



MOSTY PRO VYSOKORYCHLOSTNÍ ŽELEZNIČNÍ TRAT – DYNAMICKÉ CHOVÁNÍ

Zpracovali: Bc. Michal Rotter; doc. Ing. Pavel Ryjáček, Ph.D. (Fakulta stavební VUT v Praze)

Souhrn

Pro další rozvoj vysokorychlostních železnic v České republice je potřeba optimalizovat návrh mostních konstrukcí na těchto tratích. K tomu je třeba znát dynamické úkony vlaků na tyto konstrukce. Bylo proto vybráno 5 typických pruhů mostů pro VRT na základě zkušeností ze zahraničí a již uskutečněných mostních staveb v tuzemsku, na kterých byla provedena parametrická studie jejich dynamického chování při jízdě zatěžovacích modelů vysokorychlostních souprav.

Oblast použití

Výsledky parametrické studie dynamického chování jednokolejných mostních konstrukcí pro vysokorychlostní tratě poslouží pro optimalizaci návrhu těchto konstrukcí na základě údajů o maximálních zrychleních od jízd normových souprav při různých rychlostech. Tato analýza může zároveň posloužit jako podklad pro posouzení nových typů lokomotiv a sestav vlaků pro vysokorychlostní tratě.

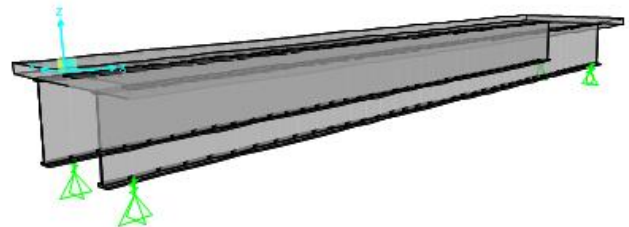
Metodika a postup řešení

V posledním roce probíhala v programech CSI Bridge 2016 a midas/Civil 2016 analýza jednokolejných mostních konstrukcí pěti typických pruhů mostů užívaných pro vysokorychlostní tratě. Šlo o železobetonový deskový pruh, předpjatý betonový dvoutřám, předpjatou betonovou komoru, ocelobetonový spážený pruh s dvěma ocelovými I-nosníky a ocelobetonový spážený pruh s ocelovou komorou. Pro každý pruh bylo určeno základní rozpětí prostého pole, které se v další fázi analýzy zvětšilo, resp. zmenšilo o 5 metrů, a spojitěho nosníku. Základní rozpětí prostých polí byla 15 m pro desku, 35 m pro trémové mosty a 50 m pro komorové pruhové. Pro tyto polí spojitěho nosníky odpovídalo rozpětí v krajních polích zmenšeným hodnotám z prostých nosníků, ve středních polích pak hodnotám základním.

V programu midas/Civil se navíc u prostých polí ověřil vliv hmotnosti konstrukce, který má simulovat

dvukolejné mosty. Konkrétně v hodnotách 100 %, 90 % a 80 % vlastní hmotnosti při zachování ostatního stálého zatížení.

Vzhledem k požadovanému rozsahu analýzy vyžadující pouze kmitání mostní konstrukce jako celku a ne její dílčích částí byly mosty modelovány jako jednoduchý prutový model bez uvažování klopení a dílčích stabilitních problémů, u kterých se předpokládá, že jim je zcela zabráněno.



Obr. 1 Model: spážená konstrukce – betonová deska a ocelové nosníky.

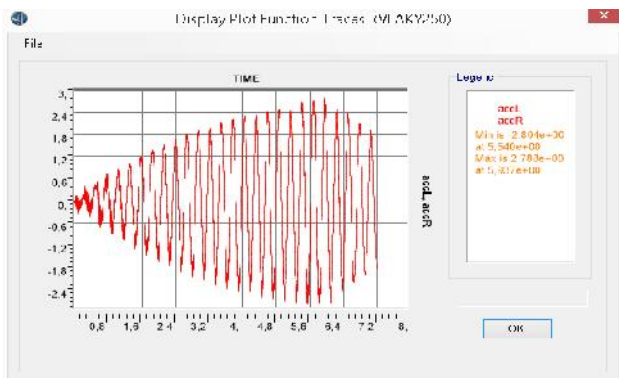
Všechny pruhové systémy v svých příslušných rozpětích byly zatíženy vysokorychlostními soupravami HSLM A1 až A10 z normy SN EN 1991-2 – Zatížení mostů dopravou, vysokorychlostními soupravami MU podle evropské normy EN 15528 a skutečnou soupravou DB typ C14 (ICE T1-411). Rychlost jízd těchto souprav navazovala na předchozí analýzy končící na rychlosti 200 km/h a pokrývala rozmezí 200 až 420 km/h v etn. krajních hodnot.

Ve výpočtu byla použita jen zatížení vlastní vahou konstrukce, od kolejevého svršku a od výše zmíněných zatěžovacích souprav. Vliv upevnění, spodní stavby ani klimatických jevů uvažován nebyl.

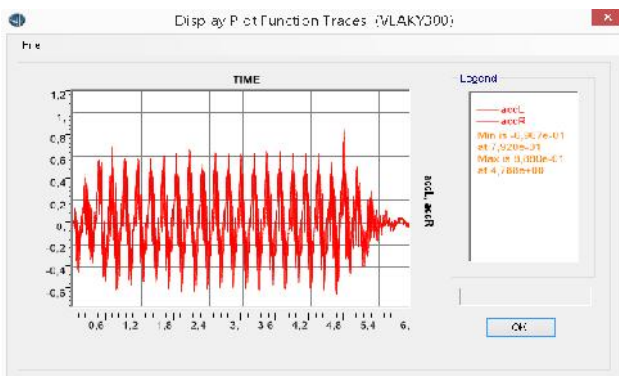
Výsledky

Pro každý pruh byly určeny dvě varianty v závislosti na výšce pruhu. Ta byla vždy 1/10 a 1/15 rozpětí. Pro každou z těchto variant pak byl model zatížen celkem 14 soupravami (HSLM A1 až A10, MU-AB4, MU-CB2, MU-SA2 a vlak ICE) ve 14 rychlostech v rozmezí od 200 km/h vždy po 20 km/h až do rychlosti 420 km/h s předepsanými rychlostmi 250 a 350 km/h.

Na obr. 2 a 3 je vidět porovnání kmitání stědu konstrukce u betonového dvoutrámu o výšce pruhu $L/10$ pro soupravu HSLM A1. Zatímco na obr. 1 dochází ke kmitání blízkému rezonančnímu (budící frekvence od jezdce soupravy je blízká vlastní frekvenci konstrukce) při 250 km/h, na obr. 2 je kmitání ustálené s téměř konstantní amplitudou od začátku kmitání až po dokmitávání po skonění jezdce při 300 km/h.

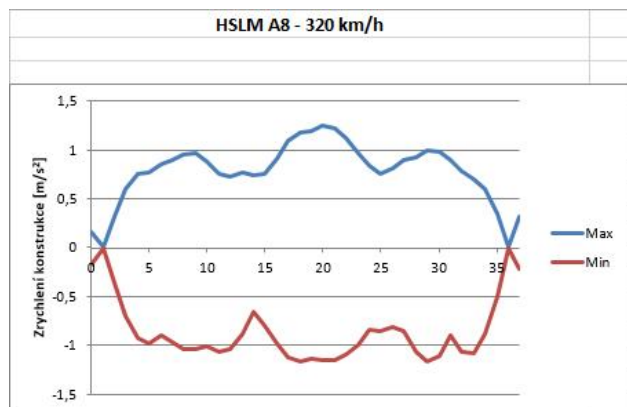


Obr. 2 Průběh zrychlení stědu konstrukce (rezonance).



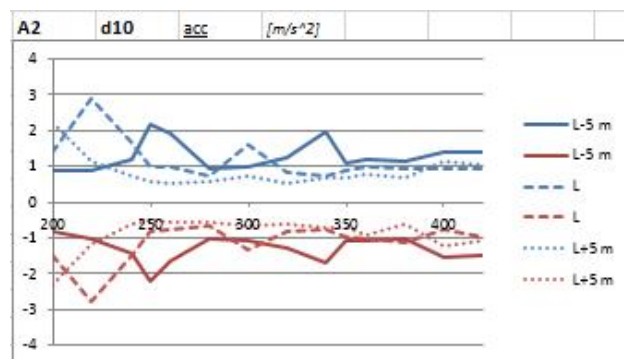
Obr. 3 Průběh zrychlení stědu konstrukce vase (ustálené kmitání).

Z těchto jezdů pak bylo vyhledáno maximum a minimum hodnot zrychlení a průhybu konstrukce po celé délce rozpětí pro každou rychlost. Na obr. 4 je vidět zrychlení na betonovém dvoutrámu s výškou pruhu $L/10$ pro zatěžovací soupravu HSLM A8 při rychlosti 320 km/h s viditelnými posuvnými hodnotami ve 3. vlastním tvaru kmitání.



Obr. 4 Průběh zrychlení po délce konstrukce.

Následně byly z extrémních hodnot sestaveny grafy závislosti maximálního zrychlení a průhybu na rychlosti zvlášť pro každou soupravu a porovnány s hodnotami při zvětšeném a zmenšeném rozpětí. Změna vlastní frekvence způsobená změnou rozpětí a od toho odvozené výšky a tuhosti pruhu způsobila posun a změnu velikosti „špičky“ zrychlení do oblastí, kde dochází k rezonanci při blížení budící frekvence od jezdce a vlastní frekvence konstrukce, v nichž případech zcela mimo posuzovaný záběr rychlostí. Na obr. 5 je vidět, jak se se zvětšujícím se rozpětím posouvají špičky doleva – první plná odpovídá první křivce. První křivka je tedy mimo záběr. Druhá křivka oproti tomu zcela zmizí.



Obr. 5 Průběh extrémního zrychlení ve spektru rychlostí 200 – 420 km/hod pro všechny varianty rozpětí.

Závěr

V tomto roce proběhla analýza pouze na modelech prostých nosníků a částech na ty polových spojitých nosnicích pro 5 vybraných pruhů. V další fázi by bylo vhodné tuto analýzu rozšířit o další statická schémata, například rámové konstrukce, a další ve své užívané pruhu mostních konstrukcí pro vysokorychlostní tratě, jako jsou zabetonované ocelové nosníky a užití UHPC nosníků.

Literatura

- [1] SN EN 1991-2. *Zatížení mostů dopravou*. Praha: český normalizační institut, 2005.
- [2] SN EN 15528+A1. *Železniční aplikace - Tražní tídy zatížení pro určení vztahu mezi dovoleným zatížením infrastruktury a maximálním zatížením vozidly*. Praha: český normalizační institut, 2016.
- [3] Hoopah, W. *Steel bridges for high speed railways in Europe*; Korea, 2006.

P ÍLOHA A – TABULKA MAXIMÁLNÍCH ZRYCHLENÍ KONSTRUKCE U PROSTÉHO NOSÍKU

Roz- pětí	Průřez varianta		Maximální zrychlení [m/s^2] při rychlosti přejezdu [km/hod]													
			200	220	240	250	260	280	300	320	340	350	360	380	400	420
10 m	ŽB deska	d10	3,39	4,42	3,24	3,48	3,57	4,41	6,08	6,43	8,48	10,13	8,92	8,89	9,64	9,84
		d15	6,21	8,98	14,44	10,56	11,91	11,65	15,14	18,31	12,87	14,84	15,22	14,63	13,73	18,35
15 m	ŽB deska	d10	1,60	2,17	1,97	2,40	2,14	2,66	2,60	2,33	3,49	3,51	4,97	6,18	4,86	5,27
		d15	3,93	4,55	7,27	6,03	6,78	7,38	8,70	14,81	15,86	16,15	15,17	14,52	16,25	16,90
20 m	ŽB deska	d10	1,06	2,10	2,06	1,91	1,76	1,56	1,81	1,45	1,75	1,65	1,96	2,49	4,73	6,09
		d15	1,98	3,10	4,00	7,19	8,16	11,14	11,87	11,61	13,92	13,74	14,28	17,57	11,87	8,47
30 m	OB dvoutrám	d10	1,91	2,08	2,52	4,12	3,65	2,16	2,48	5,60	7,75	8,52	9,96	13,45	8,32	5,28
		d15	4,36	8,98	11,73	15,02	9,17	5,36	4,56	4,30	5,87	7,29	6,66	9,47	7,25	6,40
	PJB dvoutrám	d10	1,16	1,18	2,71	1,74	1,54	1,32	2,39	4,12	5,16	5,95	7,31	4,40	2,75	2,31
		d15	4,43	6,64	9,52	5,87	4,27	2,72	3,07	3,41	4,49	5,48	7,31	4,42	4,85	3,81
35 m	OB dvoutrám	d10	1,06	3,29	6,06	5,34	4,26	2,34	1,70	3,84	5,80	5,16	3,99	3,20	2,24	3,28
		d15	3,26	6,66	2,99	4,97	4,38	2,73	3,98	5,13	6,99	6,52	5,47	4,28	5,02	6,93
	PJB dvoutrám	d10	1,02	2,66	2,51	2,04	1,41	0,93	1,64	3,03	1,94	1,63	1,32	1,29	1,55	2,29
		d15	3,11	2,56	1,91	2,14	1,98	2,31	3,02	5,05	3,27	3,75	3,03	3,21	5,03	3,69
40 m	OB dvoutrám	d10	2,00	4,10	5,35	4,57	4,05	2,77	1,59	1,32	2,00	1,71	2,00	2,16	1,87	2,33
		d15	1,60	2,65	1,89	2,19	2,89	3,59	4,13	3,59	3,17	3,20	4,27	5,52	5,41	7,82
	PJB dvoutrám	d10	1,91	2,21	1,79	1,74	1,61	0,93	0,80	0,88	1,27	1,02	1,06	0,97	1,22	1,52
		d15	1,28	1,30	1,59	1,75	1,95	2,81	1,90	2,43	2,61	3,85	4,26	3,03	3,98	4,22
45 m	OB komora	d10	0,58	0,64	1,16	1,75	2,85	3,49	4,08	3,63	3,87	3,03	2,48	1,24	1,09	1,03
		d15	4,61	4,20	2,72	1,54	1,56	1,16	2,89	1,78	1,55	1,82	2,84	3,06	4,63	2,44
	PJB komora	d10	0,49	0,88	1,89	1,87	2,09	2,56	2,33	1,70	0,80	0,97	0,76	0,69	0,74	0,99
		d15	2,71	1,20	0,81	1,04	1,35	1,21	1,52	2,00	2,56	2,67	2,32	2,01	3,27	2,78
50 m	OB komora	d10	0,84	1,54	0,82	1,41	2,07	3,28	3,67	4,14	1,49	1,32	1,13	1,43	0,72	1,40
		d15	4,08	2,85	1,47	1,29	1,06	1,80	1,77	1,68	2,41	2,92	2,62	2,25	3,49	3,14
	PJB komora	d10	0,85	0,69	1,55	1,99	2,10	2,62	1,48	1,02	0,61	0,58	0,59	0,56	0,74	1,15
		d15	1,59	1,01	0,73	0,93	1,01	1,38	1,18	1,63	1,62	2,08	2,46	2,23	2,24	2,47
55 m	OB komora	d10	1,86	1,67	0,88	0,96	1,82	2,98	3,16	1,16	1,10	0,78	1,24	1,11	0,86	0,90
		d15	2,66	1,12	1,25	1,43	0,82	1,53	1,80	1,81	1,50	1,55	2,63	3,17	2,02	2,56
	PJB komora	d10	0,74	0,51	1,44	1,85	2,13	1,04	0,58	0,50	0,58	0,53	0,59	0,77	0,68	0,73
		d15	0,69	0,94	0,65	0,69	0,89	1,04	1,07	1,57	2,17	1,58	1,62	1,90	1,99	1,83

$< 1,0 m/s^2$	$1,0 - 3,5 m/s^2$	$3,5 - 5,0 m/s^2$	$5,0 - 10,0 m/s^2$	$> 10,0 m/s^2$
---------------	-------------------	-------------------	--------------------	----------------