

FAKULTA Ústav
STAVEBNÍ železničních
konstrukcí a staveb

Seminář

Hodnocení dynamických účinků v koleji

Analýza dynamických účinků ve výhybkách

Autor: Ing. Ivan Vukušič, Ph.D.

Vedoucí práce: Prof. Ing. Jaroslav Smutný, Ph.D.

VUT FAST Ústav železničních konstrukcí a staveb

Úvod

- Práce je zaměřena na měření a vyhodnocení dynamických účinků na srdcovkách železničních výhybek
- Obsahuje studium problematiky
- Návrh metodik měření dynamických účinků
- Návrh způsobu vyhodnocení změřených dat
- Popis a vyhodnocení experimentálních měření
- Závěry a doporučení vycházející z nashromážděných zkušeností

Osnova prezentace

- Rozbor problematiky
- Certifikovaná metodika měření dynamických účinků ve výhybce
- Matematický aparát
- Vyhodnocení provedených měření
 - Poříčany (vliv tuhosti uložení)
 - Choceň (efektivita údržbových prací)
 - Ústí nad Orlicí (nový uzel upevnění)
- Závěry
- Doporučení

Rozbor problematiky

- Co zvyšuje dynamické účinky
 - Špatný technický stav vozidel – ojetá kola
 - Špatné podepření konstrukce
 - Vysoká tuhost uložení
 - Náhlé změny tuhosti
 - Co snižuje dynamické účinky
 - Dobrý technický stav vozidel, jízdní obrys kol
 - Homogenní a pružné podepření konstrukce
 - Včasná a správně provedená údržba
- 
- Udržení geometrie přechodu v optimálním stavu

Rozbor problematiky

- Principy vzniku poruch

- Od shora

- Ojetí srdcovky / ojetá kola => vysoké dynamické účinky



- Betonové pražce a relativně tuhé uložení srdcovky



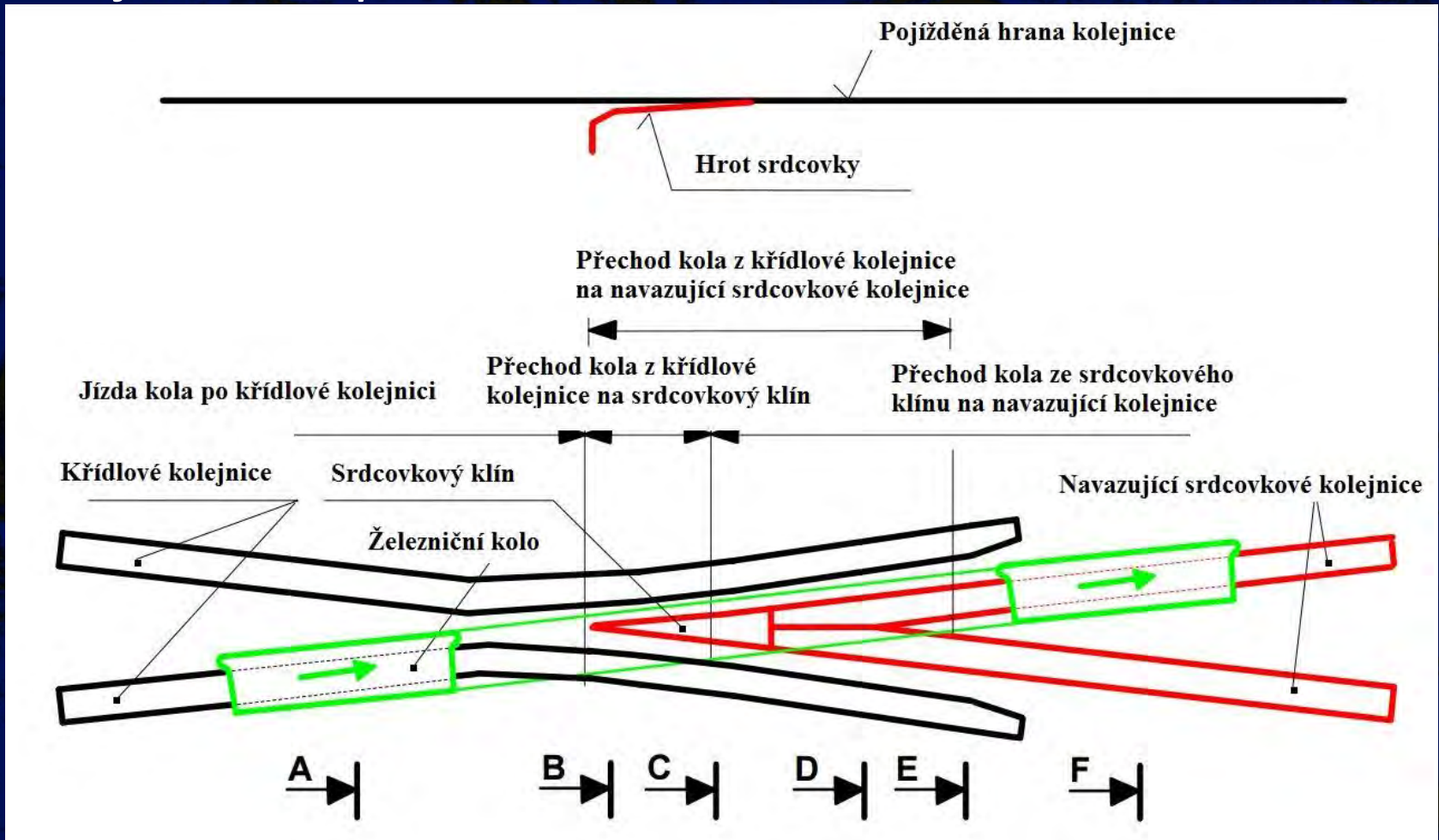
- Obrušování zrn kameniva na styku s pražcem a vznik volných prostorů pod pražcem => špatné podepření konstrukce



- Zhroucení geometrie přechodu a nárůst dynamických účinků vedoucí až porušení konstrukce výhybky, které je namáhána kombinací rázů a ohybem

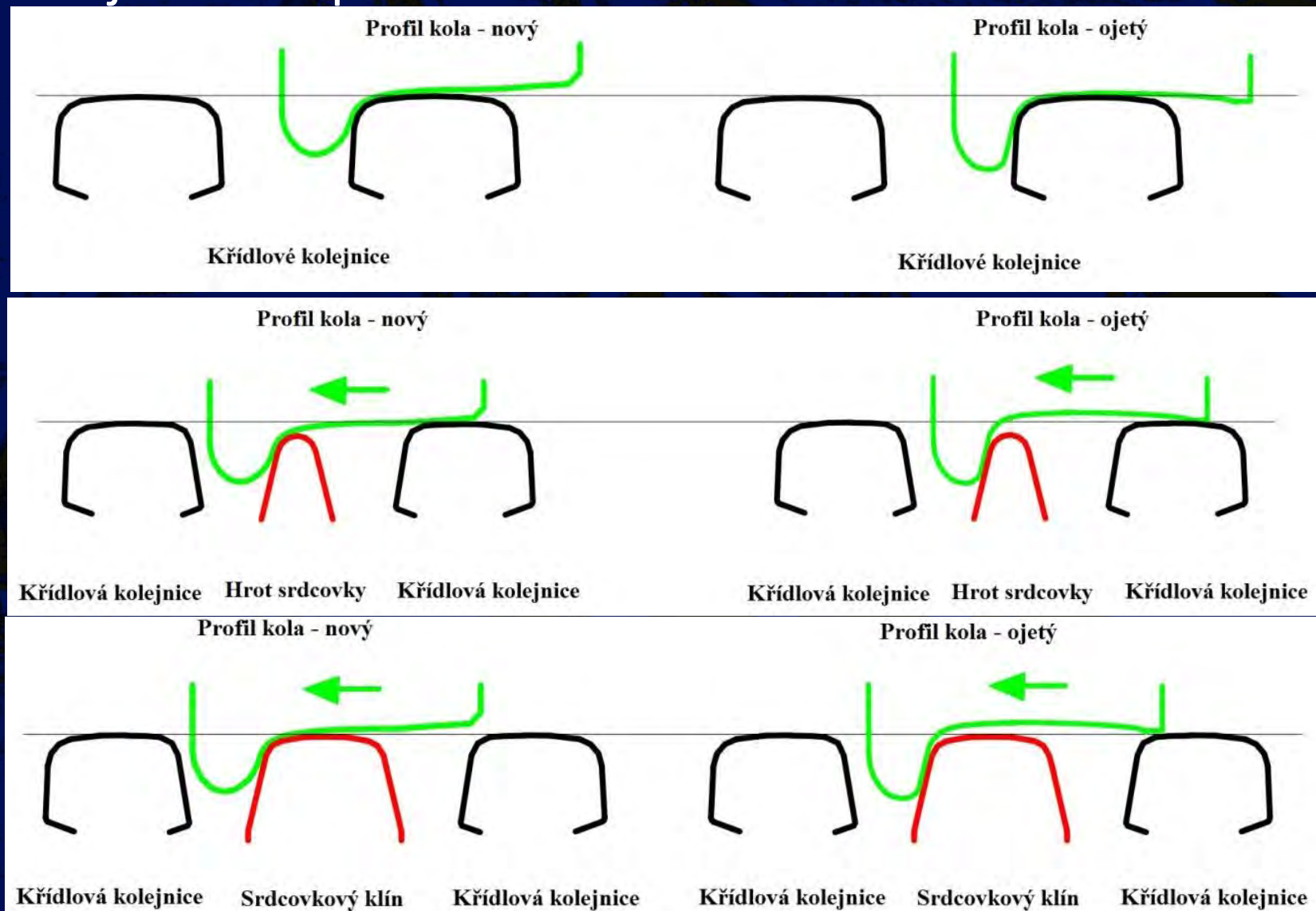
Rozbor problematiky

- Přejezd kola přes srdcovku



- Obrázek převzat z: MÜLLER, R., B. NELAIN, J. NIELSEN, S. SAID, W. RÜCKER a E. BONGINI. Description of the vibration generation mechanism of turnouts and the development of cost effective mitigation measures. Zpráva z projektu RIVAS, code: RIVAS_UIC_WP3-3_D3_6_V02, version 2. 28. 2. 2013.

- Přejezd kola přes srdcovku



- Obrázky převzaty z: MÜLLER, R., B. NELAIN, J. NIELSEN, S. SAID, W. RÜCKER a E. BONGINI. Description of the vibration generation mechanism of turnouts and the development of cost effective mitigation measures. Zpráva z projektu RIVAS, code: RIVAS_UIC_WP3-3_D3_6_V02, version 2. 28. 2. 2013.

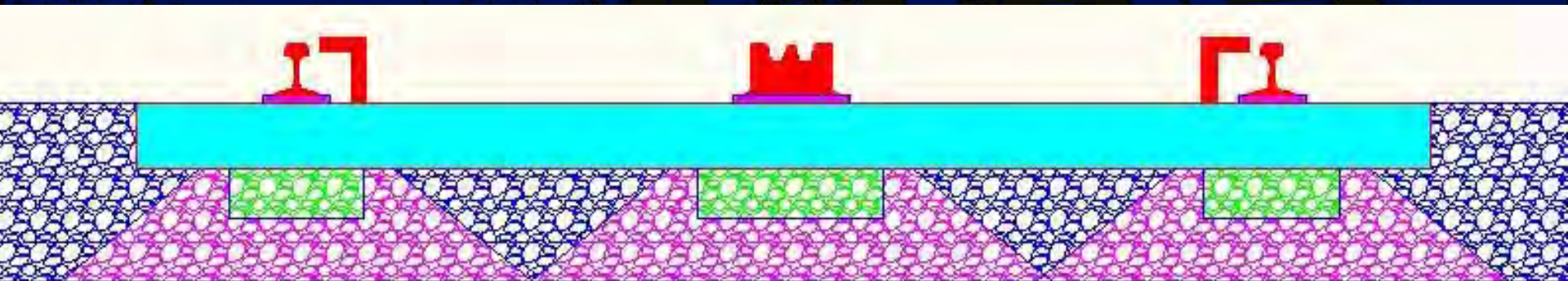
Rozbor problematiky

- Principy vzniku poruch
 - Od spodu
 - Špatné pražcové podloží => špatné podepření konstrukce
 - Zhroucení geometrie přechodu
 - Nárůst dynamických účinků vedoucí až porušení konstrukce výhybky, které je namáhána kombinací rázů a ohybem



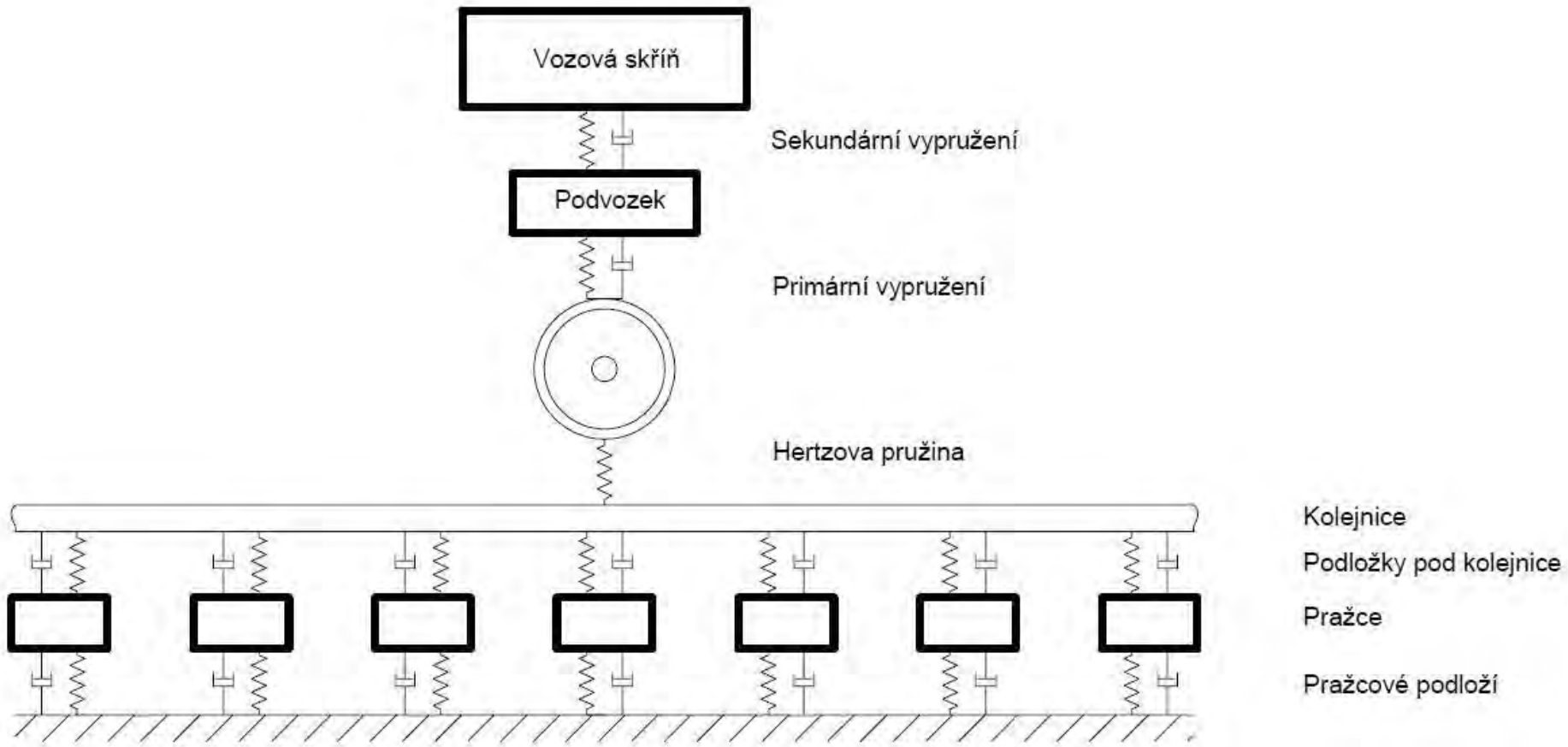
Rozbor problematiky

- Podepření výhybkových pražců
 - Teoretické analýzy metodou konečných prvků
 - Provedená měření
 - Závěry:
 - Po podbití se vytvoří volné prostory za hlavami pražců a pod srdcovkou
 - Pražec je podepřen jen v ose koleje
 - Postupně se štěrkové lože zkonsoliduje - rozdíly v poklesech se sníží
 - Pod srdcovkou však dochází k zvětšení volného prostoru – pohyby pražce jsou zde nejvýraznější
 - V konečné fázi pražec nedosedá plně na štěrkové lože ani pod zatížením



Rozbor problematiky

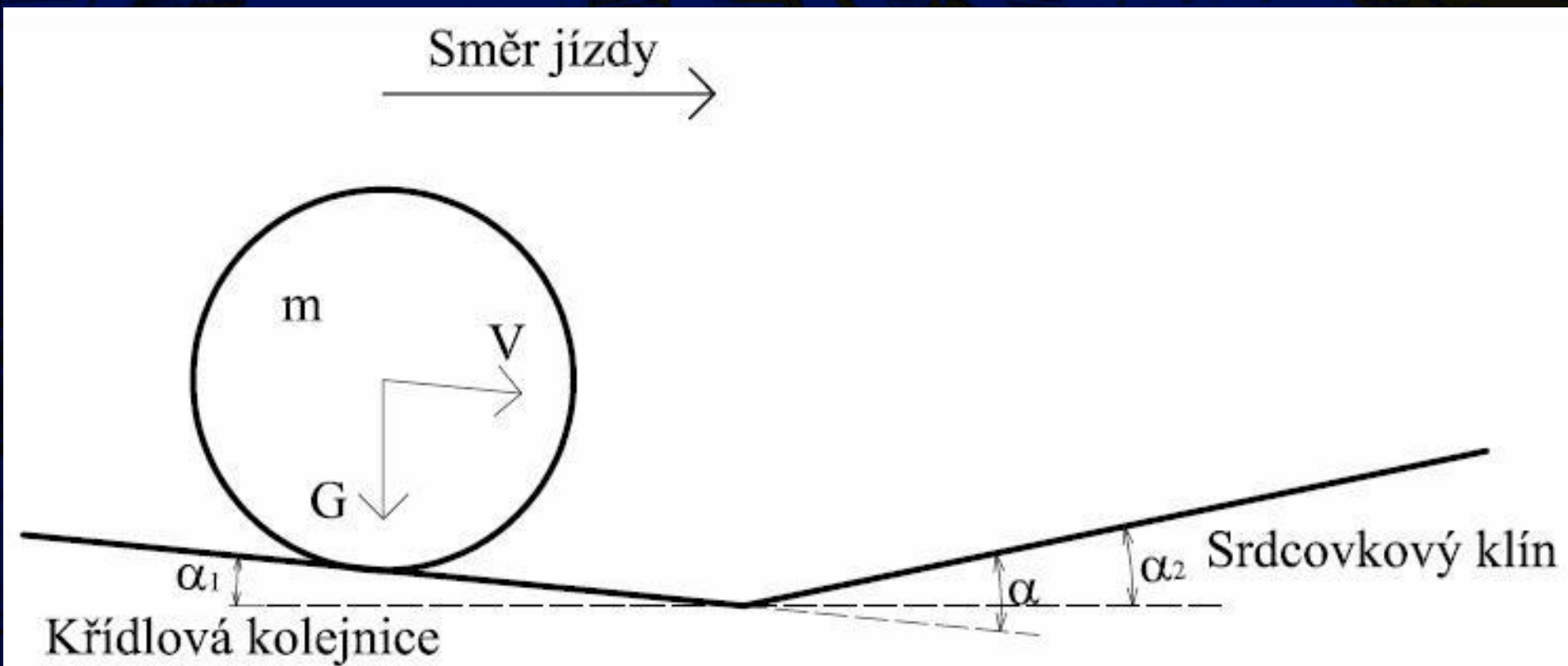
- Model dynamické soustavy vozidlo – kolej



- Obrázek převzat z: PLÁŠEK, O. Teoretická a experimentální analýza chování betonových pražců v kolejovém loži. Brno, 2006. Vědecké spisy Vysokého Učení Technického v Brně, Edice Habilitační a inaugurační spisy, sv. 218. ISBN 80-214-3309-4.

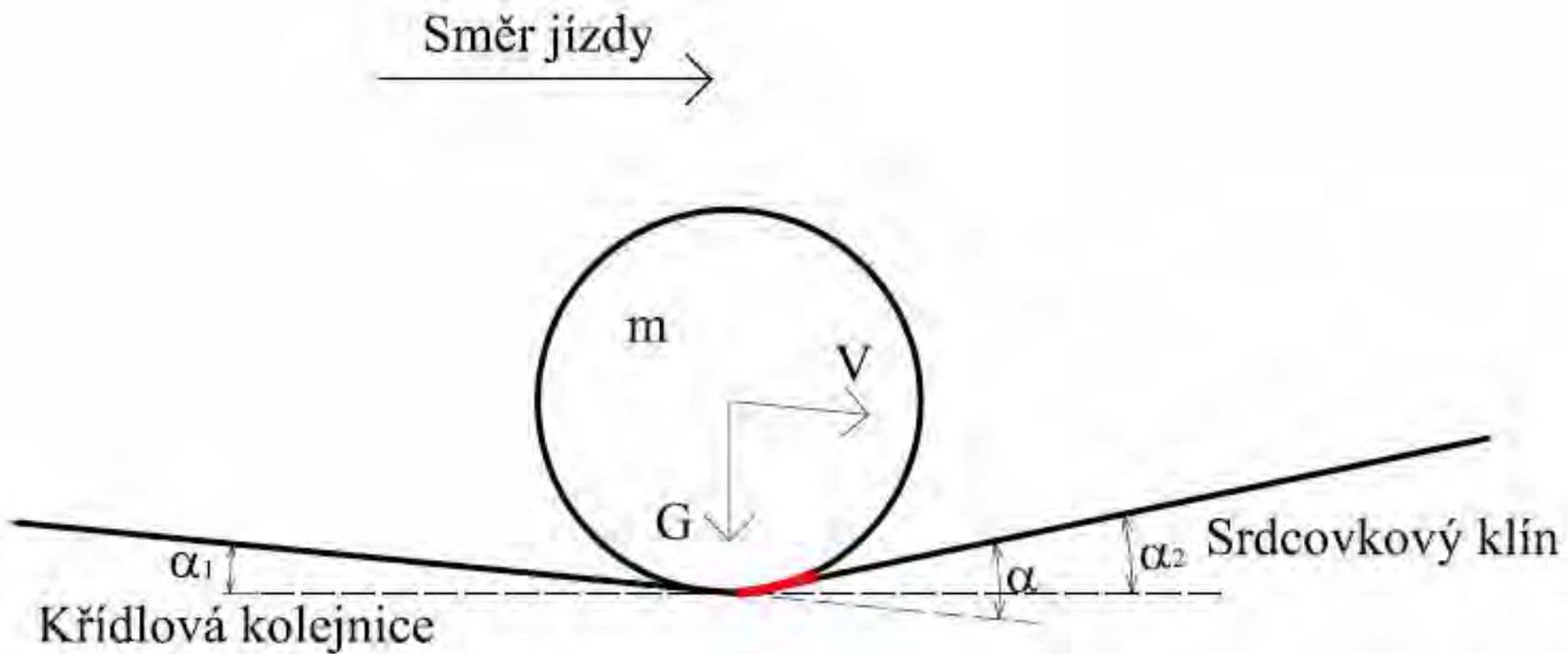
Rozbor problematiky

- Geometrie přechodu z křídlové kolejnice na hrot srdcovky



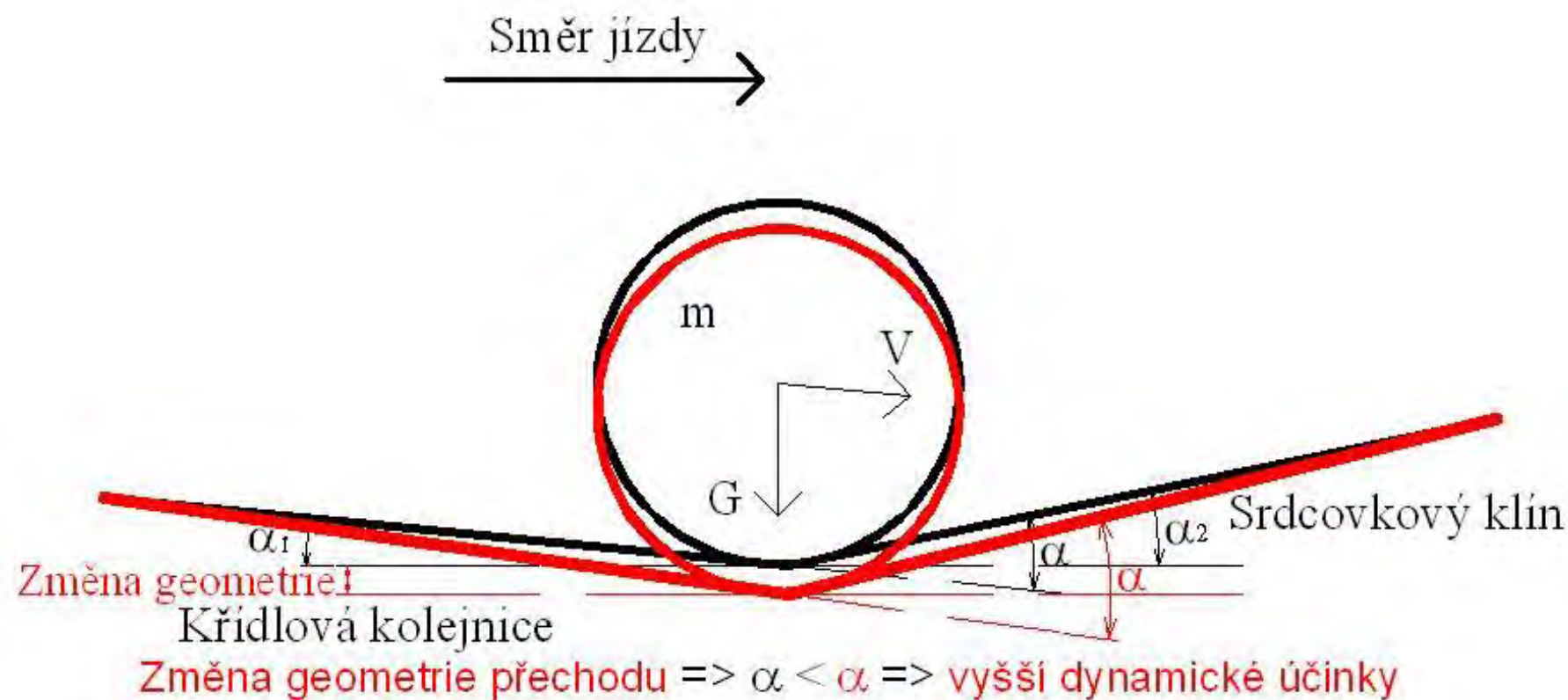
Rozbor problematiky

- Geometrie přechodu z křídlové kolejnice na hrot srdcovky



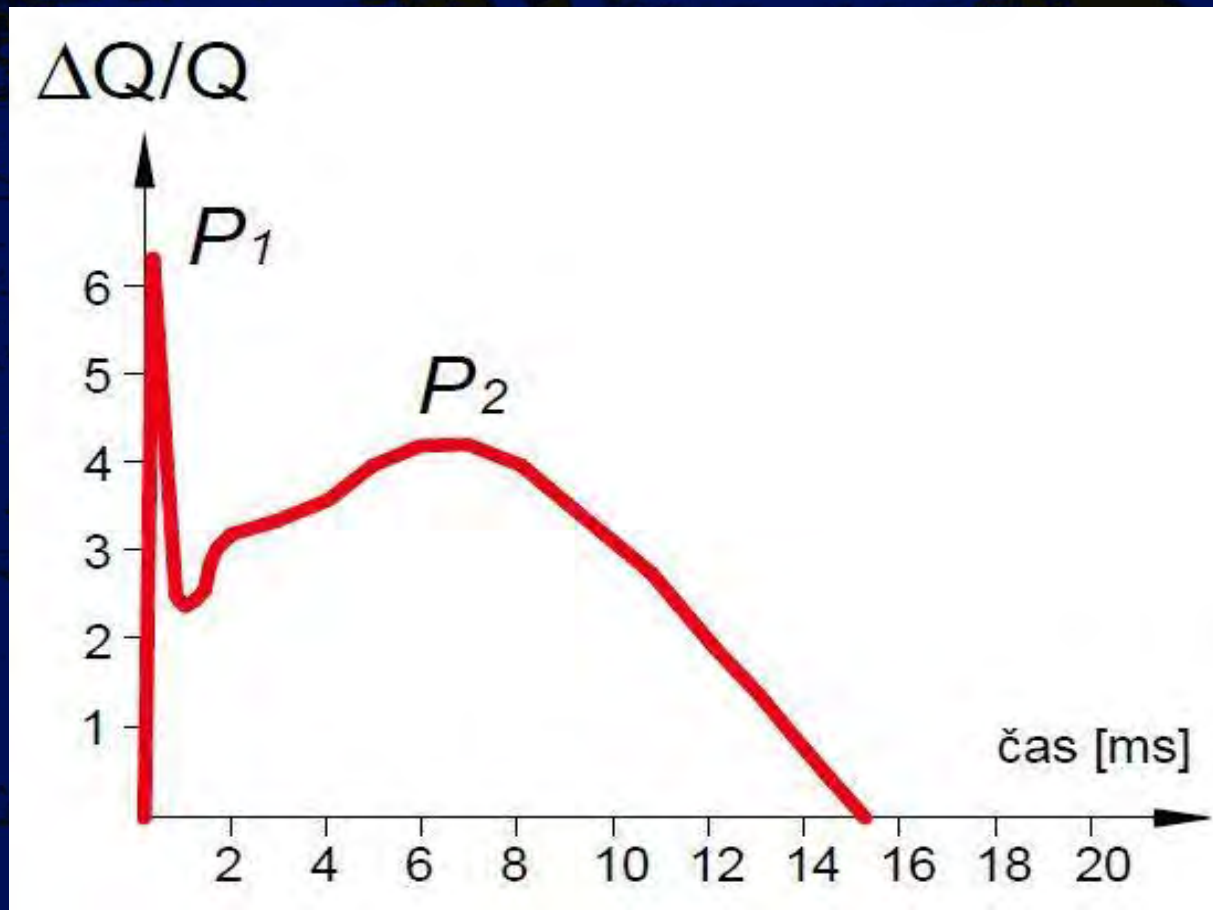
Rozbor problematiky

- Geometrie přechodu z křídlové kolejnice na hrot srdcovky



Rozbor problematiky

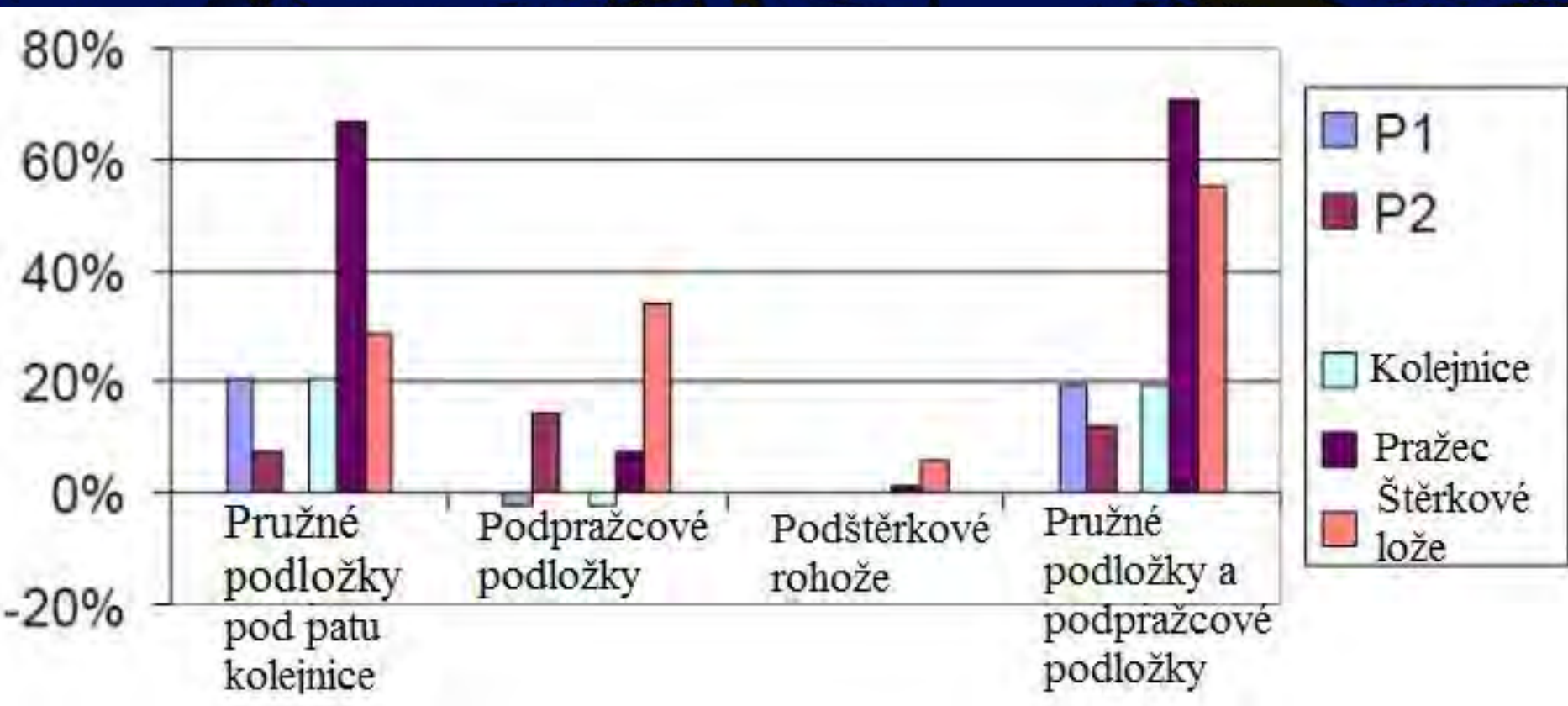
- Rázové síly na srdcovce výhybky



- Obrázek převzat z: PLÁŠEK, O. Dynamické jevy v konstrukci koleje. 30.10.2006. Habilitační přednáška. [30 s].

Rozbor problematiky

- Rázové síly na srdcovce výhybky



- Obrázek převzat z: MARINE, V.L., M.J.M.M STEENBURGEN a I.Y. SHEETS. Combating RCF on switch points by tuning elastic track properties. 8th International Conference on Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheels systems (CM 2009). Firenze, Italy: September 2009.

Studium dynamických účinků ve výhybce

- Teoretický rozbor a rešerše literatury
 - Vyhodnocení zkušebních měření (2007 až 2013)
 - Provedeno 12 měření různých výhybek
 - Vždy změřeno alespoň 20 vlaků
 - Vždy minimálně 15 kanálové měření
- 
- Vyhodnoceno 3600 signálů od projíždějících vlaků
- 
- Sestavení metodiky měření

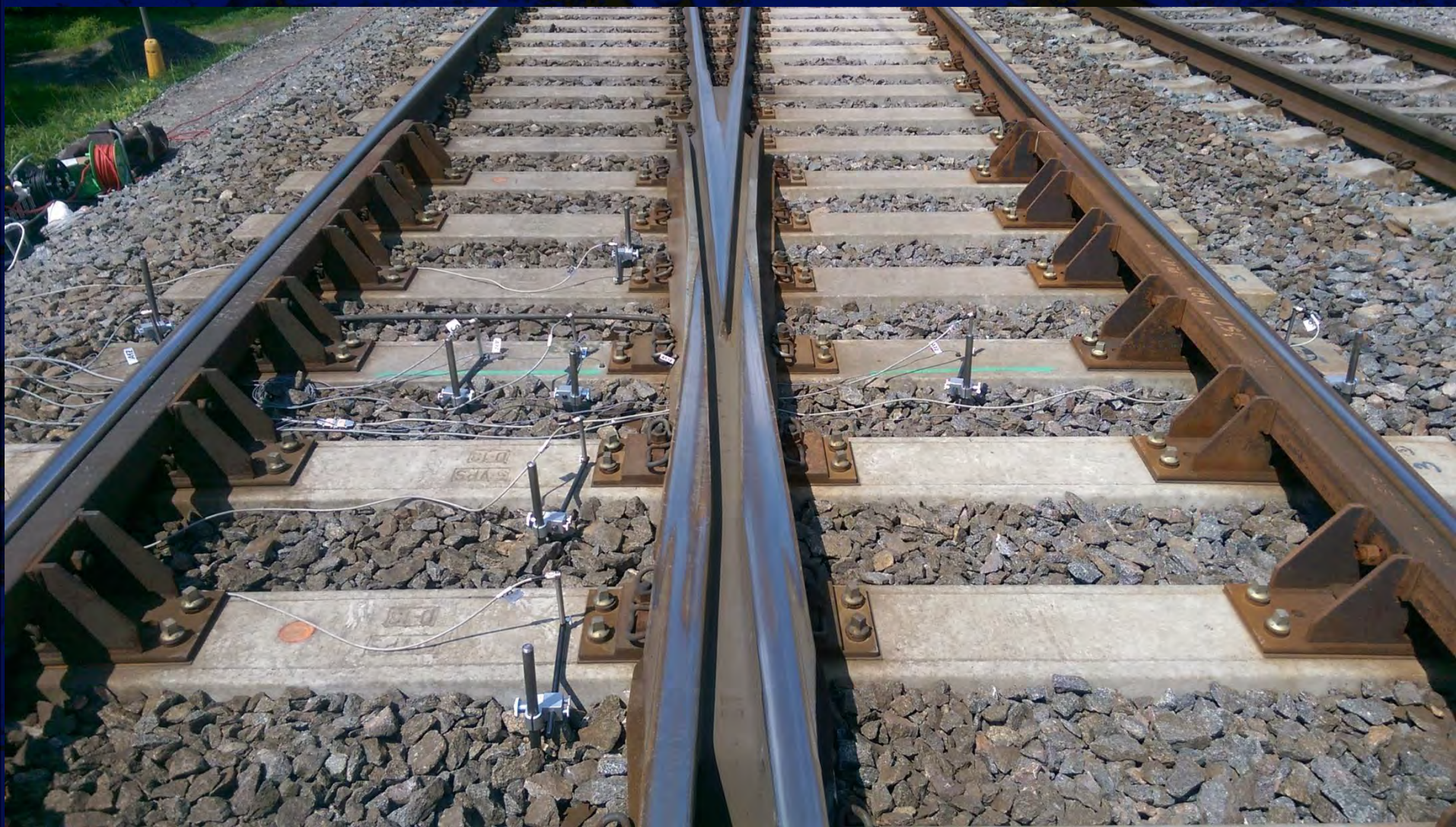
Metodika měření

- Pohybové chování konstrukce pod zatížením
 - Indukční snímače dráhy – 8 kusů
 - Podél srdcovky výhybky
 - Pohyb nejvíce zatíženého pražce pod hrotem srdcovky



Metodika měření

- Pohybové chování konstrukce pod zatížením



Metodika měření

- Pohybové chování konstrukce pod zatížením



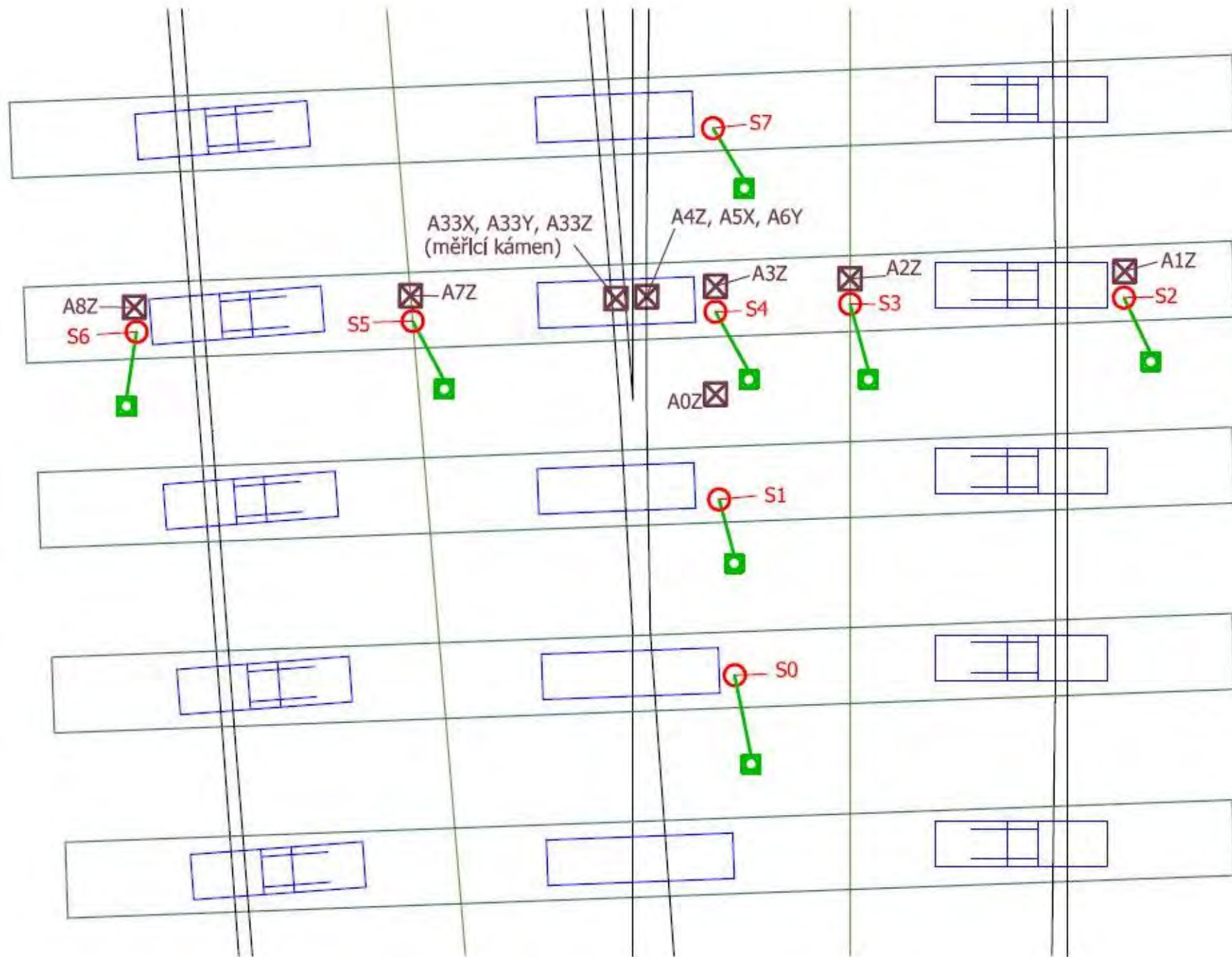
Metodika měření

- Vibro-diagnostika
 - Snímače zrychlení kmitání (6 x jednoosý, 1(2) x tříosý)
 - Přenos dynamických účinků ze srdcovky do pražce a šterkového lože
 - Tříosý snímač zrychlení kmitání na křídlové kolejnici
 - Jednoosý snímač zrychlení kmitání na pražci
 - Jednoosý snímač na měřicí tyči zatlučené do šterkového lože
 - Tříosý snímač zrychlení kmitání v měřicím kameni ve šterkovém loži
 - Roznos zatížení pražcem
 - Jednoosý snímač zrychlení kmitání na hlavách pražců (přímá a odbočná větev)
 - Jednoosý snímač zrychlení kmitání v ose přímé a odbočné větve
 - Jednoosý snímač zrychlení kmitání u srdcovky výhybky

Metodika měření

- Vibro-diagnostika





Metodika měření

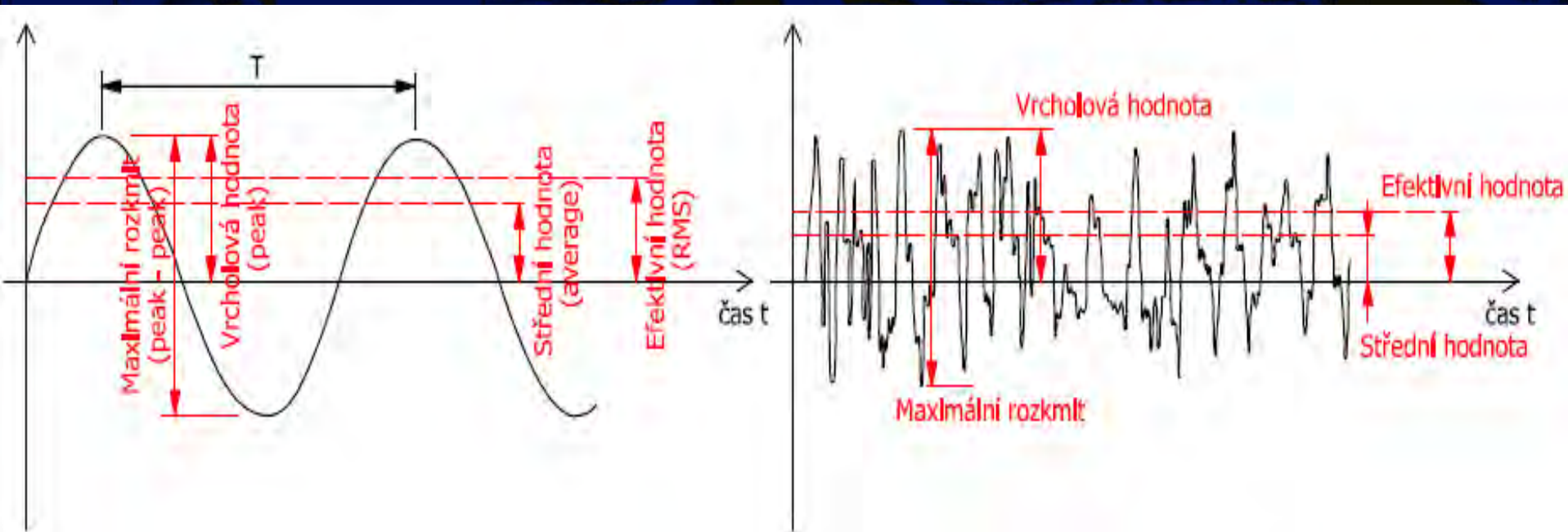


Matematický aparát

- V oblasti časové
 - Minima
 - Maxima
 - RMS (plocha pod křivkou klouzavého RMS)
- V oblasti frekvenční
 - Fourierova transformace (FFT)
 - Welchova metoda
- V oblasti časově-frekvenční
 - Krátkodobá (okénková) Fourierova transformace

Matematický aparát

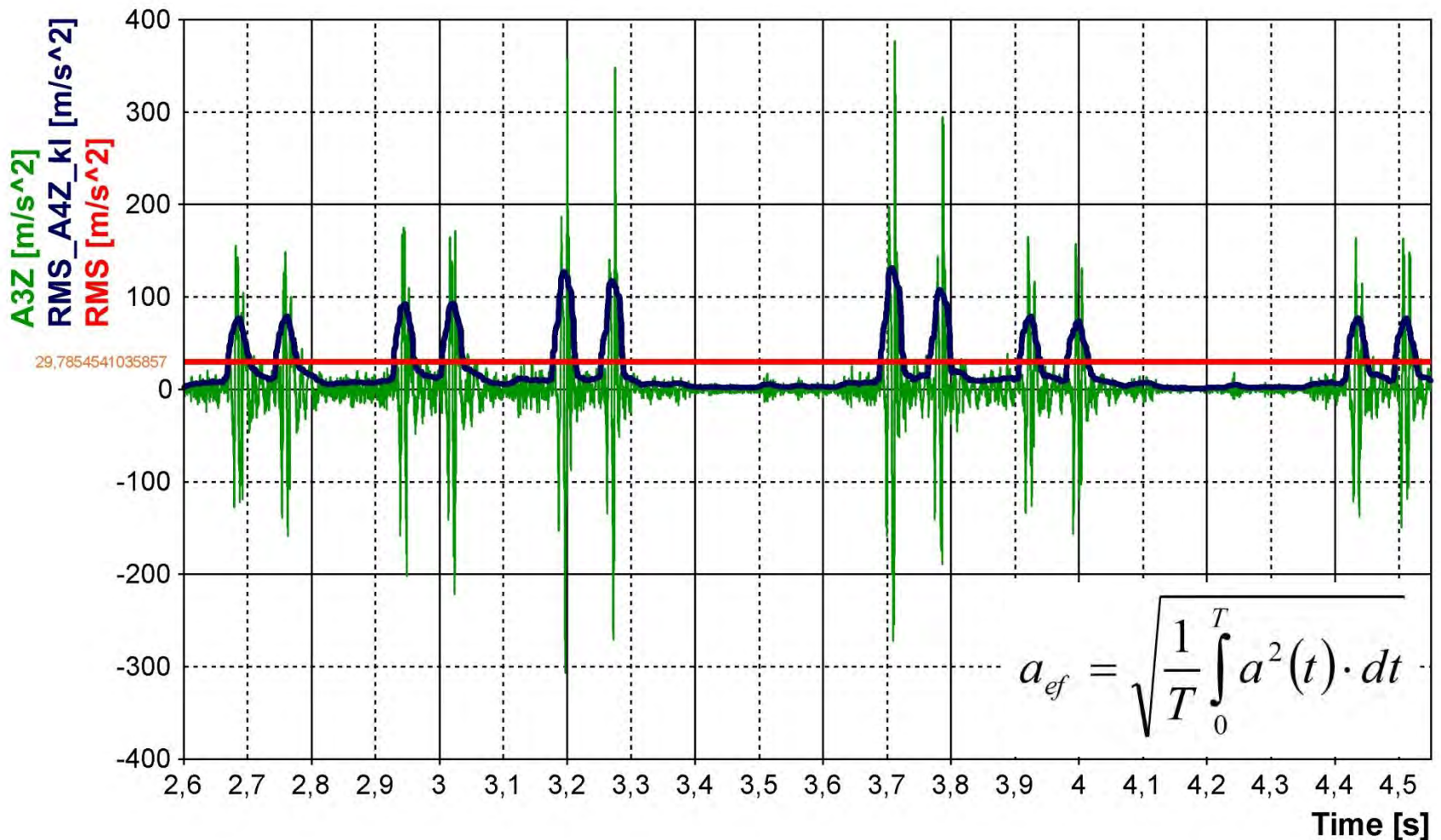
- V oblasti časové



- Obrázek převzat z: TOMANDL, V. Analýza dynamických parametrů kolejnicových upevnění. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2007. Diplomová práce. Vedoucí práce doc. Ing. Jaroslav Smutný, Ph.D.

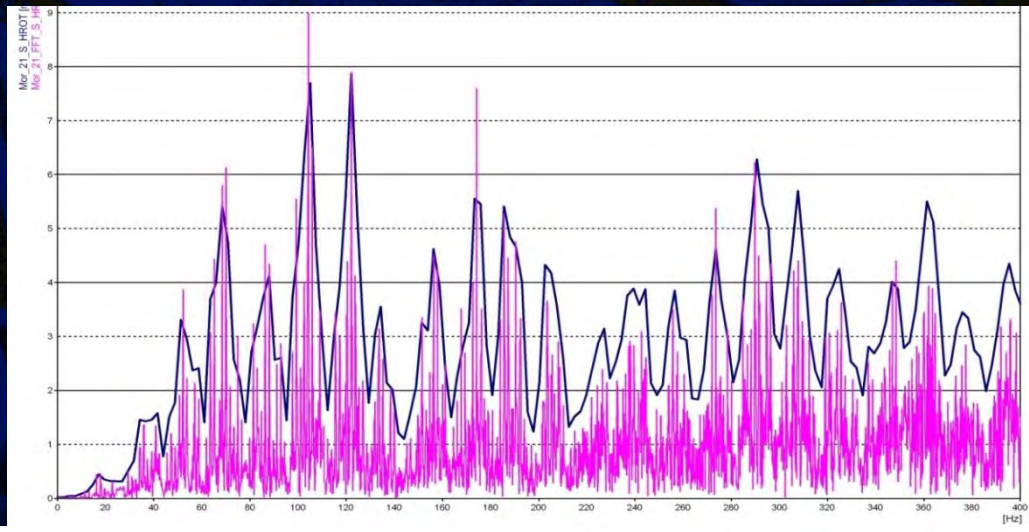
Matematický aparát

- V oblasti časové
 - RMS (plocha pod křivkou klouzavého RMS)



- V oblasti frekvenční
 - Fourierova transformace (FFT)

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot e^{-i2\pi f t} \cdot dt$$



$$X_k = \frac{1}{T} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cdot e^{-i\left(\frac{2\pi k}{T}\right) \cdot (n\Delta)} \cdot \Delta = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cdot e^{-i\left(\frac{2\pi k n}{N}\right)}$$

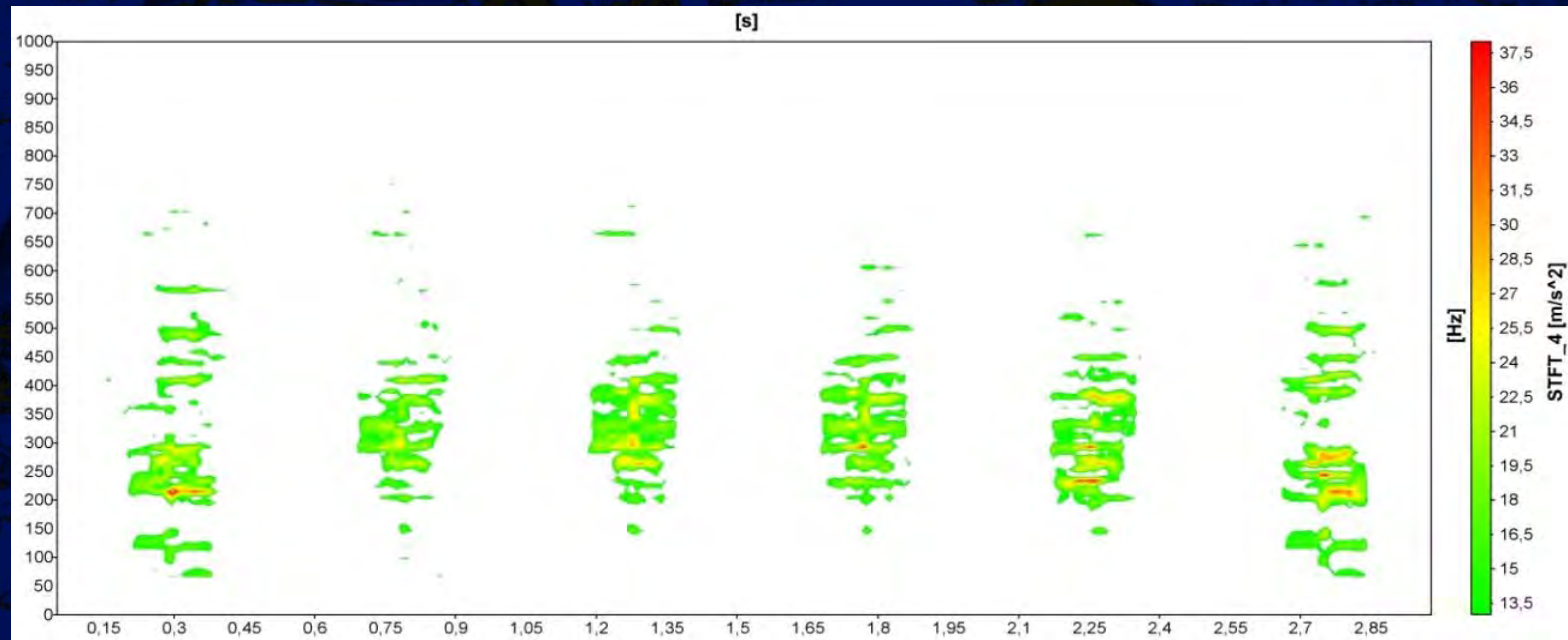
- Welchova metoda

$$S_j[k] = \frac{1}{U \cdot M} \cdot \left| \sum_{m=0}^{M-1} x[m + i \cdot M] \cdot w[m] \cdot e^{\left(\frac{-j2\pi m k}{M}\right)} \right|^2$$

$$U = \frac{1}{M} \cdot \sum_{m=0}^{M-1} w^2[m]$$

$$\hat{S} = \frac{1}{K} \cdot \sum_{i=0}^{K-1} S_j[k]$$

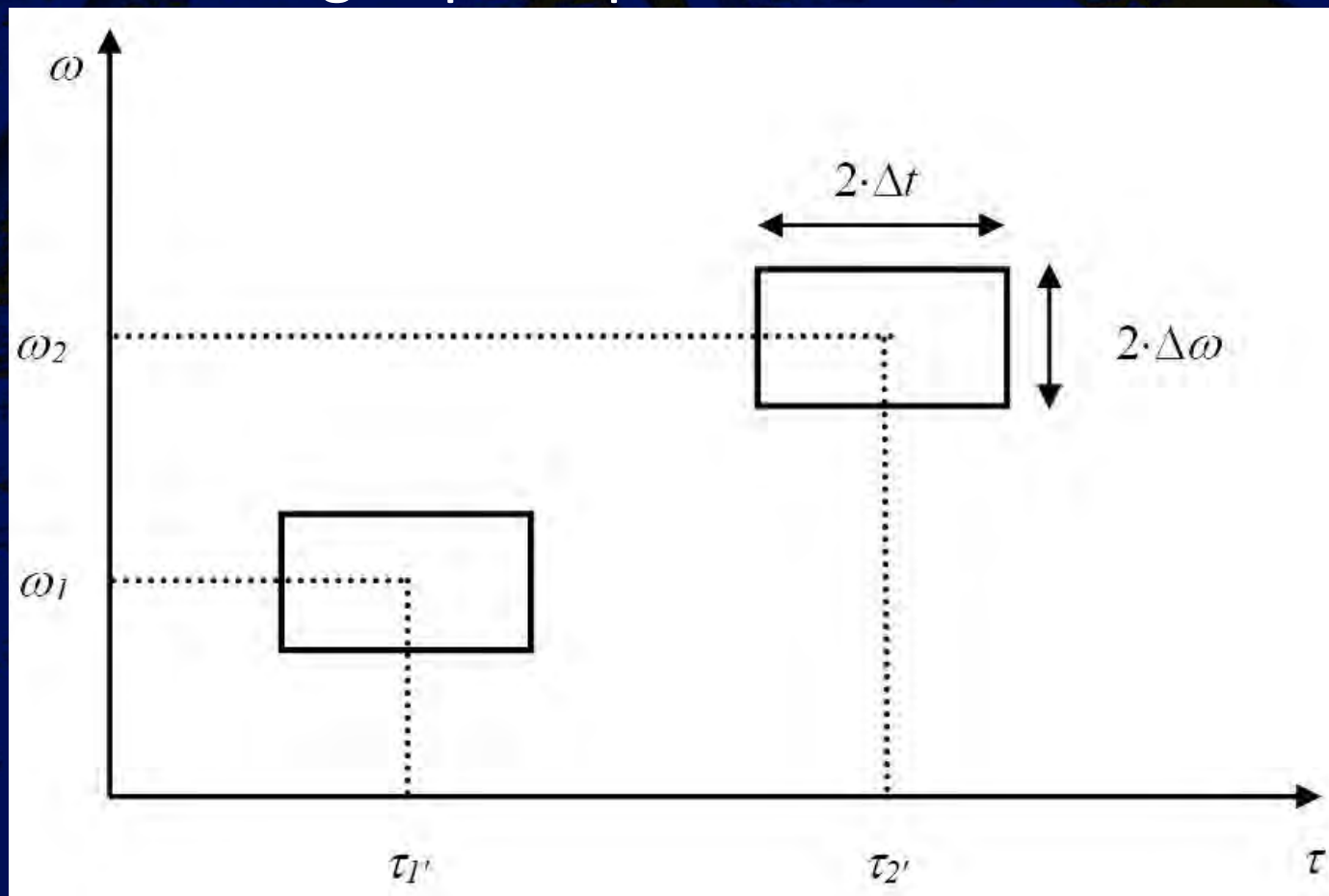
- V oblasti časově-frekvenční
 - Krátkodobá (okénková) Fourierova transformace (STFT)



$$STFT_X^{(\omega)}(t', f) = \int_{-\infty}^{\infty} [x(t) \cdot g * (t - t')] \cdot e^{-i2\pi f(t-t')} \cdot dt$$

$$STFT(m, k) = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cdot g[n - m]^* \cdot e^{\frac{-i2\pi kn}{N}}$$

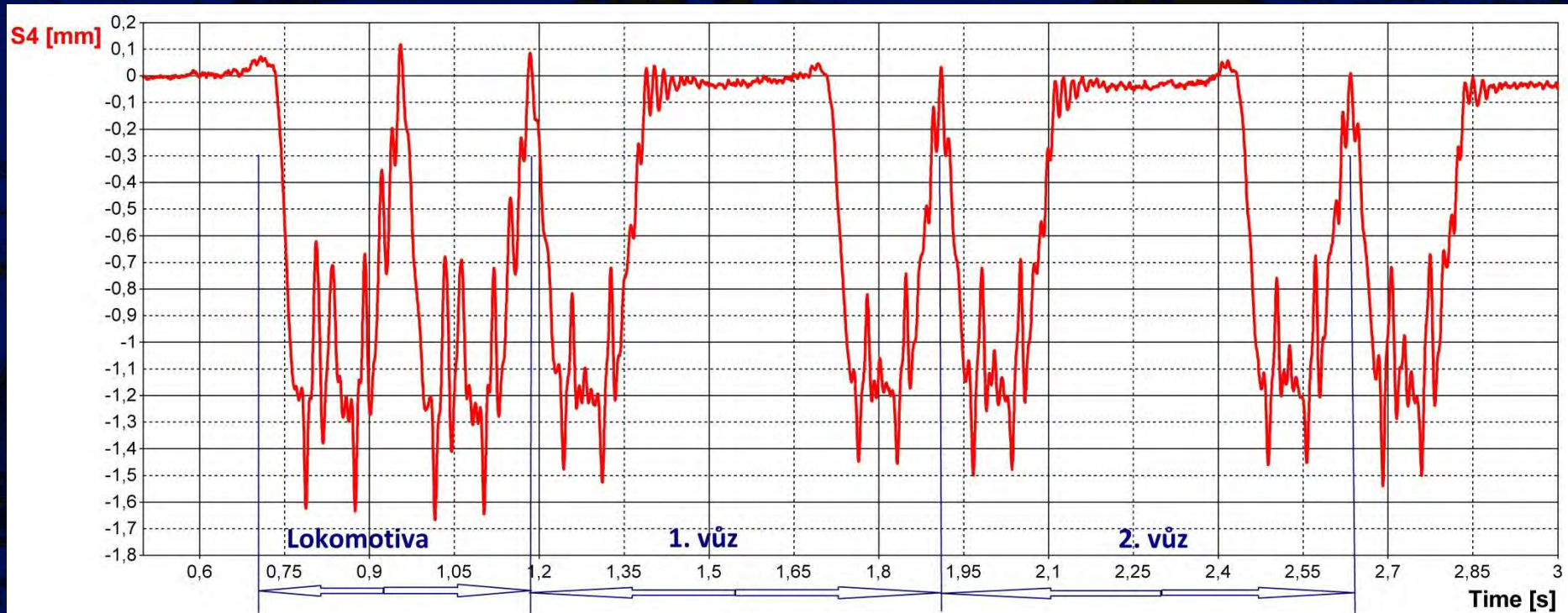
- V oblasti časově-frekvenční
 - Krátkodobá (okénková) Fourierova transformace (STFT)
 - Heisenbergův princip neurčitosti



- Obrázek převzat z: SMUTNÝ, J. Moderní metody analýzy hluku a vibrací aplikované na kolejovou dopravu. Brno: VUT Brno. Teze k doktorandské disertační práci. ISBN 80-214-0988-6.

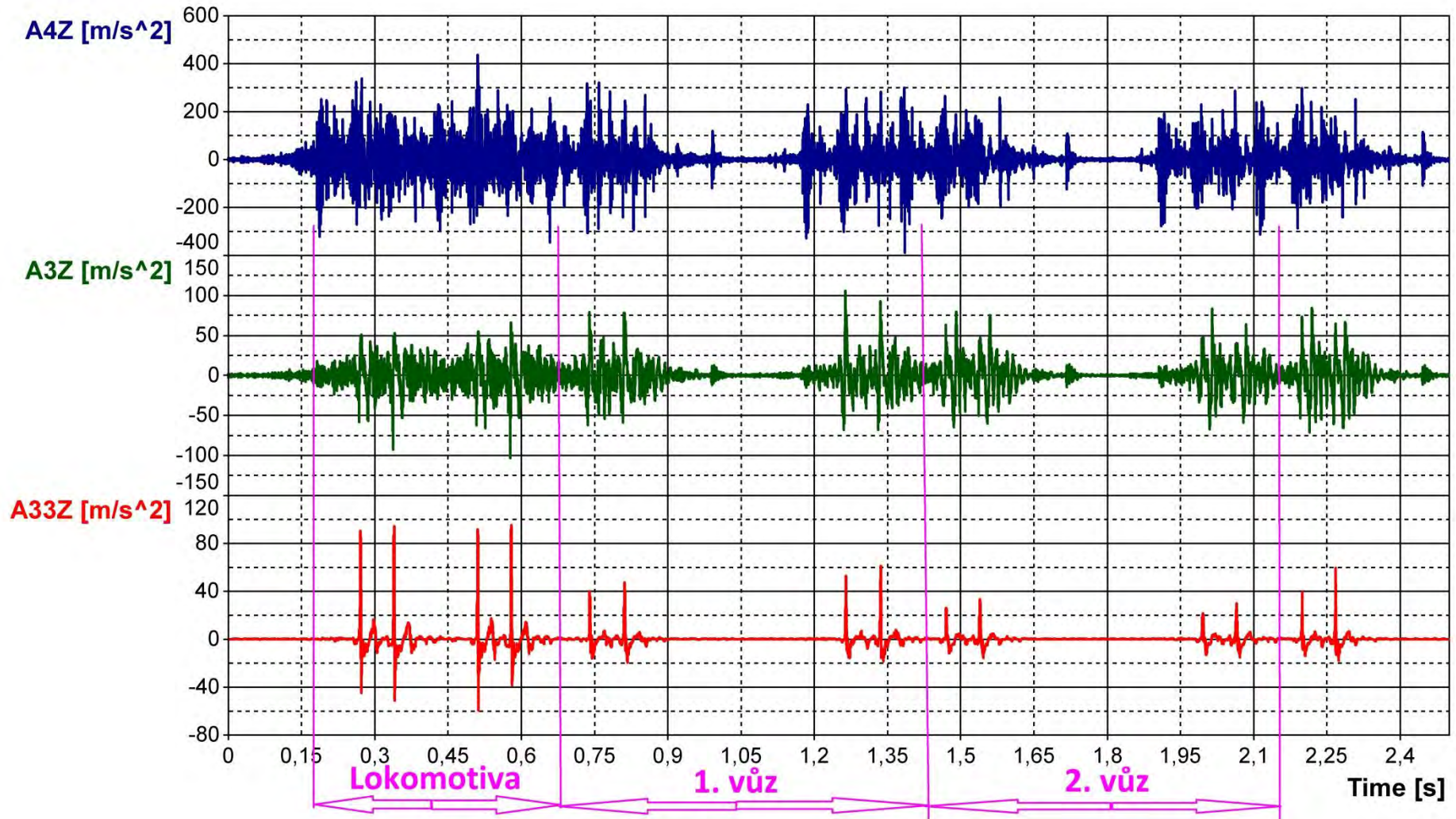
Změřené signály

- Pohyby pražce



Změřené signály

- Zrychlení kmitání



Změřené signály

- Tři různé lokality
 - Žst. Poříčany – vliv tuhosti upevnění
 - Žst. Choceň – vliv opotřebení výhybky a efektivity údržbových prací
 - Žst. Ústí nad Orlicí – vliv nového uzlu upevnění
- 8 (12) měření na 6 výhybkách
 - Celkem změřeno 195 (293) vlakových souprav
 - Získáno 1200 (1984) záznamů pohybů pražců a 2043 (3219) záznamů zrychlení vibrací

Poříčany

- Měření na výhybkách č. 1 a 10
- Obě výhybky jsou 1:12- 500
- Výhybka č. 10 – vulkanizované podložky, dělené pražce, výrobce WBG Brandenburg GmbH



Vyhodnocení provedených měření

- Časová oblast
- Dynamické chování konstrukce – srovnání výhybky č. 1 a 10, žst. Poříčany, přechod zrychlení kmitání z křídlové kolejnice do šterkového lože

Maximální hodnoty zrychlení vibrací [m.s^{-2}]										
Snímač	A6Y		A5X		A4Z		A3Z		A0Z	
Výhybka	1	10	1	10	1	10	1	10	1	10
maximum	338	1218	167	621	2587	2945	164	177	66	90
kvantil 75	250	942	101	358	453	2784	141	144	56	69
medián	230	691	73	293	396	1259	131	130	43	60
kvantil 25	197	454	62	221	368	811	111	115	38	51
minimum	166	172	18	49	277	249	90	39	29	11

Minimální hodnoty zrychlení vibrací [m.s^{-2}]										
Snímač	A6Y		A5X		A4Z		A3Z		A0Z	
Výhybka	1	10	1	10	1	10	1	10	1	10
maximum	-119	-129	-45	-44	-303	-189	-74	-40	-30	-10
kvantil 75	-169	-416	-89	-219	-434	-558	-91	-99	-56	-49
medián	-192	-674	-115	-476	-448	-737	-101	-109	-60	-60
kvantil 25	-234	-858	-191	-951	-486	-1102	-113	-122	-71	-77
minimum	-418	-1038	-254	-1248	-688	-1872	-197	-135	-104	-89

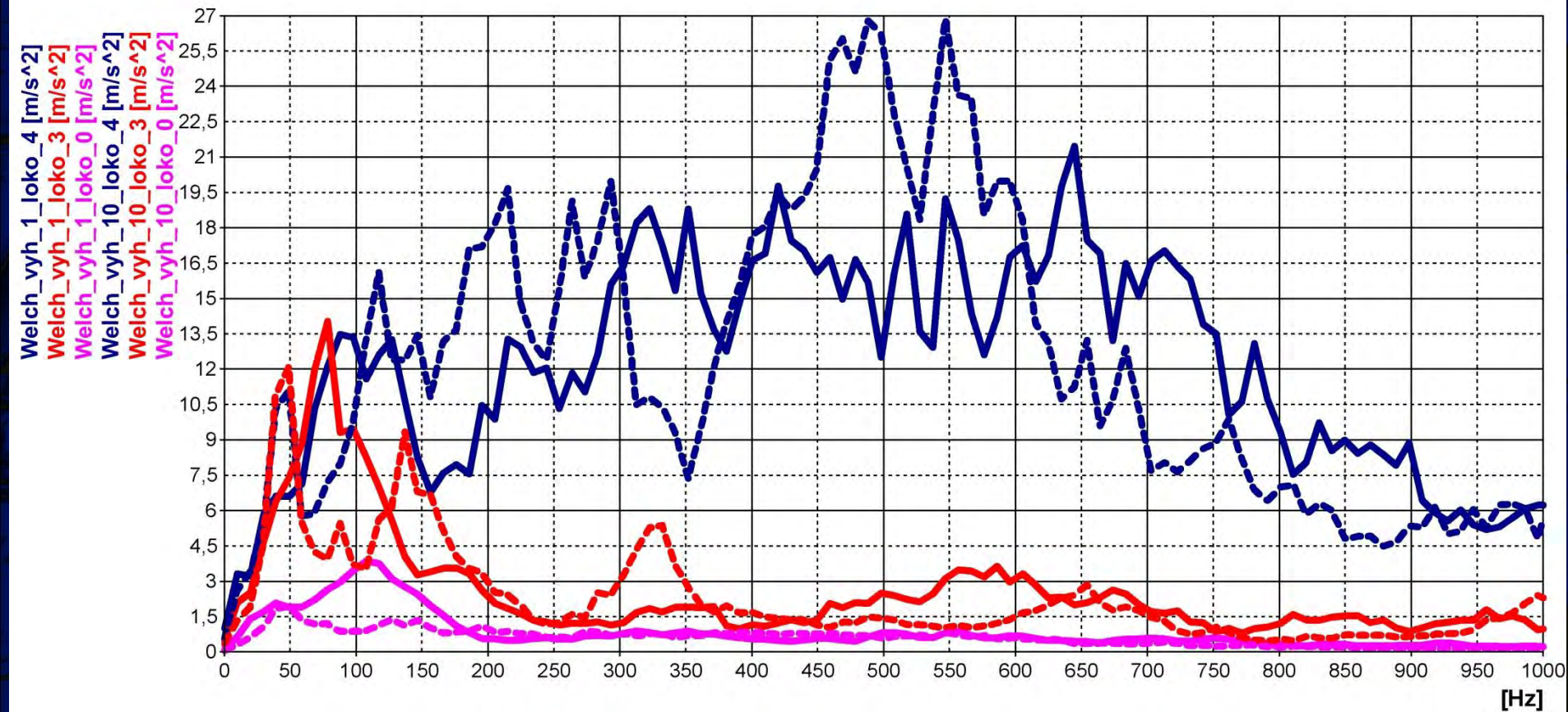
Vyhodnocení provedených měření

- Časová oblast
- Dynamické chování konstrukce – srovnání výhybky č. 1 a 10, žst. Poříčany, přechod zrychlení kmitání z křídlové kolejnice do šterkového lože

RMS hodnoty vibrací [m.s^{-1}]										
Snímač	A6Y		A5X		A4Z		A3Z		A0Z	
Výhybka	1	10	1	10	1	10	1	10	1	10
maximum	579	482	336	511	1374	680	272	125	43	22
kvantil 75	138	308	79	225	332	467	72	88	14	12
medián	103	238	48	155	235	316	64	71	11	10
kvantil 25	81	172	38	84	185	202	56	55	9	8
minimum	24	47	11	22	46	62	13	25	3	3

Vyhodnocení provedených měření

- Frekvenční oblast
- Dynamické chování konstrukce – srovnání výhybky č. 1 a 10, žst. Poříčany, přechod zrychlení kmitání z křídlové kolejnice do šterkového lože
- Výhybka č. 10 čárkovaně, výhybka č. 1 plnou čarou



Choceň

- Měření na výhybkách č. 59 a 63
- J60-1:14-760-zlp,L,p,ČZP,b,KS,ZPT
- Srovná výhybky č. 59 a 63 + sledování výhybky č. 59



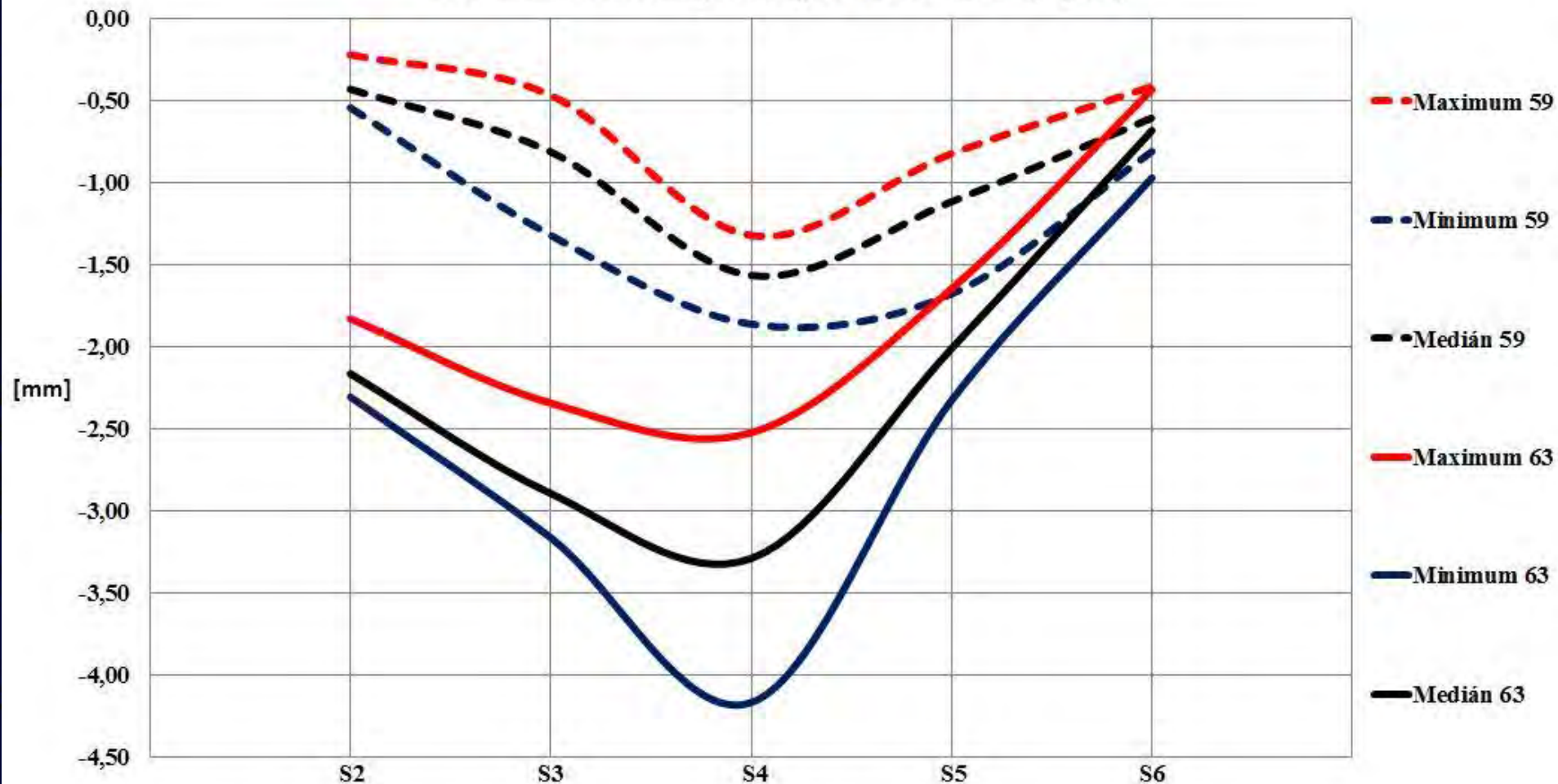
Choceň

- Měření profiloměrem KPJ01 – Kontura 4. 3. 2013
- Měření dynamických účinků na výhybce č. 59 25. 3. 2013
- Měření dynamických účinků na výhybce č. 63 8. 4. 2013
- Přesná nivelace na srdcovkách výhybek č. 59 a 63 11. 5. 2013
- Oprava navařením srdcovky výhybky č. 59 4. 6. 2013
- Měření dynamických účinků na výhybce č. 59 1. 7. 2013
- Přesná nivelace na srdcovce výhybky č. 59 25. 7. 2013
- Srdcovka výh. č. 59 podbita úderovými podbíječkami 9. 12. 2013
- Měření dynamických účinků na výhybce č. 59 9. 6. 2014

Vyhodnocení provedených měření

- Pohybové chování konstrukce – srovnání výhybky č. 59 a 63, žst. Choceň, pražec pod srdcovkou

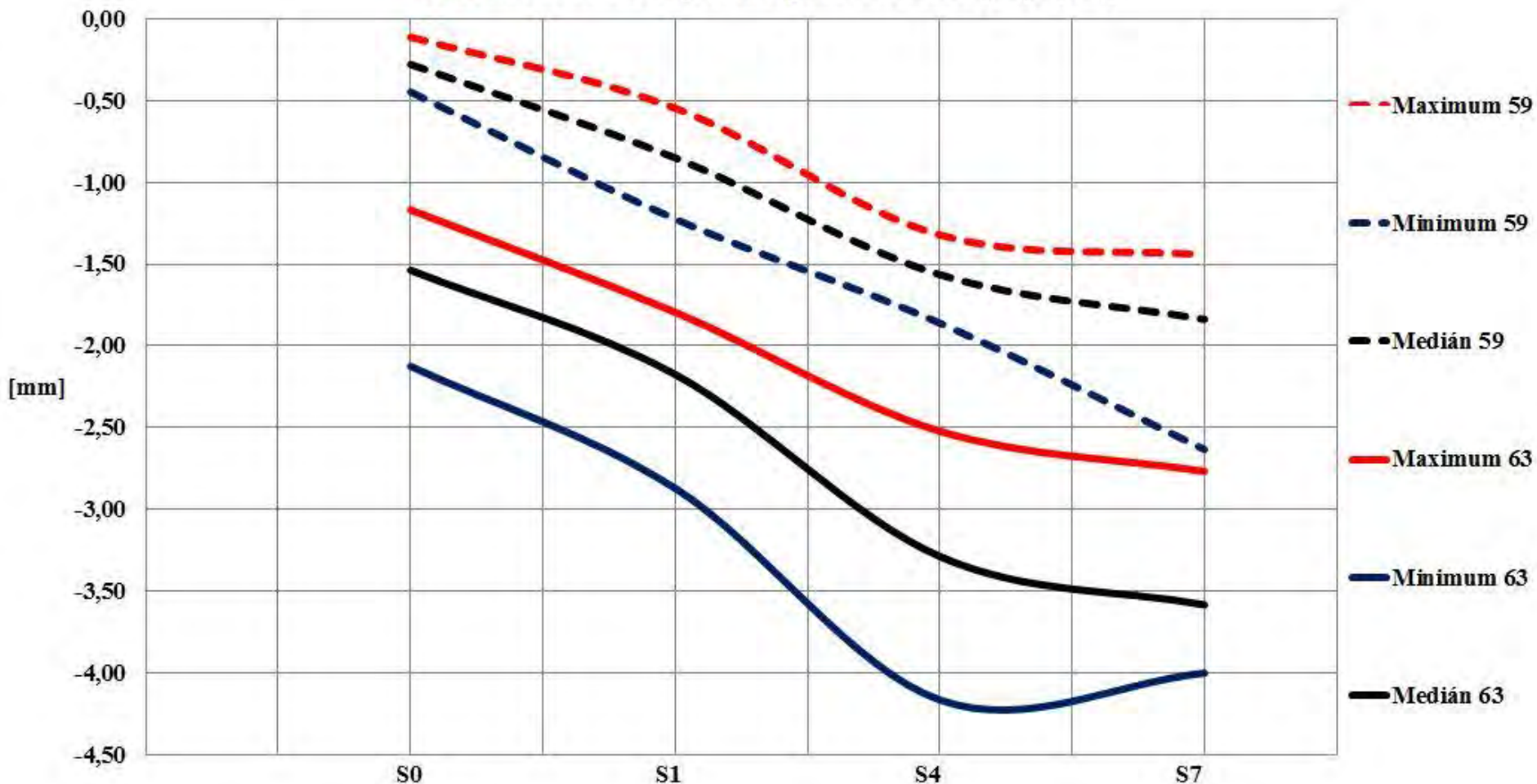
Srovnání zatlačení pražce pod srdcovkou výhybky



Vyhodnocení provedených měření

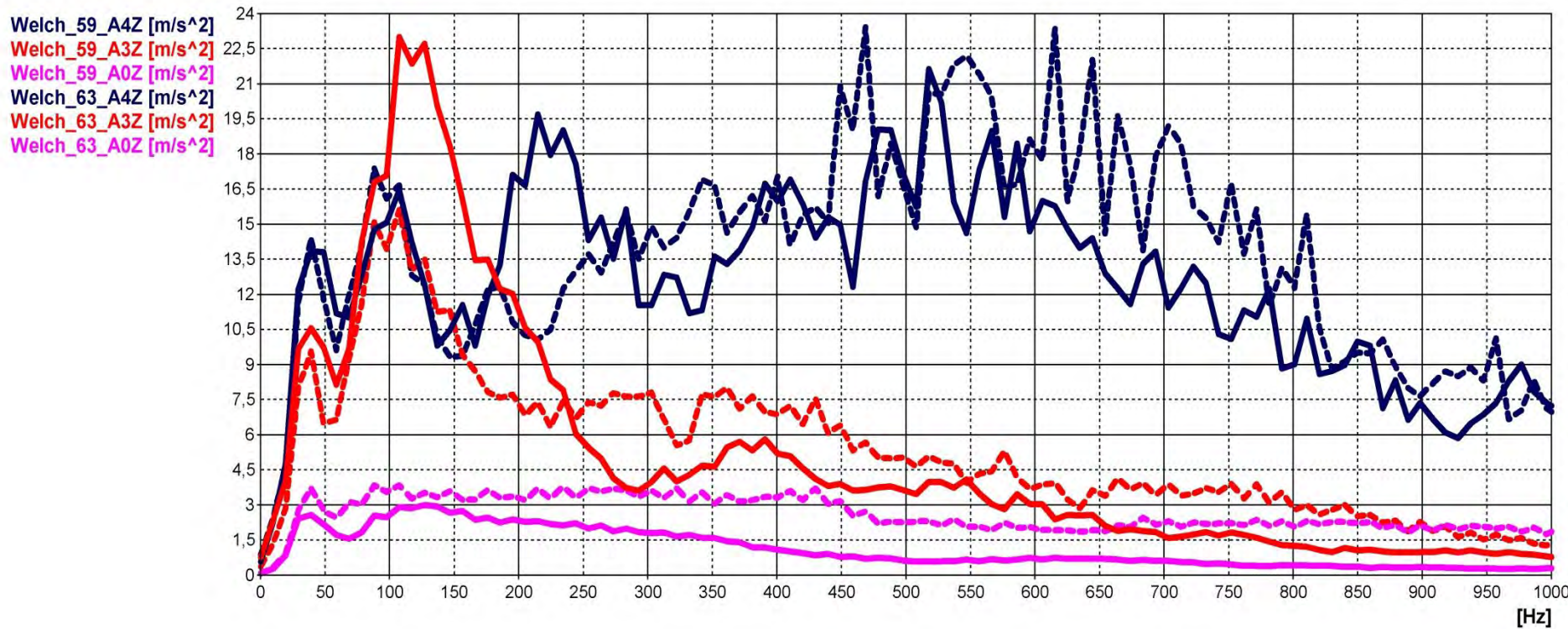
- Pohybové chování konstrukce – srovnání výhybky č. 59 a 63, žst. Choceň, pražce podél srdcovky

Srovnání zatlačení pražců podél srdcovky výhybky

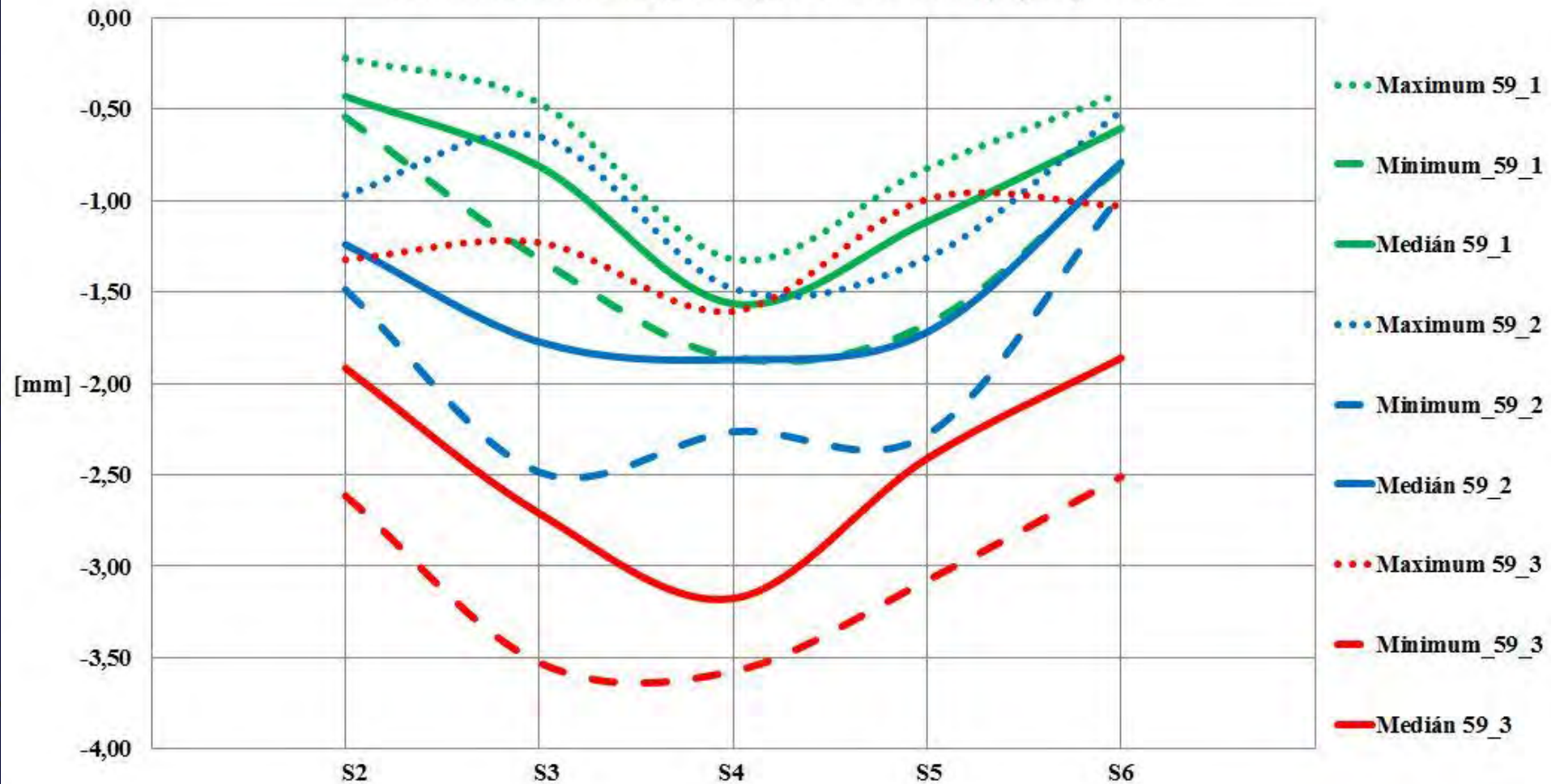


Vyhodnocení provedených měření

- Frekvenční oblast
- Dynamické chování konstrukce – srovnání výhybky č. 59 a 63, žst. Choceň, přechod zrychlení kmitání z křídlové kolejnice do šterkového lože
- Výhybka č. 59 čárkovaně, výhybka č. 63 plnou čarou

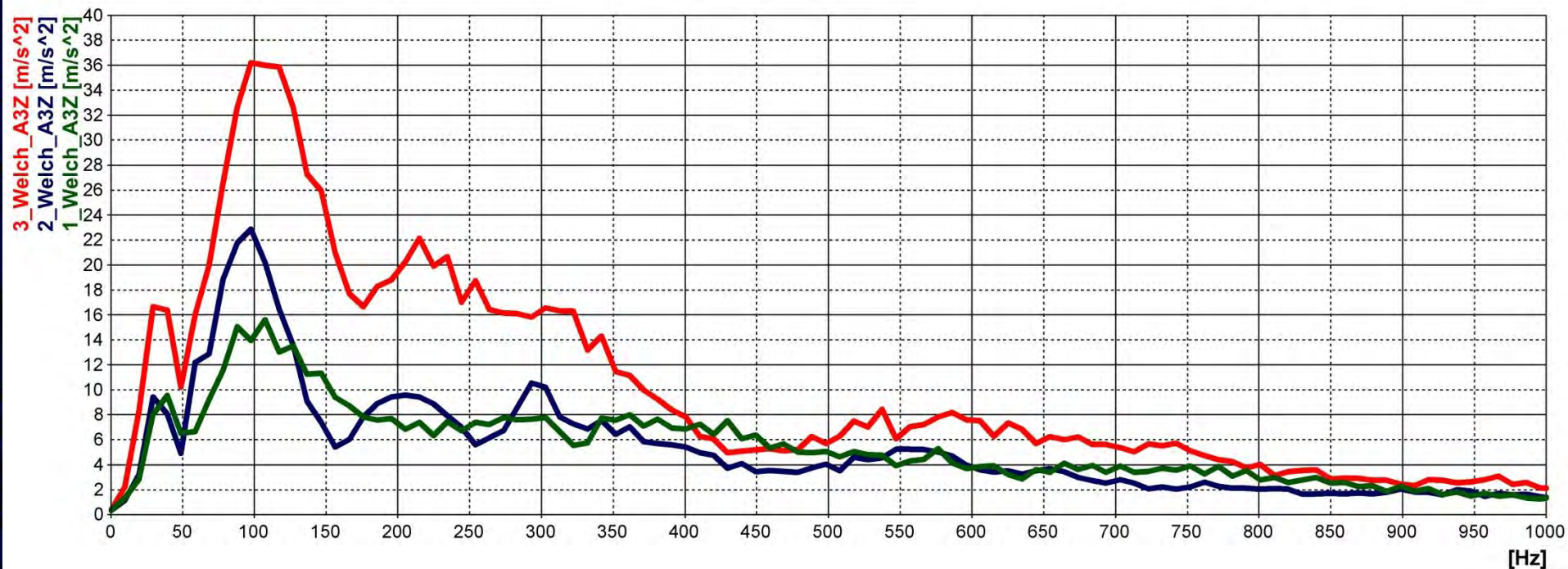


- Pohybové chování konstrukce – výhybka č. 59, žst. Choceň, pražec pod srdcovkou
- Srovnání tří měření



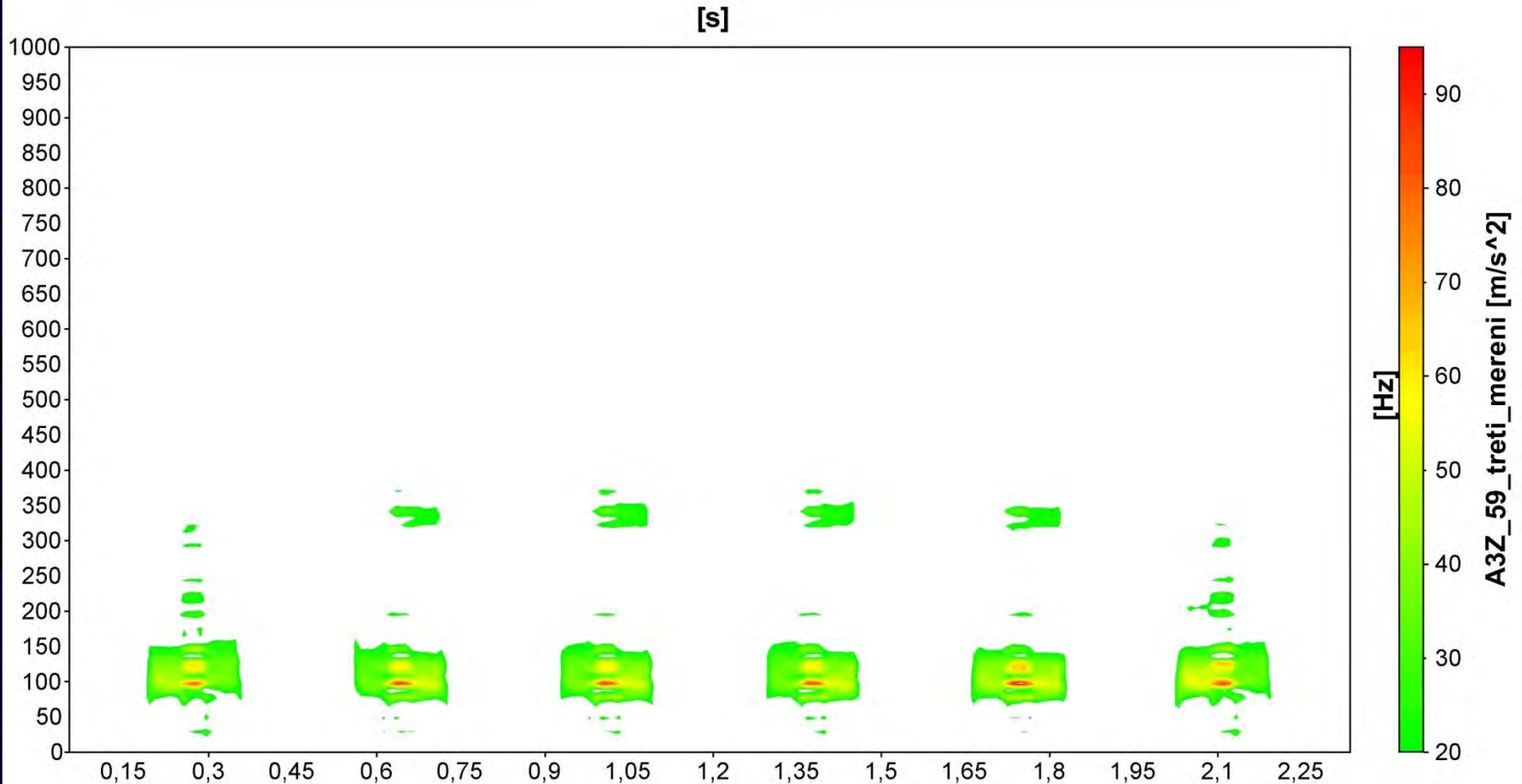
Vyhodnocení provedených měření

- Frekvenční oblast
- Dynamické chování konstrukce – výhybka č. 59, žst. Choceň, srovnání tří měření



Vyhodnocení provedených měření

- Časově-frekvenční oblast
- Dynamické chování konstrukce – výhybka č. 59, žst. Choceň, třetí měření, LEO Express

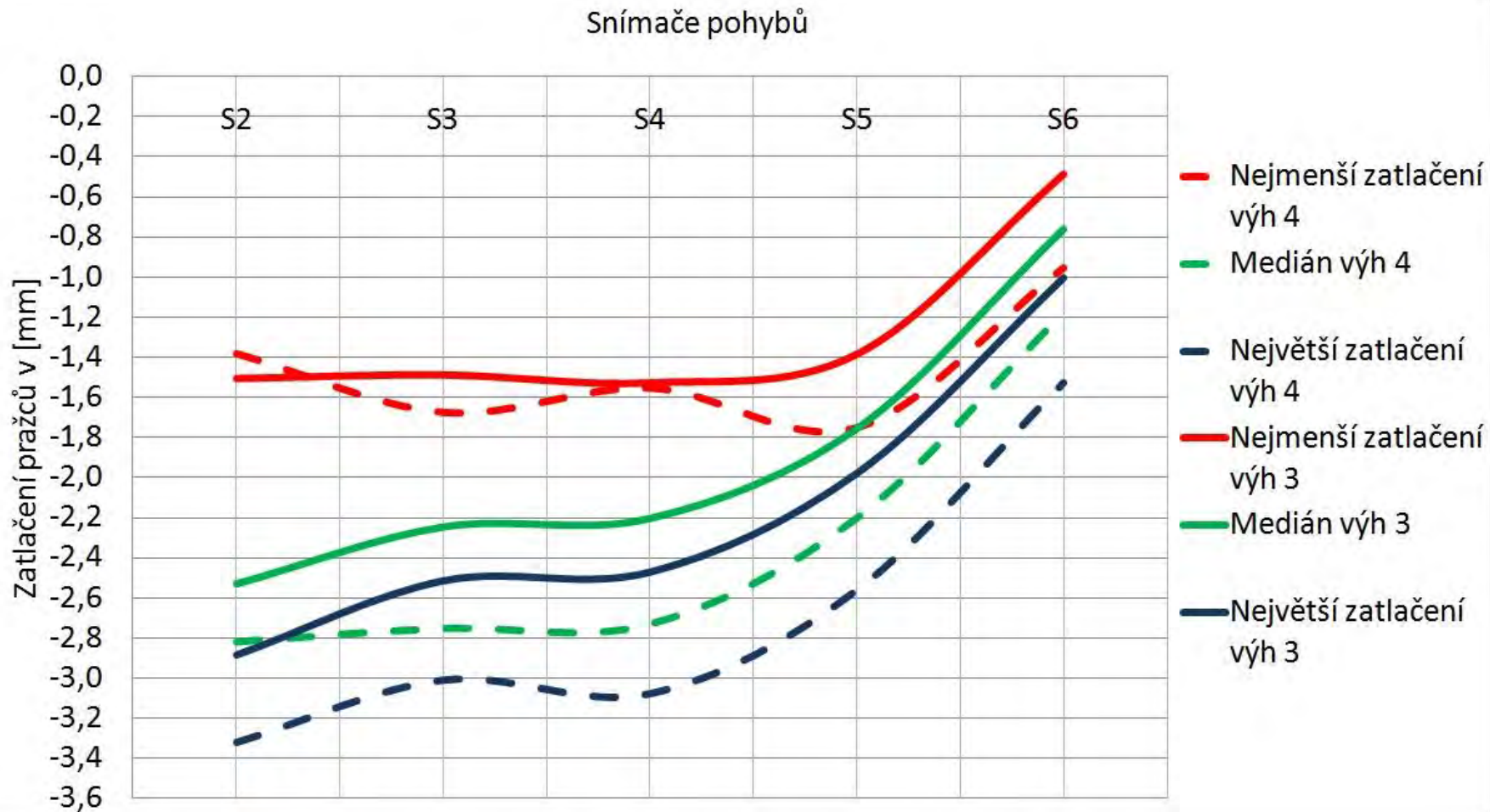


Ústí nad Orlicí

- Měření na výhybkách č. 3 a 4
- J60-1:12-500-zlp,P,I,ČZP,b,KS,ZPT
- Výhybka č. 3 – nový uzel upevnění
- Data měření:
 - 1 kampaň
 - 22.05.2015 – výhybka č. 3
 - 27.05.2015 – výhybka č. 4
 - 2 kampaň
 - 06.11.2015 – výhybka č. 3
 - 13.11.2015 – výhybka č. 4
 - 3 kampaň
 - 26.07.2016 – výhybka č. 3
 - 27.07.2016 – výhybka č. 4

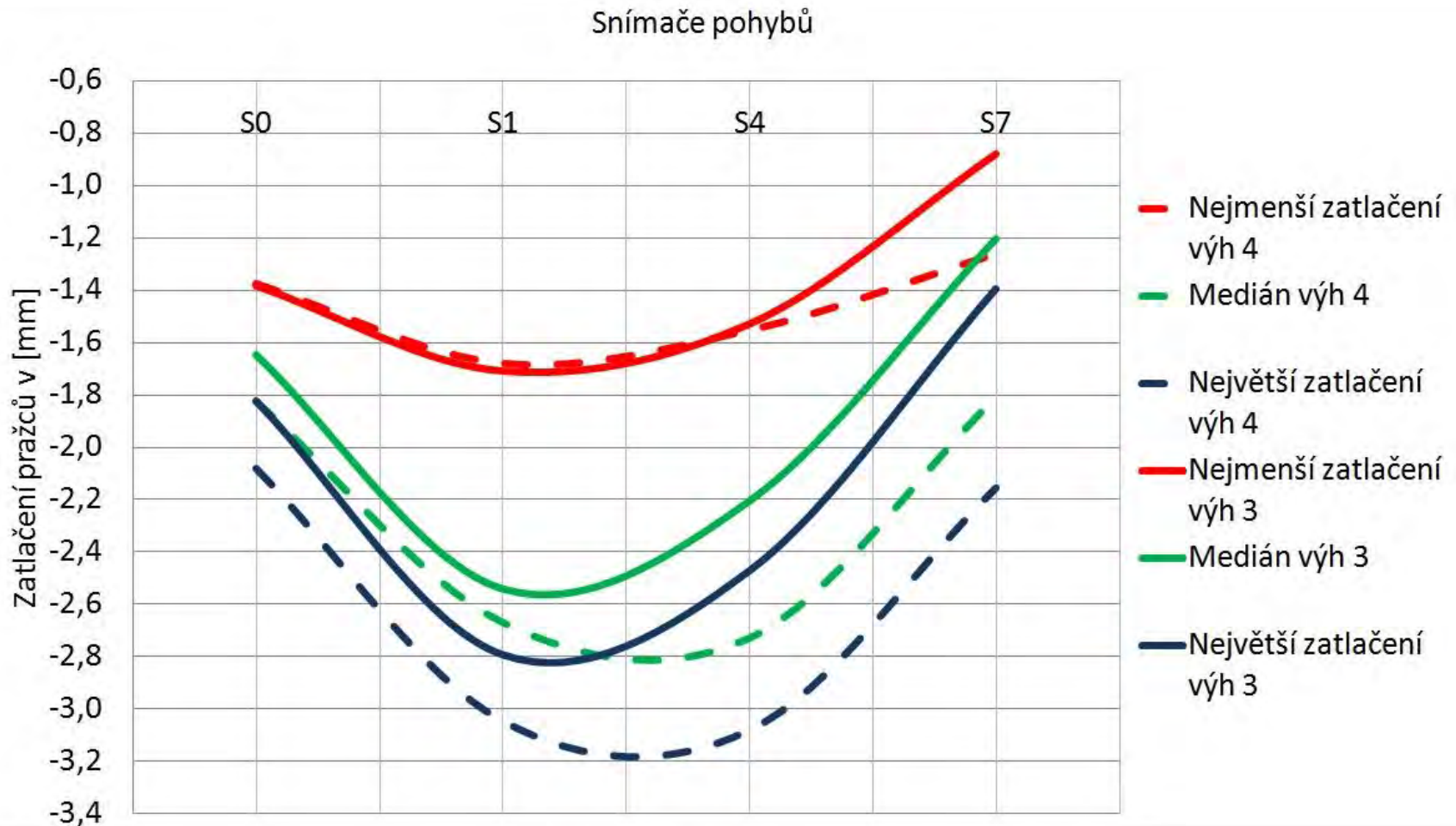
Vyhodnocení provedených měření

- Pohybové chování konstrukce – srovnání výhybky č. 3 a 4, žst. Ústí nad Orlicí, pražec pod srdcovkou, výhybka č. 4 čárkovaně
- Poslední kampaň měření



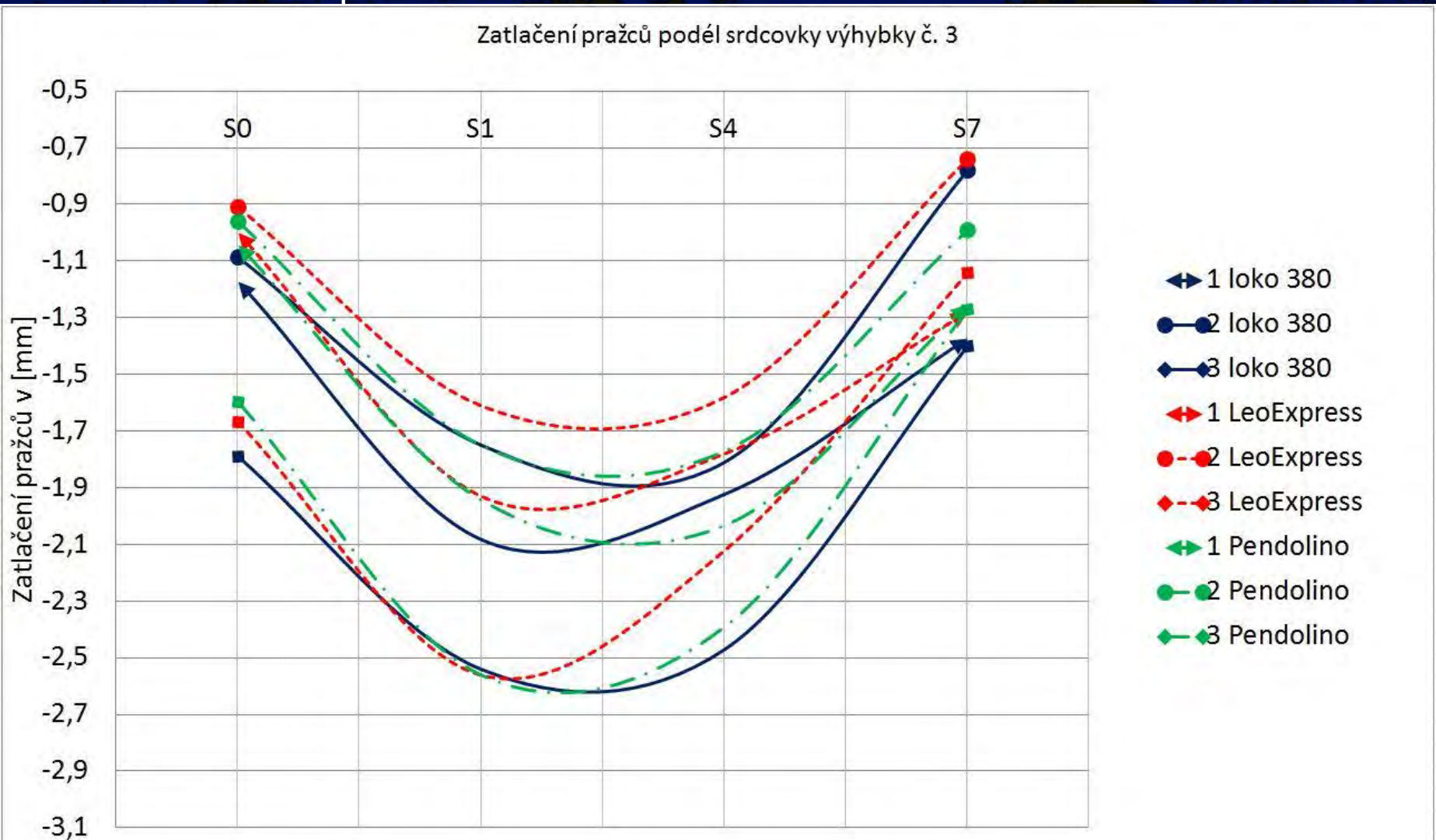
Vyhodnocení provedených měření

- Pohybové chování konstrukce – srovnání výhybky č. 3 a 4, žst. Ústí nad Orlicí, pražce podél srdcovky, výhybka č. 4 čárkovaně
- Poslední kampaň měření



Vyhodnocení provedených měření

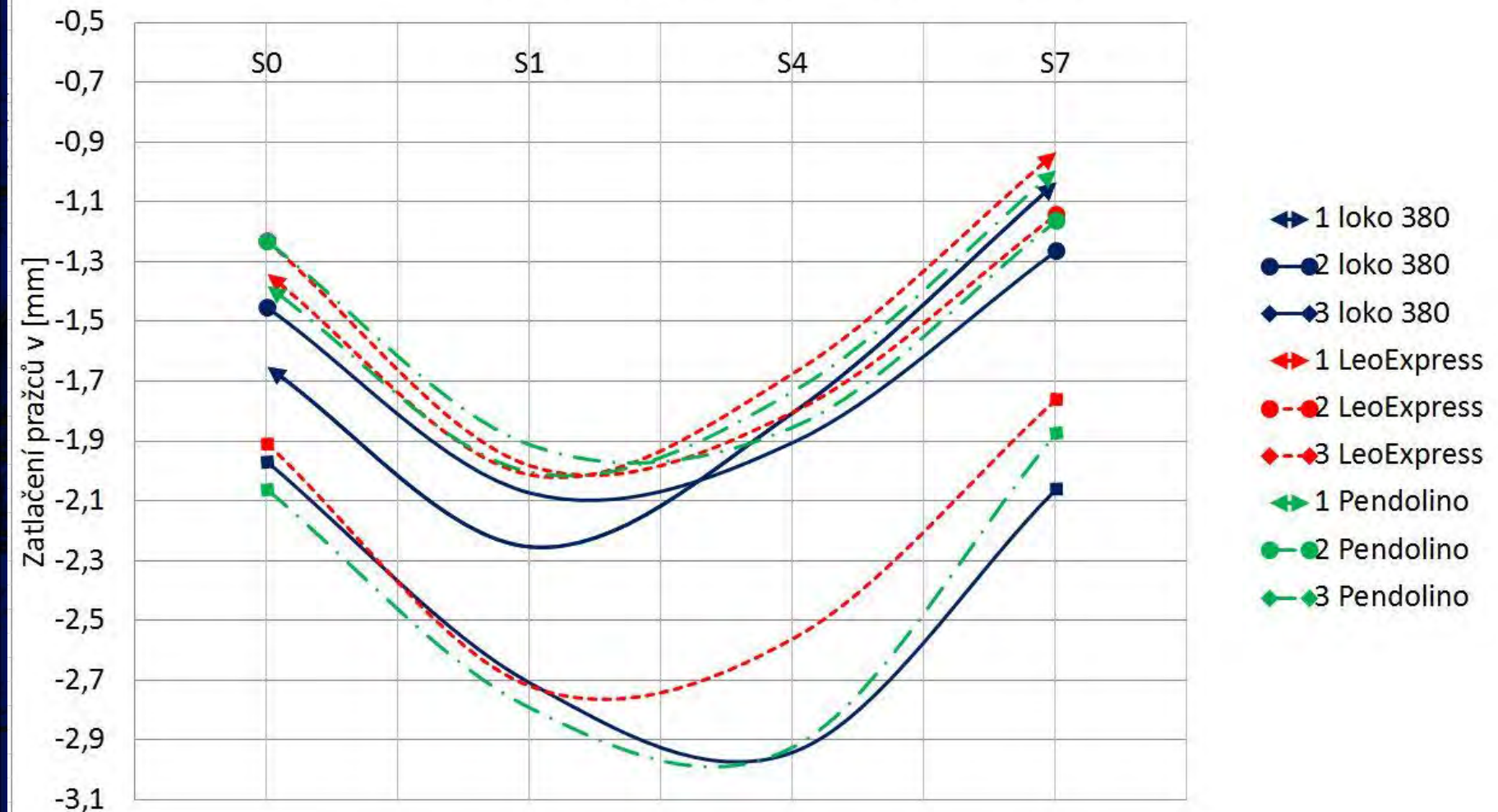
- Pohybové chování konstrukce –výhybka č. 3, žst. Ústí nad Orlicí, pražce podél srdcovky
- Srovnání tří kampaní měření



Vyhodnocení provedených měření

- Pohybové chování konstrukce –výhybka č. 4, žst. Ústí nad Orlicí, pražce podél srdcovky
- Srovnání tří kampaní měření

Zatlačení pražců podél srdcovky výhybky č. 4



Vyhodnocení provedených měření

- Časová oblast
- Dynamické chování konstrukce – srovnání výhybky č. 3 a 4, žst. Ústí nad Orlicí, přechod zrychlení kmitání z křídlové kolejnice do šterkového lože

Plocha pod křivkou klouzavé RMS [m/s]							
měření	souprava	A4Z na výhybce č.		A3Z na výhybce č.		A33Z na výhybce č.	
		3	4	3	4	3	4
1	loko 380	49	43	12 24	13 31	3 6	3 6
2	loko 380	45	34	8 18	10 29	3 7	3 10
3	loko 380	64	40	11 17	14 35	4 6	3 8
1	LEO Express	123	93	31 26	34 36	4 3	4 5
2	LEO Express	121	89	27 22	30 33	5 4	6 6
3	LEO Express	152	105	32 21	37 35	4 3	4 4
1	Pendolino	217	308	74 34	116 38	11 5	13 4
2	Pendolino	264	229	74 28	76 33	15 6	14 6
3	Pendolino	312	239	85 27	104 44	16 5	23 10
Průměr		149,7	131,1	39,4 24,1	48,1 34,8	7,1 4,9	8,1 6,6

Vyhodnocení provedených měření

- Frekvenční oblast
- Dynamické chování konstrukce – srovnání výhybky č. 3 a 4, žst. Ústí nad Orlicí, přechod zrychlení kmitání z křídlové kolejnice do šterkového lože

Plocha pod křivkou frekvenčních spekter Hz · m/s ²									
měření	souprava	A4Z na výhybce č.				A3Z na výhybce č.		A33Z na výhybce č.	
		3		4		3	4	3	4
		0 - 150 Hz	150 - 600 Hz	0 - 150 Hz	150 - 600 Hz	0 - 150 Hz	0 - 150 Hz	0 - 150 Hz	0 - 150 Hz
1	loko 380	1735	6413	1340	4555	988	986	328	344
2	loko 380	1206	5854	1438	4688	621	855	314	391
3	loko 380	1620	6428	1747	4635	864	1311	199	153
1	LEO Express	675	3461	500	2463	502	448	72	75
2	LEO Express	449	2402	489	1932	293	379	66	90
3	LEO Express	604	3463	616	2750	421	604	47	32
1	Pendolino	1018	3731	737	2718	634	816	96	135
2	Pendolino	1000	3615	853	3074	642	626	132	126
3	Pendolino	1085	3985	991	4008	794	1175	83	72
Průměr		1044	4372	968	3425	640	800	149	158

Závěr

- Studium dynamických účinků ve výhybce
 - 8 (10) experimentálních měření na 6 výhybkách
 - Se zhoršující se geometrií přechodu se prokazatelně zvyšují dynamické účinky
 - Dva hlavní mechanismy rozpadu geometrie přechodu
 - Od “shora” => větší ojetí => dynamické účinky => rozpad podepření => vyšší dyn. účinky
 - Od “spodu” => špatné podepření => dynamické účinky => ojetí (deformace) srdcovky
 - Zpružnění v uzlu upevnění snižuje dynamické účinky na pražci
 - Vulkanizované podložky na výhybce v žst. Poříčany velmi dobře tlumí dynamické účinky
 - Nový uzel upevnění v žst. Ústí nad Orlicí rovněž lépe tlumí – dostatečně?
 - Ideální je kombinace zpružnění v uzlu upevnění a podpražcové podložky
 - Frekvenční spektrum zrychlení vibrací poskytuje velmi důležité informace
 - Rozdělení do dvou frekvenčních intervalů
 - (0 – 150 Hz) => oblast kde působí dyn. síla P_2 => zvýšení zrychlení na těchto frekvencích indikuje špatné podepření konstrukce
 - (150 – 600 Hz) => oblast působení dyn. síly P_1 => zvýšení zrychlení na těchto frekvencích indikuje zvyšující se ojetí

Závěr

- Metodika měření

- Certifikace od Ministerstva dopravy
- Použití pro měření zkušebního úseku v Ústí nad Orlicí
- Osvědčilo se měření pomocí měřicích kamenů
- Dokáže zachytit jak pohybové chování kce i šíření dyn. energie kcí

- Matematický aparát

- V časové rovině
 - Minima a maxima => imperfekce na nápravě, kole vlaku
 - Klouzavá RMS => lze využít jako určitý ekvivalent hodnoty projeté dynamické zátěže
- Ve frekvenční rovině
 - FFT pro použití výpočtu plochy pod křivkou ve frekvenčních intervalech
 - Welchova metoda pro zobrazení grafů
- V časově-frekvenční rovině
 - STFT – potvrzení závěrů z časové a frekvenční analýzy a srovnání působení jednotlivých náprav vlaku

Závěr

- Hodnocení efektivity údržbových prací
 - Lze využít plnou metodiku měření
 - Případně metodiku zredukovanou
 - A4Z – ojetí srdcovky, ohybové namáhání srdcovky
 - A5X – rozpad geometrie přechodu
 - A3Z – podepření pražce pod srdcovkou
 - A1Z – srovnávací čidlo pro kvalitu podepření pražce
 - Doporučuji pro srovnání využít časové výřezy lokomotiv
 - Největší dynamické účinky
 - Lepší údržba a kvalita plochy kola
- Návrh zařízení na měření dynamických účinků
 - Doporučuji využít akcelerometry
 - Typ ICP a TEDS, rozsah $2500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (na pražci) a $7000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (na křídlové kolejnici)
 - Měřicí ústředna min. vz. frekvence 2500 Hz, 16 nebo 24 bitové rozlišení, simultánní vrozkování, antialiasing filtr pro každý kanál

Doporučení

- Doporučuji doplnit současný systém o měření dyn. účinků
 - Využití plné metodiky měření při hodnocení účinnosti nových konstrukčních řešení
 - Využití redukované metodiky měření při hodnocení údržbových prací
 - Využití stacionárního zařízení s jedním čidlem (A4Z) pro kontinuální sledování výhybky => systém plánování údržby výhybek
- Zřízení koordinátora pro zkušební úseky
 - Plánování a provádění údržby jen s jeho souhlasem
- Příprava na měření
 - Na odlitku výhybky a na pražci příprava na instalaci čidel
 - Zpevněné plochy a zřízení přístupu již v projektu pro zkušební úseky

Směr dalších prací

- Dokončit výběr parametrů pro hodnocení dyn. účinků
 - Minima a maxima
 - Klouzavá RMS
 - Crest Factor
 - Plochy ve frekvenčních pásmech (0 – 150 Hz a 150 – 600 Hz)



- Vývoj diagnostického zařízení pro výhybky
 - Metody umělé inteligence – fuzzy logika, neuronové sítě
- Vyřešit dvojnou integraci zrychlení na pohyby pražce

Poděkování:

Prof. Ing. Jaroslav Smutný, Ph.D.

prof. Luboš Pazdera, CSc.; Ing. Jan Valehrach; Ing. Petr Guziur; Ing. Jaroslav Bílek; Ing. Miroslava Hruzíková, Ph.D.; Ing. Richard Svoboda, Ph.D.; doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D.; Ing. Vladimír Tomandl, Ph.D.; Zdeněk Meluzín; Karel Matoušek; Ing. Michal Volštát; Ing. Daniela Vukušičová, Ing. Jan Hajniš; Ing. Aneta Francová; Ing. Adam Podolník
Dr. Ing. Libor Veselý

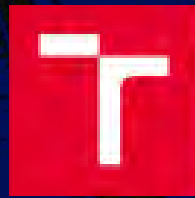
Měření proběhla za podpory projektu Zvýšení kvality jízdní dráhy ve výhybkách pomocí zpružnění, kód projektu TA01031297, hl. řešitel za VUT FAST prof. Ing. Jaroslav Smutný, Ph.D. podporovaný Technologickou agenturou České republiky.

Smutný J.: Analýza dynamických účinků od kolejové dopravy metodou kvadratických časově a frekvenčně invariantních transformací, Grantová agentura České republiky, 2007-2009

Projekt Pražce s pružnou ložnou plochou, kód projektu TA01031173, hl. řešitel za VUT FAST doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D., podporovaný Technologickou agenturou ČR

Projekt specifického vysokoškolského výzkumu na VUT v Brně s názvem Komplexní monitoring a analýza dynamicko-akustických jevů v koleji, hl. řešitel Ing. Vladimír Tomandl, Ph.D., kód projektu: FAST-J-11-21.

Projekt vnitřního grantového systému na FAST VUT v Brně pro rok 2009 s názvem Doplnění aparatury pro měření dynamických účinků na kolejových konstrukcích, hl. řešitel Ing. Ivan Vukušič, Ph.D., kód projektu: VG329.



FAKULTA Ústav
STAVEBNÍ železničních
konstrukcí a staveb

Analýza dynamických účinků ve výhybkách

Ing. Ivan Vukušič, Ph.D.

VUT FAST Ústav železničních konstrukcí a staveb

vukusic.i@fce.vutbr.cz

Výzkumný Ústav Železniční, a.s.

vukusici@cdvuz.cz

Mob.: +420 723 516 476