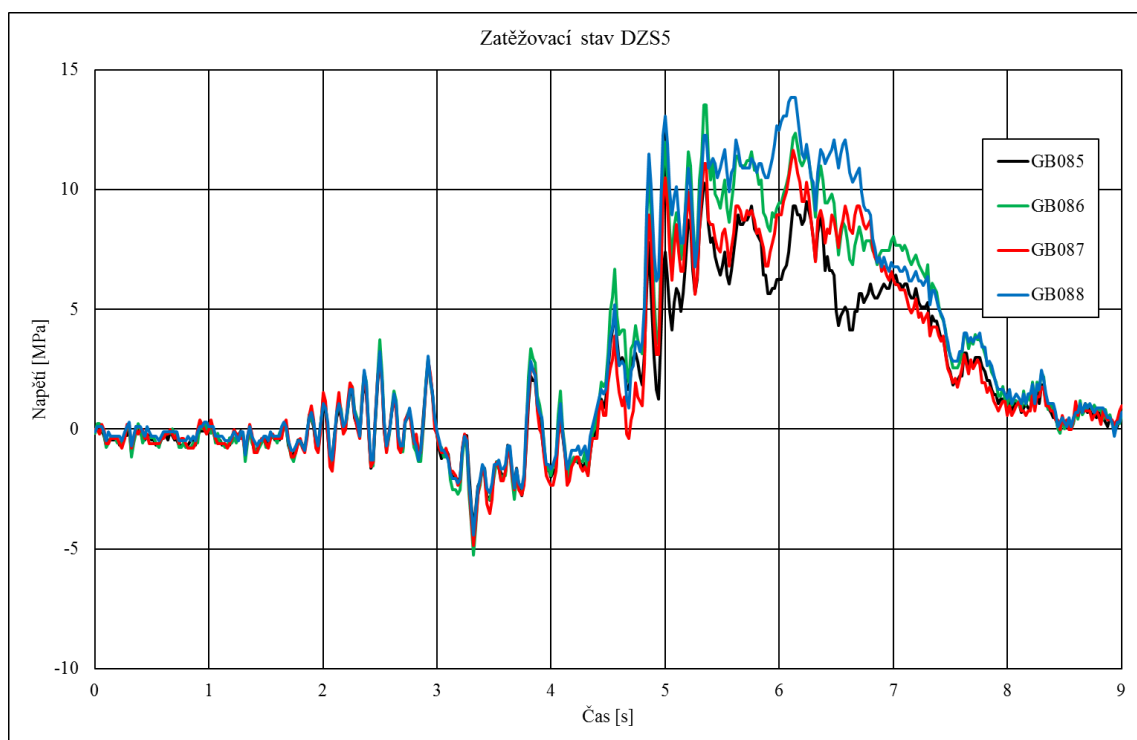
Obr. 47 Časový průběh napětí GB081 až GB084 při přejezdu zkušebního železničního vozidla DZS2.



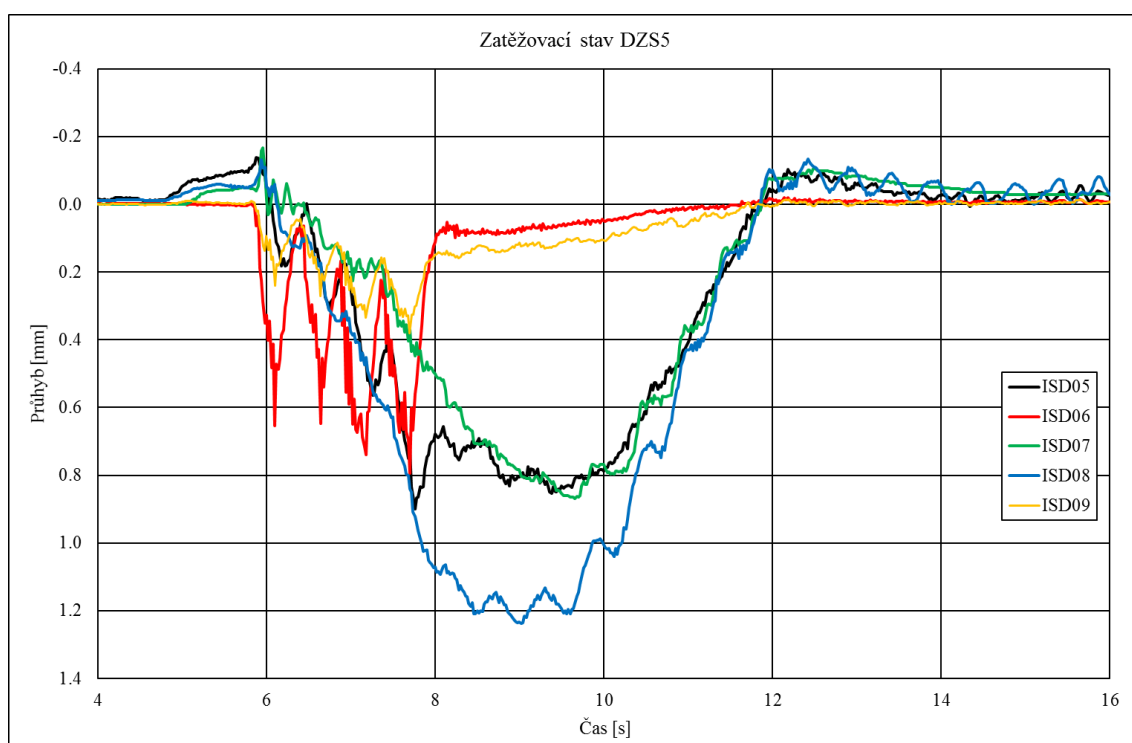
Obr. 48 Časový průběh napětí GB081 až GB084 při přejezdu zkušebního železničního vozidla DZS5.



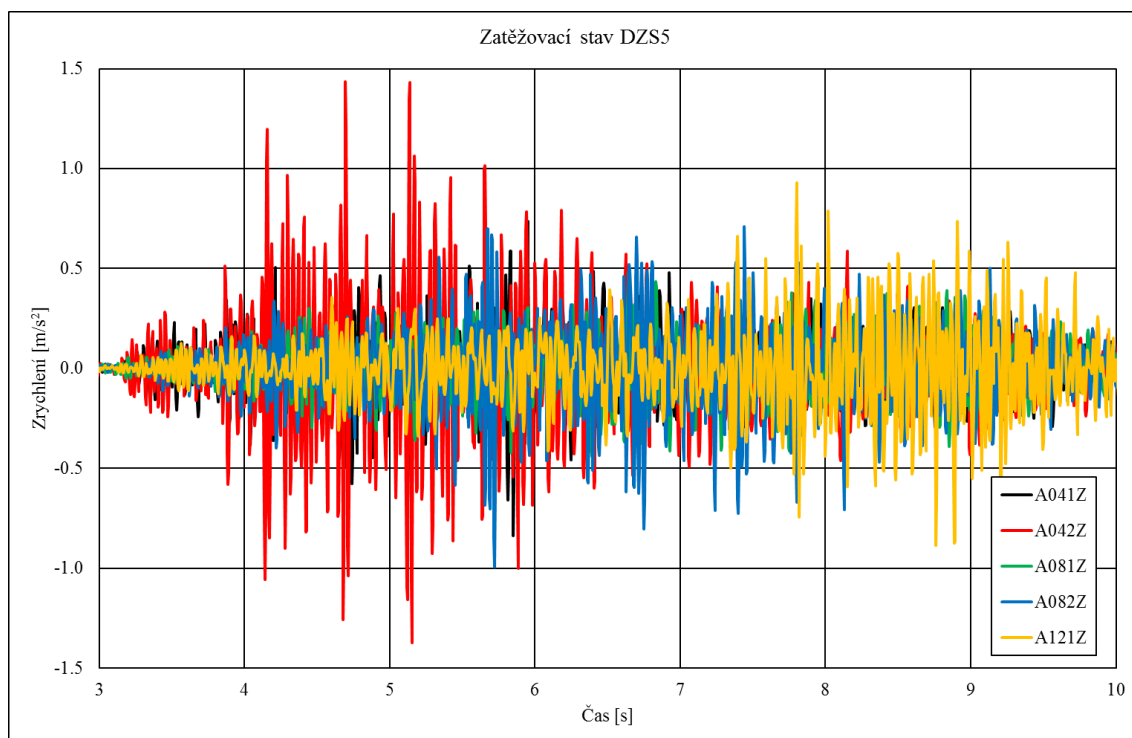
Obr. 49 Časový průběh napětí GB085 až GB088 při přejezdu zkušebního železničního vozidla DZS2.



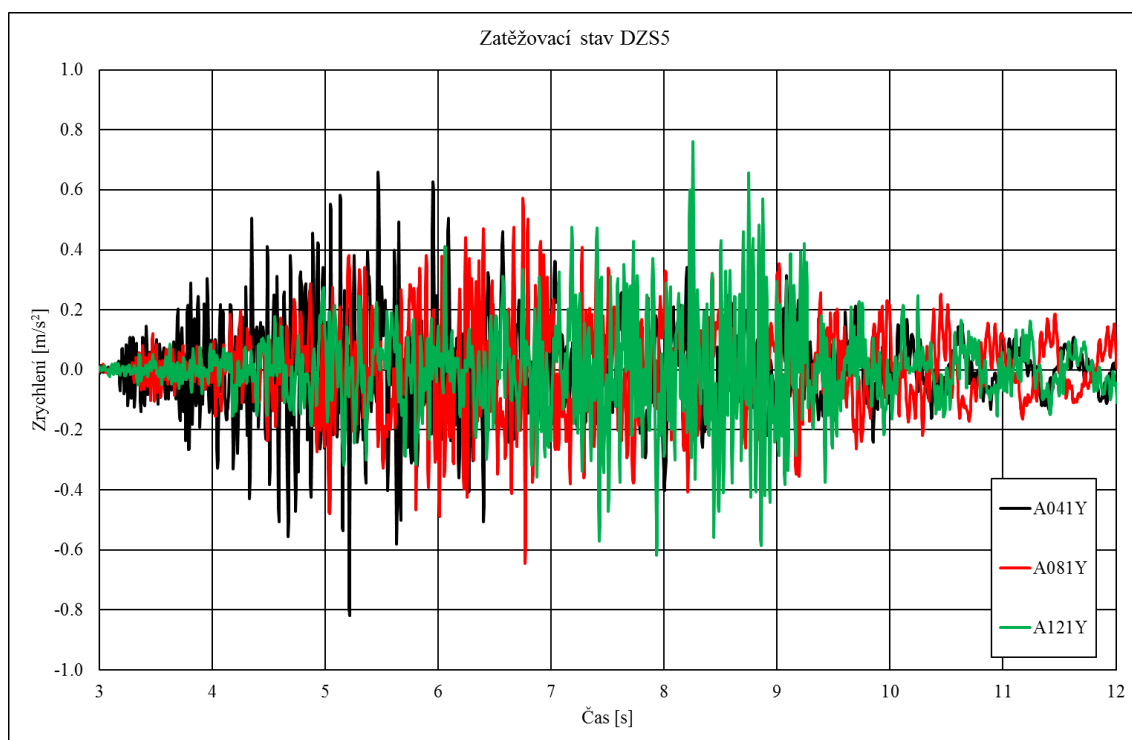
Obr. 50 Časový průběh napětí GB085 až GB088 při přejezdu zkušebního železničního vozidla DZS5.



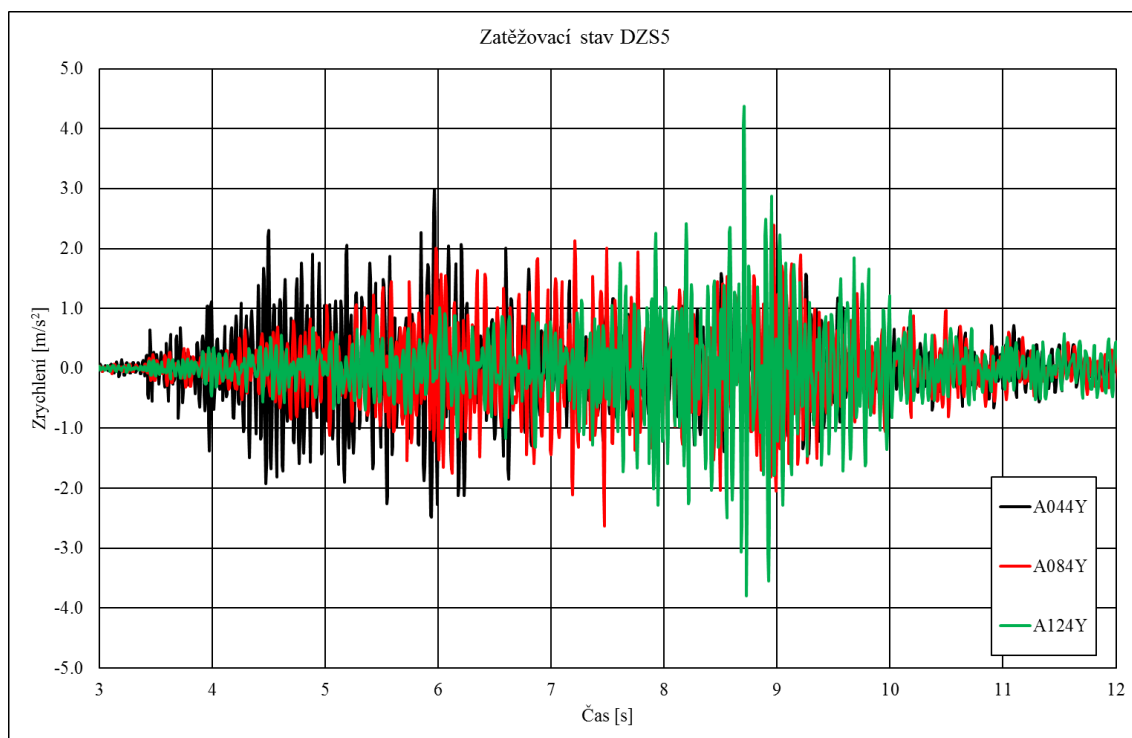
Obr. 51 Časový průběh průhybů ISD05 až ISD09 při přejezdu zkušební železničního vozidla DZS5.



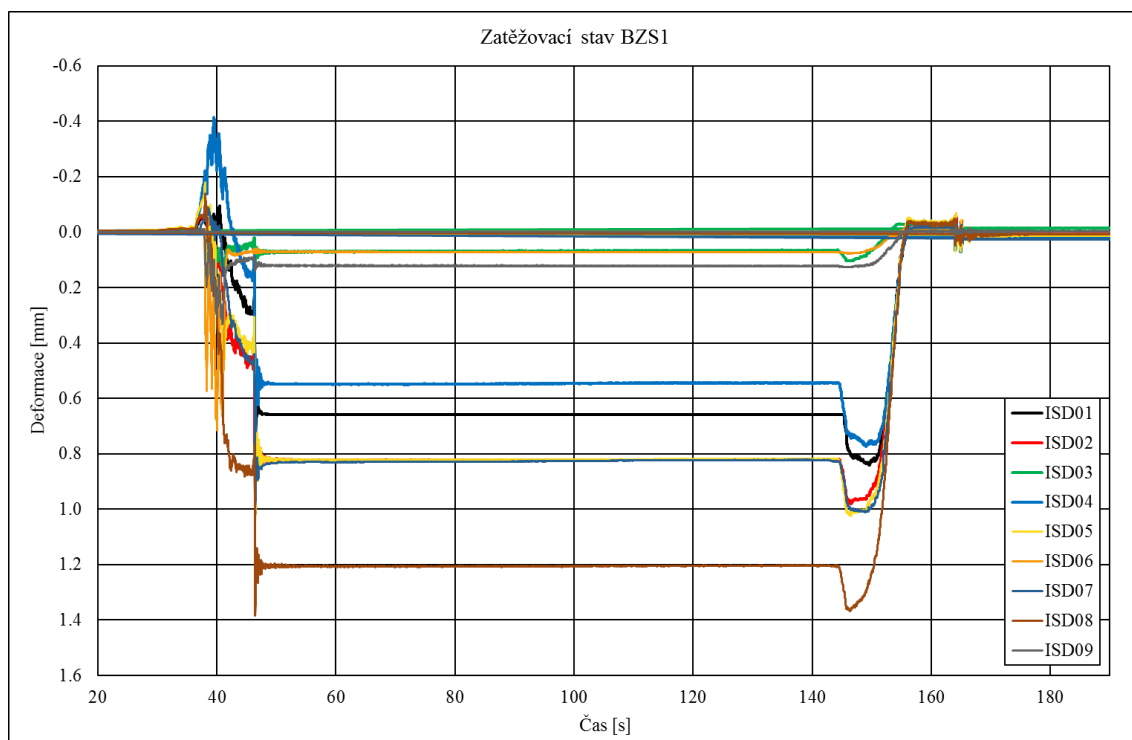
Obr. 52 Časový průběh zrychlení A041Z až A121Z při přejezdu zkušební železničního vozidla DZS5.



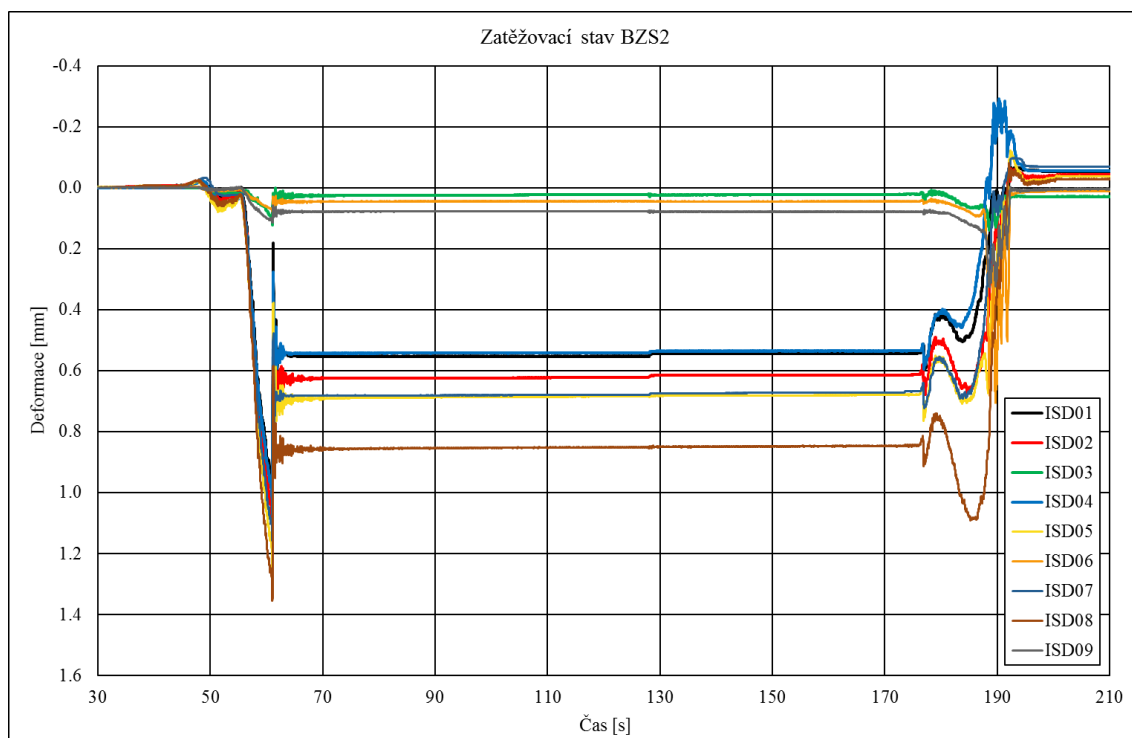
Obr. 53 Časový průběh zrychlení A041Y až A121Y při přejezdu zkušebního železničního vozidla DZS5 (frekvenční rozsah do 30 Hz).



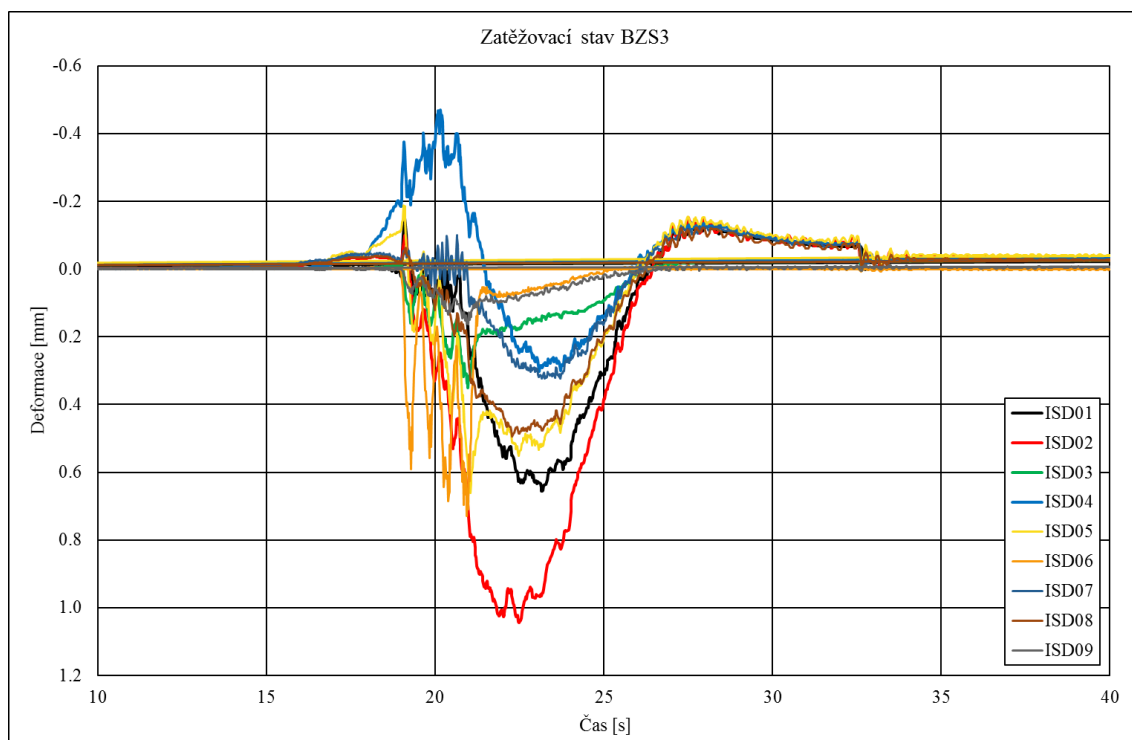
Obr. 54 Časový průběh zrychlení A041Y až A121Y při přejezdu zkušebního železničního vozidla DZS5 (frekvenční rozsah do 30 Hz).



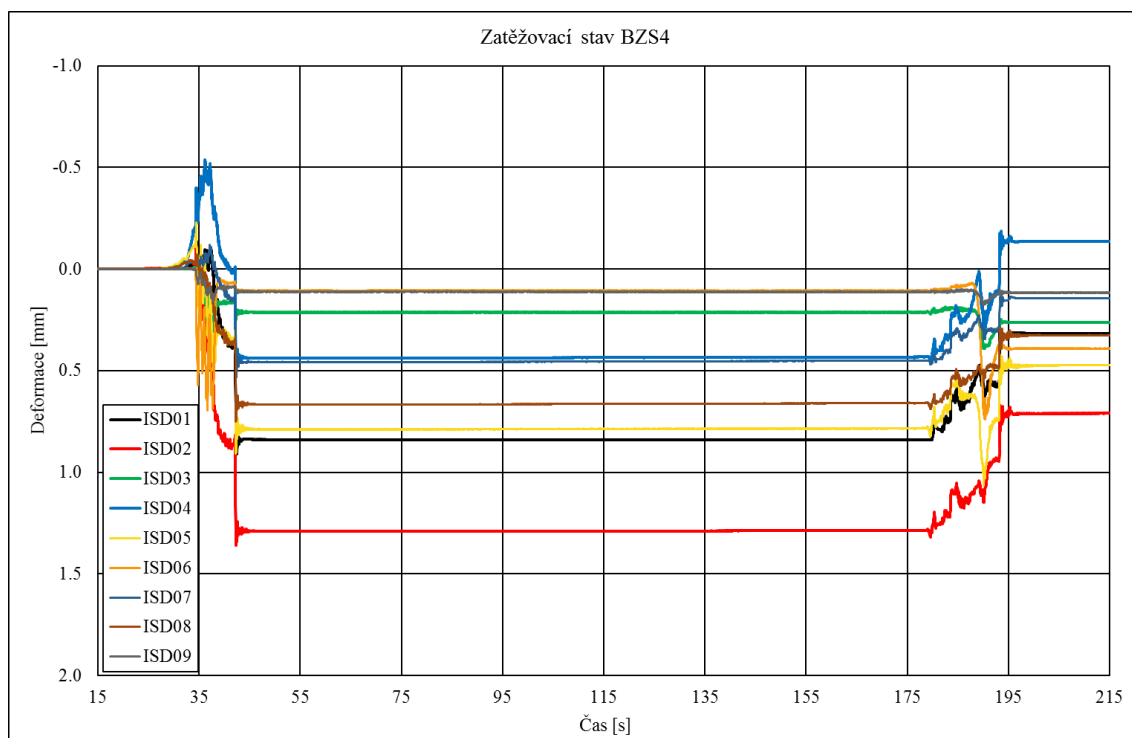
Obr. 55 Časový průběh průhybů ISD01 až ISD09 při brždění zkušebního železničního vozidla BZS1.



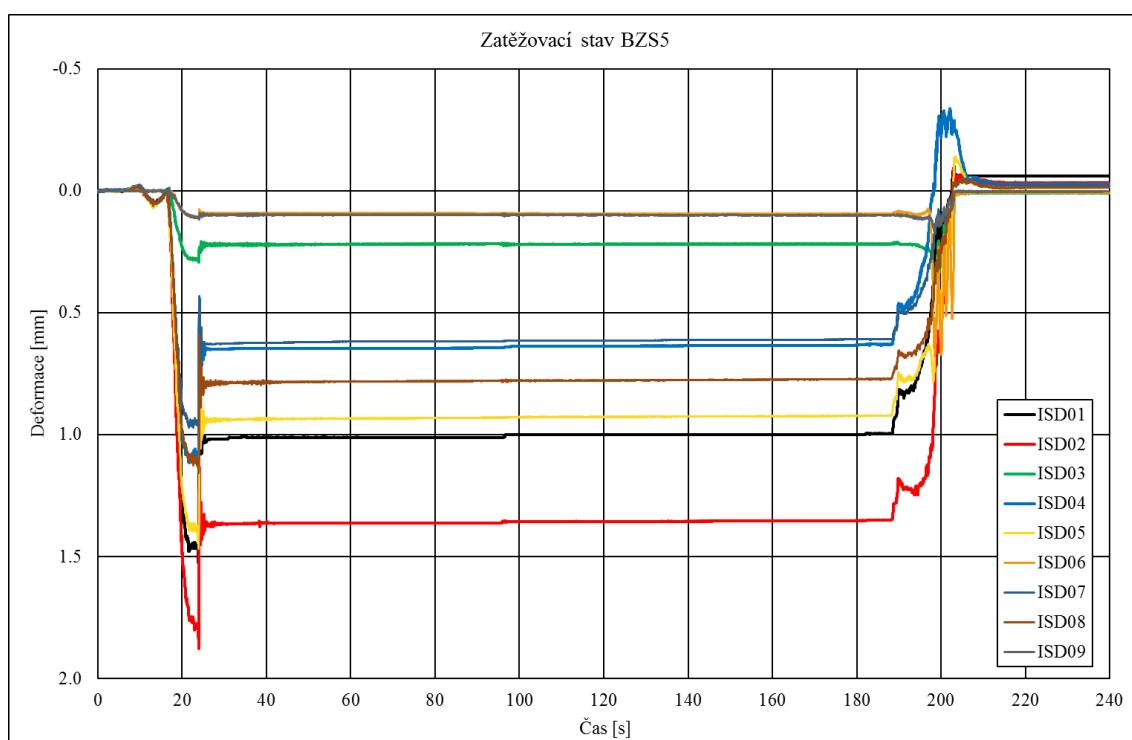
Obr. 56 Časový průběh průhybů ISD01 až ISD09 při brždění zkušebního železničního vozidla BZS2.



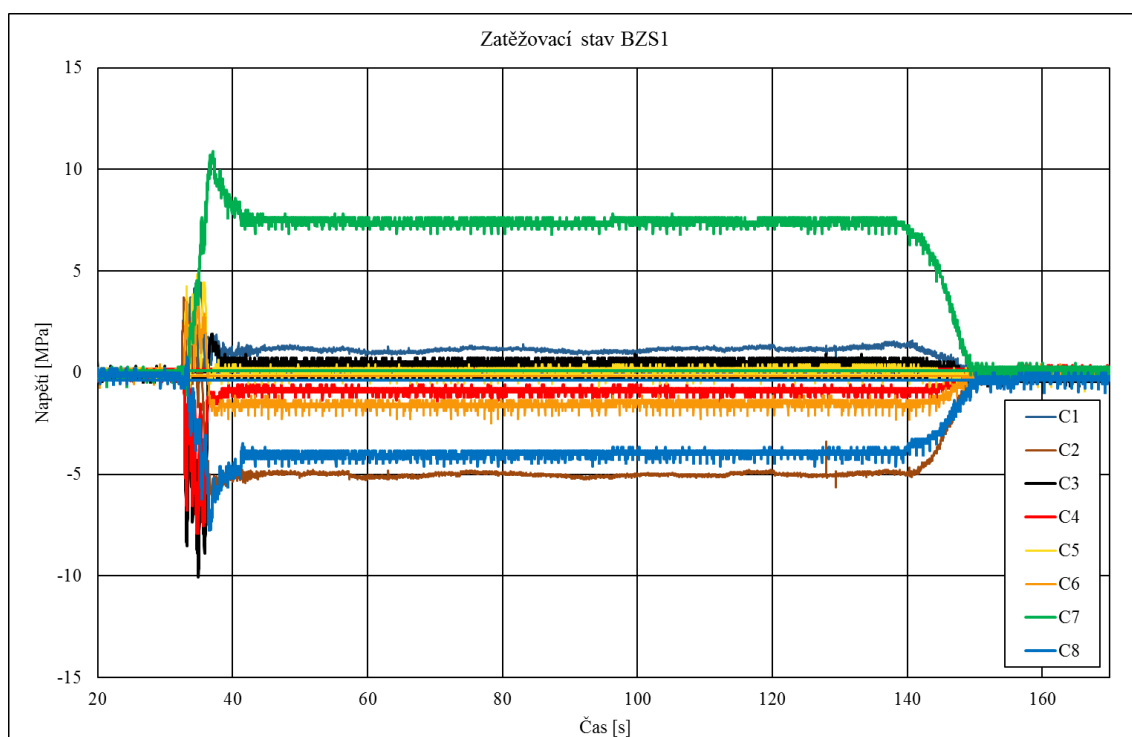
Obr. 57 Časový průběh průhybů ISD01 až ISD09 při brždění zkušebního železničního vozidla BZS3 (rozjezd a odjezd zkušebního železničního vozidla nebyl pro tyto snímače zachycen).



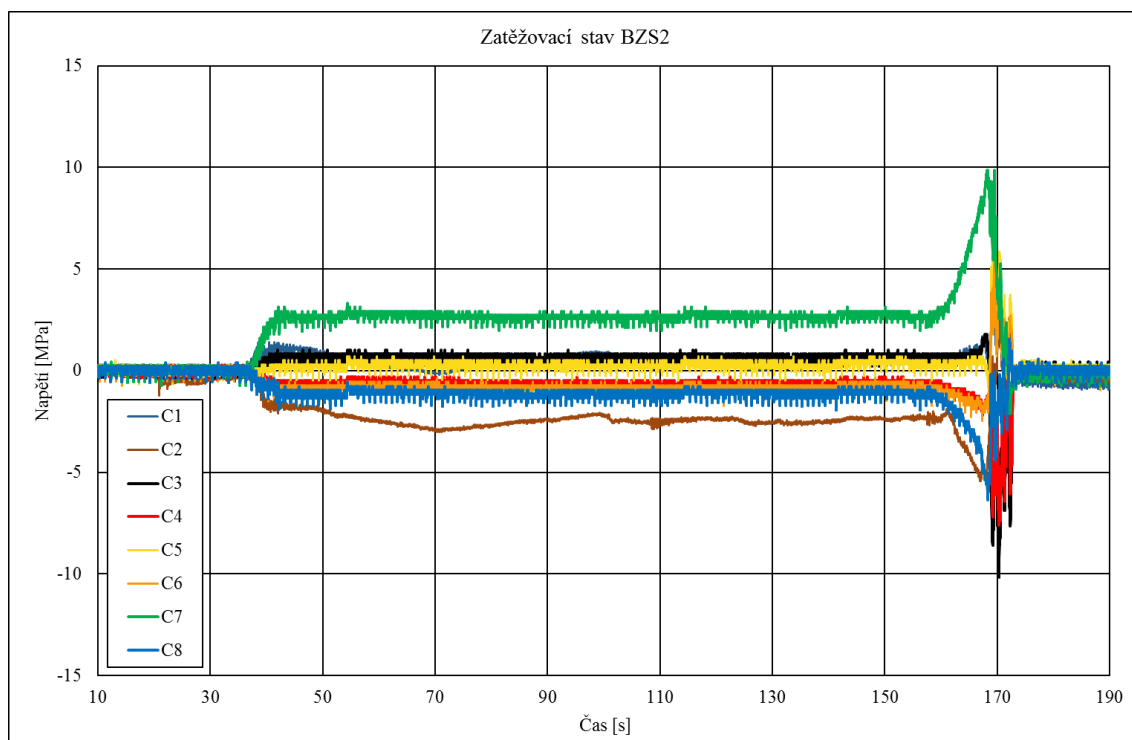
Obr. 58 Časový průběh průhybů ISD01 až ISD09 při brždění zkušebního železničního vozidla BZS4.



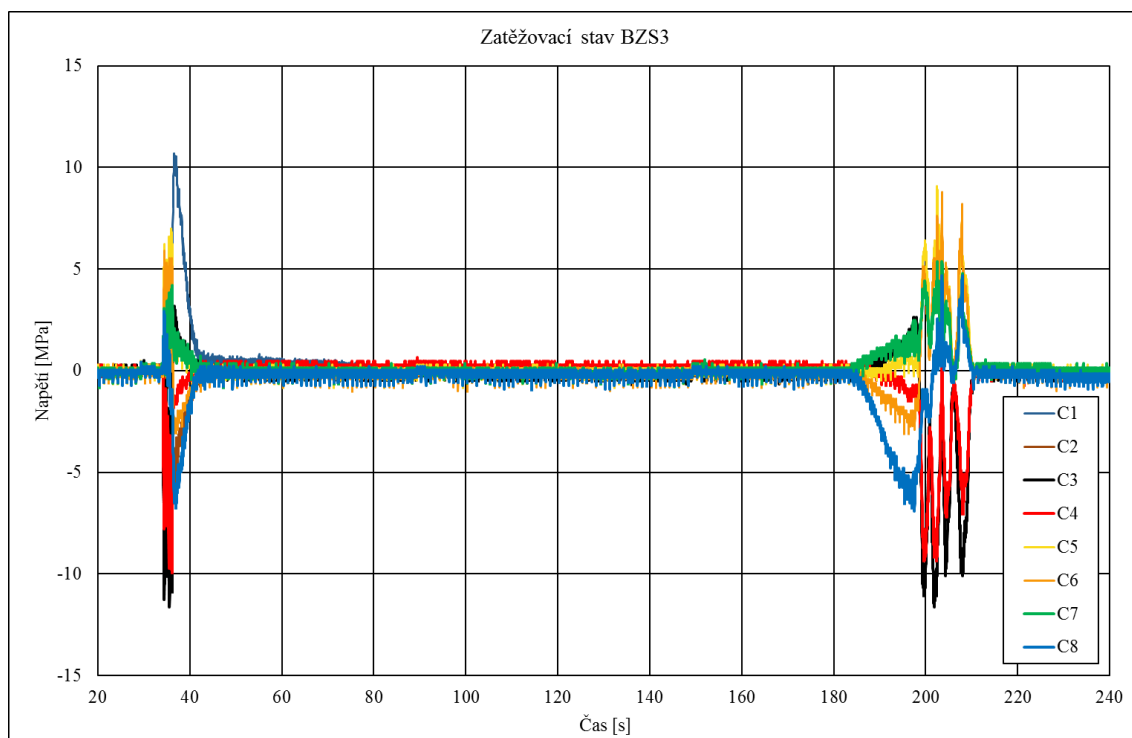
Obr. 59 Časový průběh průhybů ISD01 až ISD09 při brždění zkušebního železničního vozidla BZS5.



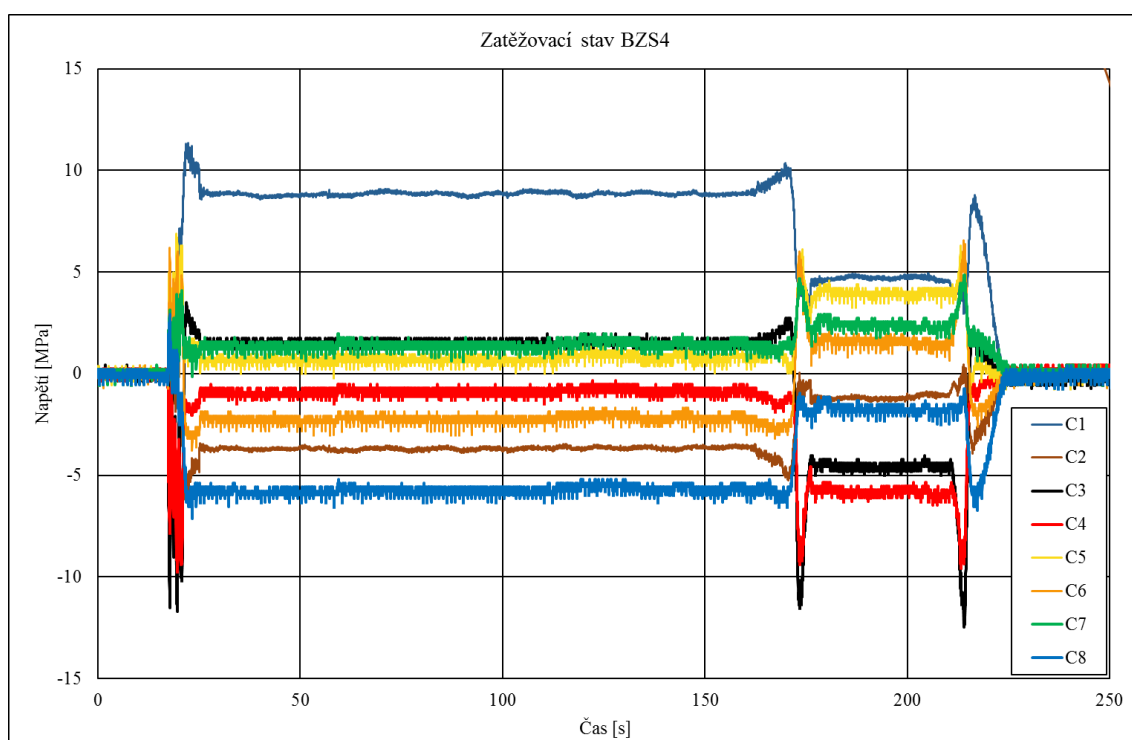
Obr. 60 Časový průběh napětí na koncovém příčniku v bodech C1 až C8 při brždění zkušebního železničního vozidla BZS1.



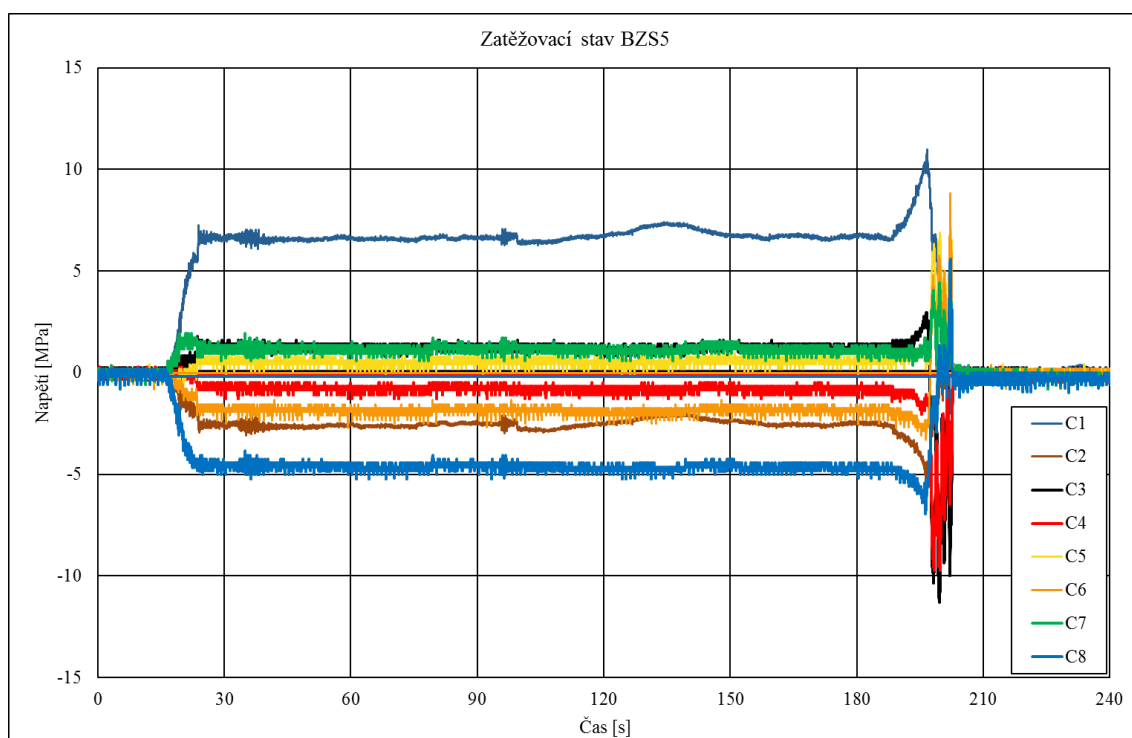
Obr. 61 Časový průběh napětí na koncovém příčniku v bodech C1 až C8 při brždění zkušební železničního vozidla BZS2.



Obr. 62 Časový průběh napětí na koncovém příčniku v bodech C1 až C8 při brždění zkušební železničního vozidla BZS3 (graf pro C1 a C2 je ukončen v cca 80 s).



Obr. 63 Časový průběh napětí na koncovém příčniku v bodech C1 až C8 při brždění zkušebního železničního vozidla BZS4.



Obr. 64 Časový průběh napětí na koncovém příčniku v bodech C1 až C8 při brždění zkušebního železničního vozidla BZS5.

7. Závěr

Závěrem lze konstatovat, že zjištěné hodnoty napětí byly v hodnotách, které jsou z hlediska únosnosti konstrukce nízké. Zjištěné hodnoty zrychlení po filtraci do hodnoty 30 Hz (podle ČSN EN 1990) jsou pod hodnotou pohody „přijatelná“, tj. 2m/s^2 .

Pro hlavní nosný systém lze vycházet z uvedených dynamických součinitelů. Je nutné si však uvědomit, že použitá břemena měla kvalitní nápravy, reálné vlaky v případě zbroušených nákolků mohou vyvozovat dynamické účinky vyšší. Toto riziko je nutné v přepočtu zohlednit.

V Praze dne 31. 7. 2017



prof. Ing. Michal Polák, CSc.
pracovník specialista



Ing. Tomáš Plachý, Ph.D.
pracovník specialista



doc. Ing. Pavel Ryjáček, Ph.D.
odpovědný řešitel projektu

8. Příloha 1: Vyhodnocení spekter napětí od zatížení dopravou

8.1. Podklady

Podkladem pro vytvoření spekter napětí byla data získaná z monitoringu mostu, který probíhal v období od 11. 5. 2017 do 28. 5. 2017, celkem tedy 18 dní. Vybráno a vyhodnoceno bylo celkem 7 dní (neděle 21. 5. 2017 až sobota 27. 5. 2017), aby vytvořená spektra reprezentovala rozkmity napětí a jim odpovídající počty cyklů od dopravy na mostě během 1 typického týdne. Data byla ve formě hodnot poměrných přetvoření, která byla zjištěna pomocí tenzometrických snímačů poměrných deformací LY11 10/120 umístěných na nosné konstrukci mostu (popis snímačů viz kap. 5.3.4).

8.2. Vyhodnocovaná místa

Spektra napětí byla vyhodnocena pro celkem 32 tenzometrů umístěných na 8 konstrukčních prvcích. Rozdělení snímačů a popis jejich polohy je pro přehlednost uvedeno v Tab. 1:

Tenzometr			Prvek	Poloha tenzometru na prvku a na příčném řezu	
	Označení dle ústředny	Označení dle výkresů			
1	S01	C3	Příčník koncový	Střed rozpětí	Horní povrch horní pásnice - vlevo
2	S02	C4			Horní povrch horní pásnice - vpravo
3	S03	C7			Horní povrch dolní pásnice - vlevo
4	S04	C8			Horní povrch dolní pásnice - vpravo
5	S05	C5		Podpora	Horní povrch horní pásnice - vlevo
6	S06	C6			Horní povrch horní pásnice - vpravo
7	S07	S1U	2. Podélník	Střed rozpětí	Horní povrch horní pásnice - střed
8	S08	S2U	3. Podélník	Podpora	Horní povrch horní pásnice - střed
9	S09	S3U		Střed rozpětí	Horní povrch horní pásnice - střed
10	S10	S4U		Podpora	Horní povrch horní pásnice - střed
11	S11	S1B	2. Podélník	Střed rozpětí	Spodní povrch dolní pásnice - střed
12	S12	S2B	3. Podélník	Podpora	Spodní povrch dolní pásnice - střed
13	S13	S3B		Střed rozpětí	Spodní povrch dolní pásnice - střed
14	S14	S4B		Podpora	Spodní povrch dolní pásnice - střed
15	S15	GD021	Diagonála č. 2 pravého hlavního nosníku	U dolního pásu za stýčkovým plechem	Levá pásnice - nahoře
16	S16	GD022			Pravá pásnice - nahoře
17	S17	GD023			Levá pásnice - dole
18	S18	GD024			Pravá pásnice - dole
19	S19	GD025	Pravý nosník zesílený CFRP	Dolní pás	Horní povrch pravé pásnice uvnitř
20	S20	GD031			Horní povrch pravé pásnice uvnitř
21	S21	GD071	Diagonála č. 7 pravého hlavního nosníku	U dolního pásu za stýčkovým plechem	Levá pásnice - nahoře
22	S22	GD072			Pravá pásnice - nahoře
23	S23	GD073			Levá pásnice - dole
24	S24	GD074			Pravá pásnice - dole
25	S25	GB081	Dolní pás - levý hlavní nosník	U nejbližšího stýčniku od středu rozpětí	Levá stojina - nahoře
26	S26	GB082			Pravá stojina - nahoře
27	S27	GB083			Horní povrch levé pásnice
28	S28	GB084			Horní povrch pravé pásnice
29	S29	GB085	Dolní pás - pravý hlavní nosník	U nejbližšího stýčniku od středu rozpětí	Levá stojina - nahoře
30	S30	GB086			Pravá stojina - nahoře
31	S31	GB087			Horní povrch levé pásnice
32	S32	GB088			Horní povrch pravé pásnice

Tab. 1 Rozdělení tenzometrů a popis jejich polohy

Schémata jednotlivých prvků s umístěním tenzometrů na příčných řezech jsou zobrazena v kapitole 5.2.

8.3. Metodika a způsob výpočtu spekter napětí

Použitý software: Matlab R2016a, MS Excel, MS Word.

Pro přepočet poměrných deformací na napětí byl použit modul pružnosti $E = 200$ GPa, který odpovídá svářkové oceli a výsledkům získaným z provedených materiálových zkoušek.

Z celkových denních záznamů měřených poměrných deformací (následně přepočtených na napětí) byly odděleny úseky zachycující přejezdy vlaků, které se v grafickém zobrazení záznamu projeví jako patrné výkmity těchto napětí. Počet a velikosti výkmitů v každém měřeném místě pro každý vlak závisel na celkovém počtu náprav a hmotnosti vlaku, respektive na hmotnosti hnacích vozidel a jednotlivých vagonů.

Ze získaných záznamů napětí pro jednotlivé vlaky byly následně odfiltrovány účinky změn teploty, které se v záznamu projeví jako pozvolným nárůstem či poklesem napětí v čase. Tyto zmíněné změny napětí byly v porovnání s účinky od přejezdu vlaku mnohonásobně pozvolnější (během celého dne se změna napětí od teploty projeví například jako sinusoida) a tak bylo odfiltrování provedeno jako posunutí počátku záznamu napětí (před projevením průjezdu vlaku) na nulovou hodnotu napětí. Tímto způsobem byly eliminovány účinky od teploty a byl obdržen záznam výkmitů napětí způsobený pouze účinky projíždějícího vlaku. I přesto však bylo u některých záznamů možné pozorovat určité rušení, které se projevovalo stále se opakujícími rozkmity napětí o malé hodnotě cca 1 MPa. Toto rušení již nebylo ze záznamu odfiltrováno a ve výsledných spektrech napětí je jeho přítomnost zřejmá díky velkému počtu cyklů rozkmitů napětí o hodnotě $\Delta\sigma = 0,5$ MPa. Nejspodnější interval vytvořených spekter napětí, který zahrnuje rozkmity napětí od 0 do 1 MPa a jim odpovídající počet cyklů, lze při případném posouzení účinků na únavu zanedbat, jelikož hodnoty jsou hluboko pod mezí únavy konstrukčních detailů.

Časové záznamy napětí byly následně zpracovány třídící metodou rainflow, čímž byla získána spektra napětí pro každý vlak projíždějící po mostě během celého dne. Jelikož maximální rozkmit napětí na žádném nepřesáhl hodnotu 25 MPa, bylo spektrum napětí pro všechna vyhodnocovaná místa a pro účinky všech vlaků rozděleno na 25 intervalů (viz Tab. 2), přičemž každý interval má rozsah 1 MPa, tedy 1. interval $<0 - 1\text{MPa}>$, 2. interval $(1 - 2\text{MPa})>$, 3. interval $(2 - 3\text{MPa})>$, ..., 25. interval $(24 - 25\text{MPa})>$. Rozdělení na shodné intervaly bylo provedeno z důvodu lepšího porovnání účinků jednotlivých vlaků. Střední hodnota každého intervalu pak reprezentuje rozkmit napětí $\Delta\sigma$ pro daný interval - například tedy: 1. interval: $\Delta\sigma = 0,5$ MPa, 2. interval: $\Delta\sigma = 1,5$ MPa, 3. interval: $\Delta\sigma = 2,5$ MPa, ..., 25. interval: $\Delta\sigma = 24,5$ MPa. Veškeré rozkmity napětí od jednotlivých vlaků byly rozděleny do těchto intervalů a počty cyklů pro dané rozkmity v rámci každého intervalu byly sečteny dohromady.

Interval	Dolní nap.	Horní nap.	$\Delta\sigma$
	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	24	25	24.5
2	23	24	23.5
3	22	23	22.5
4	21	22	21.5
5	20	21	20.5
6	19	20	19.5
7	18	19	18.5
8	17	18	17.5
9	16	17	16.5
10	15	16	15.5
11	14	15	14.5
12	13	14	13.5
13	12	13	12.5
14	11	12	11.5
15	10	11	10.5
16	9	10	9.5
17	8	9	8.5
18	7	8	7.5
19	6	7	6.5
20	5	6	5.5
21	4	5	4.5
22	3	4	3.5
23	2	3	2.5
24	1	2	1.5
25	0	1	0.5

Tab. 2 Rozdělení spekter napětí na 25 intervalů

Spektra napětí byla vyhodnocena pro všechna zmíněná monitorovaná místa (celkem 32 míst), přičemž výsledky jsou pro lepší přehled zpracovány v tabulkové podobě. Pro každý snímač byla vytvořena následující spektra napětí: od přejezdu všech jednotlivých vlaků během 1 týdne (pondělí až neděle), výsledné spektrum napětí zahrnující všechny vlaky, které přejely po mostě během jednotlivých dní v týdnu (pondělí až neděle) a konečně výsledné spektrum napětí zahrnující všechny vlaky, které přejely po mostě během celého týdne (viz Tab. 3 až Tab. 10).

Typy a označení vlaků byly dodatečně zjištěny dle zaznamenaného času přejezdu z grafikonu dopravy. Vlaky, jejichž označení se nepodařilo dohledat (z důvodu, že se jednalo o výjimečný vlak nebo o vlak, který například z důvodu zpoždění přejížděl přes most v jiný čas, než který byl v grafikonu dopravy uveden) jsou v excelovém souboru označeny „NaN“.

8.4. Výstupy a výsledky

Veškerá vyhodnocená spektra napětí pro všechny prvky napětí byla importována do excelového souboru z názvem „Spektra napětí“, který je samostatnou přílohou této zprávy. Pro každý prvek se v tomto souboru nachází 8 karet, přičemž prvních 7 z nich se věnuje spektrům napětí pro jednotlivé dny v týdnu (pondělí až neděle). Například karta s názvem „Příčník_Po“ obsahuje spektra napětí pro všech 6 měřených míst na příčniku způsobená přejezdy jednotlivých vlaků během pondělí. Poslední sloupec pak obsahuje součet cyklů od všech vlaků během pondělí dohromady. Do osmé karty byla importována spektra napětí zachycující účinky všech vlaků za celý týden. Vytvořená spektra tedy reprezentují rozkmity

Rekonstrukce železničních mostů pod Vyšehradem

Statická a dynamická ověřovací zatěžovací zkouška mostu

napětí a jim odpovídající počty cyklů od dopravy na mostě během 1 typického týdne provozu. Poslední karta v excelu „Měřená místa“ poskytuje prostřednictvím tabulky a vložených obrázků přehled o poloze měřených míst

Dále jsou zobrazeny výsledné tabulky se spektry napětí (rozkmity napětí a jim odpovídající počty cyklů) pro jednotlivé prvky od účinků všech vlaků za jeden týden.

PŘÍČNÍK - týden			Rozkmit napětí $\Delta\sigma$	Počet cyklů v místě tenzometru					
Interval	Dolní nap.	Horní nap.		1	2	3	4	5	6
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	N [cyklů]	N [cyklů]	N [cyklů]	N [cyklů]	N [cyklů]	N [cyklů]
1	24	25	24.5	0	0	0	0	0	0
2	23	24	23.5	0	0	0	0	0	0
3	22	23	22.5	0	0	0	0	0	0
4	21	22	21.5	0	0	0	0	0	0
5	20	21	20.5	0	0	0	0	0	0
6	19	20	19.5	0	0	0	0	0	0
7	18	19	18.5	0	0	0	0	0	0
8	17	18	17.5	0.5	0	0	0	0	0
9	16	17	16.5	0	0	0	0	0	0
10	15	16	15.5	1.5	0	0	0	0	0
11	14	15	14.5	0.5	0	0	0	0	0
12	13	14	13.5	3.5	0	0	0	0	0
13	12	13	12.5	7.5	0	0	0	0	0
14	11	12	11.5	25	0	0	0	0	0
15	10	11	10.5	62	0.5	0	0	0	0
16	9	10	9.5	161.5	4	0	0	0	0
17	8	9	8.5	158.5	5.5	0	0	1	0.5
18	7	8	7.5	445.5	8.5	1	0	5.5	2.5
19	6	7	6.5	1145	68	0	1.5	8.5	13.5
20	5	6	5.5	1344.5	241	4.5	0.5	45.5	74
21	4	5	4.5	1624.5	1002	22.5	12	338	284.5
22	3	4	3.5	1824.5	1964.5	131	125	1206	682
23	2	3	2.5	2406.5	3655.5	1039.5	881	3134.5	1445.5
24	1	2	1.5	3136	4212.5	7016	5695.5	5013.5	4928
25	0	1	0.5	134335	144019.5	220388	216823	170024	218727

Poznámka k číselnému označení tenzometrů (poloha tenzometru na prvku a na příčném řezu):

- 1 - Střed rozpětí - Horní povrch horní pásnice - vlevo
- 2 - Střed rozpětí - Horní povrch horní pásnice - vpravo
- 3 - Střed rozpětí - Horní povrch dolní pásnice - vlevo
- 4 - Střed rozpětí - Horní povrch dolní pásnice - vpravo
- 5 - Podpora - Horní povrch horní pásnice - vlevo
- 6 - Podpora - Horní povrch horní pásnice - vpravo

Tab. 3 Spektra napětí pro všechna měřená místa na příčnici - účinky od všech vlaků za celý týden



Rekonstrukce železničních mostů pod Vyšehradem

Statická a dynamická ověřovací zatěžovací zkouška mostu

2. PODÉLNÍK - týden			Rozkmit napětí	Počet cyklů v místě tenzometru			
Interval	Dolní nap.	Horní nap.		1	2	3	4
	[MPa]	[MPa]	$\Delta\sigma$ [MPa]	N [cyklů]	N [cyklů]	N [cyklů]	N [cyklů]
1	24	25	24.5	0	0	0	0
2	23	24	23.5	0	0	0	0
3	22	23	22.5	0	0	0	0
4	21	22	21.5	0	0	0	0
5	20	21	20.5	0	0	0.5	0
6	19	20	19.5	0	0	0.5	0
7	18	19	18.5	0	1	0	0
8	17	18	17.5	0.5	0	0.5	0
9	16	17	16.5	0.5	1	1	0
10	15	16	15.5	0.5	5	3.5	1
11	14	15	14.5	2	8	10.5	0
12	13	14	13.5	3	28	18	0
13	12	13	12.5	12	75.5	36	1
14	11	12	11.5	34	47	110.5	3.5
15	10	11	10.5	67	72.5	293	4.5
16	9	10	9.5	256.5	135	357	14
17	8	9	8.5	525	234.5	531	79.5
18	7	8	7.5	827	341	780.5	132
19	6	7	6.5	1306.5	458.5	1596	507
20	5	6	5.5	1296	735.5	1265.5	1157.5
21	4	5	4.5	599.5	1468.5	829.5	1768.5
22	3	4	3.5	1525	1670	508	1898.5
23	2	3	2.5	1610.5	2123.5	636.5	2256.5
24	1	2	1.5	2227	3573	1991.5	3032.5
25	0	1	0.5	163775.5	195640	148742	139800

Poznámka k číselnému označení tenzometrů (poloha tenzometru na prvku a na příčném řezu):

- 1 - Střed rozpětí - Horní povrch horní pásnice - střed
- 2 - Střed rozpětí - Spodní povrch dolní pásnice - střed
- 3 - Podpora - Horní povrch horní pásnice - střed
- 4 - Podpora - Spodní povrch dolní pásnice - střed

Tab. 4 Spektra napětí pro všechna měřená místa na 2. podélníku - účinky od všech vlaků za celý týden



Rekonstrukce železničních mostů pod Vyšehradem

Statická a dynamická ověřovací zatěžovací zkouška mostu

3. PODÉLNÍK - týden			Rozkmit napětí	Počet cyklů v místě tenzometru			
Interval	Dolní nap.	Horní nap.		1	2	3	4
	[MPa]	[MPa]	$\Delta\sigma$ [MPa]	N [cyklů]	N [cyklů]	N [cyklů]	N [cyklů]
1	24	25	24.5	0.5	0	2.5	0
2	23	24	23.5	0	0	0.5	0
3	22	23	22.5	0.5	0	1.5	0
4	21	22	21.5	0	0	1	0
5	20	21	20.5	0.5	1.5	10	0
6	19	20	19.5	4	1	20.5	0
7	18	19	18.5	5.5	4	21.5	0
8	17	18	17.5	9	6	58.5	0
9	16	17	16.5	14	16.5	91.5	0.5
10	15	16	15.5	39	40	194.5	1
11	14	15	14.5	77.5	50.5	313.5	0
12	13	14	13.5	144	52	311.5	2
13	12	13	12.5	398	108	546.5	12.5
14	11	12	11.5	336.5	142.5	729.5	26
15	10	11	10.5	433	218.5	1008.5	78
16	9	10	9.5	812.5	260	976.5	124
17	8	9	8.5	1247.5	463	840	341
18	7	8	7.5	1264	614.5	281.5	832.5
19	6	7	6.5	1040	1594	167	1824
20	5	6	5.5	448	1849	205.5	1694
21	4	5	4.5	233.5	892	339.5	1262
22	3	4	3.5	155.5	540.5	450.5	980.5
23	2	3	2.5	398.5	968.5	688.5	1621
24	1	2	1.5	2073	2266	1701	2953.5
25	0	1	0.5	151677.5	146515	147095	182696

Poznámka k číselnému označení tenzometrů (poloha tenzometru na prvku a na příčném řezu):

- 1 - Střed rozpětí - Horní povrch horní pásnice - střed
- 2 - Střed rozpětí - Spodní povrch dolní pásnice - střed
- 3 - Podpora - Horní povrch horní pásnice - střed
- 4 - Podpora - Spodní povrch dolní pásnice - střed

Tab. 5 Spektra napětí pro všechna měřená místa na 3. podélníku - účinky od všech vlaků za celý týden



Rekonstrukce železničních mostů pod Vyšehradem

Statická a dynamická ověřovací zatěžovací zkouška mostu

DIAGONÁLA 2 - týden			Rozkmit napětí	Počet cyklů v místě tenzometru			
Interval	Dolní nap.	Horní nap.		1	2	3	4
	[MPa]	[MPa]	$\Delta\sigma$ [MPa]	N [cyklů]	N [cyklů]	N [cyklů]	N [cyklů]
1	24	25	24.5	0	0	0	0
2	23	24	23.5	0	0	0	0
3	22	23	22.5	0	0	0	0
4	21	22	21.5	0	0	0	0
5	20	21	20.5	0	0	0	0
6	19	20	19.5	0	0	0	0
7	18	19	18.5	0	0	0	0
8	17	18	17.5	0	0	0	0
9	16	17	16.5	0	0	0	0
10	15	16	15.5	0	0	0	0
11	14	15	14.5	0	0	0	0
12	13	14	13.5	0	0	2	0
13	12	13	12.5	0	0	1.5	0
14	11	12	11.5	1	1	2	0
15	10	11	10.5	0.5	0	2.5	0
16	9	10	9.5	0.5	0	3	0.5
17	8	9	8.5	2	1	23.5	1
18	7	8	7.5	11.5	2.5	35.5	0.5
19	6	7	6.5	51	2.5	91.5	3
20	5	6	5.5	100.5	9	150	3
21	4	5	4.5	210	19.5	438	27.5
22	3	4	3.5	314.5	40.5	771.5	69.5
23	2	3	2.5	736	147	1318.5	159.5
24	1	2	1.5	2762.5	1006	4039	1381
25	0	1	0.5	171353.5	170309	187035	188687.5

Poznámka k číselnému označení tenzometrů (poloha tenzometru na prvku a na příčném řezu):

- 1 - U dolního pásu za styčnickovým plechem - Levá pásnice - nahoře
- 2 - U dolního pásu za styčnickovým plechem - Pravá pásnice - nahoře
- 3 - U dolního pásu za styčnickovým plechem - Levá pásnice - dole
- 4 - U dolního pásu za styčnickovým plechem - Pravá pásnice - dole

Tab. 6 Spektra napětí pro všechna měřená místa na diagonále č. 2 pravého hlavního nosníku - účinky od všech vlaků za celý týden



Rekonstrukce železničních mostů pod Vyšehradem

Statická a dynamická ověřovací zatěžovací zkouška mostu

PRAVÝ NOSNÍK ZESÍLENÝ CFRP - týden			Rozkmit napětí	Počet cyklů v místě tenzometru	
Interval	Dolní nap.	Horní nap.		1	2
	[MPa]	[MPa]	$\Delta\sigma$ [MPa]	N [cyklů]	N [cyklů]
1	24	25	24.5	0	0
2	23	24	23.5	0	0
3	22	23	22.5	0	0
4	21	22	21.5	0	0
5	20	21	20.5	0	0
6	19	20	19.5	0	0.5
7	18	19	18.5	0	0
8	17	18	17.5	0	0
9	16	17	16.5	0	0.5
10	15	16	15.5	0	0
11	14	15	14.5	0	0
12	13	14	13.5	0.5	0
13	12	13	12.5	1	0
14	11	12	11.5	2.5	0.5
15	10	11	10.5	4	0.5
16	9	10	9.5	3	1.5
17	8	9	8.5	8.5	8
18	7	8	7.5	20	12
19	6	7	6.5	97	24.5
20	5	6	5.5	172.5	32.5
21	4	5	4.5	364	64.5
22	3	4	3.5	856	146
23	2	3	2.5	2221.5	479.5
24	1	2	1.5	8663.5	2870
25	0	1	0.5	190944	193793

Poznámka k číselnému označení tenzometrů (poloha tenzometru na prvku a na příčném řezu):

- 1 - Dolní pás - Horní povrch pravé pásnice uvnitř
- 2 - Dolní pás - Horní povrch pravé pásnice uvnitř

Tab. 7 Spektra napětí pro všechna měřená místa na zesíleném dolním pase nosníku - účinky od všech vlaků za celý týden

Rekonstrukce železničních mostů pod Vyšehradem

Statická a dynamická ověřovací zatěžovací zkouška mostu

DIAGONÁLA 7 - týden			Rozkmit napětí	Počet cyklů v místě tenzometru			
Interval	Dolní nap.	Horní nap.		1	2	3	4
	[MPa]	[MPa]	$\Delta\sigma$ [MPa]	N [cyklů]	N [cyklů]	N [cyklů]	N [cyklů]
1	24	25	24.5	0	0	0	0
2	23	24	23.5	0	0	0	0
3	22	23	22.5	0	0	0	0
4	21	22	21.5	0	0	0	0
5	20	21	20.5	0	0	1	0
6	19	20	19.5	0	0	1	0
7	18	19	18.5	0.5	0	0.5	0
8	17	18	17.5	3	0	3.5	0
9	16	17	16.5	1.5	0	1.5	0
10	15	16	15.5	5.5	2	5.5	2
11	14	15	14.5	2	0.5	11.5	1
12	13	14	13.5	6	4	24.5	4.5
13	12	13	12.5	11.5	3.5	23	3
14	11	12	11.5	16.5	5	42	5
15	10	11	10.5	57.5	8	94	9
16	9	10	9.5	71.5	6	188.5	4
17	8	9	8.5	184	5	352	5.5
18	7	8	7.5	285	12	474	11
19	6	7	6.5	439	17.5	412.5	17.5
20	5	6	5.5	541	21	441.5	45
21	4	5	4.5	563.5	72.5	593	76.5
22	3	4	3.5	769.5	149.5	691	266.5
23	2	3	2.5	1447.5	608.5	1475.5	876.5
24	1	2	1.5	4811.5	3022	5078	3863.5
25	0	1	0.5	207772.5	247684.5	198647.5	247376.5

Poznámka k číselnému označení tenzometrů (poloha tenzometru na prvku a na příčném řezu):

- 1 - U dolního pásu za styčnickovým plechem - Levá pásnice - nahoře
- 2 - U dolního pásu za styčnickovým plechem - Pravá pásnice - nahoře
- 3 - U dolního pásu za styčnickovým plechem - Levá pásnice - dole
- 4 - U dolního pásu za styčnickovým plechem - Pravá pásnice - dole

Tab. 8 Spektra napětí pro všechna měřená místa na diagonále č. 7 pravého hlavního nosníku - účinky od všech vlaků za celý týden

Rekonstrukce železničních mostů pod Vyšehradem

Statická a dynamická ověřovací zatěžovací zkouška mostu

DOLNÍ PÁS-LEVÝ NOSNÍK - týden			Rozkmit napětí	Počet cyklů v místě tenzometru			
Interval	Dolní nap.	Horní nap.		1	2	3	4
	[MPa]	[MPa]	$\Delta\sigma$ [MPa]	N [cyklů]	N [cyklů]	N [cyklů]	N [cyklů]
1	24	25	24.5	0	0	0	0
2	23	24	23.5	0	0	0	0
3	22	23	22.5	0	0	0	0
4	21	22	21.5	0	0	0	0
5	20	21	20.5	0	0	0	0
6	19	20	19.5	0	0	0	0
7	18	19	18.5	0	0	0	0
8	17	18	17.5	0	0	0	0
9	16	17	16.5	0	0	0	0
10	15	16	15.5	2	2	2	2
11	14	15	14.5	0.5	0.5	0.5	0.5
12	13	14	13.5	4.5	4.5	4.5	4.5
13	12	13	12.5	3	3	3	3
14	11	12	11.5	3	3	3	3
15	10	11	10.5	6	6	6	6.5
16	9	10	9.5	0	0	0	0
17	8	9	8.5	0	0.5	0	1
18	7	8	7.5	0	0	0	2
19	6	7	6.5	0	1	1	2
20	5	6	5.5	0	3	0	3
21	4	5	4.5	2	21	3.5	9.5
22	3	4	3.5	11.5	81.5	9.5	34.5
23	2	3	2.5	75.5	317.5	43	191
24	1	2	1.5	1172.5	2734	1286	2838.5
25	0	1	0.5	253731.5	264979.5	235496.5	272684

Poznámka k číselnému označení tenzometrů (poloha tenzometru na prvku a na příčném řezu):

- 1 - U nejbližšího styčnicku od středu rozpětí - Levá stojina - nahoře
- 2 - U nejbližšího styčnicku od středu rozpětí - Pravá stojina - nahoře
- 3 - U nejbližšího styčnicku od středu rozpětí - Horní povrch levé pásnice
- 4 - U nejbližšího styčnicku od středu rozpětí - Horní povrch pravé pásnice

Tab. 9 Spektra napětí pro všechna měřená místa na dolním pase levého nosníku - účinky od všech vlaků za celý týden



DOLNÍ PÁS-PRAVÝ NOSNÍK - týden			Rozkmit napětí	Počet cyklů v místě tenzometru			
Interval	Dolní nap.	Horní nap.		1	2	3	4
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	N [cyklů]	N [cyklů]	N [cyklů]	N [cyklů]
1	24	25	24.5	0	0	0	0
2	23	24	23.5	0	0	0	0
3	22	23	22.5	0	0	0	0
4	21	22	21.5	0	0	0	0
5	20	21	20.5	0	0	0	0
6	19	20	19.5	0	0	0	0
7	18	19	18.5	0	0	0	0
8	17	18	17.5	0	0	0	0
9	16	17	16.5	0	0	0	0
10	15	16	15.5	2	2	2	2
11	14	15	14.5	0.5	0.5	1	0.5
12	13	14	13.5	4.5	4.5	4	4.5
13	12	13	12.5	3.5	3	3	2.5
14	11	12	11.5	3.5	3	3	3.5
15	10	11	10.5	6	6	6	6
16	9	10	9.5	0	0	0	0
17	8	9	8.5	0	0	0	0
18	7	8	7.5	0.5	0	0.5	0
19	6	7	6.5	0.5	1.5	3	0.5
20	5	6	5.5	1.5	0.5	2.5	2.5
21	4	5	4.5	20	10	12	8
22	3	4	3.5	114	26	39.5	25.5
23	2	3	2.5	506	179.5	303	133.5
24	1	2	1.5	3693.5	3488.5	5331.5	2224.5
25	0	1	0.5	246318.5	270878	246177	224417

Poznámka k číselnému označení tenzometrů (poloha tenzometru na prvku a na příčném řezu):

- 1 - U nejbližšího styčnicku od středu rozpětí - Levá stojina - nahoře
- 2 - U nejbližšího styčnicku od středu rozpětí - Pravá stojina - nahoře
- 3 - U nejbližšího styčnicku od středu rozpětí - Horní povrch levé pásnice
- 4 - U nejbližšího styčnicku od středu rozpětí - Horní povrch pravé pásnice

Tab. 10 Spektra napětí pro všechna měřená místa na dolním pase pravého nosníku - účinky od všech vlaků za celý týden

8.5. Závěr

Maximální rozkmit napětí na žádném z měřených míst nepřekročil hodnotu $\Delta\sigma = 25$ MPa. Největší účinky zatížení byly zachyceny na 3. příčniku, kde největší hodnota rozkmitu napětí dosáhla právě necelých 25 MPa. Naopak nejmenší hodnoty rozkmitů lze obecně pozorovat na levém a pravém dolním pase hlavních nosníků. Maximální hodnoty zde sice dosahují až 16 MPa, avšak jedná se jen o jednotky cyklů během celého týdne. Větší počet cyklů se objevuje až pro rozkmit o velikosti 4 MPa a méně.



Technická zpráva

Statická a dynamická zatěžovací zkouška železničního mostu pod Vyšehradem

Vyhodnocení měření radarovou interferometrií

Květen 2017

1 ZADÁNÍ

Měření svislých deformací konstrukce radarovou interferometrií probíhalo v rámci akce: „Rekonstrukce železničních mostů pod Vyšehradem.“ Objednatel je firma SUDOP PRAHA a.s. V rámci programu ověřovacích statických a dynamických zatěžovacích zkoušek bylo prováděno bezkontaktní měření svislých deformací v příčném směru konstrukce, přibližně v polovině rozpětí.

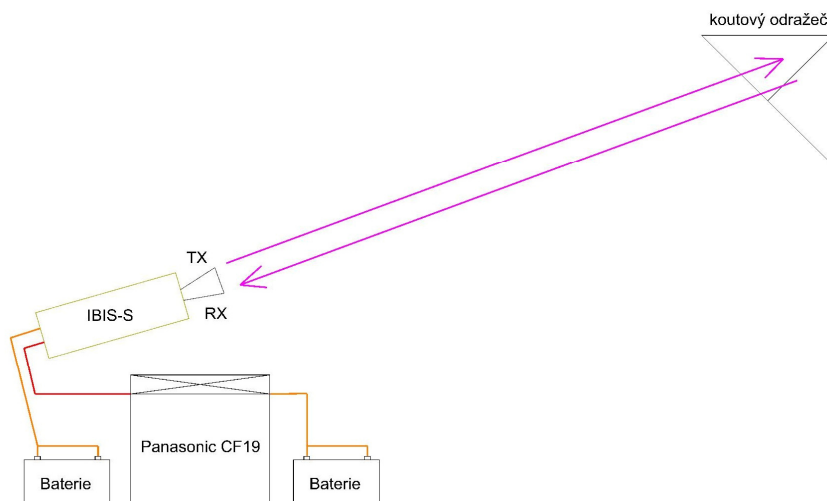


2 RADAROVÁ INTERFEROMETRIE

Následující tabulka shrnuje základní vlastnosti použitého interferometrického radaru IBIS-S od fy. IDS. Radar má pevně danou radiální rozlišovací schopnost 0,75m. Přesnost měření a vyhodnocení je potom závislá na dané lokalitě a předmětu měření.

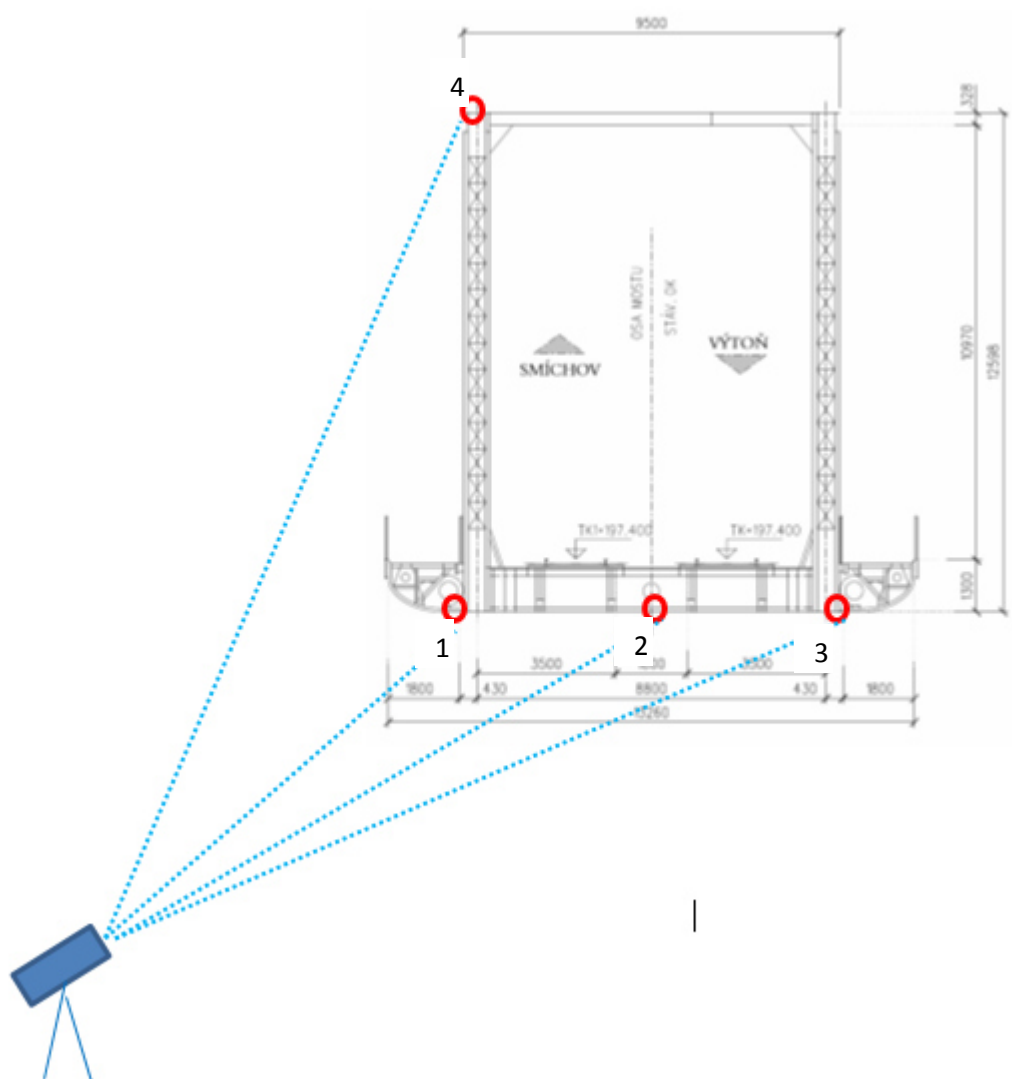
Střední frekvence	16,75 Ghz
Polarizace	VV
Tlumení antény	18 dB
Rozlišovací buňka	0,75 m
vzdálenost měření	až 1000 m (při měření 100 m)
frekvence záznamu	až 200 Hz (při měření 100 Hz)
Přesnost (směrodatná odchylka)	0,01 mm (při měření 0,10 mm)

Interferometrický radar IBIS-S je napájen z baterie. Ovládací notebook Panasonic CF-19 je napájen také baterií. Radar a notebook jsou propojeny datovým kabelem. Radar vysílá mikrovlnné záření anténou TX a přijímá odražený signál anténou RX. V případě dostupnosti lze radar připojit na síť AC.



3 SCHÉMA A PŘÍPRAVA MĚŘENÍ RADAROVOU INTERFEROMETRIÍ

Dle programu statické zatěžovací zkoušky sledovány 4 body v příčném řezu 1. mostního pole – viz obr. 1.



obr. 1: Schéma měření radarovou interferometrií s označením měřených bodů.

Sledované body na spodní části konstrukce osazeny kovovými koutovými odražeči pro zvýšení odrazivosti a přesnosti měření svislých posunů. Bod na horním oblouku mostní konstrukce nebylo možné vzhledem trakčnímu vedení osadit koutovým odražečem, přesnost měření posunů tohoto bodů je bohužel nižší (zatížena šumem) – viz tabulka 1.

tab. 1: Označení a přesnost posunů sledovaných bodů

Bod	Radiální spádová oblast	Projekční faktor	přesnost radiálního posunu [mm]	Přesnost svislého posunu [mm]	Popis
1	12	1,40	0,018	0,03	levý nosník
2	17	1,90	0,043	0,09	osa
3	23	2,81	0,035	0,10	pravý nosník
4	26	1,06	0,090	0,10	levý oblouk

V programu statické zkoušky byly plánovány celkem tři zatěžovací stavy – dva nesymetrické (zatížení v jedné koleji) a jeden symetrický (zatížení v obou kolejích). Realizovány pak byly celkem čtyři zatěžovací stavy – dva se zatížením v jedné z kolejí a dva se zatížením v obou kolejích. Souhrn jednotlivých zatěžovacích stavů – viz tabulka 2.

tab. 2: Souhrn zatěžovacích stavů.

číslo záznamu	kolej	T start [hh:mm:ss]	Délka zatížení [s]	ZS
1	1	01:00:00	580	SZS1
2	2	01:25:00	560	SZS2
3	1+2	01:52:00	620	SZS3
4	2+1	02:13:00	570	SZS4

V každé zkoušce jsou vyhodnocovány svislé posuny pozorovaných bodů od stavu při startu měření.

4 ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ STATICKÉ ZKOUŠKY

Statická zkouška byla vyhodnocována dle jednotlivých zatěžovacích stavů. Prvotní analýza proběhla v softwaru IBIS Data Viewer v. 15. Tento software umožňuje přepočet na svislé posuny pouze pro body v jedné linii, proto byla posuny exportovány v měřené formě ve směru záměry radaru. K přepočtu na svislé posuny a k tvorbě grafických výstupů byl užit skriptovací software Octave, v. 4.2.

Pro každý statický zatěžovací stav je zde uvedena shrnující tabulka s posuny bodů v klíčových okamžicích zkoušky. Grafické znázornění posunů v čase a změna tvaru příčného řezu konstrukcí při zatížení.

Kompletní data (svislé posuny všech pozorovaných bodů v taktu 1 Hz jsou v příloze data_1HZ_SZS.xlsx

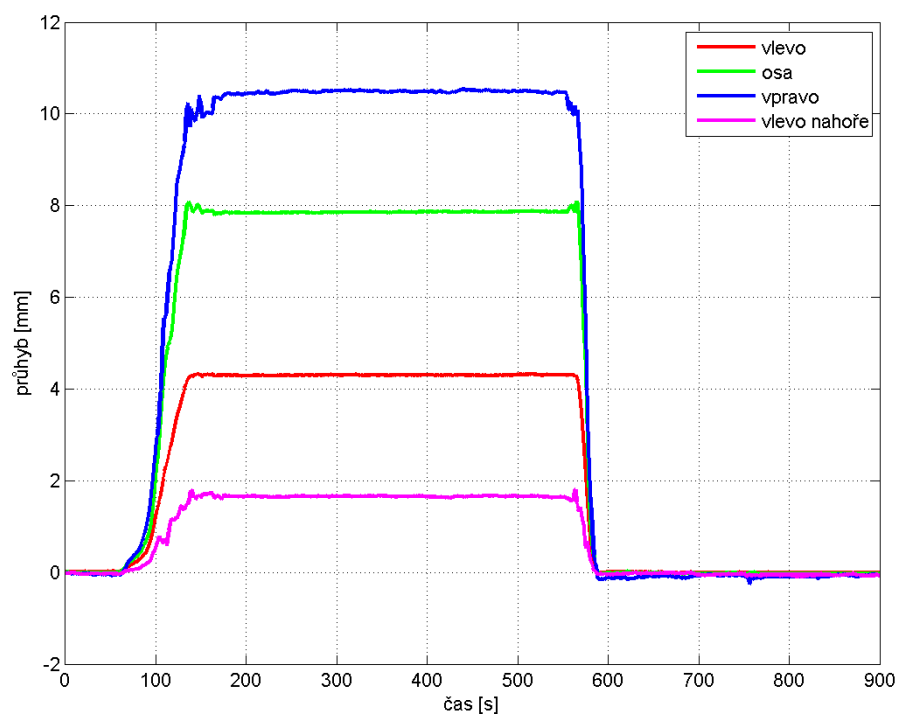
4.1 SZS1

Svislé posuny sledovaných bodů při asymetrickém zatížení v koleji 1 v klíčových stavech zkoušky jsou shrnuty v tabulce 3.

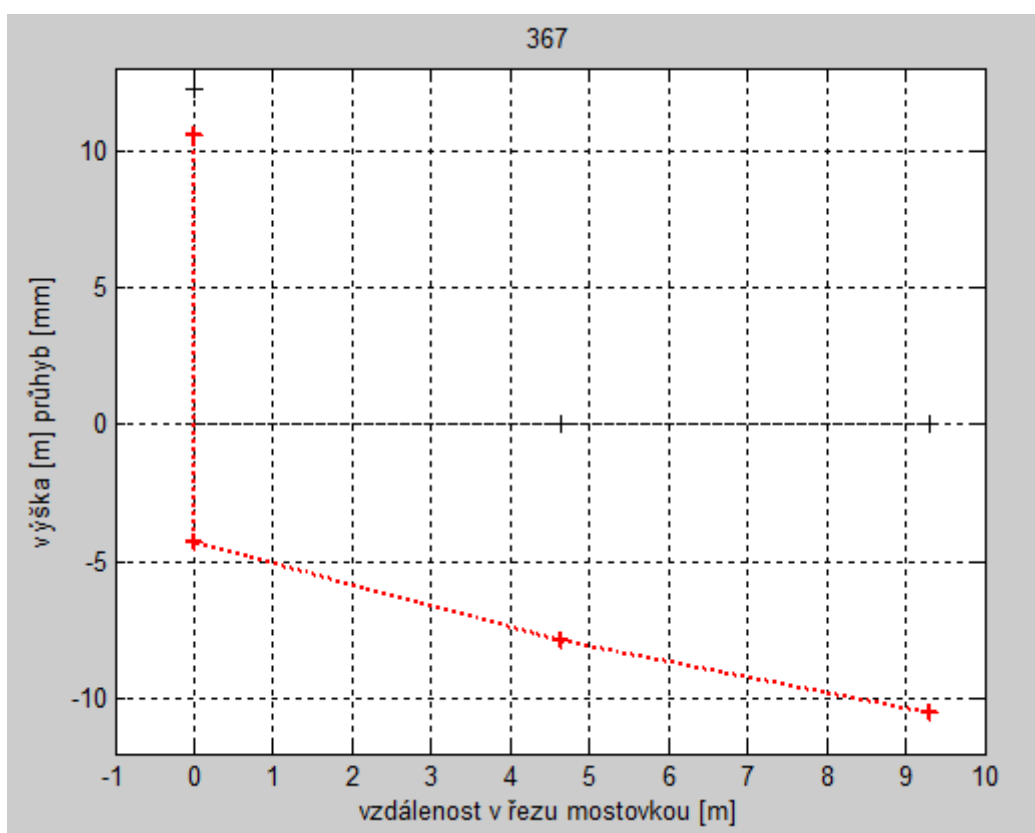
tab. 3: Souhrn posunů při SZS1.

Čas [s]	Průhyb [mm]				Poznámka
	Levý nosník	Osa	Pravý nosník	Levý nosník nahoře	
0	0,0	0,0	0,0	0,0	před zatížením
150	-4,3	-7,9	-10,1	-1,6	po zatížení
540	-4,3	-7,9	-10,5	-1,6	před odtížením
600	0,0	0,0	0,1	0,0	po odtížení
900	0,0	0,0	0,1	0,1	po uklidnění

Na obr. 2 jsou pak znázorněny posuny sledovaných bodů v závislosti na čase. A na obr. 3 je znázorněna změna tvaru příčného řezu při zatížení.



obr. 2: Posuny bodů při SZS1



obr. 3: Deformace příčného řezu konstrukce při zatížení (367 s po začátku měření)

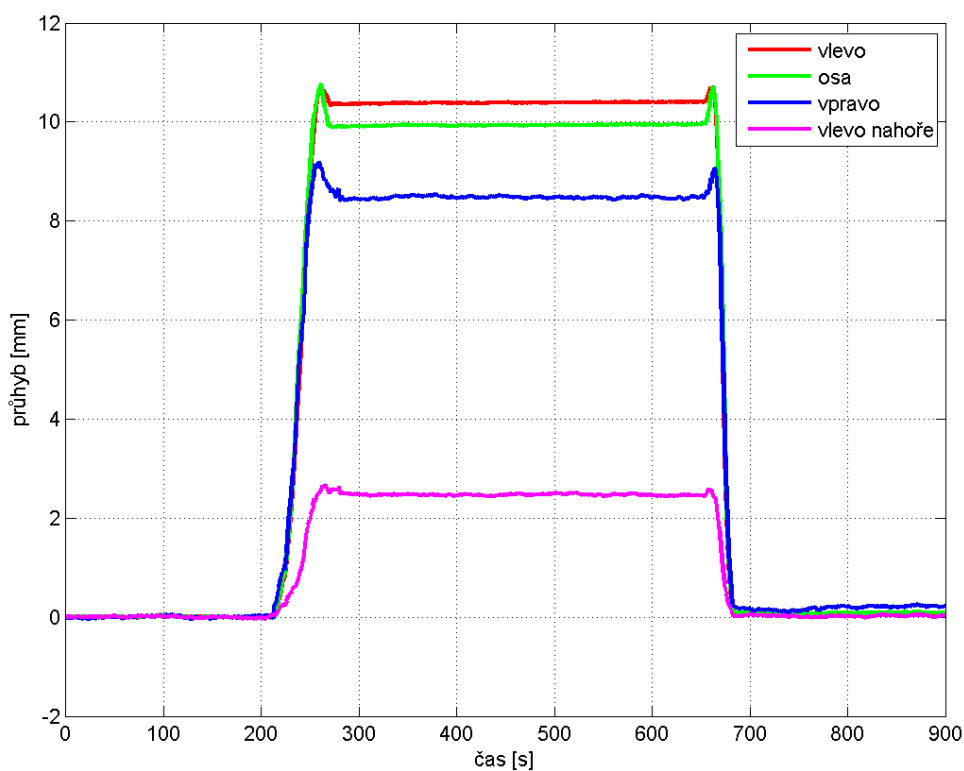
4.2 SZS2

Svislé posuny sledovaných bodů při asymetrickém zatížení v koleji 2 v klíčových stavech zkoušky jsou shrnuty v tabulce 4.

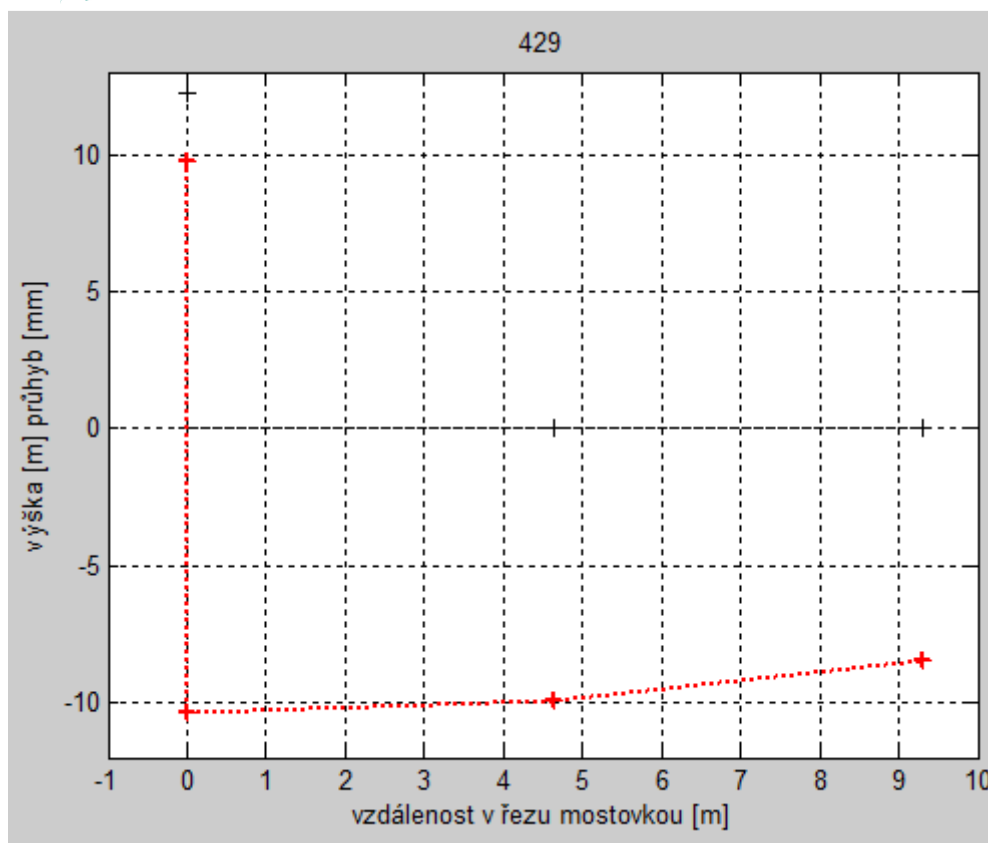
tab. 4: Souhrn posunů při SZS2.

čas [s]	Průhyb [mm]				poznámka
	levý nosník	Osa	Pravý nosník	Levý nosník nahoře	
0	0,0	0,0	0,0	0,0	před zatížením
270	-10,4	-9,9	-8,7	-2,5	po zatížení
660	-10,7	-10,6	-8,9	-2,6	před odtížením
720	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	po odtížení
960	-0,1	-0,1	-0,2	0,0	po uklidnění

Na obr. 4 jsou pak znázorněny posuny sledovaných bodů v závislosti na čase. A na obr. 5 je znázorněna změna tvaru příčného řezu při zatížení.



obr. 4: Posuny bodů při SZS2.



obr. 5: Deformace příčného řezu konstrukce při zatížení (429 s po začátku měření)

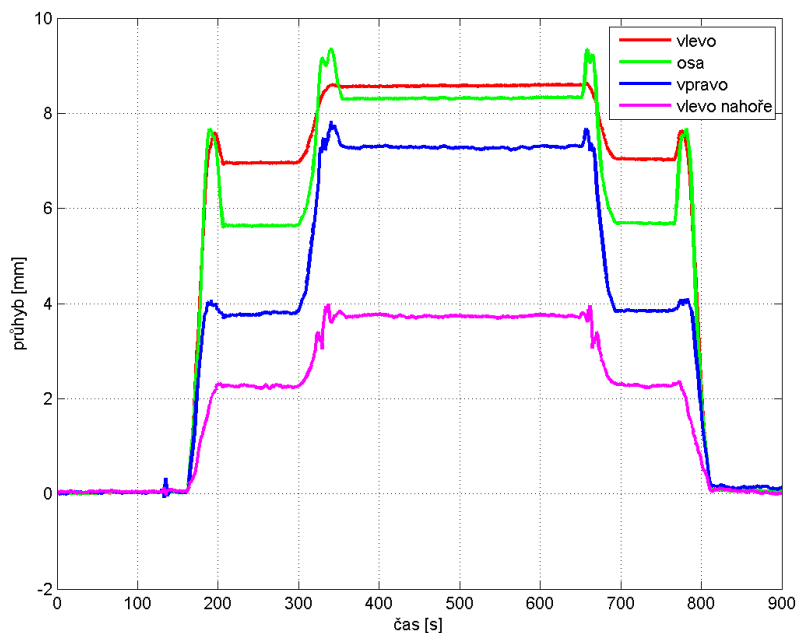
4.3 SZS3

Svislé posuny sledovaných bodů při postupném zatížení obou kolejí v klíčových stavech zkoušky jsou shrnuty v tabulce 5.

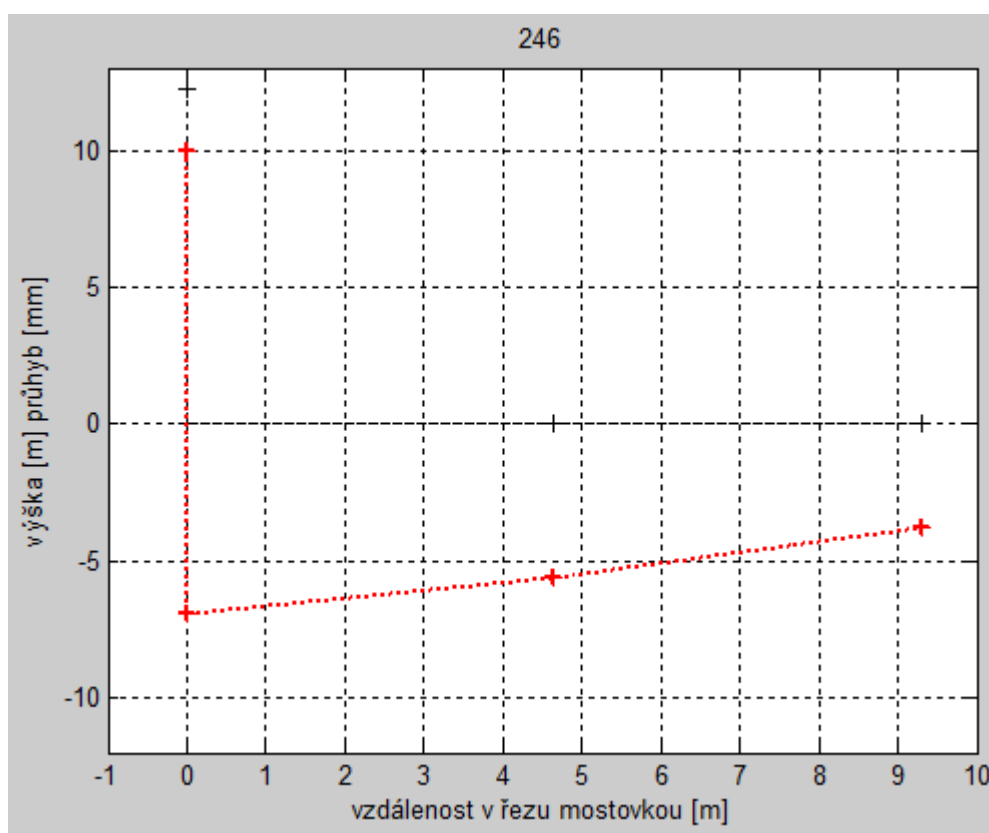
tab. 5: Souhrn posunů při SZS3.

Čas [s]	Průhyb [mm]				poznámka
	Levý nosník	Osa	Pravý nosník	Levý nosník nahoře	
0	0	0	0	0	Před zatížením
210	-6,96	-5,64	-3,73	-2,27	Po zatížení v koleji 1
300	-6,98	-5,67	-3,86	-2,27	Před zatížením v koleji 2
360	-8,55	-8,3	-7,29	-3,7	Po zatížení v koleji 2
630	-8,59	-8,33	-7,27	-3,72	Před odtížením koleje 2
720	-7,03	-5,69	-3,84	-2,29	Po odtížení kole 2
780	-7,45	-7,6	-4,08	-2,05	Před odtížení koleje 1
840	-0,06	-0,07	-0,13	-0,06	Po odtížení obou kolejí
1110	-0,07	-0,09	-0,2	-0,09	Po uklidnění

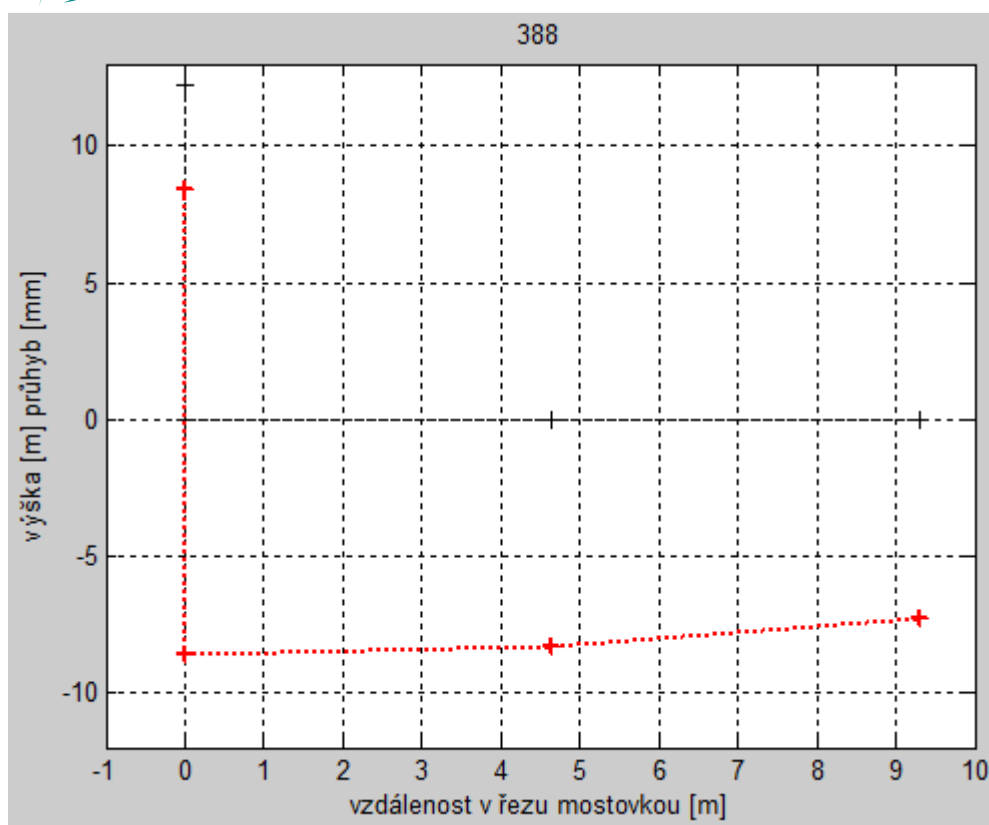
Na obr. 6 jsou pak znázorněny posuny sledovaných bodů v závislosti na čase. A na obr. 7 je znázorněna změna tvaru příčného řezu při zatížení v koleji 1 a na obr. 8 po zatížení obou kolejí.



obr. 6: Posuny bodů při SZS3



obr. 7. Deformace příčného řezu konstrukcí po zatížení koleje 1



obr. 8: Deformace příčného řezu konstrukcí po zatížení obou kolejí

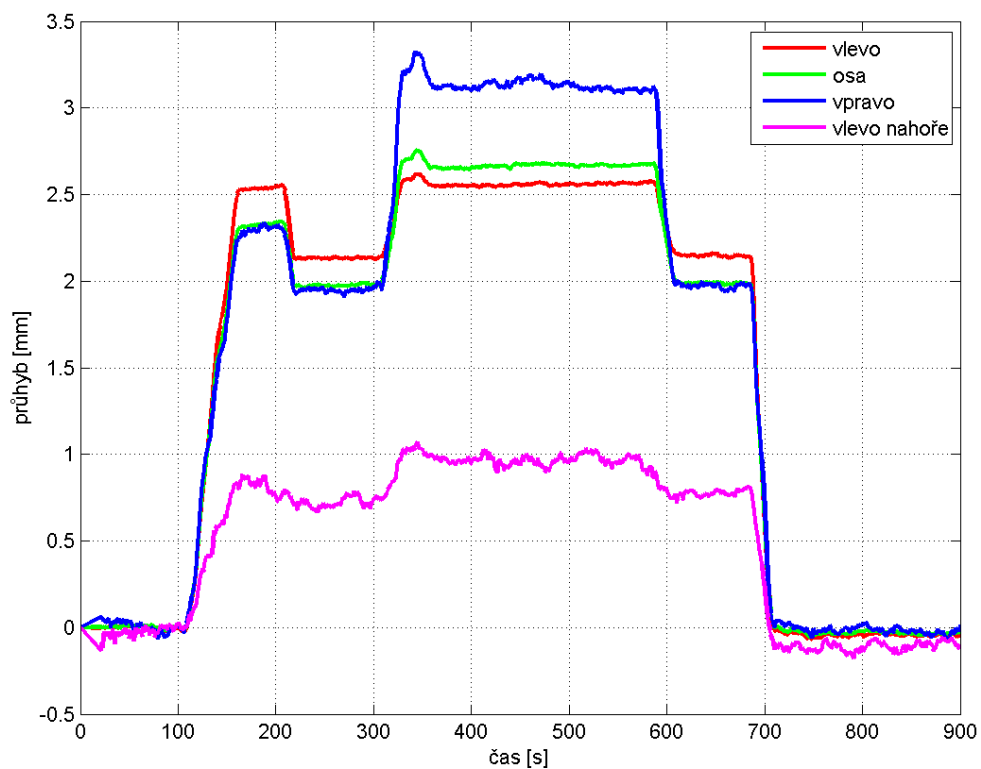
4.4 SZS4

Svislé posuny sledovaných bodů při postupném zatížení obou kolejí v klíčových stavech zkoušky jsou shrnuty v tabulce 6.

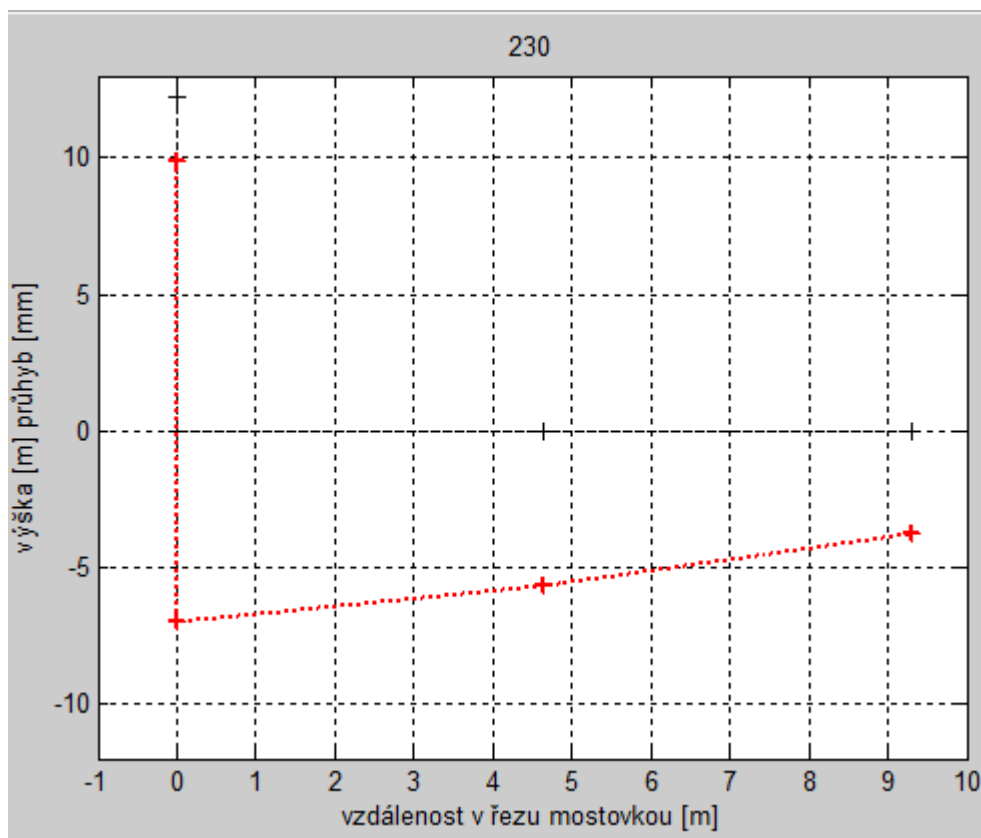
tab. 6: Souhrn posunů při SZS4

Čas [s]	Průhyb [mm]				Poznámka
	Levý nosník	Osa	Pravý nosník	Levý nosník nahoře	
20	0,0	0,0	0,0	0,0	před zatížením
170	-2,5	-2,3	-2,3	-0,9	po zatížení koleje 2
290	-2,1	-2,0	-1,9	-0,7	před zatížením koleje 1
350	-2,6	-2,7	-3,3	-1,0	po zatížení koleje 1
560	-2,6	-2,7	-3,1	-1,0	před odtížením koleje 1
620	-2,2	-2,0	-2,0	-0,8	po odtížení koleje 1
680	-2,1	-2,0	-2,0	-0,8	před odtížením koleje 2
740	0,0	0,0	0,0	0,1	po odtížení koleje 2
1040	0,0	0,0	0,0	0,2	po uklidnění

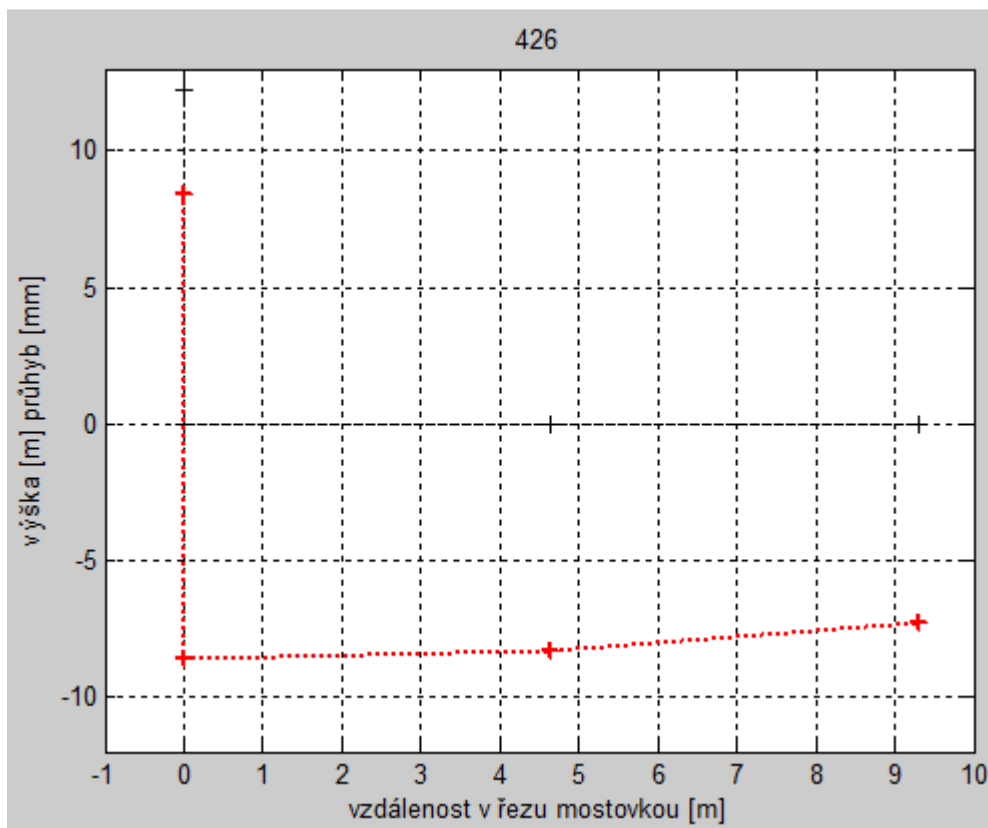
Na obr. 9 jsou pak znázorněny posuny sledovaných bodů v závislosti na čase. Na obr. 10 je znázorněna změna tvaru příčného řezu při zatížení v koleji 2 a na obr. 11 po zatížení obou kolejí.



obr. 9 Posuny bodů při SZS4



obr. 10 Deformace příčného řezu konstrukcí po zatížení koleje 2



obr. 11: Deformace příčného řezu konstrukcí po zatížení obou kolejí

5 ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ DYNAMICKÝCH A BRZDNÝCH ZKOUŠEK

Data byl opět po částech dle jednotlivých zatěžovacích stavů předzpracována v softwaru IBIS Data Viewer, z něž byly exportovány radiální posuny bodů na frekvenci 100 Hz. Další zpracování včetně frekvenční analýzy probíhalo v skriptovacím softwaru Octave.

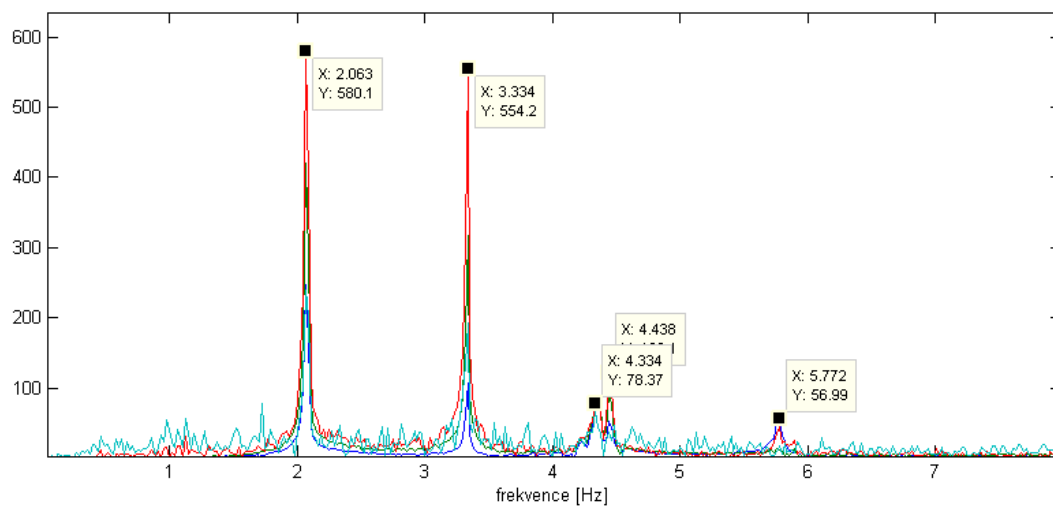
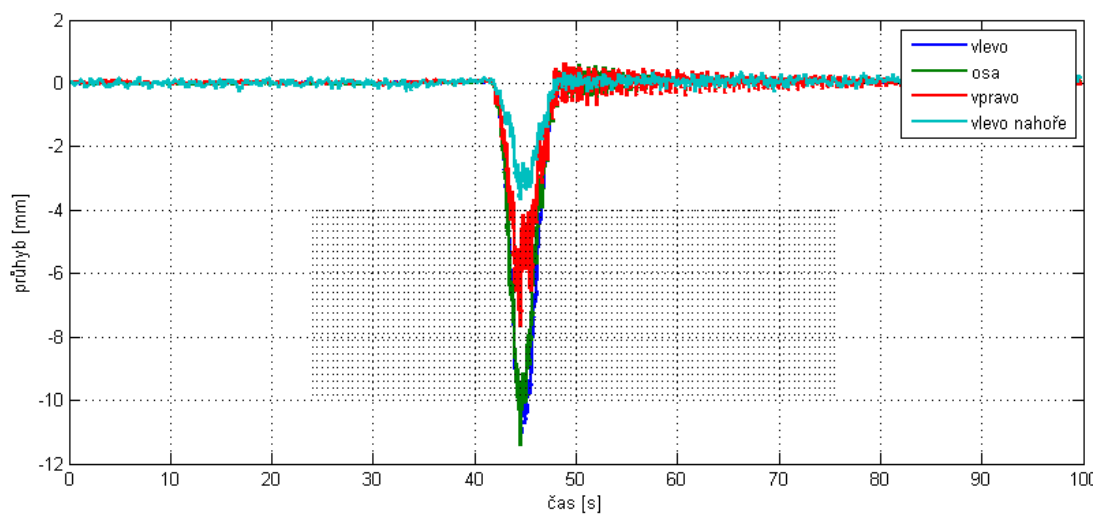
K frekvenční analýze bylo užito diskrétní rychlé furierovy transformace na okno o délce 48 sekund (4800 záznamů). Ve frekvenční grafu po provedené zkoušce pak byly detekovány výrazné peaky pro určení vlastních frekvencí.

Vzhledem k velkému počtu zkoušek a objemu dat je v této zprávě prezentována pouze tabulka shrnující detekované vlastní frekvence konstrukce, viz tab. 7, a ukázka detekce vlastních frekvencí při jednom ze zatěžovacích stavů.

Všechna data ve frekvenci 100 Hz jsou uložena v příloze data_100HZ_DZS.xlsx.

tab. 7: Vlastní frekvence z jednotlivých zatěžovacích stavů. (šedé hodnoty jsou na hranici šumu)

zatěžovací stav	Detekované vlastní frekvence kmitání [Hz]				
DZS1	2,063	3,334	4,336		
DZS2	2,063	3,334			
DZS3	2,063	3,334	4,334	4,438	5,77
DZS4	2,063	3,334	4,334		5,77
DZS5	2,063	3,334			
DZS6	2,063	3,334	4,334	4,438	5,75
DZS7	2,063	3,334	4,334		5,77
BZS1	2,063	3,334	4,334	4,438	
BZS2	2,063				
BZS3	2,063	3,334			5,77
BZS4	2,063	3,334		4,438	
výsledné	2,063	3,334	4,334	4,438	5,77



obr. 12: Příklad určení vlastních frekvencí z frekvenční analýzy pohybů bodů.

5.1 Přílohy

- 044-17-Příloha-1_Zapis_zatezovacich_stavu.xls
- 044-17-Příloha-2_Data_1HZ_SZS.xlsx – Na každém listu data z jednoho ze statických zatěžovacích stavů na frekvenci 1 Hz.
- 044-17-Příloha-3_Data_100HZ_DZS.xlsx – Na každém listu data jednoho dynamický a brzdňých zatěžovacích stavů.

V Ledči nad Sázavou, 9.6. 2017

Ing. Ondřej Michal

Ing. Michal Glöckner



Technická zpráva

Monitoring svislých deformací mostu pod Vyšehradem během běžného provozu

Vyhodnocení měření radarovou interferometrií

Červen 2017

1 ZADÁNÍ

Měření svislých deformací konstrukce radarovou interferometrií probíhalo v rámci akce: „Rekonstrukce železničních mostů pod Vyšehradem.“ Objednatel je firma SUDOP PRAHA a.s. Jako doplnění programu ověřovacích statických a dynamických zatěžovacích zkoušek bylo navrženo monitorování svislých deformací v příčném směru konstrukce, přibližně v polovině rozpětí, během běžného provozu v pracovní den po dobu osmi hodin. Měření tedy proběhlo 17. 5. 2017 od cca. 14 hodin do 23 hodin.



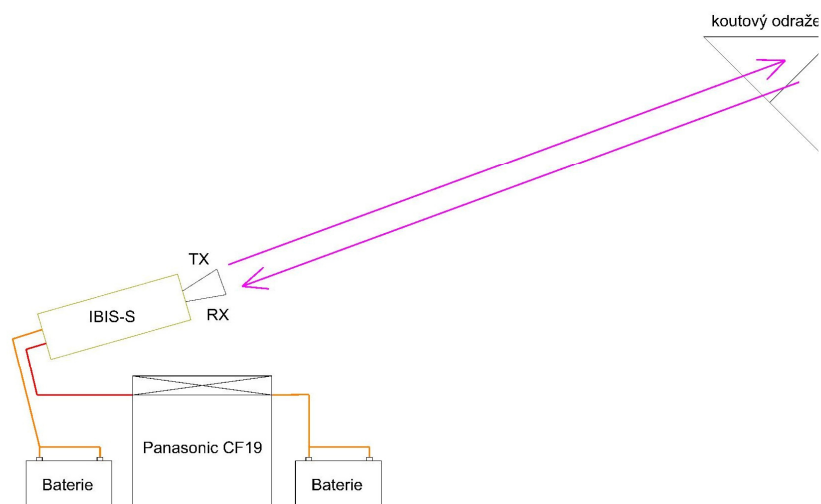
Obr. 1 Železniční most pod Vyšehradem během měření

2 RADAROVÁ INTERFEROMETRIE

Následující tabulka shrnuje základní vlastnosti použitého interferometrického radaru IBIS-S od fy. IDS. Radar má pevně danou radiální rozlišovací schopnost 0,75m. Přesnost měření a vyhodnocení je potom závislá na dané lokalitě a předmětu měření.

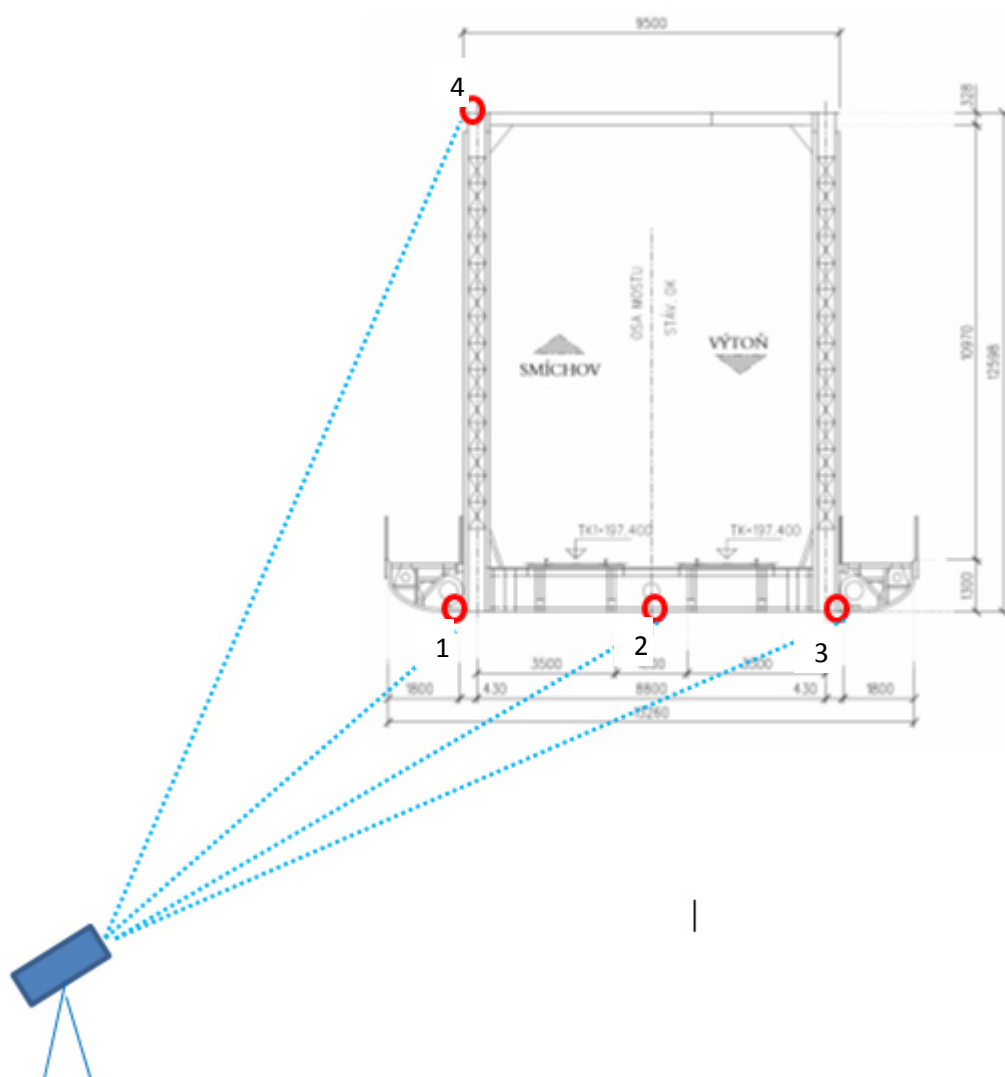
Střední frekvence	16,75 Ghz
Polarizace	VV
Tlumení antény	18 dB
Rozlišovací buňka	0,75 m
vzdálenost měření	až 1000 m (při měření 100 m)
frekvence záznamu	až 200 Hz (při měření 100 Hz)
Přesnost (směrodatná odchylka)	0,01 mm (při měření 0,10 mm)

Interferometrický radar IBIS-S je napájen z baterie. Ovládací notebook Panasonic CF-19 je napájen také baterií. Radar a notebook jsou propojeny datovým kabelem. Radar vysílá mikrovlnné záření anténou TX a přijímá odražený signál anténou RX. V případě dostupnosti lze radar připojit na síť AC.



3 SCHÉMA A PŘÍPRAVA MĚŘENÍ RADAROVOU INTERFEROMETRIÍ

Dle programu statické zatěžovací zkoušky sledovány 3 body v příčném řezu 1. mostního pole – viz obr. 1. Nebyl sledován bod číslo 4.



obr. 1: Schéma měření radarovou interferometrií s označením měřených bodů.

Sledované body na spodní části konstrukce osazeny kovovými koutovými odražeči pro zvýšení odrazivosti a přesnosti měření svislých posunů. Bod na horním oblouku mostní konstrukce nebylo možné vzhledem trakčnímu vedení osadit koutovým odražečem, přesnost měření posunů tohoto bodů je bohužel nižší (výrazně zatížena šumem) – viz tabulka 1.

tab. 1: Označení a přesnost posunů sledovaných bodů

Bod	Radiální spádová oblast	Projekční faktor	přesnost radiálního posunu [mm]	Přesnost svislého posunu [mm]	Popis
1	12	1,37	0,003	0,004	levý nosník
2	16	1,93	0,005	0,01	osa
3	23	2,73	0,02	0,05	pravý nosník
4	25	1,02	0,13	0,13	levý oblouk

4 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Při dlouhodobém měření je nutné vzhledem k objemu dat měřená data rozdělovat do více souborů, při uvedené konfiguraci měření je maximální délka záznamu cca 70 minut. Vzhledem k tomu, že měření bylo prováděno na frekventovaném místě, několikrát bylo přerušeno pohybem v záměrné přímce radaru, pak byl opět zvolen záznam do nového souboru.

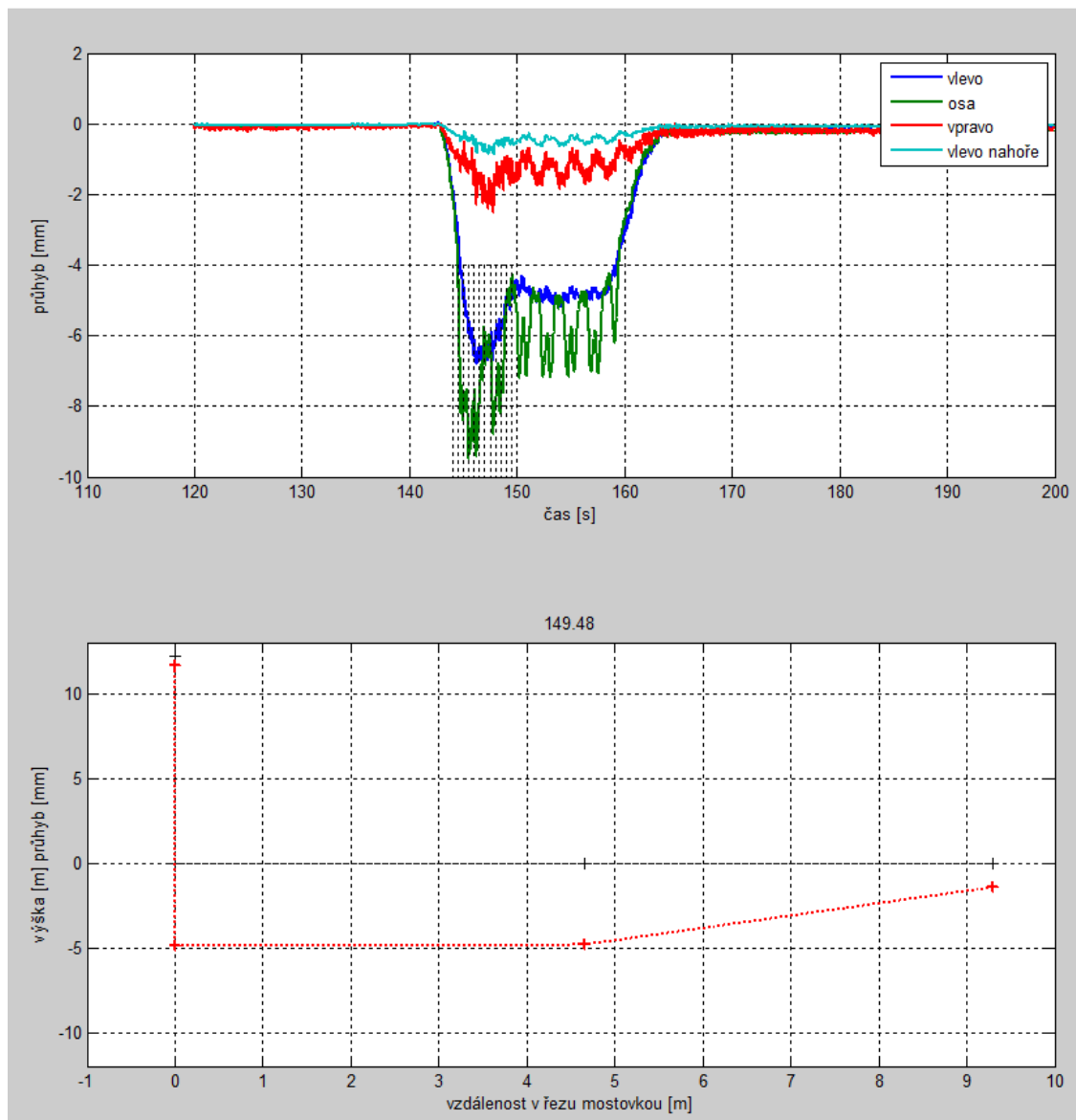
Svislé posuny jednotlivých sledovaných bodů jsou byly exportovány do textových souborů v jednotném formátu:

čas [s] bod 1 [mm] bod 2 [mm] bod 3 [mm] bod 4 [mm]

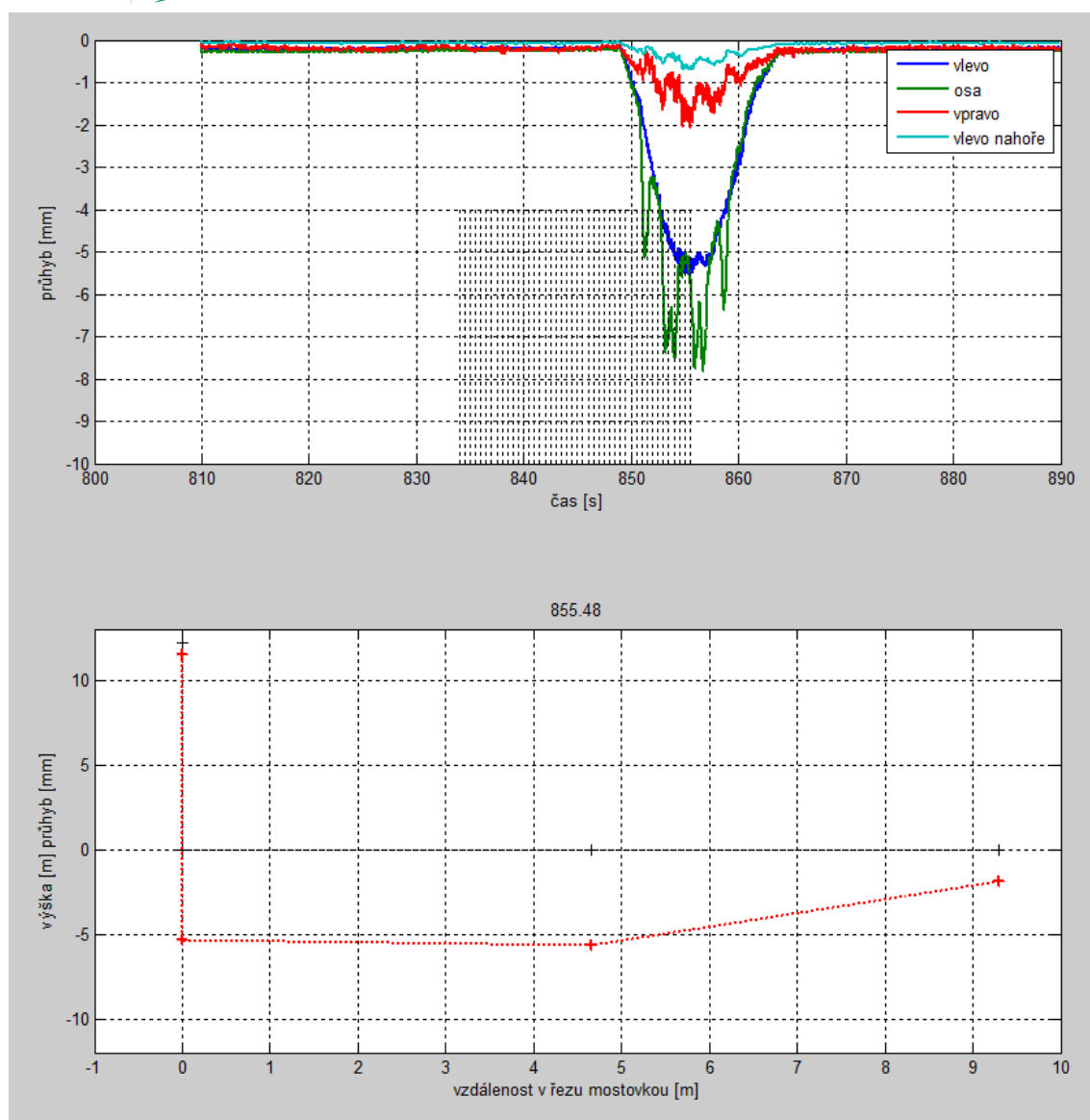
který umožní snadné načtení do libovolného software k dalšímu zpracování.

V této zprávě je pak prezentováno chování konstrukce při průjezdu typických vlakových vozidel.

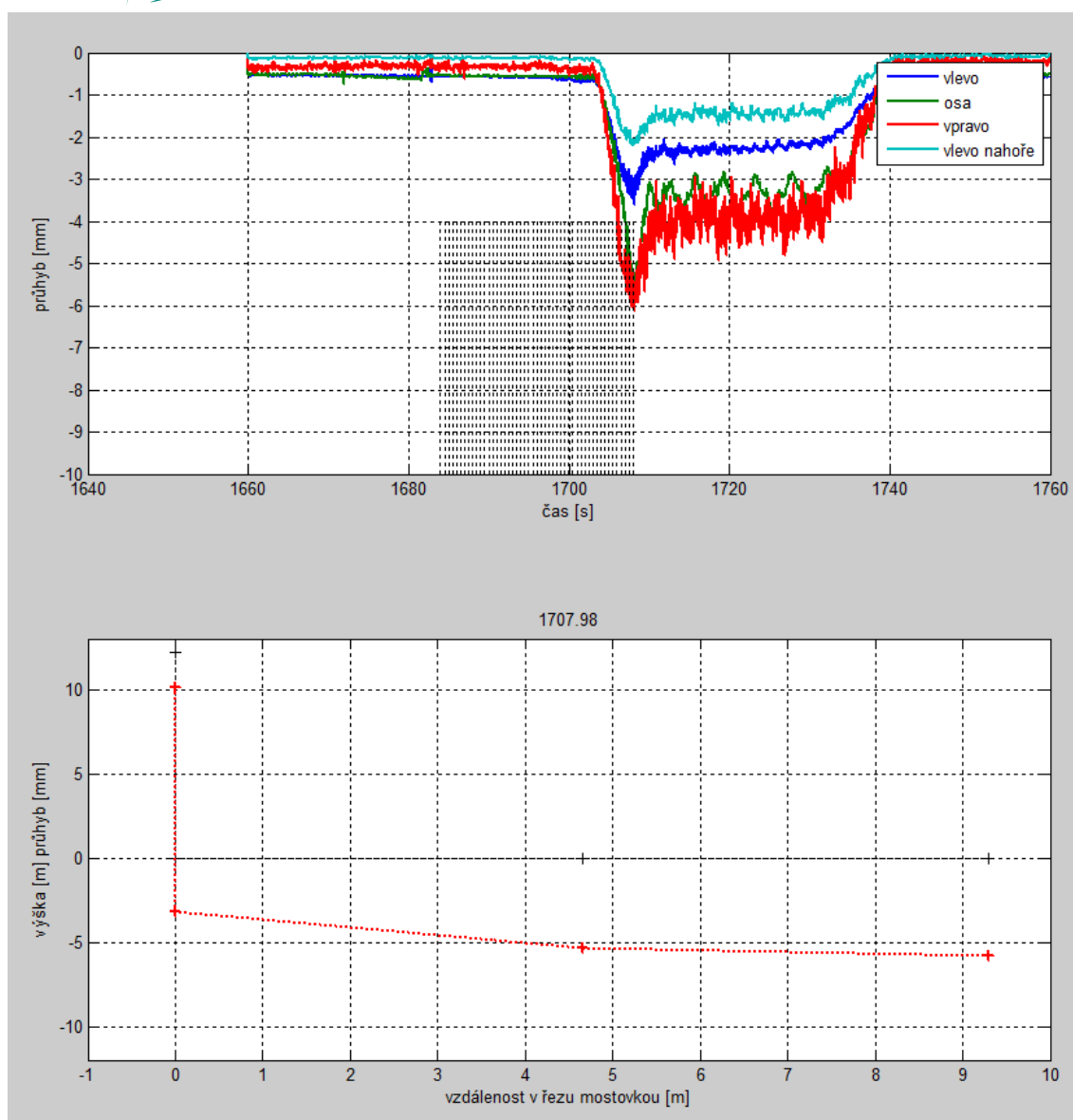
4.1 Příklady výsledků



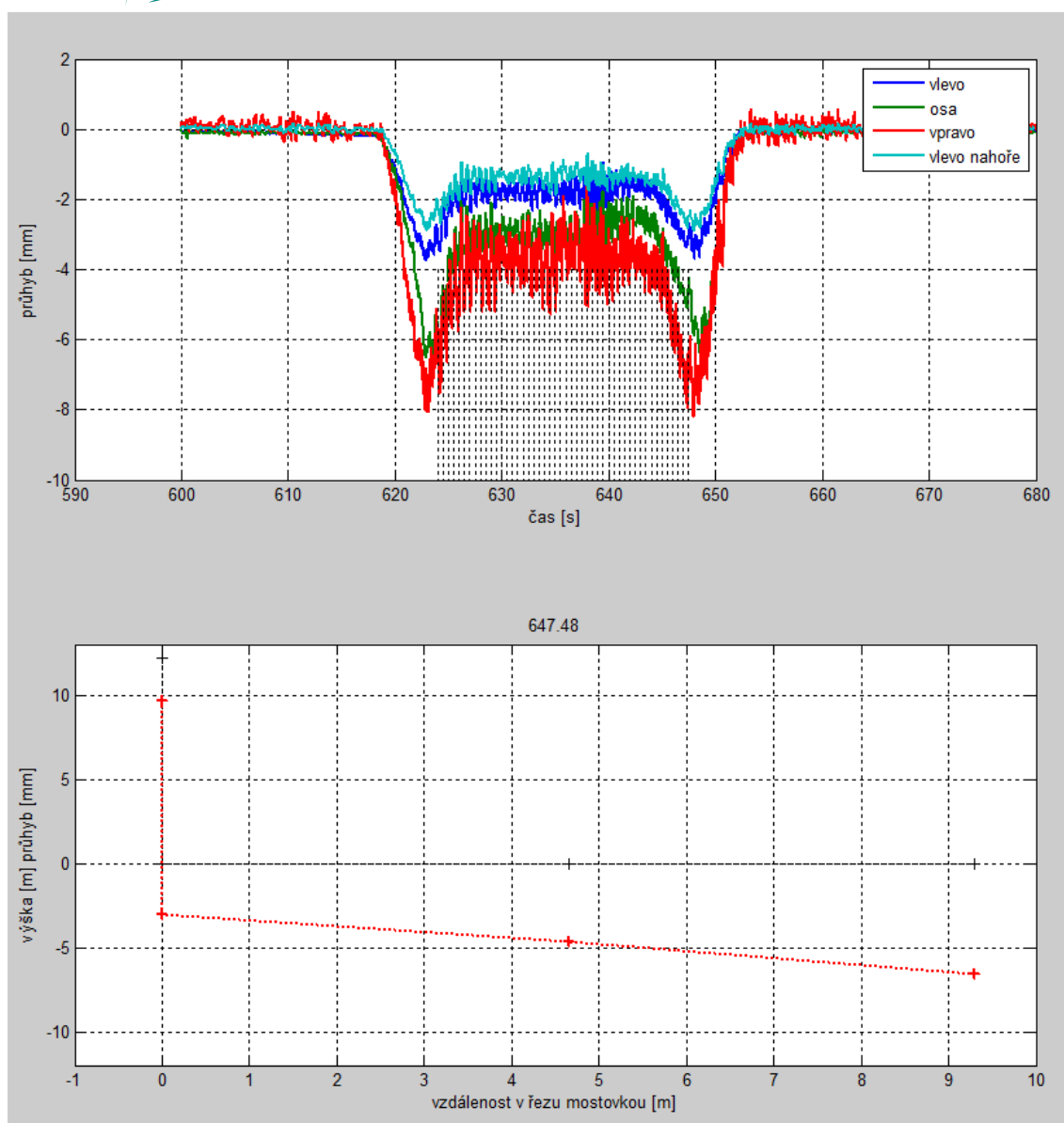
obr. 2: Průhyb sledovaných bodů při průjezdu rychlíkové soupravy po koleji 2 ve směru Smíchov (data2.txt).



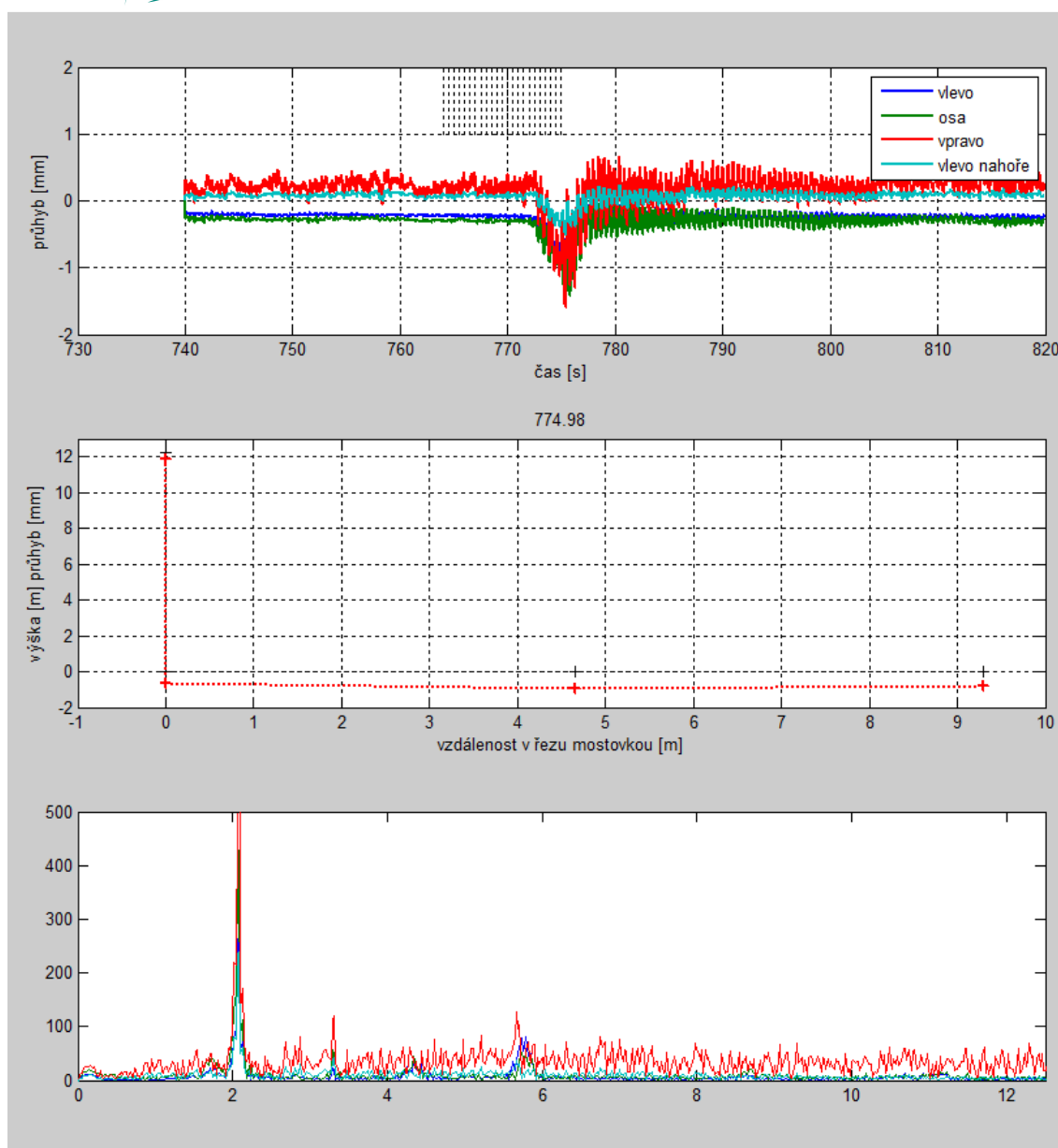
obr. 3: Průhyb sledovaných bodů při průjezdu soupravy City Elephant po koleji 2 ve směru Smíchov (data2.txt).



obr. 4: Průhyb sledovaných bodů při průjezdu rychlikové soupravy po koleji 1 ve směru Výtoň (data4.txt).



obr. 5: Průhyb sledovaných bodů při průjezdu nákladní soupravy po koleji 1 ve směru Výtoň (data8txt).



obr. 6: průjezd samostatné lokomotivy s frekvenční funkcí kmitání sledovaných bodů.

V Ledči nad Sázavou, 19.6. 2017

Ing. Ondřej Michal

Ing. Michal Glöckner