



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební  
Ústav železničních konstrukcí a staveb

## Seminář

„Hodnocení dynamických účinků v koleji“

15. srpna 2017 na Fakultě dopravní ČVUT v Praze, Na Florenci 25, Praha  
Zasedací místnost (vlevo v hlavním vstupu)

# EXPERIMENTÁLNÍ ANALÝZA VYBRANÝCH SYSTÉMŮ KOLEJNICOVÝCH UPEVNĚNÍ

Ing. Vladimír Tomandl, Ph.D.

Vedoucí práce:

prof. Ing. Jaroslav Smutný, Ph.D.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební

# ZAVÁDĚNÍ NOVÝCH PRVKŮ ŽELEZNIČNÍHO SVRŠKU

---

- **konstrukční návrh výrobku**
  - návrh je dán zadáním a požadavky řady ČSN EN 13481 a OTP
  - zkušenosti ze zahraničí a ze starších vývojových konstrukcí
  - optimalizace návrhu na základě výsledků modelování, či laboratorních a provozních zkoušek
- **teoretická analýza (modelování)**
  - kontakt kolo-kolejnice: Hertzova pružina
  - kolejnice, pražce: ohybová tuhost
  - pružné prvky upevnění: soustava pružin a tlumičů
  - kolejové lože a podloží: Winklerova hypotéza
- **laboratorní zkoušení (zkouška typu, kontrolní výrobní zkouška)**
  - metody zkoušení řada ČSN EN 13146 a OTP
- **provozní ověřování**
  - dle ČSN EN 13146-8
- **schválení ověřovaného výrobku koncovým odběratelem**



# **ZAVÁDĚNÍ NOVÝCH PRVKŮ ŽELEZNIČNÍHO SVRŠKU**

## **– DOPLNĚNÍ SOUČASNÝCH POSTUPŮ**

---

- **teoretická analýza (modelování)**
  - zpřesňování vstupních dat a okrajových podmínek na základě výsledků laboratorních a provozních zkoušek (přístup do centrální databáze)
- **laboratorní zkoušení (zkouška typu, kontrolní výrobní zkouška)**
  - stanovení FRF a případná optimalizace upevnění
- **provozní ověřování**
  - (FRF), dynamicko-akustické parametry „naladěného“ výrobku dle jednotné metodiky
  - dynamicky (pod zatížením) je možné v rozsahu stanoveném normou ČSN EN 13146-8 prakticky hodnotit pouze rozchod koleje či stav hlavy kolejnice. Podmínkou je dostupnost MVŽSv. Ta je vzhledem ke lhůtám měření na dráze stanoveným vyhláškou č. 177/1995 Sb. velmi omezená.

# ***DYNAMICKO-AKUSTICKÉ PARAMETRY***

---

Určování odezvy na účinky buzení:

- **(analýza silového působení a napětí v konstrukci)**
  - v běžné koleji se nepředpokládají deformace vlivem provozu
  - napjatost, držebnost či únava upevnění řešena v rámci ČSN EN 13146-X
  - srovnatelné silové účinky zatížení díky vhodnému stanovišti měření
- **analýza pohybového chování pod zatížením konstrukce**
- **analýza šíření vibrací a jejich účinků na trať a její okolí**
- **analýza šíření hluku a jeho účinků na trať a její okolí**
- **hygienická měření** – míra škodlivosti a vlivu na životní prostředí, postupy v normách, limity v legislativě
- **technická měření** – charakteristika zkoumané konstrukce



# ***METODIKA MĚŘENÍ***

---

## **Jednotná metodika měření:**

- data v unifikovaném formátu, nezávisle na zhotoviteli
- bez standardizované metodiky není možné získaná data uspokojivým způsobem svázat a vyhodnotit s výsledky jiných měření

## **Vstupní požadavky:**

- dostatečná komplexnost a snadná interpretace výsledků
- univerzálnost vzhledem k variabilitě konstrukcí
- snadná instalace v trati bez omezování provozu
- zajištění bezpečnosti provozu a práce měřické skupiny
- dostatečná přesnost, opakovatelnost a reprodukovatelnost měření
- doba trvání včetně přípravy a vyklizení max. 7,5 hod

# ***METODIKA MĚŘENÍ***

---

## **Laboratorní měření:**

- referenční podmínky měření
- snadnější příprava a organizace měření
- dobrá opakovatelnost měření (snadnější standardizace)
- porovnání testovaných konstrukcí, určení významných frekvencí, rezonančních pásem a útlumů

## **Měření in-situ:**

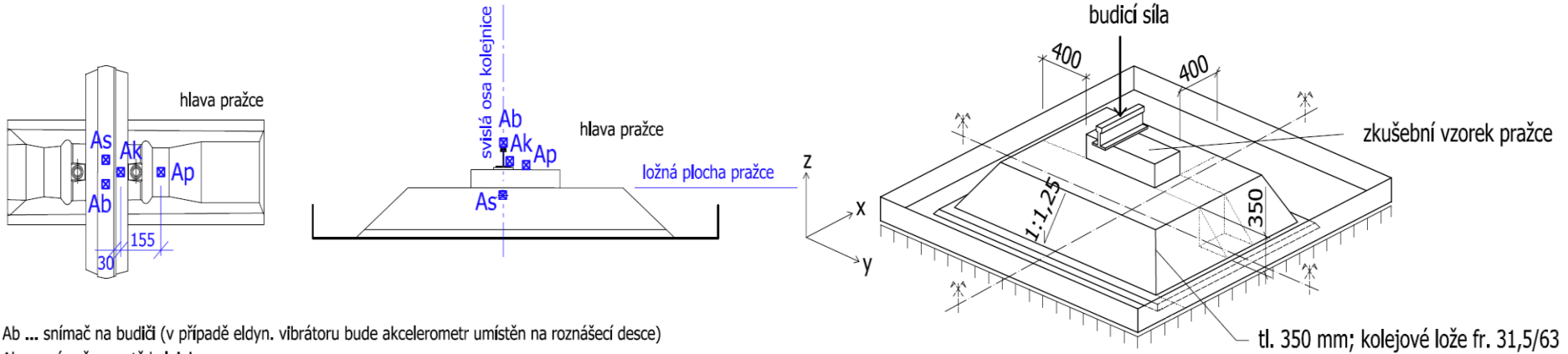
- reálné podmínky a dopravní zatížení
- chování testovaných konstrukcí za provozu
- srovnání s výsledky z laboratoře

## **Přípravné práce:**

- určení materiálu, stáří a projeté zátěže podložek
- měření statické a nízkofrekvenční dynamické tuhosti sestavy upevnění dle ČSN EN 13146-9+A1
- výběr vhodného stanoviště měření in-situ



# METODIKA MĚŘENÍ – LABORATOŘ



Ab ... snímač na budiči (v případě eldyn. vibrátoru bude akcelerometr umístěn na roznášecí desce)

Ak ... snímač na patě kolejnice

Ap ... snímač na hlavě pražce

As ... měřicí kámen na ložné ploše pražce



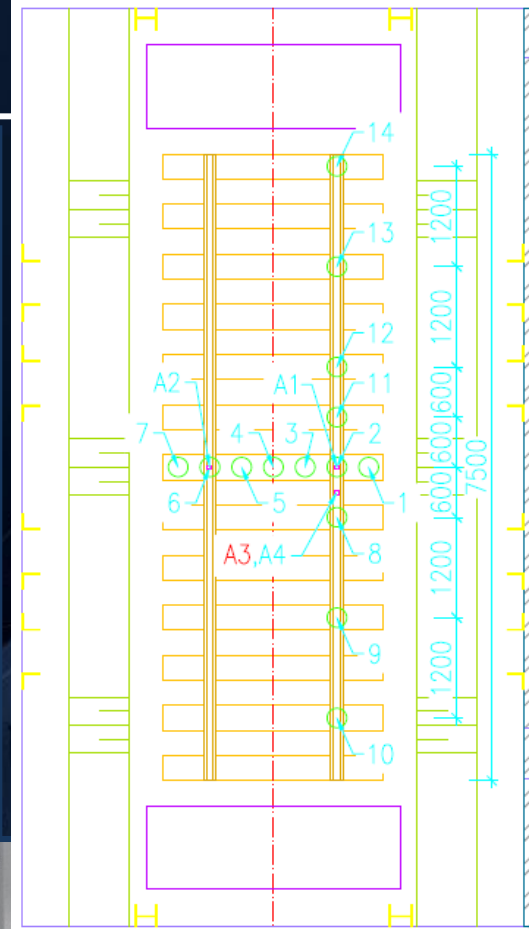
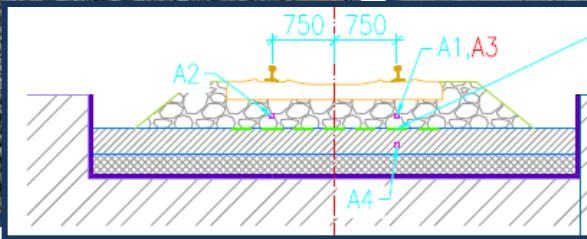


# METODIKA MĚŘENÍ – LABORATOŘ



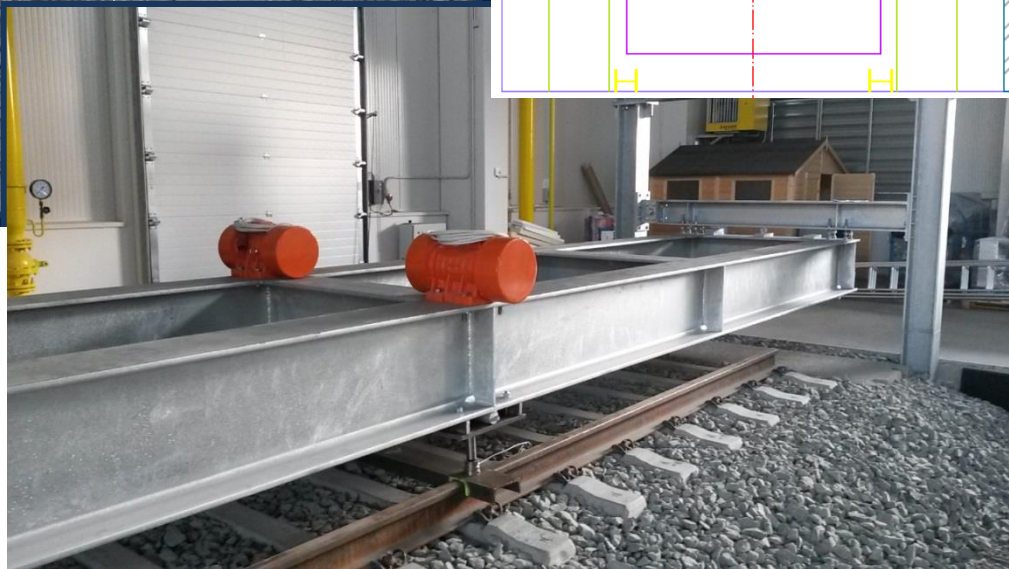


# METODIKA MĚŘENÍ – LABORATOŘ



kolejnice 60E2  
pružné upevnění W14  
pražce B91 S/1  
štěrk kolejového lože 31,5/63, třídy Bl, tl. 0,350 m pod pražcem

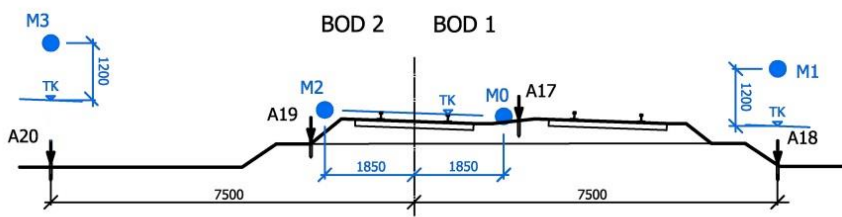
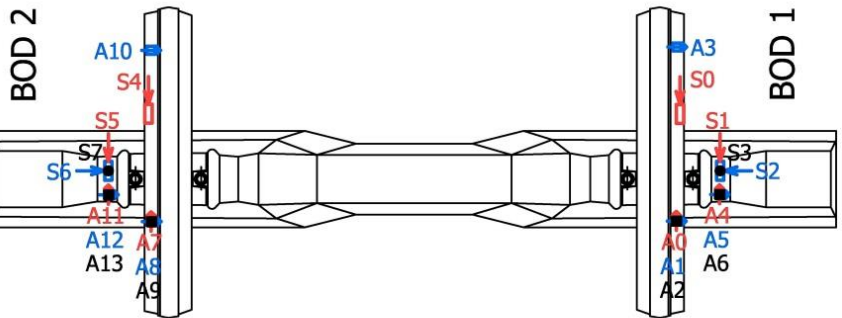
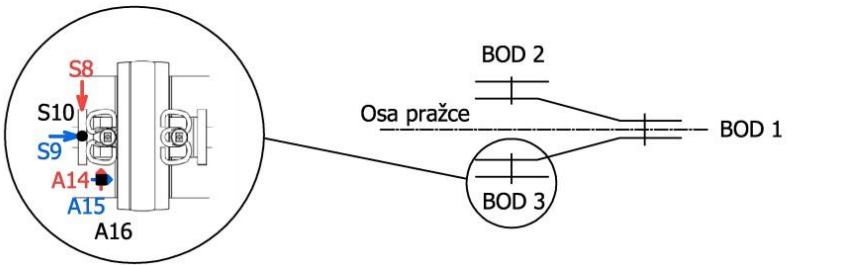
štěrkodrt' 0/32, tl. 0,300 m  
zemina stabilizovaná vápnem, tl. 0,250 m  
antivibrační rohož, tl. 44 mm (2x22 mm)  
železobetonová deska dna zkušební jámy tl. 0,400 m C25/30 XC2





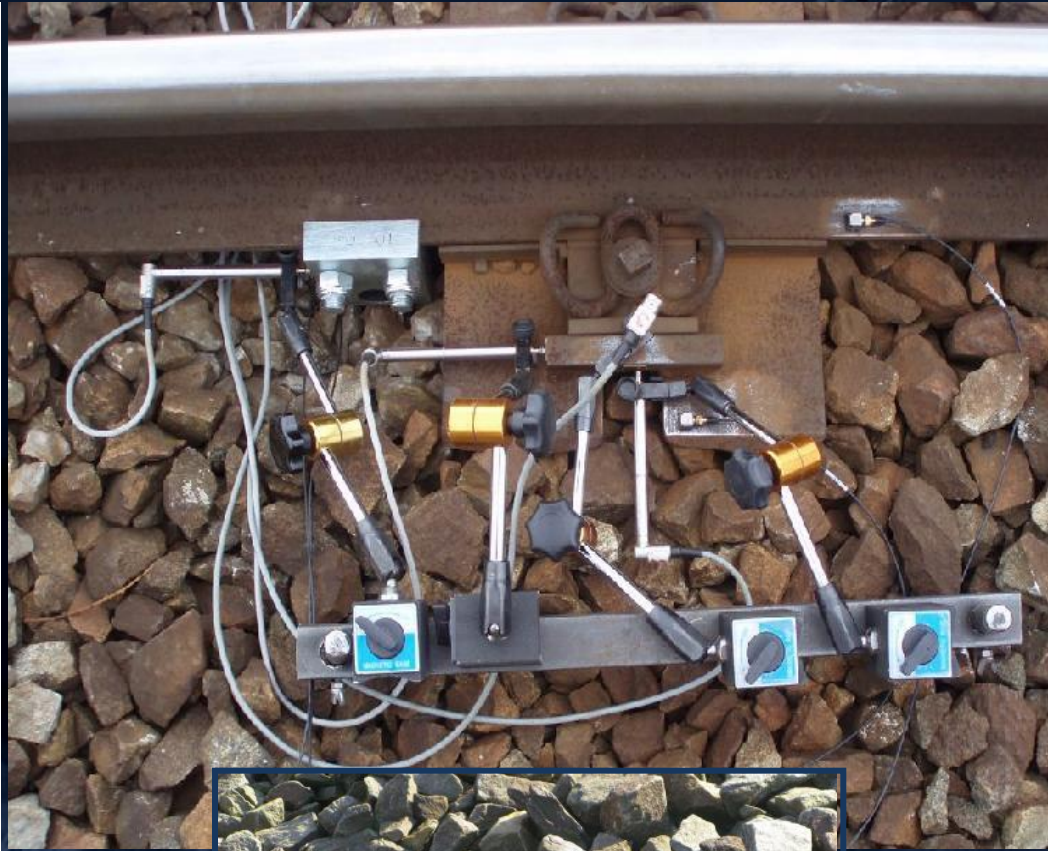
# METODIKA MĚŘENÍ – IN-SITU

BOD 3 DETAIL



**LEGENDA:**

- ↓ → ● - SNÍMAČE POSUNUTÍ (PODÉLNÝ, PŘÍČNÝ, SVISLÝ SMĚR)
- ↓ → ■ - SNÍMAČE ZRYCHLENÍ VIBRACÍ (PODÉLNÝ, PŘÍČNÝ, SVISLÝ SMĚR)
- - SNÍMAČE AKUSTICKÉHO TLAKU (PŘÍČNÝ SMĚR)





# MATEMATICKÝ APARÁT

Analýza posunů

Časová oblast

Globální extrémý

Medián

Analýza vibrací

Časová oblast

Globální extrémý

Efektivní hodnota zrychlení vibrací RMS

Frekvenční oblast

Rychlá Fourierova transformace FFT

Frekvenční odezvové funkce FRF

Časově-frekvenční oblast

Lineární T-F transformace (krátkodobá Fourierova transformace STFT)

Nelineární T-F transformace (Cohenova třída)

Analýza hluku

Časová oblast

Ekvivalentní trvalá vážená hladina akustického tlaku  $L_{Aeq,T}$

Hladina expozice průjezdu TEL

Frekvenční oblast

Rychlá Fourierova transformace FFT

TO analýza

Energetický součet  $L_p$

# VÝBĚR VHODNÉHO STANOVISŤE MĚŘENÍ IN-SITU

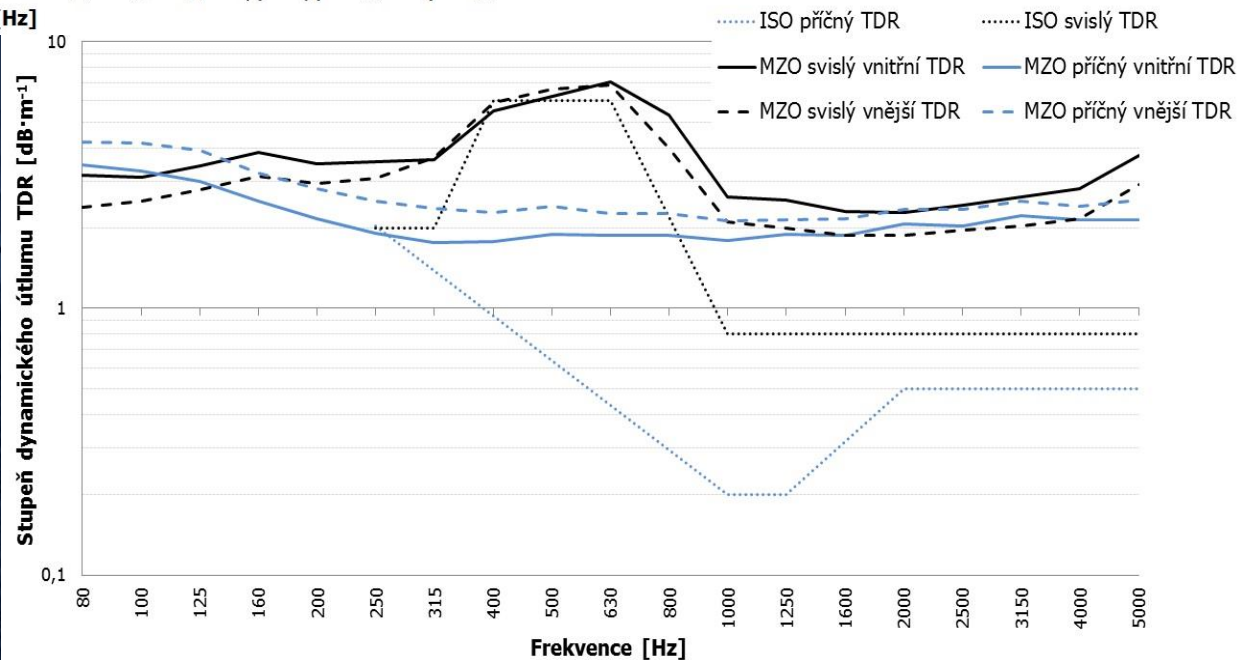
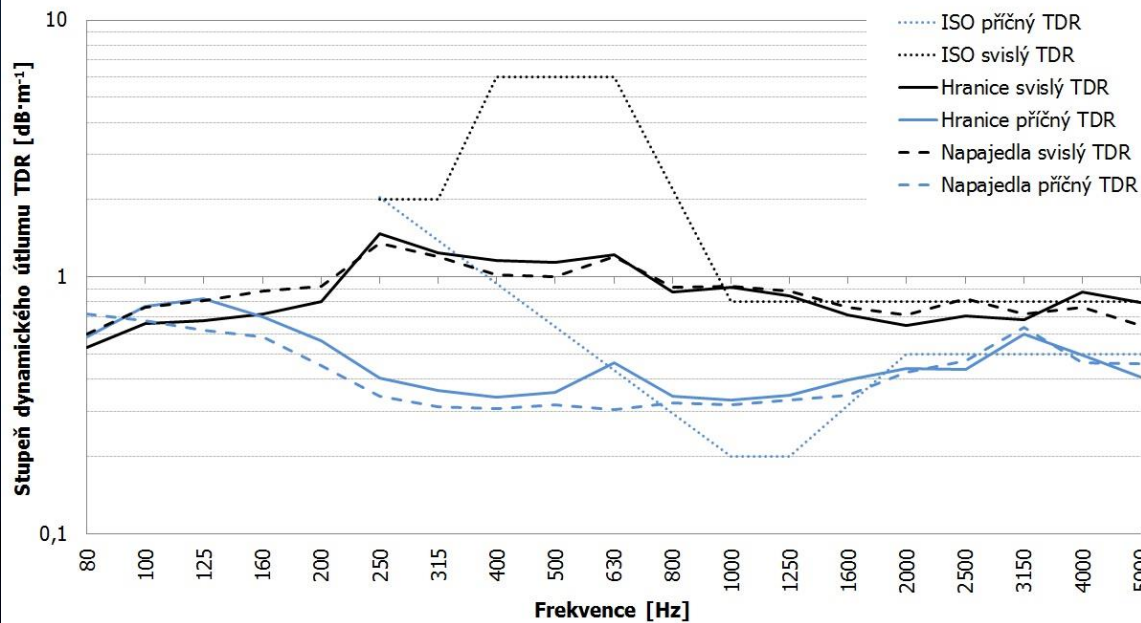
---

- **lokalizace vhodného úseku koleje**
  - PSŘ, NPŽSv, GVD, [www.zelpage.cz](http://www.zelpage.cz), [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz), [schemata.tudc.cz](http://schemata.tudc.cz), místní šetření
  - srovnatelné směrové a výškové uspořádání koleje
  - přímá kolej nebo kružnicová část oblouku mimo přechodové oblasti vlivu změny křivosti
  - soustava UIC 60, bezstyková kolej, bez viditelných vad pojížděných ploch kolejnic
- **kvalita geometrie koleje ve vybraném úseku**
  - výstupy MVŽSv nebo MD: SDO SK/RK/PK/VK, vertikální mikrogeometrie povrchu kolejnicových pásů
  - hodnocení 3 měřicích kampaní předcházejících termínu měření
- **stanovení dynamických vlastností úseku koleje**
  - akustická drsnost koleje dle ČSN EN 15610
  - stupeň dynamického útlumu trati TDR dle ČSN 15461+A1 nebo metodou Pass-by-Analysis po schválení předpisu CEN/TR 16891



# VÝBĚR VHODNÉHO STANOVIŠTĚ MĚŘENÍ IN-SITU

ČSN EN ISO 3095



# VÝBĚR VHODNÉHO STANOVISŤE MĚŘENÍ IN-SITU

---

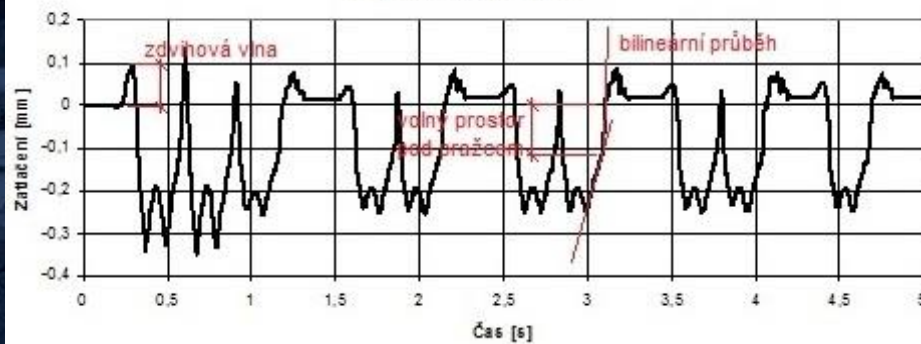
- měření kvality podepření pražce pro určení konkrétního měřicího profilu
  - přímé měření zatlačení pražce (měřicí rám, individuální osazení čidel)
  - výpočet zatlačení pražce z jiné měřené veličiny (zrychlení vibrací)
    - průměrování hodnot z jednotlivých rázů kladiva
    - zobrazení časového průběhu měřených veličin
    - vhodný časový výřez
    - aproximace dig. signálů vhodnou matematickou křivkou (periodický splajn)
    - filtrace pásmovou propustí FIR
    - numerická integrace filtrovaného signálu (obdélníkové pravidlo)
    - výpočet přenosové funkce (receptance / dynamická tuhost)



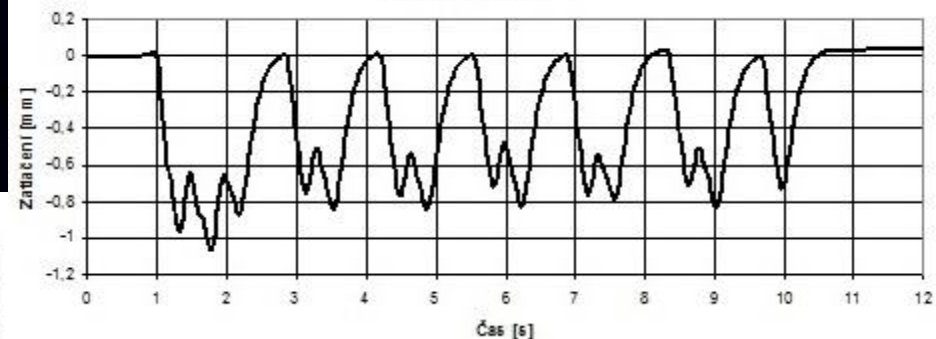
# VÝBĚR VHODNÉHO STANOVIŠTĚ MĚŘENÍ IN-SITU



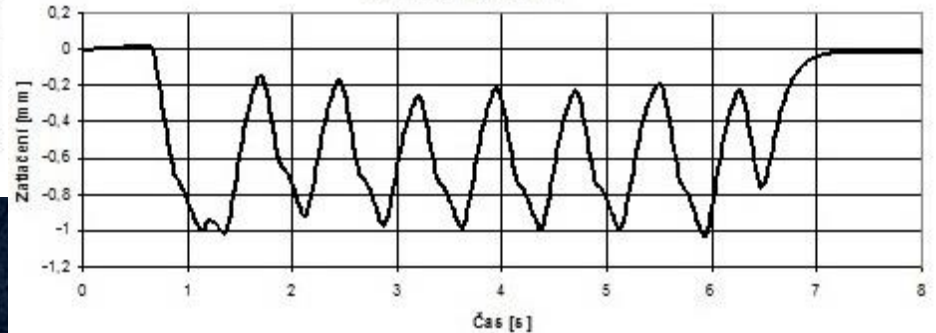
Vlak Os, rychlost 88 km.h<sup>-1</sup>



Vlak R, rychlost 60 km.h<sup>-1</sup>

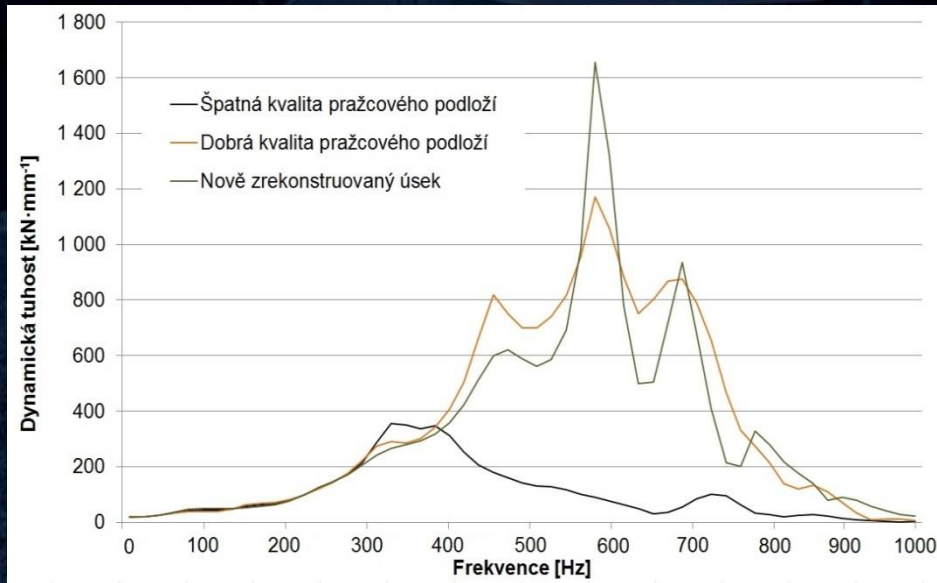
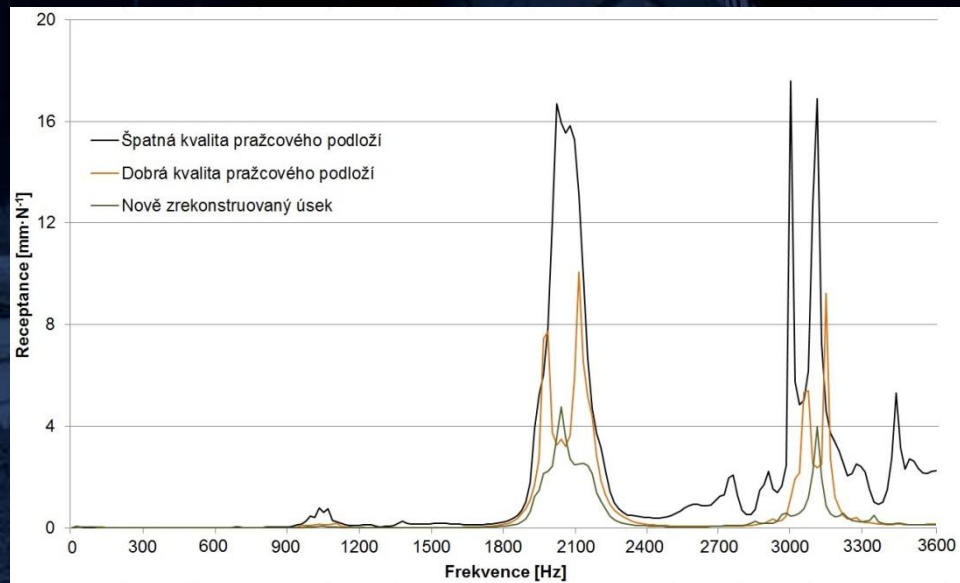


Vlak R, rychlost 76 km.h<sup>-1</sup>





# VÝBĚR VHODNÉHO STANOVIŠTĚ MĚŘENÍ IN-SITU





# VÝBĚR VHODNÉHO STANOVIŠTĚ MĚŘENÍ IN-SITU



Popis úseku	Zjištěná efektivní hodnota dynamické rázové tuhosti do frekvence 1000 Hz [kN·mm <sup>-1</sup> ]	Dolní mez pro přijetí pražce [kN·mm <sup>-1</sup> ]	Posouzení pražce pro přijetí
tratič. 250, TÚ Modřice – Horní Heršpice, km 137,590, kolejič. 2, soustava UIC 60, pružné upevnění, dobrá kvalita pražcového podloží	488	250	vyhovuje
tratič. 250, TÚ Modřice – Horní Heršpice, km 138,220, kolejič. 2, soustava UIC 60, pružné upevnění, výborná kvalita pražcového podloží (zrekonstruovaný úsek)	468		vyhovuje
tratič. 250, žst. Horní Heršpice, km 0,510, kolejič. 96, soustava R65, tuhé upevnění, špatná kvalita pražcového podloží	141		nevyhovuje

# REALIZACE MĚŘENÍ

Typ upevnění	Statická sečná tuhost podložky [kN·mm <sup>-1</sup> ]	Kolejnicová podpora	Datum vložení	Způsob ověřování	Oblast použití dle předpisu SŽDC S3	Typ upevnění	Statická sečná tuhost podložky [kN·mm <sup>-1</sup> ]	Kolejnicová podpora	Datum vložení	Způsob ověřování	Oblast použití dle předpisu SŽDC S3
W 14	55 ÷ 75 (dle OTP)	Betonový monoblokový pražec B 91S/1 s polyamidovou otevřenou hmoždinkou	1997 (Bílovice); 2002, 2012 (laborať); 2004 (Hranice); 2005 (Třebová) 2013 (ZC Velim)	In situ; in labo	Průběžné traťové a hlavní staniční koleje na tratích v rozsahu směrnice GR SŽDC č. 16/2005 (nový materiál); průběžné traťové a hlavní staniční koleje na ostatních tratích (nový, užitý nebo regenerovaný materiál); předjízděné koleje na vybraných tratích v rozsahu směrnice GR SŽDC č. 16/2005 (nový, užitý nebo regenerovaný materiál); ostatní staniční koleje (nový, užitý nebo regenerovaný materiál);	S 15	500 (separační a elektroizolační funkce)	Ocelový pražec Y s rozzevením 650 mm	2005 (Počátky); 2005 (Popelín)	In situ	Průběžné traťové a hlavní staniční koleje na ostatních tratích (nový materiál); ostatní staniční koleje (nový materiál);
FC I	40 ÷ 55 (stanovena dle postupu výroby)	Betonový monoblokový pražec B 91P s kotvami FastClip a bočním izolátorem 7049	1997 (Bílovice); 1999 (Napajedla); 2002 (laborať); 2004 (Hranice);	In situ; in labo	Průběžné traťové a hlavní staniční koleje na tratích v rozsahu směrnice GR SŽDC č. 16/2005 (nový materiál); průběžné traťové a hlavní staniční koleje na ostatních tratích (užitý nebo regenerovaný materiál); předjízděné koleje na vybraných tratích v rozsahu směrnice GR SŽDC č. 16/2005 (užitý nebo regenerovaný materiál)	W 14NT	55 ÷ 75 (dle OTP)	Betonový monoblokový pražec B 91S/1 s polyamidovou otevřenou hmoždinkou	2012, 2015 (laborať)	In labo	Stejně jako u W 14, v koleji se směrovými oblouky o poloměrech menších, než 500 m, v koleji s nebezpečím zvýšeného bočního namáhání kolejového roštu s vysokým provozním zatížením
KS pozn. 1)	90 ÷ 120 (dle OTP)	Betonový monoblokový pražec SB 8P s polyamidovou otevřenou hmoždinkou	2005 (Počátky); 2006 (Malíkov)	In situ	Průběžné traťové a hlavní staniční koleje na ostatních tratích (užitý nebo regenerovaný materiál); předjízděné koleje na vybraných tratích v rozsahu směrnice GR SŽDC č. 16/2005 (užitý nebo regenerovaný materiál, nové pouze u tratí s výsledným přepočteným provozním zatížením menším než 29 mil. hrt/rok); staniční koleje v zarážkových oblastech a ostatní staniční koleje (nový, užitý nebo regenerovaný materiál);	E 14	500 (pata kolejnice) 27,5 (roznášecí deska)	Betonový monoblokový pražec B 91S/1 s polyamidovou otevřenou hmoždinkou	2012 (laborať)	In labo	Stejně jako u W 14, v kolejích, kde není možné zřídit kolejové lože dostatečné tloušťky; nesmí se vkládat do oblouků o menších poloměrech než 500 m
						W 21NT	35	Betonový monoblokový pražec B 91S/1 s polyamidovou otevřenou hmoždinkou	2012, 2015 (laborať)	In labo	Není definováno; v zahraničí primárně do kolejí s vyššími rychlostmi nebo na vysokorychlostní tratě (provedení HS)
						300	22,5	Betonový pražec dvoublokový B 355.3 U60M (součást PJD RHEDA 2000)	2005 (Třebová)	In situ	Výhradně pro koleje s PJD; v zahraničí obvykle vysokorychlostní tratě, na mostních objektech nebo v tunelech
						W 28NT pozn. 2)	60	Betonový monoblokový pražec B 91S/1 s polyamidovou otevřenou hmoždinkou	2015 (laborať)	In labo	Není definováno; Stejně jako u W 14, v koleji se směrovými oblouky o poloměrech menších, než 500 m, v koleji s nebezpečím zvýšeného bočního namáhání kolejového roštu s vysokým provozním zatížením

Pozn.: 1) se svěrkami Skl 12 se smí nově vkládat pouze v určených místech železničního svršku, jako jsou např. železniční přejezdy v koleji s minimálním poloměrem oblouku 500 m, kde konstrukce přejezdových panelů neumožňuje vložení svěrek Skl 24.

Pozn.: 2) v sestavě upevnění použity úhlové vodiče vložky Wřp 21 K NT-12



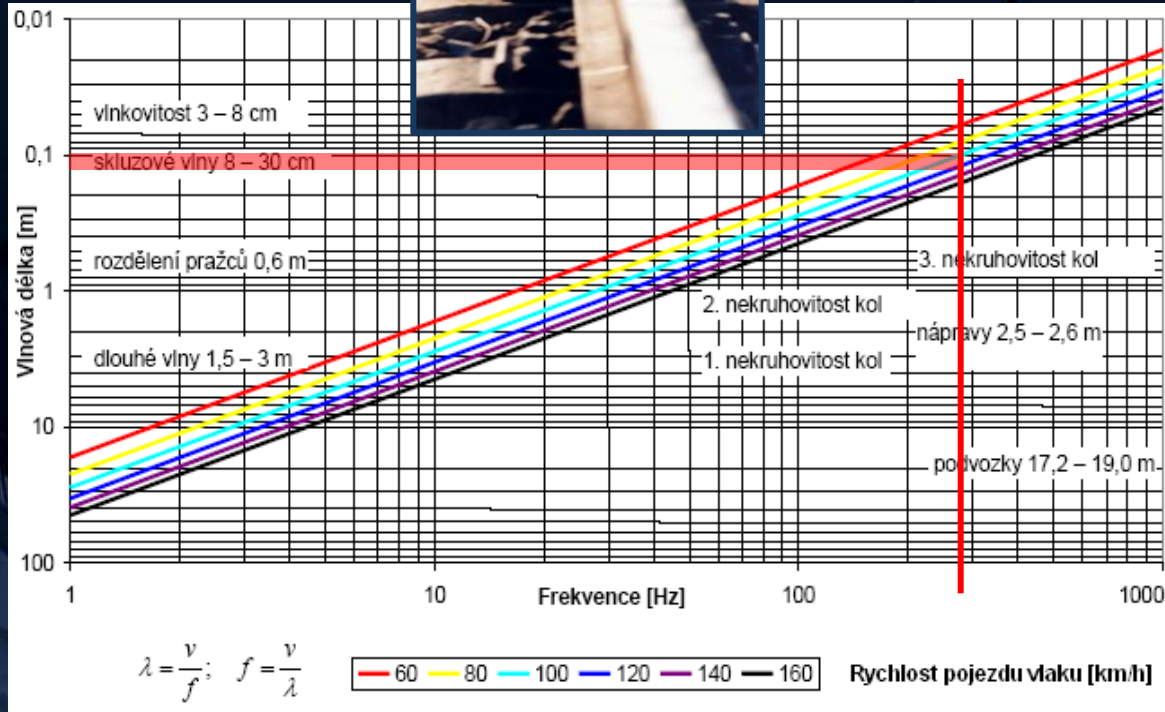
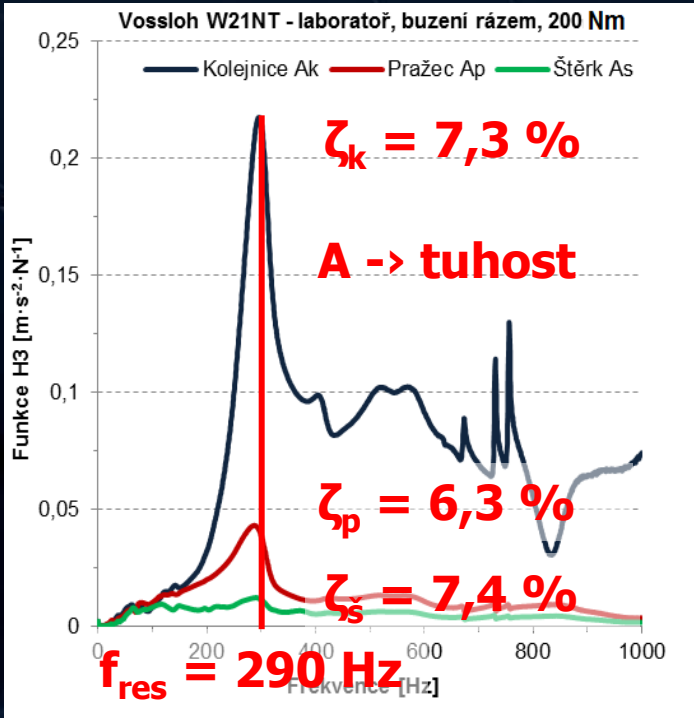
# ***REALIZACE MĚŘENÍ***

---

- více než 30 měření v letech 2007 – 2015 (2016 měření na PJD)
- 8 lokalit in situ + laboratoř + další lokality pro ověřování postupů
- 9 systémů upevnění kolejnic
- řada úloh řešena z podnětu provozovatele dráhy, výrobců a distributorů
  
- záznamy od reprezentativních vozidel (jízdni rychlost, nedostatek převýšení, uspořádání podvozku, nápravové zatížení, očekávaný technický stav a stáří vozidla)
- metoda přehledových tabulek a grafů
- vlaky vyšší kvality SC, EC, IC, Ex
- rychlíky R
- osobní vlaky Os
- motorové osobní vlaky MOs
- nákladní vlaky N
- speciální vlaky (MVTV, MUV)

# LABORATORNÍ MĚŘENÍ

## Frekvenční odezvové funkce (FRF)

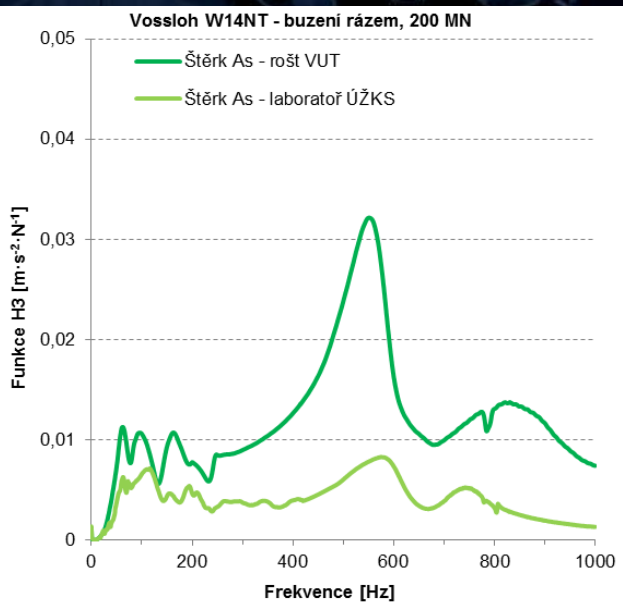
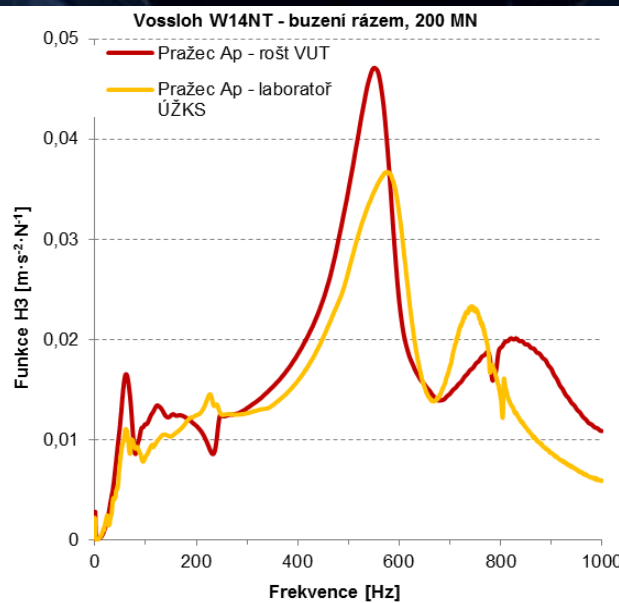
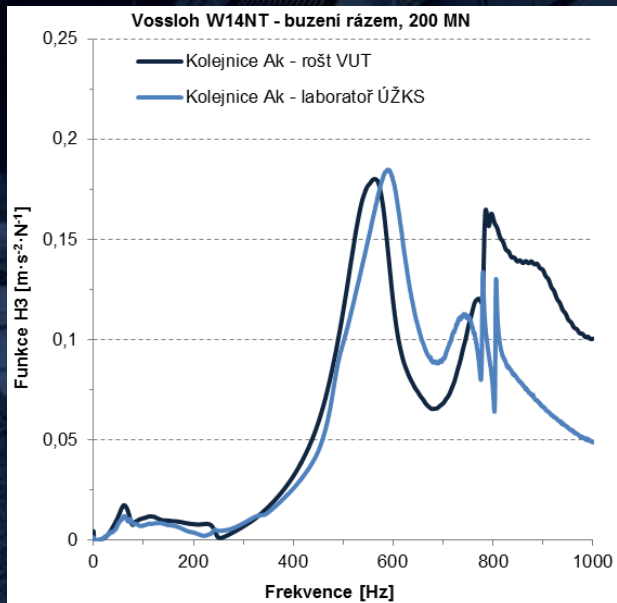
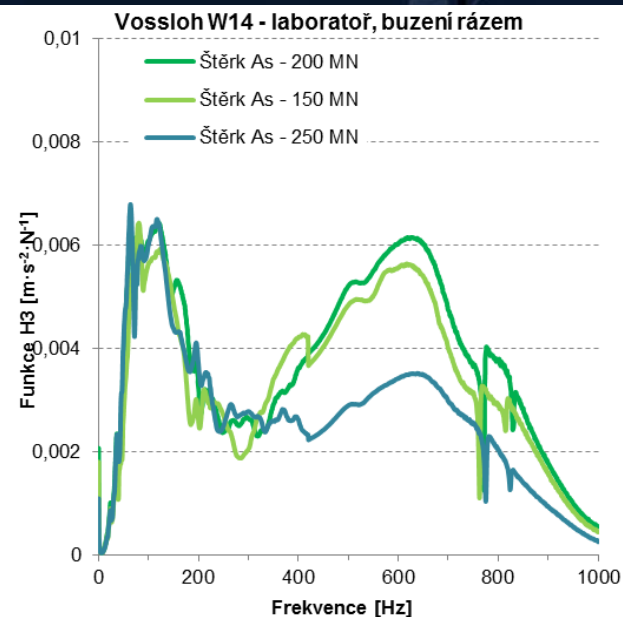
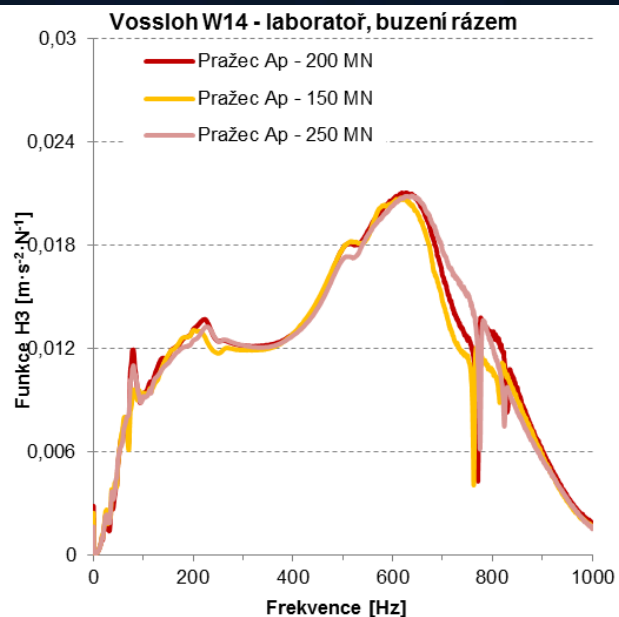
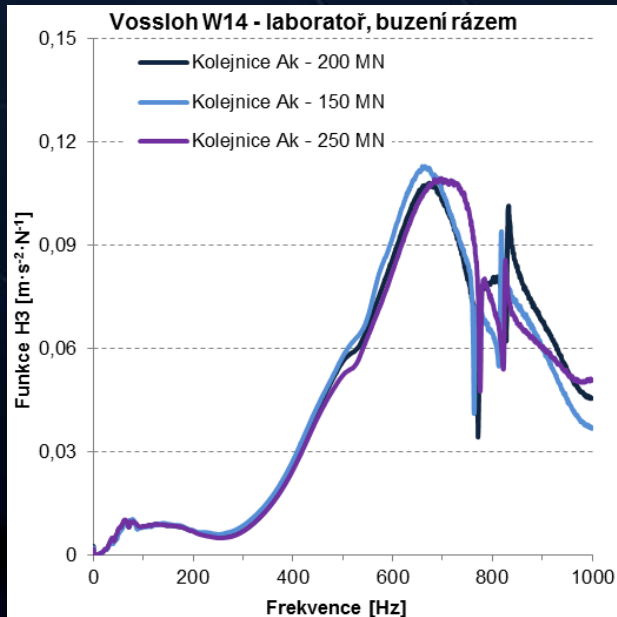


## Nebezpečí rozvoje skluzových (krátkých) vln!!!

Skluzové vlny vznikají v obloucích o malých poloměrech do 700 m (zpravidla na vnitřním kolejnicovém pásu) v důsledku prokluzu kol, ke kterému dochází vlivem konstrukce ŽKV. Jejich délka se pohybuje obvykle mezi 8 - 30 cm, hl. 0,1 - 1,2 mm.



# LABORATORNÍ MĚŘENÍ



# LABORATORNÍ MĚŘENÍ

---

## Vibrodiagnostika:

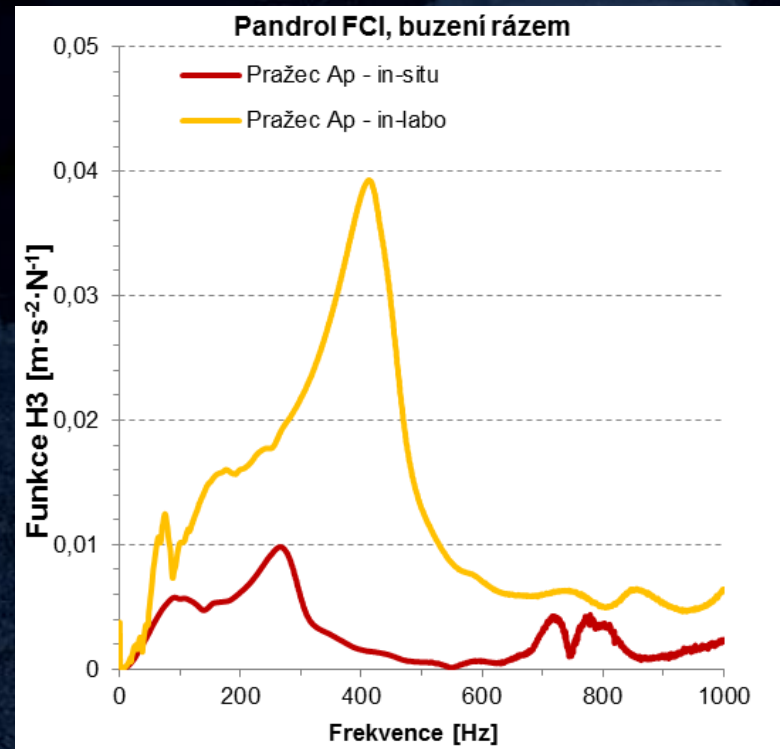
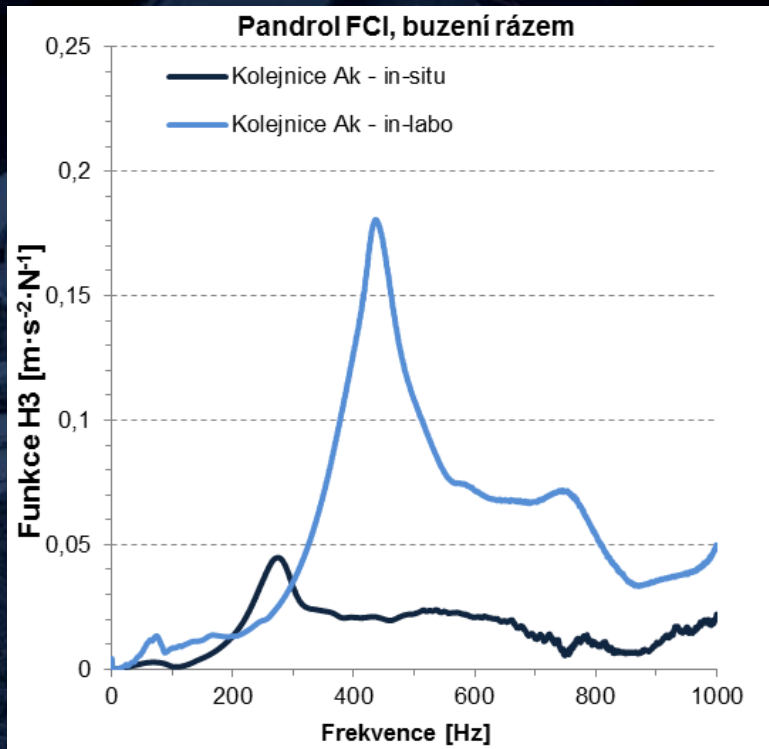
- stabilní vlastnosti všech typů upevnění pro danou oblast zkoušení
- tuhost upevnění přímo úměrná rezonanční kmitočtové oblasti
- „zpružněná“ upevnění náchylná na skluzové a dlouhé vlny v RP2 (E 14, W 21NT)
- „tužší“ upevnění problematická z hlediska vlnkovitosti v RP3 (FC I, W 28NT), resp. RP 2 (W 21NT)
- mírný vliv umístění elektrodynamického budiče na testované struktury v oblasti 530 ÷ 570 Hz a užší pracovní rozsah než rázové kladivo (pro srovnání konstrukcí nutné volit stejnou metodu buzení)
- nebyla prokázána funkční závislost dotažení vrtule v kroku 150 – 200 – 250 N·m<sup>-1</sup> na tvaru a velikosti FRF
- u o 10 let starší pryžové podložky WU 7 jsou útlumy nad 500 Hz (250 Hz v kolejovém loži) o 20 ÷ 40 % nižší
- je nutné zajistit pro srovnávané konstrukce srovnatelné podmínky uložení



# MĚŘENÍ IN-SITU

## FRF:

- snížení středních kmitočtových oblastí FRF vůči laboratoři o 100 ÷ 150 Hz směrem k počátku a snížení amplitudového spektra
- průběžně podepřená kolejnice, působení osových sil a napětí v BK, složitější vazby kolejnice – pražce – kolejového lože
- roznášecí schopnost kolejového roštu a reálné podmínky uložení



# MĚŘENÍ IN-SITU

## Analýza pohybového chování

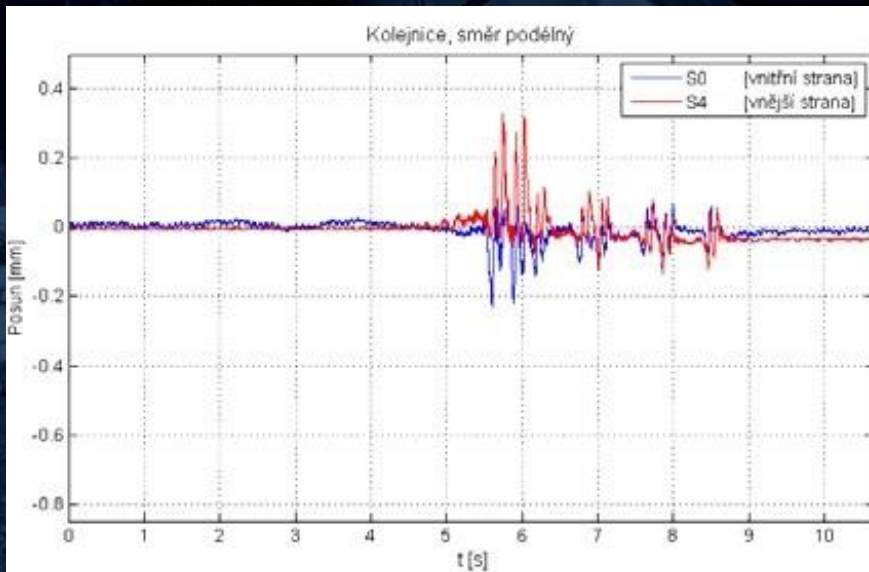
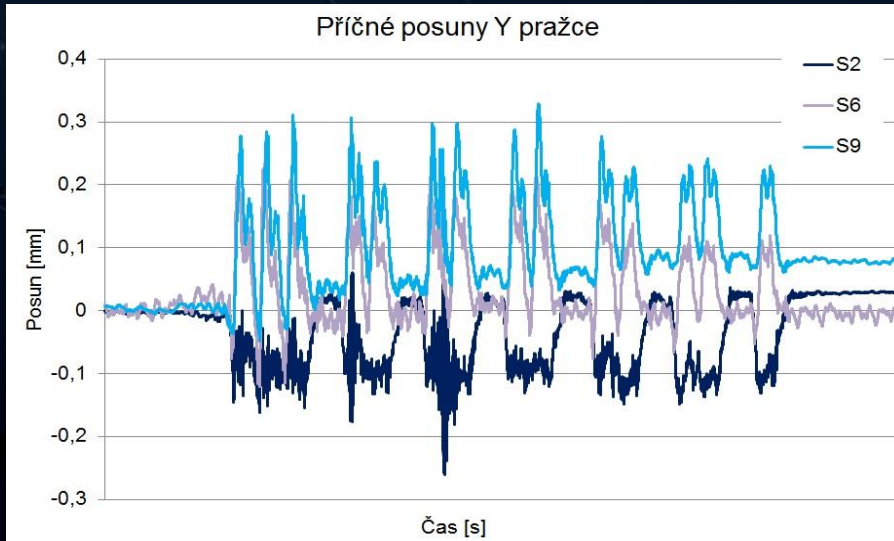
Typ upevnění		Mediány podélného posunu [mm]		Mediány příčného posunu [mm]		Mediány svislého posunu [mm]	
		kolejnice	pražec	kolejnice	pražec	kolejnice	pražec
S 15	min.	-0,2	-0,1	-	-0,1	-	-2,1
	max.	0,4	0,3	-	0,4	-	0,3
KS	min.	-0,2	-0,1	-	-0,1	-	-0,6
	max.	0,2	0,1	-	0,2	-	0,1
W 14	min.	-0,3	-0,1	-	-0,1	-	-0,5
	max.	0,3	0,2	-	0,4	-	0,1
FC I	min.	-0,3	-0,1	-	0,0	-	-0,2
	max.	0,3	0,1	-	0,1	-	0,1

- minus (-): pohyb kolejnice nebo pražce podélně proti vlaku, příčně dovnitř oblouku příp. vpravo ve směru staničení v přímé, resp. svisle směrem dolů (pokles)
- plus (+): pohyb kolejnice nebo pražce podélně ve směru vlaku, příčně vně oblouku příp. vlevo ve směru staničení v přímé, resp. svisle směrem nahoru (zdvih)



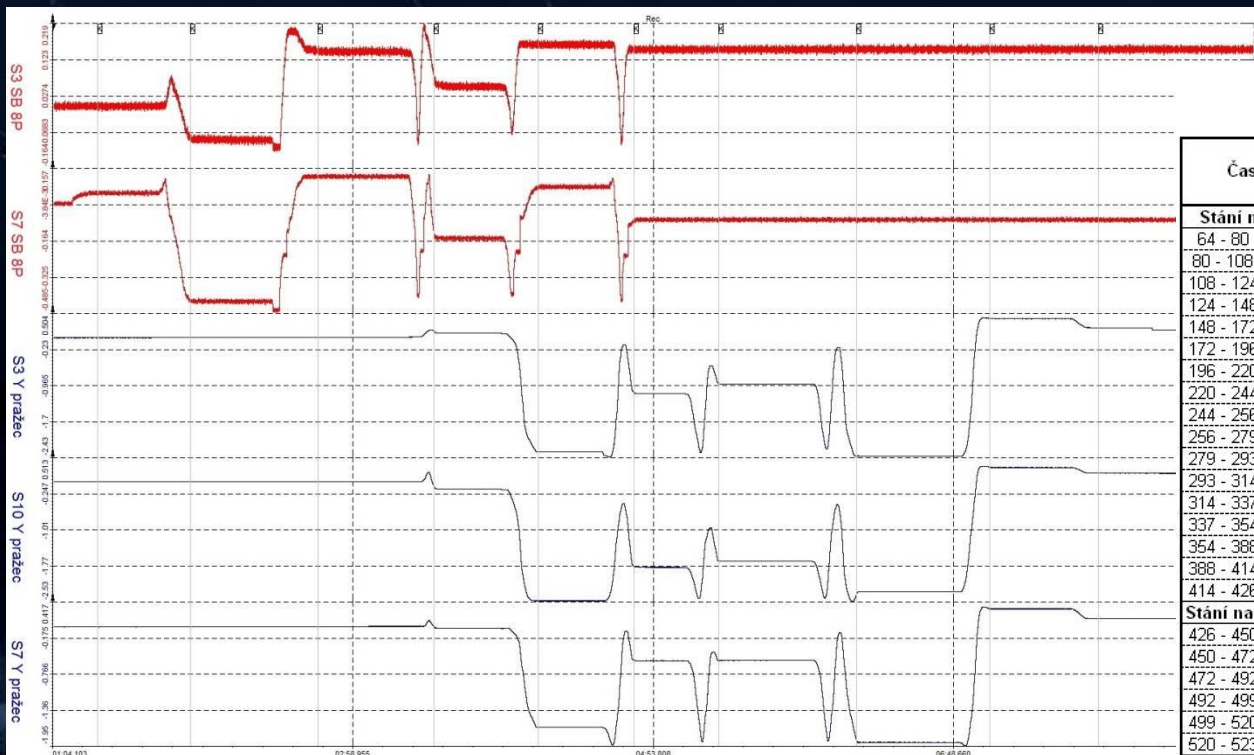
# MĚŘENÍ IN-SITU

## Analýza pohybového chování



# MĚŘENÍ IN-SITU

## Analýza pohybového chování



### Vyhodnocení svislých posunů Stop & Go

Časová osa - Popis akce	Svislé posuny				
	Betonový pražec		Ocelový Y-pražec		
	S3	S7	S3	S7	S10
<b>Stání na pražci první nápravou</b>					
64 - 80 Pomalá jízda směr Popelín					
80 - 108 Stání pražec č. 0	0.01	0.23			
108 - 124 Přejezd					
124 - 148 Stání pražec č. 1	0.04	0.50			
148 - 172 Přejezd					
172 - 196 Stání pražec č. 2	-0.08	-0.44			
196 - 220 Přejezd					
220 - 244 Stání pražec č. 3	0.15	0.13			
244 - 256 Přejezd					
256 - 279 Stání pražec č. 4	0.05	-0.16	0.09	-0.02	-0.16
279 - 293 Přejezd					
293 - 314 Stání pražec č. 5	0.17	0.09	-2.32	-1.64	-2.51
314 - 337 Přejezd					
337 - 354 Stání pražec č. 6			-1.13	-0.55	-1.80
354 - 388 Přejezd					
388 - 414 Stání pražec č. 7			-0.94	-0.55	-1.68
414 - 426 Přejezd					
<b>Stání na pražci poslední nápravou</b>					
426 - 450 Stání pražec č. 8			-2.41	-1.89	-2.32
450 - 472 Přejezd					
472 - 492 Stání pražec č. 9			0.39	0.30	0.29
492 - 499 Přejezd					
499 - 520 Stání pražec č. 10			0.20	0.14	0.17
520 - 523 Odjezd směr Popelín					

Pozn: Pražec číslo 2 je měřený betonový pražec  
Pražec číslo 5 a číslo 8 je měřený ocelový pražec

Počet pražců od vztažného betonového pražce číslo 0

Betonový pražec číslo 1	+ 5
Betonový pražec číslo 2	+ 10
Betonový pražec číslo 3	+ 20
Betonový pražec číslo 4	+ 29
Ocelový Y-pražec číslo 5	+ 34
Ocelový Y-pražec číslo 6	+ 39
Ocelový Y-pražec číslo 7	+ 44
Ocelový Y-pražec číslo 8	+ 34
Ocelový Y-pražec číslo 9	+ 39
Ocelový Y-pražec číslo 10	+ 44



# MĚŘENÍ IN-SITU

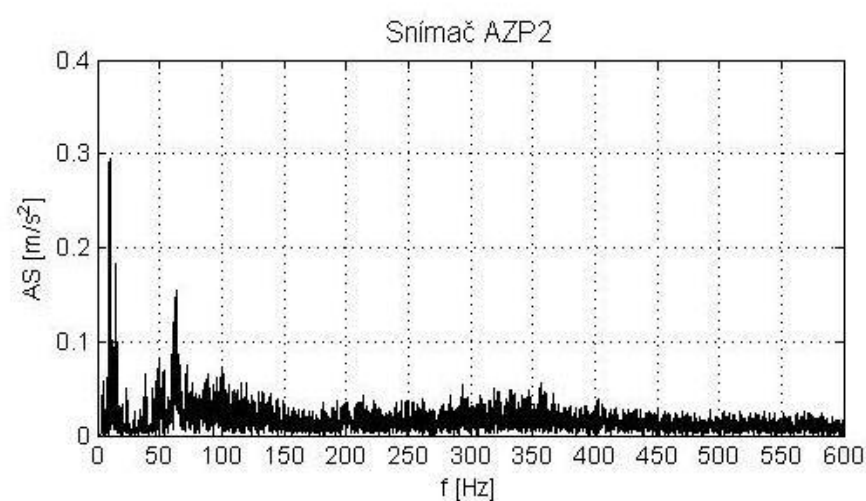
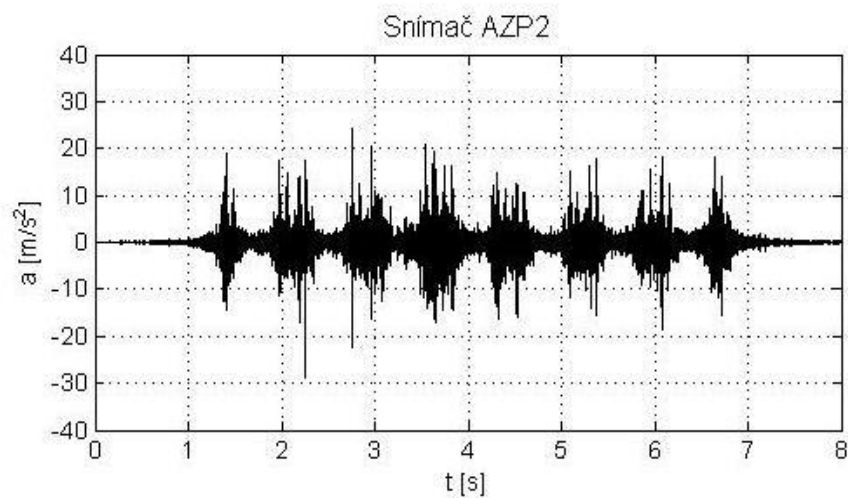
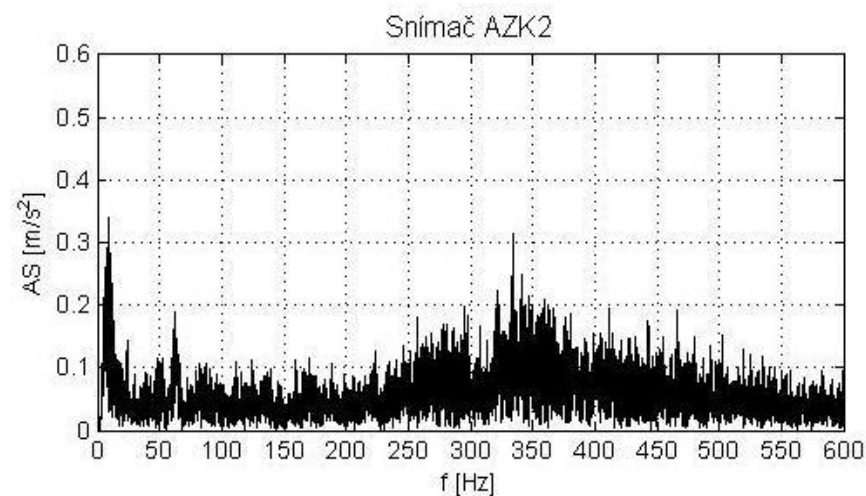
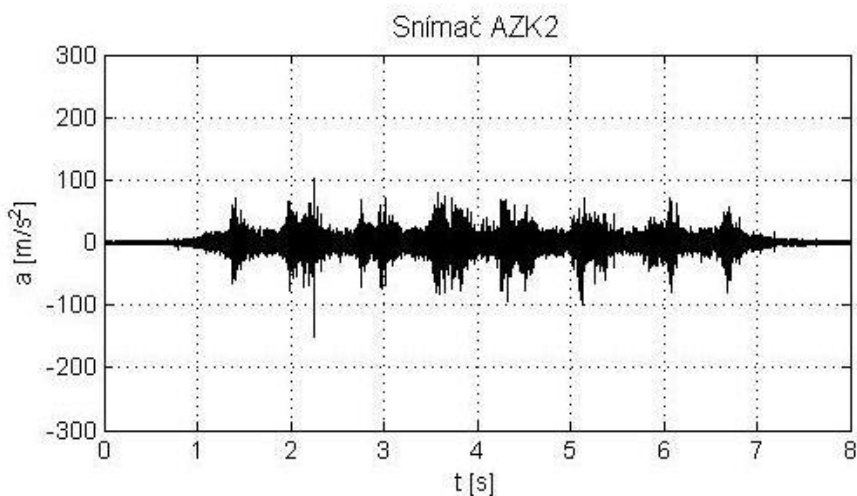
---

## Analýza pohybového chování:

- betonové pražce výhodnější setrvačné vlastnosti než pražce ocelové
- při nízkých jízdních rychlostech do  $70 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  je vliv dynamického přetížení minimální
- posuny do 3 mm (upevnění S 15)
- ohyb pražce přes středovou část
- v obloucích potočení pražce vůči vertikální ose procházející těžištěm pražce (nepřevýšená část posun v protisměru a převýšená část ve směru jízdy vlaku)
- „zpružněná“ upevnění umožňují větší posuny kolejnicového pásu, na pražci se rozdílly srovnávají

# MĚŘENÍ IN-SITU

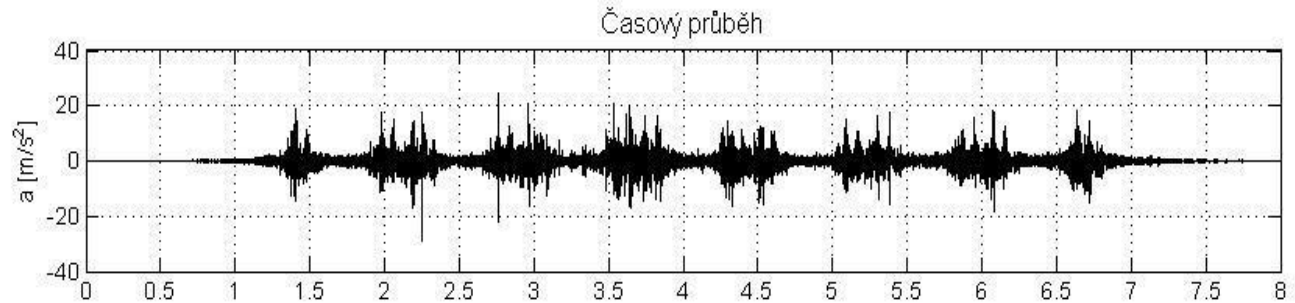
## Vibrodiagnostika:



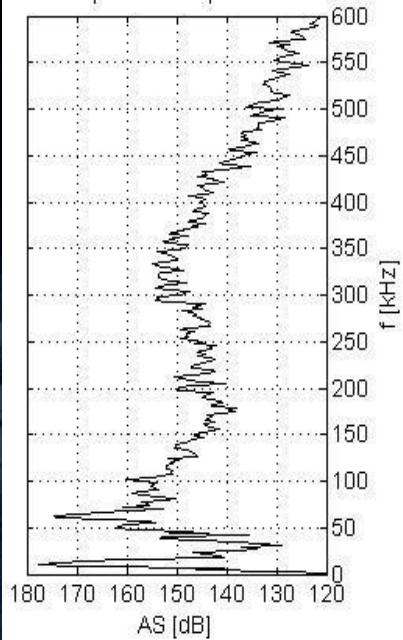


# MĚŘENÍ IN-SITU

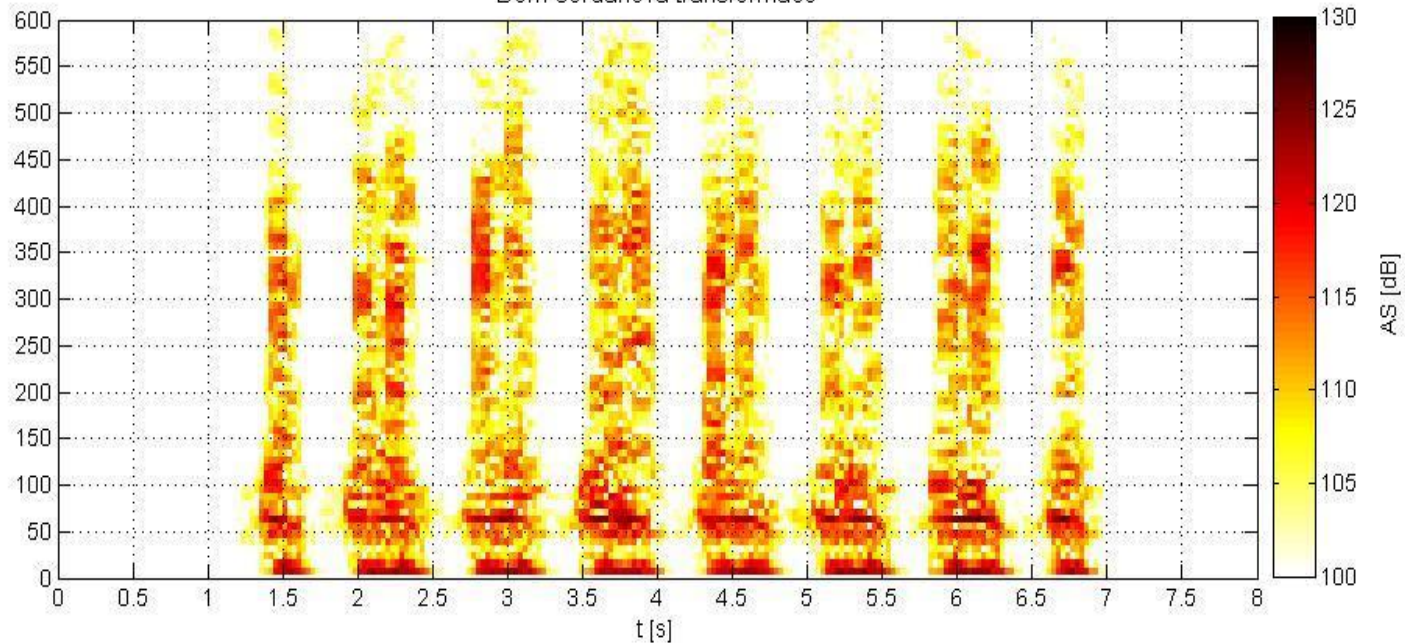
## Vibrodiagnostika:



Amplitudové spektrum



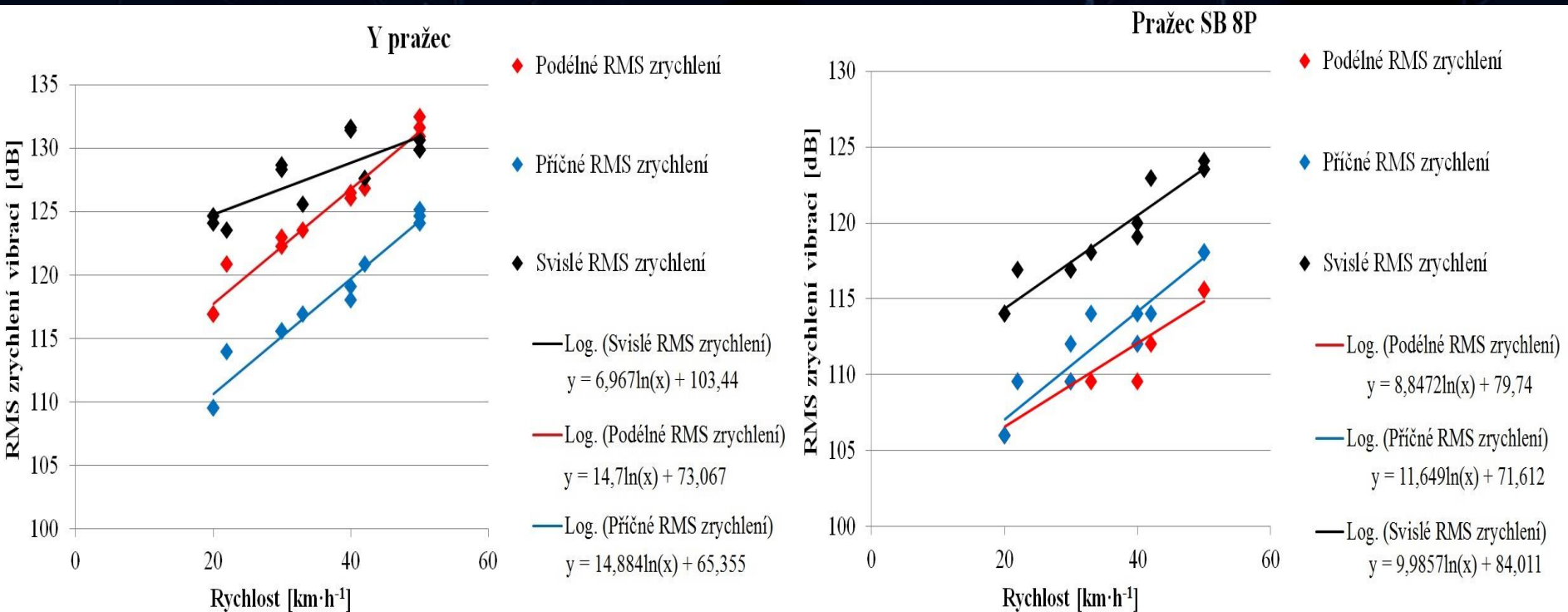
Born-Jordanova transformace



# MĚŘENÍ IN-SITU

## Vibrodiagnostika:

- MVTV 2-035
- 4 jízdy při každé rychlosti (20, 30, 40 a 50 km·h<sup>-1</sup>)
- úroveň spolehlivosti logaritmické regrese  $R^2 = 0,71 \div 0,95$





# MĚŘENÍ IN-SITU

---

## Vibrodiagnostika:

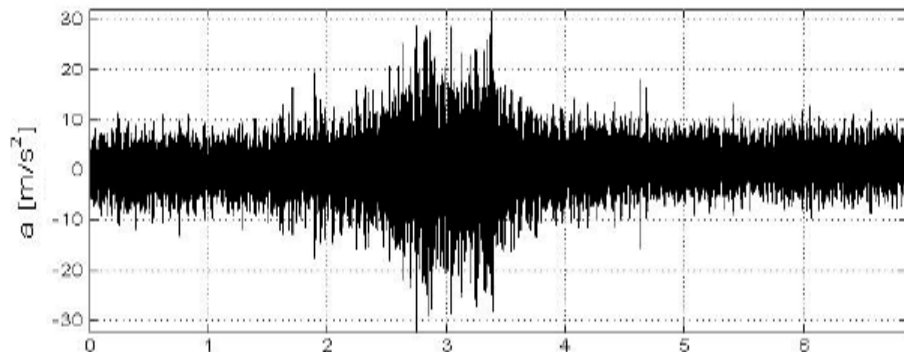
- nápravové zatížení a jízdní rychlost stěžejní do 80 Hz, rychlost je přímo úměrná frekvenčnímu posunu
- technický stav trati a vozidla stěžejní nad 300 Hz
- délka a rozmanitost vlakové soupravy má vliv na šířku frekvenčního spektra
- s rostoucí vzdáleností měřicího místa od zdroje vibrací se zužuje významné pásmo kmitočtů, těžiště frekvenčního pásma se posouvá k nižším frekvencím a současně s tím se snižuje i úroveň amplitudového spektra (AS)
- poměr snížení AS je nepřímo úměrný tuhosti konstrukce
- upevnění S 15 má téměř identické průběhy na kolejnici jako na pražci
- „zpružněná“ upevnění umožňují kolejnici více vibrovat (400 ÷ 1500 Hz), riziko vyšších akustických účinků
- při patě roznášecí vrstvy HGT u PJD stěžejní 200 ÷ 650 Hz; útlum v 7,5 m již srovnatelný s kolejovým ložem

# MĚŘENÍ IN-SITU

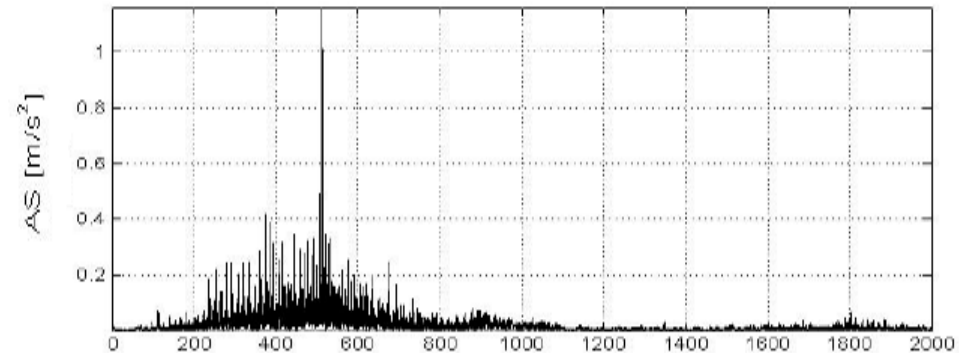
## Vibrodiagnostika:

- motorový vůz řady 841 RegioSpider velké amplitudy na 520 Hz
- při maximálních rychlostech vozidla  $120 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  v kombinaci s extrémními podmínkami (frekvence používání vozidla a maximální výkon trakčních motorů) možný rozvoj vlnkovitosti o vlnové délce cca 65 mm

Snímač A0 , kolejnice bod 1, podélně



Snímač A0 , kolejnice bod 1, podélně





# MĚŘENÍ IN-SITU

---

„Naladění“ uzlu upevnění z hlediska převažující skladby kolejových vozidel na trati

- 1) Frekvenční analýza odezvy na dynamické účinky dopravy v provozované trati
- 2) Provedení FRF na dané konstrukci v trati (eldyn. budič s reálným signálem z trati)
- 3) Vzájemné porovnání výsledků
- 4) „Přeladění“ upevnění na jiné frekvence, než jsou zjištěny pod zatíženou tratí změnou tuhosti uzlu upevnění a s tím souvisejícími opatřeními (únavový limit svěrek, apod.)

Tuhost upevnění je přímo úměrná rezonanční kmitočtové oblasti.

# MĚŘENÍ IN-SITU

## Analýza hluku:

- upevnění S 15 srovnatelné s ostatními konstrukcemi
- PJD nárůst průměrné vážené hladiny akustického tlaku  $L_p$  v pásmu 500 ÷ 5000 Hz o 5 ÷ 7 dB(A)
- souprava 914+814 Regionova TEL vyšší o 3 ÷ 5 dB(A)

Typ konstrukce	Průměrná vážená hladina akustického tlaku $L_p$ [dB(A)]	
	Mikrofon ve vzdálenosti 1,85 m od osy koleje (M1)	Mikrofon ve vzdálenosti 7,5 m od osy koleje (M2)
Klasická konstrukce se štěrkovým ložem	90	83
PJD bez absorbérů hluku	97	88
PJD s absorbéry BA	93	83
PJD s absorbéry BA-S	95	83



# ***KONFIGURACE ZAŘÍZENÍ NA MĚŘENÍ DYN. ÚČINKŮ***

---

- 4 kanály snímačů zrychlení vibrací (tříosý snímač na patě kolejnice, jednoosý snímač na hlavě pražce, převýšená strana koleje)
- snímače typu ICP a TEDS s vestavěným zesilovačem a s proudovým napájením, příp. kapacitní snímače MEMS s vhodným rozsahem
- zařízení musí umožňovat vhodný fr. rozsah měření a odpovídající simultánní vzorkování, musí mít vhodné rozlišení a vhodný dyn. rozsah vstupů, antialiasingový filtr, napájení z rozvaděče NN, odesílání dat na vzdálené uložení/paměťová karta
- měření jízdní rychlosti: PIR čidla, sériově zapojené infrabrány, ultrazvukové senzory / odporové tenzometry, malé radarové zařízení s výstupem
- imperfekce dvojkolí: časová analýza, crest faktor
- diagnostika kolejnicového pásu: frekvenční analýza, FFT, energetický součet 100 ÷ 1000 Hz, hodnota AS průměrovaná počtem čar, statistický moment apod.

# KONFIGURACE ZAŘÍZENÍ NA MĚŘENÍ DYN. ÚČINKŮ

- ukládání a třídění dat v normalizovaném formátu do databáze (fuzzy logika, neuronové sítě, genetické optimalizační algoritmy,...)
- napojení na systém centrálního dohledu diagnostiky závad jedoucích vozidel
- optimalizace údržby (preventivní broušení, podbíjení, výměna podložek, apod.)
- státní správa, projekce, vývoj a výzkum

```
Data info
File name: D:\Tomandl\namerena data\Popelin_KM_45.280_oblouk_Y_03_09_2009\13_R_2009_09_03_12_33_20.dsd
Start time: 3.9.2009 12:33:20.279
Number of channels: 26
Sample rate: 10000
Store type: vždy rychle
Global header information: from DEWESoft
Komentář: rychlost 73 km/h

Events
Event Type      Event      Time      Comment
1      ukládání spuštěno      0
2      ukládání ukončeno      65.5011

Data1
Time [s]      S4 [mm]      S5 [mm]      S6 [mm]      S7 [mm]      S10 [mm]      S0 [mm]
0      -0.032557357      -0.031327344      0.019232508      9.7205026E-5      -0.032829333      -0.019466581
0.0001      -0.032510981      -0.03137714      0.019118659      -2.7477174E-5      -0.032765094      -0.019470382
0.0002      -0.032176279      -0.031263102      0.019004811      -0.00011642728      -0.032850623      -0.019409562
0.0003      -0.032219041      -0.031462479      0.019086728      -0.00033005959      -0.033071477      -0.019463161
0.0004      -0.032105193      -0.031437583      0.019118659      -0.00042623215      -0.03313572      -0.019662729
0.0005      -0.032073073      -0.0317223      0.019189743      -0.00054730312      -0.033117853      -0.01952018
0.0006      -0.032001991      -0.0316974      0.019104404      -0.00071817095      -0.033075277      -0.019677173
0.0007      -0.031927105      -0.031747196      0.01921122      -0.00084988552      -0.033260401      -0.019737612
0.0008      -0.032147959      -0.031793572      0.019296559      -0.0008713628      -0.033406749      -0.019833786
```



# ***DOPORUČENÍ***

---

- doplnit předpis SŽDC S3 Železniční svršek, díl VII o omezení vyplývající z dynamicko-akustických parametrů upevnění kolejnic
- doplnit směrnici SŽDC č. 67 Systém péče o kvalitu v oblasti traťového hospodářství o Zásady pro zakládání a vyhodnocování zkušebních úseků
  - požadavky na zkušební úsek
  - požadavky na měřicí stanoviště
  - požadavky na průběh měření
  - správa a údržba zkušebních úseků
- doplnit proces vývoje, výroby a ověřování systémů upevnění kolejnic o zjišťování dynamicko-akustických parametrů pomocí certifikované (jednotné) metodiky
- zkompletovat a v praxi ověřit měřicí zařízení pro kontinuální měření v koleji a systém centrální databáze, zpracování a hodnocení získaných dat

Typ upevnění	Předpokládaná oblast použití dle předpisu S 3 [14]	Omezení vyplývající z dynamicko-akustických parametrů upevnění <sup>1)</sup>
W 14	Průběžné traťové a hlavní staniční koleje na tratích v rozsahu směrnice GŘ SŽDC č. 16/2005 [105] (nový materiál); průběžné traťové a hlavní staniční koleje na ostatních tratích (nový, užitý nebo regenerovaný materiál); předjízdne koleje na vybraných tratích v rozsahu směrnice GŘ SŽDC č. 16/2005 [105] (nový, užitý nebo regenerovaný materiál); ostatní staniční koleje (nový, užitý nebo regenerovaný materiál);	Nezjištěno.
FC I	Průběžné traťové a hlavní staniční koleje na tratích v rozsahu směrnice GŘ SŽDC č. 16/2005 [105] (nový materiál); průběžné traťové a hlavní staniční koleje na ostatních tratích (užitý nebo regenerovaný materiál); předjízdne koleje na vybraných tratích v rozsahu směrnice GŘ SŽDC č. 16/2005 [105] (užitý nebo regenerovaný materiál)	V přímých úsecích koleje a v obloucích o velkém poloměru lze na tratích v RP 3 očekávat zvýšené riziko vlnkovitosti s délkou vlnek $70 \div 90$ mm (rezonanční pásmo blízké frekvenci 430 Hz); Vlnová délka se pro nižší RP bude lišit v závislosti na rychlosti; Vzhledem k chování kolejnicového pásu v oblasti kmitočtů do 200 Hz je upevnění FC I vhodné pro směrově složitě tratě s oblouky o menších poloměrech
KS	Průběžné traťové a hlavní staniční koleje na ostatních tratích (užitý nebo regenerovaný materiál); předjízdne koleje na vybraných tratích v rozsahu směrnice GŘ SŽDC č. 16/2005 [105] (užitý nebo regenerovaný materiál, nové pouze u tratí s výsledným přepočteným provozním zatížením menším než 29 mil. hrt/rok); staniční koleje v zarážkových oblastech a ostatní staniční koleje (nový, užitý nebo regenerovaný materiál);	Nezjištěno.

Pozn.: 1) hodnocení bylo provedeno pro soustavu UIC 60 a skladbu viz tab. 1-3;



Typ upevnění	Předpokládaná oblast použití dle předpisu S 3 [14]	Omezení vyplývající z dynamicko-akustických parametrů upevnění <sup>1)</sup>
S 15	Průběžné traťové a hlavní staniční koleje na ostatních tratích (nový materiál); ostatní staniční koleje (nový materiál);	Nezjištěno.
W 14NT	Stejně jako u W 14, v koleji se směrovými oblouky o poloměrech menších, než 500 m, v koleji s nebezpečím zvýšeného bočního namáhání kolejového roštu s vysokým provozním zatížením	Nezjištěno.
E 14	Stejně jako u W 14, v kolejích, kde není možné zřídit kolejové lože dostatečné tloušťky; nesmí se vkládat do oblouků o menších poloměrech než 500 m	V obloucích do poloměru 700 m s velkým převýšením koleje hrozí při rychlostech do 120 km·h <sup>-1</sup> zvýšený rozvoj skluzových vln, pravděpodobnost roste v úsecích před železničními zastávkami a stanicemi, kde vozidla často přibrzdí
W 21NT	Stejně jako u W 14, v koleji se směrovými oblouky o poloměrech menších, než 500 m, v koleji s nebezpečím zvýšeného bočního namáhání kolejového roštu s vysokým provozním zatížením	V obloucích do poloměru 700 m s velkým převýšením koleje hrozí při rychlostech do 120 km·h <sup>-1</sup> zvýšený rozvoj skluzových vln, pravděpodobnost roste v úsecích před železničními zastávkami a stanicemi, kde vozidla často přibrzdí; V přímých úsecích koleje a v obloucích o velkém poloměru lze při rychlostech do 100 km·h <sup>-1</sup> očekávat zvýšené riziko vlnkovitosti
300	Není definováno; v zahraničí obvykle vysokorychlostní tratě, na mostních objektech nebo v tunelech	V přímých úsecích koleje a v obloucích o velkém poloměru lze na tratích v RP 3 očekávat zvýšené riziko vlnkovitosti; Výrazné akustické emise, konstrukci je vhodné kombinovat s protihlukovými opatřeními, příp. se vyhnout zastavěnému území
W 28NT <sup>2)</sup>	Stejně jako u W 14, v koleji se směrovými oblouky o poloměrech menších, než 500 m, v koleji s nebezpečím zvýšeného bočního namáhání kolejového roštu s vysokým provozním zatížením	V přímých úsecích koleje a v obloucích o velkém poloměru lze na tratích v RP 3 očekávat prudký rozvoj vlnkovitosti s délkou vlnek 55 ÷ 75 mm (výrazné rezonanční pásmo blízké frekvenci 590 Hz)

Pozn.: 1) hodnocení bylo provedeno pro soustavu UIC 60 a skladbu viz tab. 1-3;

2) v sestavě upevnění použity úhlové vodící vložky Wfp 21 K NT-12

# ZÁSADY PRO ZAKLÁDÁNÍ A VYHODNOCOVÁNÍ ZKUŠEBNÍCH ÚSEKŮ

---

## Požadavky na zkušební úsek

- 1.** Zkušební úseky se zřizují přednostně v přímých úsecích nebo v kružnicové části oblouku. Pro měření na dvou a více kolejných tratích v oblouku se za zkušební volí vždy vnější kolej. V přímém úseku vícekolejných tratí to musí být vždy krajní kolej.
- 2.** Zkoušený systém upevnění se namontuje do koleje současně s referenčním systémem upevnění na příčné nebo výhybkové pražce nebo pevnou jízdni dráhu, které jsou ze stejného materiálu a jsou stejného konstrukčního provedení.
- 3.** Každý ze zkoušených a referenčních systémů upevnění musí být namontován v jedné koleji na délku obsahující nejméně 500 pražců (u systémů metra 200 pražců) nebo odpovídající délku pevné jízdni dráhy.
- 4.** Montáž musí být provedena během období maximálně 7 dní. Všechny systémy upevnění musí být při zkoušce namontovány na tom typu pražců, pro který jsou navrženy, a při zkoušce se musí použít pouze jeden typ pražců.
- 5.** Při zkoušce musí být všechny systémy upevnění namontovány v koleji s podobným stavem pláně tělesa železničního spodku, štěrkového lože, oblouků, sklonu a převýšení, a s podobnými provozními podmínkami, včetně rozsahu a druhu provozu, rychlosti, brzdění a rozjíždění.



# ZÁSADY PRO ZAKLÁDÁNÍ A VYHODNOCOVÁNÍ ZKUŠEBNÍCH ÚSEKŮ

---

**6.** Pokud by montáž zahrnovala výměnu pražců, musí být kolej před zahájením zkoušky konsolidována strojně nebo projetím zátěže  $1 \cdot 10^5$  t. Musí se zaznamenat následující údaje:

- metoda pokládky pražců, výhybkových pražců či nosné desky pevné jízdní dráhy;
- metoda montáže součástí upevnění;
- metoda montáže kolejnic;
- povětrnostní podmínky při pokládce.

**7.** Kolejnice použité při zkoušce musí mít stejnou jakost a tvar v celé délce zkušebního úseku. Hlavy kolejnic musí být v celé délce zkušebního úseku bez vad a shodné, spodní strana pat kolejnic musí být hladká. Svařené nebo montované styky musí být převislé nebo podepřeny tak, jak je to obvyklé u uživatele. V průběhu zkoušky musí být všechny montované styky řádně udržovány. Každá údržba trati musí být v celé délce zkušebního úseku prováděna ve stejném časovém období.

**8.** Podmínky volného pole dané body 9 až 11 musí být dodrženy v trojúhelníkové ploše mezi tratí a mikrofonom podél tratě do vzdálenosti odpovídající dvojnásobku vzdálenosti mikrofону na obě strany.

**9.** Povrch terénu místa měření přibližně rovný a se sklonem vůči temenu kolejnice 0 m až 2 m. Tyto podmínky mají být splněny proto, aby se v krajině mohl volně šířit hluk.

# ZÁSADY PRO ZAKLÁDÁNÍ A VYHODNOCOVÁNÍ ZKUŠEBNÍCH ÚSEKŮ

---

**10.** V okolí mikrofonů na obou stranách se nesmí nacházet žádné velké odrazivé objekty, jako jsou skály, kopce, mosty nebo budovy. Prostor kolem mikrofonů je určen pomyslnými kružnicemi o poloměru rovnajícím se minimálně trojnásobku měřené vzdálenosti. Středy těchto kružnic tvoří samotné mikrofony. V blízkosti mikrofonů nesmějí být žádné překážky, které by mohly narušovat zvukové pole. Z toho důvodu se mezi zdrojem hluku a mikrofony nesmějí pohybovat žádné osoby. Pozorovatel musí být na takovém místě, aby zásadním způsobem neovlivňoval měřenou hladinu akustického tlaku.

**11.** Negativní vliv má také situace, kdy se v prostoru mezi mikrofonem a vozidlem nachází objekty, jejichž materiál pohlcuje nebo odráží hluk. Z tohoto důvodu například nesmí být zkušební stanoviště zamokřeno. Mezi látky pohlcující hluk patří vysoká vegetace, sníh, popř. jiné koleje. Odrazivý charakter má například voda nebo led. Je proto potřeba vybrat takové místo, jež je v maximální míře bez těchto prvků.

**12.** Maximální hladina akustického hluku pozadí má být nižší alespoň o 10 dB a musí být nižší alespoň o 5 dB v každém třetinooktávovém pásmu, než hladina zjištěná měřením hluku vyzařovaného kolejovým vozidlem. Je-li rozdíl v hladinách menší než 10 dB a současně je alespoň 5 dB, použijí se korekce dle ČSN EN ISO 3095. Doba měření maximální hladiny akustického tlaku je 20 s.

**13.** Zkušební úsek by se neměl zřizovat v bezprostřední blízkosti výrazného zdroje hluku a vibrací, jakými jsou např. hlavní dopravní tahy, průmyslové objekty, jezy, apod.



# ZÁSADY PRO ZAKLÁDÁNÍ A VYHODNOCOVÁNÍ ZKUŠEBNÍCH ÚSEKŮ

---

**14.** Je-li zkušební úsek podroben měření hluku, neměl by se nacházet v místech, kde lze očekávat pískání vlaku či jiné akustické projevy vozidel nesouvisející s ověřovanou konstrukcí. Není-li toto možné dosáhnout, je nutné negativní akustické projevy po dobu měření omezit jiným způsobem.

**15.** Zkušební úsek musí umožňovat měření drsnosti povrchu kolejnic v souladu s normou ČSN EN 16610.

**16.** Zkušební úsek musí umožňovat měření stupně dynamické tuhosti TDR pomocí rázového kladívka v souladu s normou ČSN EN 15461+A1.

## Požadavky na měřicí stanoviště

**17.** Měřicí stanoviště musí být snadno přístupné a dosažitelné silničním vozidlem. Profil tratě v místě měření musí umožňovat bezpečný a snadný pěší pohyb a manipulaci s vybavením. Přijatelná vzdálenost pro ruční přenášení vybavení je max. 200 m.

**18.** Měřicí stanoviště musí poskytovat prostor pro umístění měřicí aparatury a souvisejícího vybavení, kterým je například stolek pro PC nebo ústřednu, židle, kabeláž, slunečník nebo altán, nářad'ovna či agregát. V neposlední řadě musí poskytovat bezpečný prostor pro pracovníky při průjezdu vlaku.

**19.** Měřicí stanoviště se zřizuje ve formě zpevněné plochy v úrovni drážní stezky. Minimální šířka plochy je 2 m, minimální délka je 3 m.

# ZÁSADY PRO ZAKLÁDÁNÍ A VYHODNOCOVÁNÍ ZKUŠEBNÍCH ÚSEKŮ

---

**20.** V průběhu měření je nutné zajistit napájení měřicí aparatury. V případě krátkodobých měření je toto možné prostřednictvím baterií nebo dieselového agregátu. U rozsáhlejších nebo dlouhodobých měření je velmi žádoucí, aby v daném měřicím stanovišti byl vybudovaný přístup k trvalému zdroji elektrického napětí, minimálně střídavého s efektivní hodnotou 230 V.

**21.** Prostor měřicího stanoviště musí být pokrytý signálem z předpokládaného způsobu komunikace (mobilní nebo radiokomunikační síť, síť GSM R) tak, aby mohly být spolehlivě předávány provozní informace od dopravního zaměstnance.

## Požadavky na průběh měření

**22.** Minimální doba zkoušení musí být nejméně taková, aby po zkušebním úseku projela níže uvedená zátěž, minimálně však 1 rok.

- pro systémy upevnění kategorie A a B (viz definice ČSN EN 13481-1)  $1 \cdot 10^7$  t
- pro systémy upevnění kategorie C, D a E (viz definice ČSN EN 13481-1)  $2 \cdot 10^7$  t

**23.** Po dobu trvání zkoušky musí být všechny systémy upevnění udržovány podle pokynů výrobců.

**24.** Před zahájením měření musí být chování systému upevnění opticky kontrolováno a zaznamenáno v průběhu montáže a konsolidace koleje.

**25.** Měření musí být prováděno v souladu s požadavky normy ČSN EN ISO 3095 týkajícími se meteorologických podmínek.



# ZÁSADY PRO ZAKLÁDÁNÍ A VYHODNOCOVÁNÍ ZKUŠEBNÍCH ÚSEKŮ

---

## Správa a údržba zkušebních úseků

- 26.** Správce infrastruktury pověří zaměstnance, který bude vykonávat koordinaci zkušebních úseků.
- 27.** Koordinátor bude řídit práce na zkušebních úsecích a bez jeho vědomí nesmí být žádné práce na zkušebních úsecích prováděny, není-li přímo ohrožena bezpečnost vlakové dopravy.
- 28.** Koordinátor musí být řádně proškolen v oblasti měření dynamicko-akustických parametrů drážních konstrukcí a staveb a musí spolupracovat se subjekty, jež měření ve zkušebním úseku provádějí.
- 29.** Koordinátor bude mít k dispozici veškeré údaje o zkušebních úsecích, včetně výstupů z pravidelné diagnostiky, apod. Na požádání poskytne tyto výstupy subjektu, jenž v daném zkušebním úseku provádí měření.

# ***PODĚKOVÁNÍ***

---

Smutný J.: Analýza dynamických účinků od kolejové dopravy metodou kvadratických časově a frekvenčně invariantních transformací. GAČR 2007-2009.

Smutný J. (spoluřešitel za FAST): Optimalizace technických opatření pro snížení hlukové zátěže v okolí pozemních komunikací. CG 127 S 003. 2008 - 2010.

Tomandl V.: Komplexní monitoring a analýza dynamicko-akustických jevů v koleji. FAST-J-11-21. 2010 - 2010.

Smutný J. (spoluřešitel za FAST): Zvýšení kvality jízdní dráhy ve výhybkách pomocí zpružnění. TA01031297. 2011 - 2015.

---

## **EXPERIMENTÁLNÍ ANALÝZA VYBRANÝCH SYSTÉMŮ KOLEJNICOVÝCH UPEVNĚNÍ**

**Vedoucí práce: prof. Ing. Jaroslav Smutný, Ph.D.  
Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební**

**Ing. Vladimír Tomandl, Ph.D.**

**[tomandlv@cdvuz.cz](mailto:tomandlv@cdvuz.cz)**