

Jaroslav Smutný¹, Ivan Vukušič², Vladimír Tomandl³

Zkušenosti z experimentálního měření dlouhých výhybkových pražců

Klíčová slova: *výhybka, dlouhý výhybkový pražec, měření dynamických účinků, vyhodnocení dynamických účinků*

1. Úvod

Klasická konstrukce kolejové jízdní dráhy se principiálně nezměnila již přes sto let. V posledních desetiletích se však výrazně zvýšila rychlost vlaků, výkon hnacích vozidel a tuhost kolejové jízdní dráhy. Z těchto důvodů se začaly objevovat nové okruhy problémů, k jejichž pochopení bude nezbytná analýza dynamických účinků a studium jejich šíření. Zvláště v místech přerušení plynulosti a v místech změny tuhosti kolejové jízdní dráhy dochází ke zvýšeným dynamickým účinkům. V těchto místech pak dochází k nepravidelnému sedání kolejového lože, drcení kameniva kolejového lože a vadám na pojižděné ploše kolejnic. Všechny tyto problémy se objevují také ve výhybkách a výhybkových konstrukcích.

Výhybky a výhybkové konstrukce patří ke klíčovým komponentům tratě. Ačkoliv délka koleje s výhybkami představuje jen malou část železniční sítě, údržba výhybek (včetně kolejových křižovatek a jiných speciálních kolejových konstrukcí) je zhruba stejně nákladná jako údržba zbylé železniční sítě bez výhybek. Je to dáno především složitým silovým působením, které vyvolává průjezd vlakové soupravy výhybkou a také nutností udržovat mnoho součástí, z nichž se výhybková konstrukce skládá. Kromě toho, že údržba výhybek s sebou přináší velké přímé náklady (náklady

¹ Prof. Ing. Jaroslav Smutný, Ph.D. je absolventem Fakulty elektrotechnické VUT v Brně. Od roku 1990 je zaměstnán na Fakultě stavební VUT v Brně. V roce 2009 byl jmenován profesorem pro obor konstrukce a dopravní stavby. Je členem významných profesních společností, např. České akustické společnosti, České asociace pro geoinformace a společnosti sdružující aktivní uživatele časově frekvenčních metod signálové analýzy Time & frequency user club National Physical Laboratory. Je odborníkem v oblasti měřících metod a techniky, dále v problematice hluku a vibrací od dopravy. Zabývá se také problematikou aplikace umělé inteligence, dopravní telematiky a GIS. V rámci svého zaměření spolupracuje s průmyslovými podniky působícími v oblasti silniční a železniční dopravy.

² Ing. Ivan Vukušič je absolventem oboru Konstrukce a dopravní stavby prezenční formy magisterského studia Fakulty stavební VUT v Brně, kde od roku 2007 pokračuje v postgraduálním studiu na Ústavu železničních konstrukcí a staveb. V roce 2007 vstoupil do Výzkumného Ústavu Železničního, a.s., kde pracuje jako specialista pro železniční infrastrukturu. Těžištěm jeho práce je železniční interoperabilita a posudková činnost. Je zástupcem Výzkumného Ústavu Železničního v pracovní skupině NB-Rail v podskupině Infrastructure.

³ Ing. Vladimír Tomandl je absolventem oboru Konstrukce a dopravní stavby prezenční formy magisterského studia Fakulty stavební VUT v Brně, kde od roku 2008 pokračuje v postgraduálním studiu na Ústavu železničních konstrukcí a staveb. V roce 2007 vstoupil do Výzkumného Ústavu Železničního, a.s., kde pracuje jako specialista pro železniční infrastrukturu. Těžištěm jeho práce je železniční interoperabilita a posudková činnost.

na údržbu), generuje velké náklady nepřímé (náklady na zpoždění vlaků při údržbě nebo při pomalých jízdách, náklady na odklony, příp. náhradní dopravu, ...) [1]. Je tedy nezbytné údržbu těchto konstrukcí velmi pečlivě plánovat. Pokud nedojde včas k pravidelné údržbě, náklady na odstranění závady se mohou velmi rychle zvyšovat.

2. Chování dlouhých výhybkových pražců

Ústav železničních konstrukcí a staveb Vysokého učení technického v Brně se dlouhodobě zabývá problematikou dlouhých výhybkových pražců a provedl velké množství experimentálních měření přímo v provozu pod projíždějícími vlaky. V roce 2004 a 2005 byly ve čtyřech etapách měření pozorovány dvě vybrané výhybky [2]. Výhybka č. 64 v žst. Choceň a výhybka č. 31 v žst. Staré Město u Uherského Hradiště. Výhybka v žst. Choceň leží v koleji č. 1 na pardubickém zhlaví stanice a tvoří kolejovou spojku s traťovou kolejí regionální trati Choceň – Litomyšl. Výhybka je převážně pojížděna po hrotu a je první výhybkou ve zhlaví ve směru od Pardubic. Výhybka v žst. Staré Město u Uherského Hradiště leží v koleji č. 2 na Břeclavském zhlaví stanice a tvoří kolejovou spojku s kolejí č. 1. Výhybka je pojížděna převážně po hrotu a je první výhybkou ve zhlaví ve směru od Břeclavi. Z uvedeného vyplývá, že způsoby pojíždění výhybky jsou z hlediska jejich umístění srovnatelné.

Výhybka č. 64 v žst. Choceň je typu J60-1:9-300-Lpb. Ve výhybce je upevnění kolejnic podkladnicové se svěrkami Vossloh Skl 12 (upevnění typu KS), srdcovka je typu zkrácený monoblok. Pro měření byly vybrány tyto pražce:

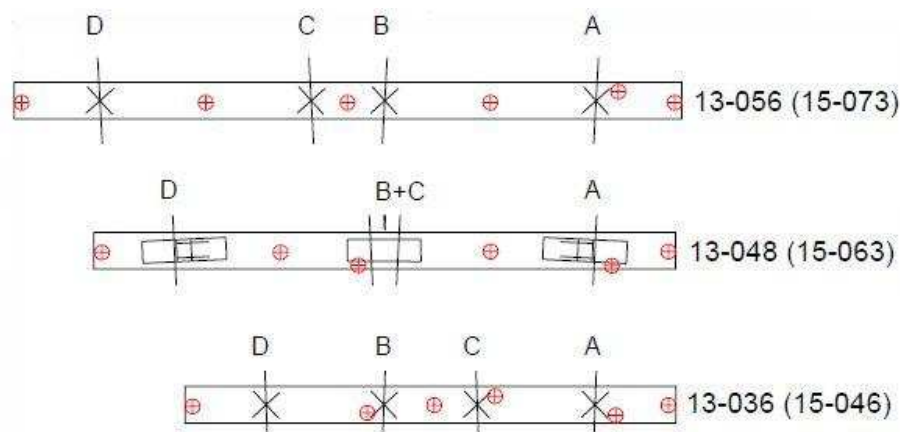
- pražec č. 13-036 dl. 3,3 m ve střední části výhybky
- pražec č. 13-048 dl. 4,0 m pod srdcovkou
- pražec č. 13-056 dl. 4,5 m za srdcovkou výhybky

Výhybka č. 31 v žst. Staré Město u Uherského Hradiště je typu J60-1:12-500-I-Lpb. Ve výhybce je upevnění kolejnic podkladnicové typu Pandrol s pružnými sponami „e“ a adaptéry (upevnění typu Ke), srdcovka je typu zkrácený monoblok. Pro měření byly vybrány tyto pražce:

- pražec č. 15-046 dl. 3,3 m ve střední části výhybky
- pražec č. 15-063 dl. 4,0 m pod srdcovkou
- pražec č. 15-073 dl. 4,5 m za srdcovkou výhybky

Pro obě konstrukce byly zvoleny pražce stejných délek tak, aby bylo možné výsledky porovnat. Vliv rozdílného typu upevnění je z hlediska měřených parametrů zanedbatelný, neboť svislá tuhost konstrukce jako celku je stejná. U všech pražců bylo před měřením kontrolováno převýšení koleje rozchodkou. Výchozí převýšení temen kolejnicových pásů bylo v přímém směru v toleranci do 1 mm, v odbočném směru v toleranci do 2,5 mm. Měřeny byly svislé pohyby pražců a zrychlení vibrací v místech označených křížkem na obr. 1. K měření svislých pohybů výhybkových pražců byly použity indukčnostní snímače pohybů a k měření vibrací piezoelektrické snímače zrychlení vibrací. Na každém označeném místě byly měřeny nejen pohyby pražce, ale i zrychlení vibrací. Navíc byla všechna místa měřena současně, šlo tedy o velmi náročné 18-ti kanálové měření. Měření probíhalo ve čtyřech etapách, po podbití výhybek (etapa I), sledování degradačních procesů (etapa II), po novém podbití výhybek (etapa III) a opět sledování degradačních procesů (etapa IV). Jednotlivé etapy po sobě následovaly po půl roce. Kromě měření zrychlení vibrací

a pohybů pražce pod projíždějícím vlakem byla prováděna rovněž velmi přesná nivelace kolejnicových pásů [2].



Obr. 1 Měřená místa na pražcích

Z měření ve výše popsaných lokalitách vyplynuly následující závěry. Po podbití se postupně vytvoří volné prostory za hlavami pražců a také pod srdcovkou. Pražce jsou podepřeny především v ose koleje. Vlivem dynamického zatěžování od kolejových vozidel se kolejové lože postupně zkonsoliduje a rozdíly v poklesech v ose koleje a za hlavami pražců se sníží. Průhybová křivka dlouhých výhybkových pražců se tím zploští. Poklesy pražce přímo pod srdcovkou se však zvyšují i nadále a jsou výraznější oproti ostatním měřeným místům. Důvodem je především působení dynamického rázu na přechodu z křídlové kolejnice na hrot srdcovky. Dynamický ráz je přes pražce přenášen do kolejového lože. Vlivem tohoto zatížení dochází k obroušování zrn kameniva štěrkového lože na styku s pražcem. Celý proces vyústí v degradaci tvaru kolejového lože pod pražcem, což má za následek nedostatečné podepření výhybkové konstrukce. Pokud není výhybková konstrukce dostatečně podepřena, zhroutí se geometrie přechodu z křídlové kolejnice na hrot srdcovky a celý proces degradace se tím velmi urychlí.

V další části článku se budeme zabývat vyhodnocením pohybů a zrychlení vibrací pražce přímo pod projíždějícími vlaky. Konkrétně se zaměříme na místo, které je namáháno nejvíce, tedy na oblast pražce přímo pod srdcovkou výhybky.

3. Použitý matematický aparát

Především kvůli analýze zrychlení vibrací je potřeba popsat a vyhodnotit stochastický signál, což je poměrně obtížné. Aby bylo možné získat potřebné informace ze změřených signálů zrychlení vibrací a bylo možné mezi sebou porovnat dynamické účinky na jednotlivých konstrukcích, je výhodné tyto signály vyhodnotit ve třech pomyslných rovinách. První je rovina časová, kde lze hodnotit maximální a minimální hodnoty obsažené v měřeném signálu a především efektivní hodnotu (často se užívá označení RMS z anglického Root Mean Square). V časové oblasti se získá ze signálu informace, v jakém časovém okamžiku se vykytují maxima a minima (na které nápravě) a také je možné získat představu o celkovém energetickém působení vlaku na konstrukci (RMS). Pro podrobnou analýzu a rozbor dynamických účinků jsou to však informace nedostačující, neboť není známé frekvenční složení. Z tohoto důvodu je vhodné použití převodu signálu z roviny časové do roviny

frekvenční. Tento převod lze provést pomocí metod založených na Fourierově transformaci. Ve frekvenční rovině je možné provést rozbor, jaké frekvenční složky jsou v signálu nejvýraznější. Aby byl obraz a analýza zcela průkazná, je vhodné použít pro vyhodnocení ještě třetí rovinu, což je rovina časově-frekvenční. V této rovině je možné sledovat nejen frekvenční složení signálu, ale také výskyt frekvenčních složek v čase. V následující části je popsán použitý matematický aparát.

3.1. Efektivní hodnota zrychlení kmitání

Hodnota RMS je z hlediska hodnocení vibrací v časové oblasti nejdůležitějším parametrem, protože zahrnuje dobu působení vibrací a zároveň má přímý vztah k jeho energetickému obsahu. Je tedy měřítkem nebezpečnosti a škodlivosti vibrací. Efektivní hodnota zrychlení vibrací je definována dle vztahu [3].

$$a_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) \cdot dt}, \quad (1)$$

kde $a(t)$ je okamžitá hodnota zrychlení, T doba, pro kterou je efektivní hodnota určena.

Ve vyhodnocení je hodnota RMS použita jako klouzavá. Pro určený počet vzorků je spočítána hodnota RMS a vyjádřena jednou hodnotou, tento postup je uplatněn po celé délce změřeného signálu. Vznikne tak posloupnost jednotlivých hodnot RMS, což je určitým způsobem filtrovaný signál.

3.2. Fourierova transformace

Fourierova transformace patří mezi neparametrické metody, to znamená, že celá analýza se opírá pouze o změřená data. Jedná se však o nejčastější transformaci pro převod z časové do frekvenční oblasti. Fourierova transformace je definována pro spojitou funkci následující integrální rovnicí. Pro přímou transformaci platí vztah [4]:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot e^{-j2\pi ft} \cdot dt, \quad (2)$$

kde f je frekvence, t je čas, $x(t)$ je signál v časové oblasti a $X(f)$ je jeho reprezentace ve frekvenční oblasti, j je imaginární jednotka.

3.3. Welchova metoda

Welchova metoda je jistou modifikací algoritmu rychlé Fourierovy transformace. Digitalizovaný signál $x[n]$ ($n=0, 1, 2, \dots, N-1$) je rozdělen na K segmentů, každý o délce M vzorků ($x_i[m]$, $i=0, 1, \dots, k-1$, $m=0, 1, \dots, M-1$). Segmenty jsou umístěny buď těsně vedle sebe, pak $N=K \cdot M$, nebo se mohou překrývat. Každý segment je vážen příslušnou okénkovou funkcí $w[m]$. Po transformaci a následném výpočtu kvadrátu modulu vzniknou dílčí periodogramy $S_i[k]$. Tyto vytvoří po zprůměrování výsledný vyhlazený odhad spektrální hustoty $S[k]$. Tento odhad lze popsat následujícími vztahy. Dílčí periodogram je určen vztahem [4].

$$S_j[k] = \frac{1}{U \cdot M} \cdot \left| \sum_{m=0}^{M-1} x[m + i \cdot M] \cdot w[m] \cdot e^{\left(\frac{-j2\pi mk}{M}\right)} \right|^2, \quad (3)$$

kde

$$U = \frac{1}{M} \cdot \sum_{m=0}^{M-1} w^2[m] \quad (4)$$

je norma vektoru okénkové funkce, $w[m]$ je okénková funkce. Výsledný vyhlazený odhad se získá zprůměrováním dílčích periodogramů

$$\hat{S} = \frac{1}{K} \cdot \sum_{i=0}^{K-1} S_j[k]. \quad (5)$$

3.4. Krátkodobá (okénková) Fourierova transformace (STFT)

STFT (Short Time Fourier Transform) lokalizuje frekvenční složky v čase s konstantním (lineárním) rozlišením. Základním principem je rozdělení signálu na dostatečně malé realizace, u nichž je možno předpokládat dostatečnou stacionaritu. To je provedeno multiplikací jisté okénkové funkce na signálu. Na každém takovém výřezu je provedena Fourierova transformace (FT). Okénko se posouvá v čase. STFT poskytuje kompromis mezi časovou a frekvenční reprezentací signálů [4]. Její definiční integrál je:

$$STFT_x^{(\omega)}(t', f) = \int_{-\infty}^{\infty} [x(t) \cdot g^*(t - t')] \cdot e^{-i2\pi f(t - t')} \cdot dt, \quad (6)$$

kde g je okénková funkce, $*$ komplexní konjunkce, t' časové posunutí okénka, $x(t)$ je časová reprezentace signálu a $STFT_x^{(\omega)}(t', f)$ je jeho časově-frekvenční reprezentace [4].

4. Vyhodnocení dynamických účinků na pražci pod srdcovkou výhybky

Vyhodnocení dynamických účinků na obou výše zmíněných výhybkách je provedeno formou srovnání. Celkem bylo v každé etapě měření měřeno průměrně asi 12 vlaků. Pro prezentaci v rámci tohoto článku byly vybrány tři typy vlaků na každé konstrukci z poslední IV. etapy měření. Vlaky EuroCity byly vybrány, protože projíždějí daným místem nejvyšší rychlostí a jedná se o novější soupravy s kvalitnějším odpružením. Nákladní vlaky ve výběru reprezentují skupinu vlaků jedoucích pomaleji, ale s vyšším zatížením na nápravu. Osobní vlaky jsou většinou složeny ze starších vozů, kterých jezdí v České republice většina, z tohoto důvodu byly do výběru zařazeny také. U každé výhybky byl do srovnání vybrán jeden vlak od každého typu. Snahou bylo vybrat z každé kategorie vlaků reprezentativní vlak pro porovnání. V jednom srovnávacím grafu je tedy šest křivek. Modrou barvou jsou zaznamenány průjezdy vlaků typu EuroCity (EC), černou barvou jsou označeny osobní vlaky (Os) a červenou barvou vlaky nákladní (Pn). Čárkovaně jsou vyznačeny záznamy na pražci pod srdcovkou u výhybky č. 64 v žst. Choceň a plnou čarou jsou vyznačeny záznamy pražce pod srdcovkou u výhybky č. 31 v žst. Staré Město u Uherského Hradiště.

4.1. Vyhodnocení svislých pohybů pražce pod srdcovkou

Hodnocení svislých pohybů pražců je provedeno na základě srovnávacích grafů pohybů pražce přímo pod projíždícím vlakem. Na obrázku č. 2 jsou vidět pohyby pražce přímo pod srdcovkou při průjezdu výše zmíněných souprav. Pohyby pražců jsou uspořádány tak, že první dvojkolí všech vlaků má maxima ve stejný čas, dále je již časová vzdálenost náprav závislá na rychlosti srovnávaných vlaků. Z grafu na obr. 2 je patrné, že větší pohyby má pražec u výhybky č. 64 v žst. Choceň. Pohyby pražce jsou zde v extrému až -1,1 mm, zatímco u výhybky č. 31 v žst. Staré Město u Uherského Hradiště jsou extrémy do -0,8 mm. Podotkněme, že záporná hodnota znamená zatlačení pražce a kladná hodnota zdvihy. Z tohoto srovnání vyplývá, že pražec pod srdcovkou výhybky č. 64 v žst. Choceň vykazuje u všech typů vlaků větší pohyby. Svědčí to o horším podepření pražce pod srdcovkou. Největších účinků dosahuje vlak typu EuroCity (modrý čárkovaný signál) a osobní vlak (černý čárkovaný signál). Je to zapříčiněno především tím, že tyto vlaky projíždějí daným místem nejvyšší rychlostí.

4.2. Vyhodnocení zrychlení vibrací v časové rovině na pražci pod srdcovkou

Vyhodnocení zrychlení vibrací v časové rovině je provedeno pomocí klouzavé hodnoty RMS. Díky této hodnotě je možné sledovat dynamické účinky jednotlivých náprav vlaku, neboť klouzavá hodnota RMS dokáže z časového průběhu zrychlení vibrací tyto účinky velmi dobře vyfiltrovat. Na srovnávacím grafu na obr. 3 je vidět srovnání obou výše zmíněných výhybek. Grafy jednotlivých vlaků jsou uspořádány stejně, jako tomu bylo u pohybů pražců. Tedy že první dvojkolí všech vlaků má maxima ve stejný čas. Dále je již časová vzdálenost náprav závislá na rychlosti srovnávaných vlaků. Z grafu je patrné, že stejně jako tomu bylo u pohybů pražců, tak i u klouzavé hodnoty RMS jsou výraznější dynamické účinky na výhybce č. 64 v žst. Choceň (čárkované křivky). Rozdíl je zde ještě více patrný, než tomu bylo u pohybů pražců. Největších dynamických účinků na obou konstrukcích dosahují vlaky typu EuroCity, neboť projíždějí nejvyššími rychlostmi. Důvodem je, že velikost dynamického rázu je přímo závislá na rychlosti a geometrii přechodu z křídlové kolejnice na hrot srdcovky [5].

Na dalším grafu na obr. č. 4 je srovnání signálu z pohybů pražce u výhybky č. 64 v žst. Choceň a převrácené hodnoty klouzavého RMS u stejného vlaku typu EuroCity (zrychlení vibrací a pohyby pražců byly měřeny na všech místech současně). Pokud se na toto srovnání podíváme, lze konstatovat, že převrácená hodnota klouzavého RMS prakticky kopíruje průběh pohybů pražce. Pro toto srovnání byla vybrána pro větší názornost část průjezdu vlaku (lokomotiva a dva vozy). Toto je velmi důležité zjištění, které lze využít na diagnostiku výhybek. Pokud bychom spočítali plochu pod křivkou klouzavého RMS pro jednotlivé vlaky, tak tím fakticky stanovíme celkové dynamické účinky každého jednotlivého vlaku na danou konstrukci. Výhodou klouzavého RMS je také fakt, že může odhalit vadnou nápravu, případně imperfekce na pojižděné ploše kola.

4.3. Vyhodnocení zrychlení vibrací ve frekvenční rovině na pražci pod srdcovkou

Pro důkladnou analýzu dynamických dějů probíhajících na konstrukci, je důležité znát nejen jejich časový průběh, ale také frekvenční složení měřeného signálu. Na dalším srovnávacím grafu na obr. 5 je provedeno srovnání pomocí Welchovy metody, která je pro prezentaci velmi vhodná. Barvy jednotlivých signálů

jsou stejné jako u pohybů pražce a klouzavého RMS. Při pohledu na graf na obr. 5 je zřejmé, že dynamické účinky na výhybce č. 64 v žst. Choceň (čárkované křivky) jsou až třikrát vyšší než na výhybce č. 31 v žst. Staré Město u Uherského Hradiště (křivky plnou čarou). Nejvyšších hodnot dosahuje opět vlak typu EuroCity na výhybce č. 64 v žst. Choceň, což je dáno tím, že tento vlak projíždí po konstrukci nejvyšší rychlostí. Nejvýraznější frekvence se objevují v rozmezí 50 Hz až 130 Hz. Lze tedy usuzovat, že při zvyšujícím se dynamickém zatížení porostou účinky především na frekvencích ve výše zmíněném intervalu. Toto zjištění je důležité nejen pro diagnostiku výhybek, ale také pro návrh a optimalizaci prvků v konstrukci výhybky (například podložky pod patu kolejnice a podpražcové podložky by měly pokud možno tlumit frekvence především z výše zmíněného intervalu). Největších účinků dosahují frekvence okolo 60 Hz a 80 Hz. Z porovnání účinků vlaků na obou konstrukcích lze rovněž konstatovat, že dynamické účinky jsou závislé na rychlosti přejezdu vlaků přes danou konstrukci. Nejpomalejší osobní vlak v porovnání v žst. Staré Město u Uherského Hradiště (černá křivka plnou čarou) má na konstrukci výhybky č. 31 účinky téměř nulové. Tento vlak jel přes konstrukci výhybky rychlostí pouze $40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Naproti tomu na stejné konstrukci má vlak typu EuroCity (modrá křivka plnou čarou) účinky v oblasti frekvencí mezi 50 Hz a 70 Hz až šestinásobné. Vlak typu EuroCity jel přes výhybku č. 31 v žst. Staré Město u Uherského Hradiště rychlostí $100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

4.4. Vyhodnocení zrychlení vibrací v časově-frekvenční rovině na pražci pod srdcovkou

Časovou a frekvenční analýzu je vhodné doplnit analýzou časově-frekvenční. Časově-frekvenční analýza je provedena pomocí STFT. Tato analýza nám pomůže odhalit nejen frekvenční složení měřeného signálu, ale také výskyt frekvenčních složek v čase. Pro prezentaci v rámci tohoto článku jsme vybrali na každé konstrukci výhybky vlak typu EuroCity. Tyto vlaky jsou srovnatelné a projížděly přes obě výhybky srovnatelnou rychlostí. Obrázky 6 a 7 představují analýzu formou trojice navzájem svázaných grafů tzv. „trojčat“. Tyto zahrnují časový průběh dynamického zatížení (graf nahoře), frekvenční rozložení amplitudového spektra v logaritmické stupnici (graf vlevo dole) a 3D hustotní spektrogram čas – frekvence – amplituda (graf vpravo dole). Podotkněme, že amplitudové spektrum (graf vlevo dole) bylo vypočteno Welchovou metodou. Hustotní spektrogram na obr. 6 představuje vyhodnocení dynamických účinků na výhybce č. 64 v žst. Choceň. Na tomto spektrogramu je vidět, že nejvýznamnější frekvenční složky se skutečně objevují v rozmezí frekvencí mezi 50 Hz až 130 Hz. Časovým výskytem odpovídají nejvýraznější složky průjezdům jednotlivých náprav vlaku. Hustotní spektrogram na obr. 7 představuje vyhodnocení dynamických účinků na výhybce č. 31 v žst. Staré Město u Uherského Hradiště. V porovnání s hustotním spektrogramem na obr. 6 je vidět výrazný útlum frekvenčních složek, což odpovídá také frekvenční analýze. Nejvýznamnější frekvenční složky odpovídají z hlediska časového působení opět průjezdům jednotlivých náprav vlaku. Časově-frekvenční analýza potvrdila závěry z frekvenční a časové analýzy zrychlení vibrací. Navíc oproti frekvenční analýze jsme schopni vyhodnotit působení jednotlivých náprav vlaku.

5. Závěr

Celkově je možné konstatovat, že dynamické účinky jsou nižší na výhybce č. 31 v žst. Staré Město u Uherského Hradiště. Tato skutečnost souvisí s lepším stavem

kolejové jízdní dráhy a s nižší rychlostí vlaků, než je tomu u sledované výhybky v žst. Choceň. Průměrná rychlost změřených nákladních vlaků je v žst. Staré Město u Uherského Hradiště o $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ nižší a osobních vlaků dokonce o $40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ nižší. Je třeba podotknout, že obě konstrukce byly z hlediska bezpečnosti provozu v pořádku a splňovaly limitní hodnoty všech dotčených norem. Přestože obě konstrukce splňují normová ustanovení, je zde patrný rozdíl v dynamickém chování. Takovýto rozdíl by bylo možné využít v plánování údržby výhybek. Analýza dynamických účinků na konstrukci přímo pod projíždějícím vlakem dokáže odhalit i skutečnosti, které jsou běžnými měřicími prostředky nepostřehnutelné, například narůstající velikost dynamického rázu. Pokud se podaří shromáždit dostatečné množství dat, bude možné stanovit limitní hodnoty dynamických účinků, při jejichž překročení by měla být provedena údržba. Na základě měření dynamických účinků je také možné hodnotit kvalitu stavebních prací.

Z provedených analýz vyplývá, že je možné sledovat a hodnotit dynamické účinky na dlouhých výhybkových pražcích pouze na základě měření zrychlení vibrací. Převrácená hodnota klouzavého RMS prakticky kopíruje průběh pohybů pražce a lze ji využít jako jistou alternativu. Navíc měření zrychlení vibrací má oproti měření pohybů pražce několik výhod. Především jde o fakt, že měření zrychlení vibrací je měření relativní, tedy nepotřebuje srovnávací bod, jako je tomu u měření pohybů pražce. Z tohoto faktu vyplývá jednodušší instalace. Snímače zrychlení vibrací mají také vhodné vlastnosti, především je charakterizuje široký pracovní rozsah, definovaná linearita v pracovních mezích, pevná a robustní konstrukce, vysoká spolehlivost a dlouhodobá stabilita. Výhodou je také to, že tyto snímače nemají pohyblivé části citlivé k opotřebení. Všechny tyto vlastnosti snímače zrychlení vibrací (akcelerometry) předurčují pro použití v podmínkách plného provozu i pro dlouhodobá měření. Snímače jsou také relativně malé, což snižuje riziko případného poškození od vandalů. Cena snímače může být poměrně nízká, vždyť dnes se akcelerometry montují již i do mobilních telefonů (v provedených měřeních však byly využity velmi přesné snímače od firmy Brüel & Kjær, jejichž cena je poměrně vysoká). Z mnoha provedených měření a analýz vyplývá, že je možné využít snímače zrychlení vibrací (akcelerometry) nejen pro diagnostiku dlouhých výhybkových pražců, ale i železniční konstrukce jako celku.

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory výzkumného záměru MSM 0021630519 Progresivní spolehlivé a trvanlivé nosné stavební konstrukce a projektu specifického výzkumu FAST č. 891 (FAST-J-11-21) "Komplexní monitoring a analýza dynamicko-akustických jevů v koleji".

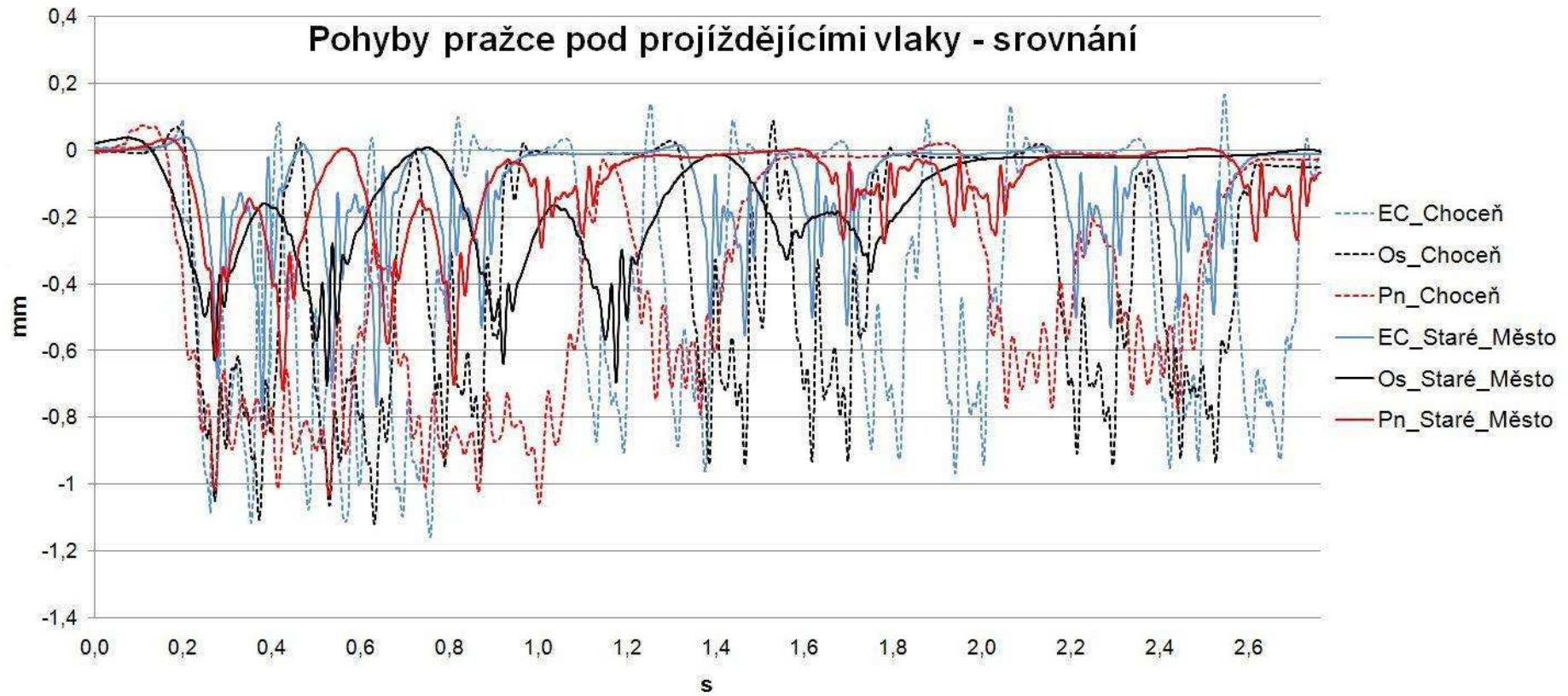
Literatura

- [1] Zarembski A. M.: *Factors Involved in Turnout Maintenance*. Railway Track & Structures 3/1995, str. 12 – 13, ISSN 0339016
- [2] Vysoké učení technické v Brně, Ústav železničních konstrukcí a staveb: *Měření svislých pohybů a parametrů vibrací výhybkových pražců – 2005, závěrečná zpráva*. XI. 2005, Brno, počet stran textu 24, počet stran příloh 10
- [3] Nový, R.: *Hluk a chvění*, Vydavatelství ČVUT, Praha, 2000, počet stran 389, ISBN 80-01-02246-3
- [4] Smutný, J.: *Moderní metody analýzy hluku a vibrací aplikované na kolejovou dopravu*, Teze k doktorandské disertační práci, VUT Brno, CERM, 1998, ISBN 80-214-0988-6
- [5] Fischer, Oberaigner, Daves, Wiest, Blumauer, Ossberger: *The Impact of a Wheel on a crossing. Die Stosswirkung eines Rades auf das Herzstück einer Weiche*. ZEV Rail Glasers Annalen 129 (2005) 8 August, ISSN: 1618-8330

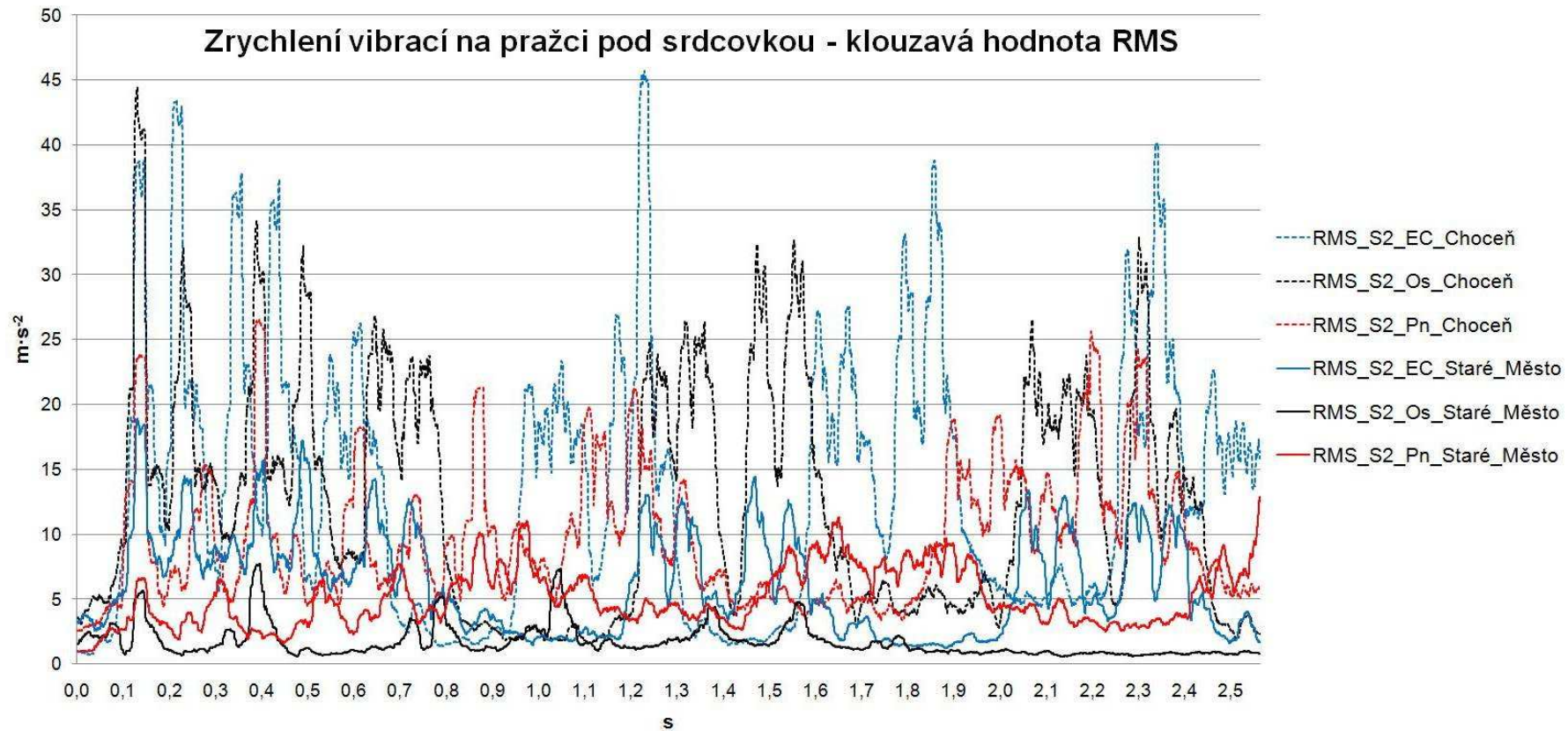
Přílohy: Obr. 2 - 7

V Praze, září 2010

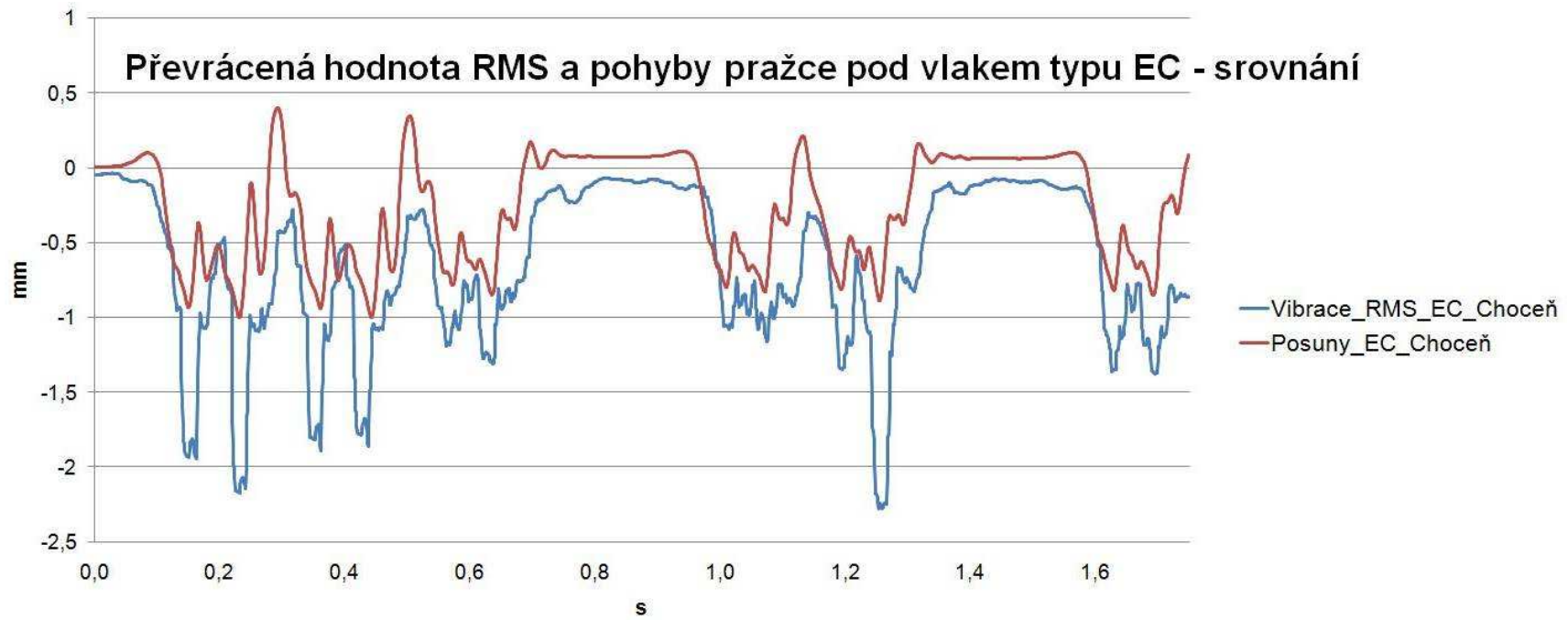
Lektoroval: prof. Ing. Luboš Pazdera, CSc.
VUT, Brno
Ing. Leoš Horníček, Ph.D.
Fakulta stavební ČVUT, Praha



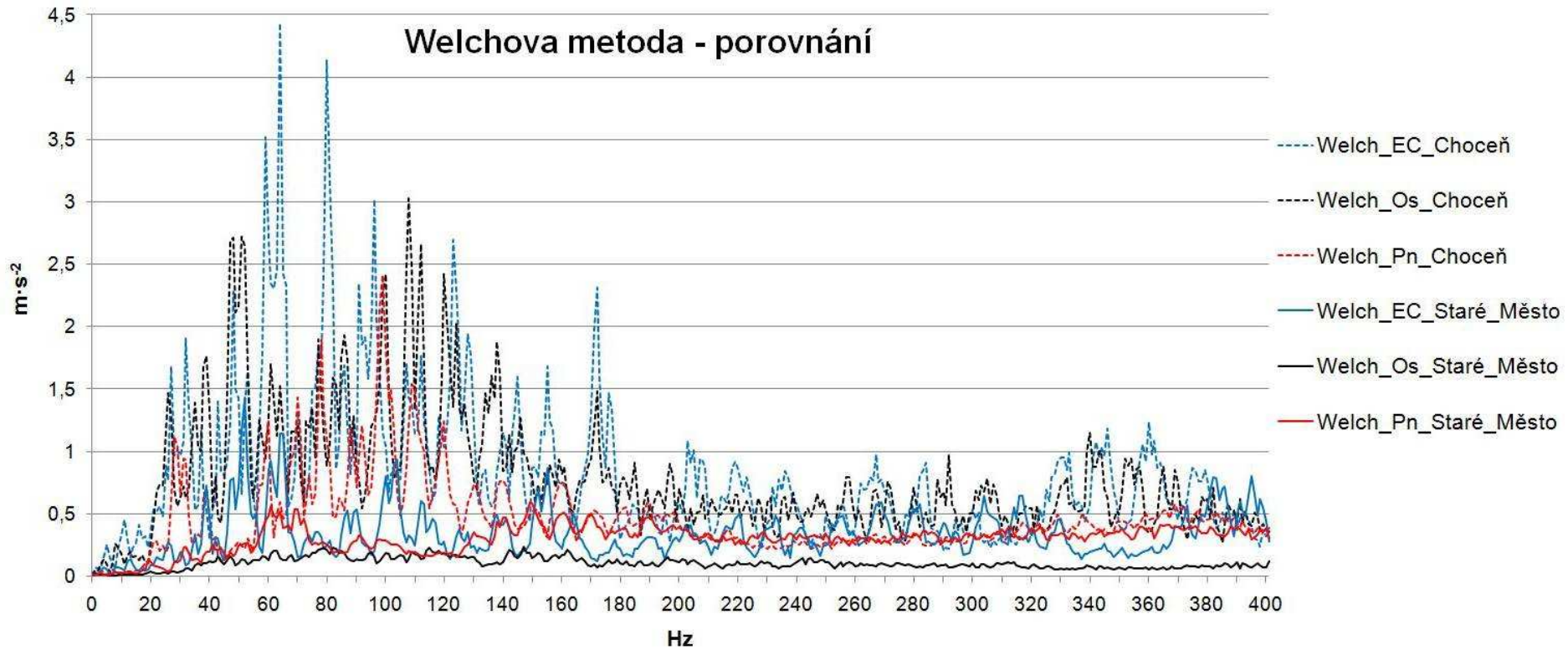
Obr. 2 Srovnávací graf pohybů pražce přímo pod srdcovkou



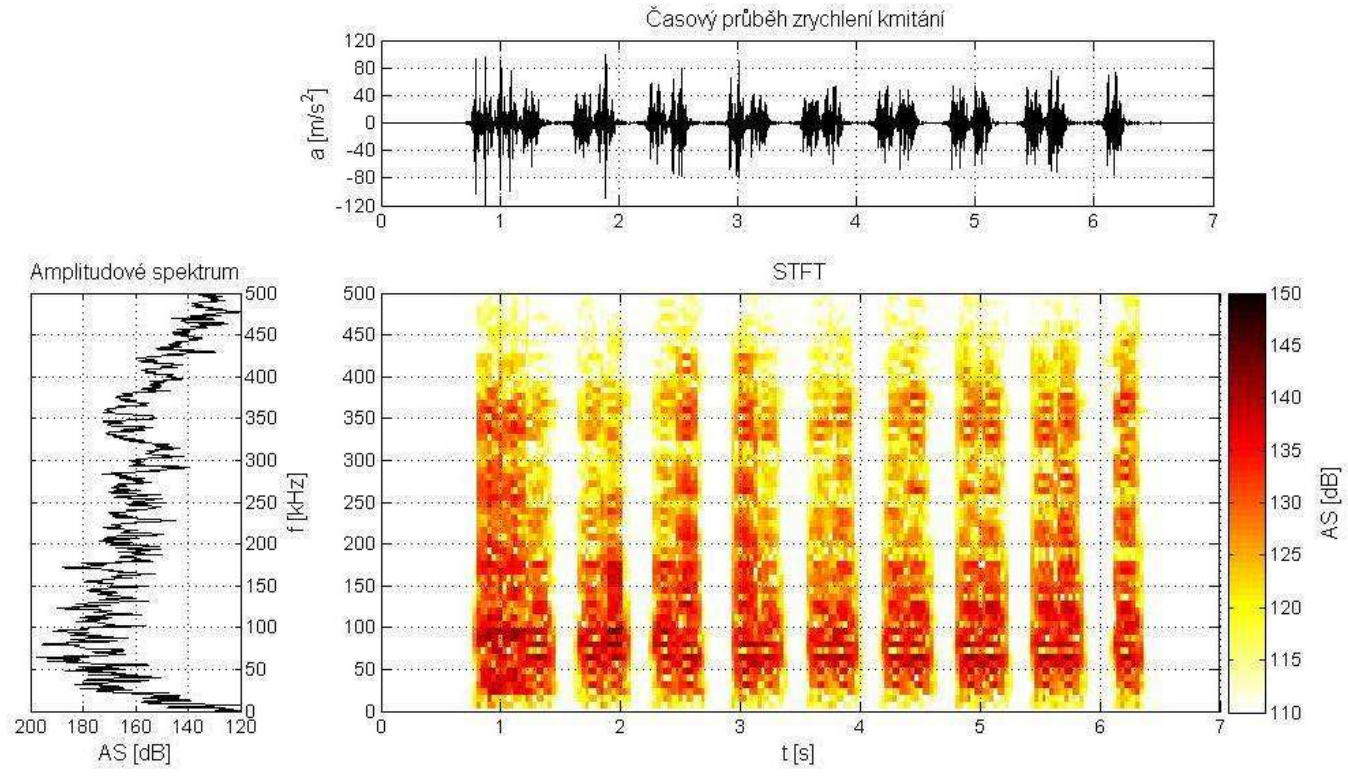
Obr. 3 Srovnávací graf zrychlení vibrací na pražci přímo pod srdcovkou – klouzavá hodnota RMS



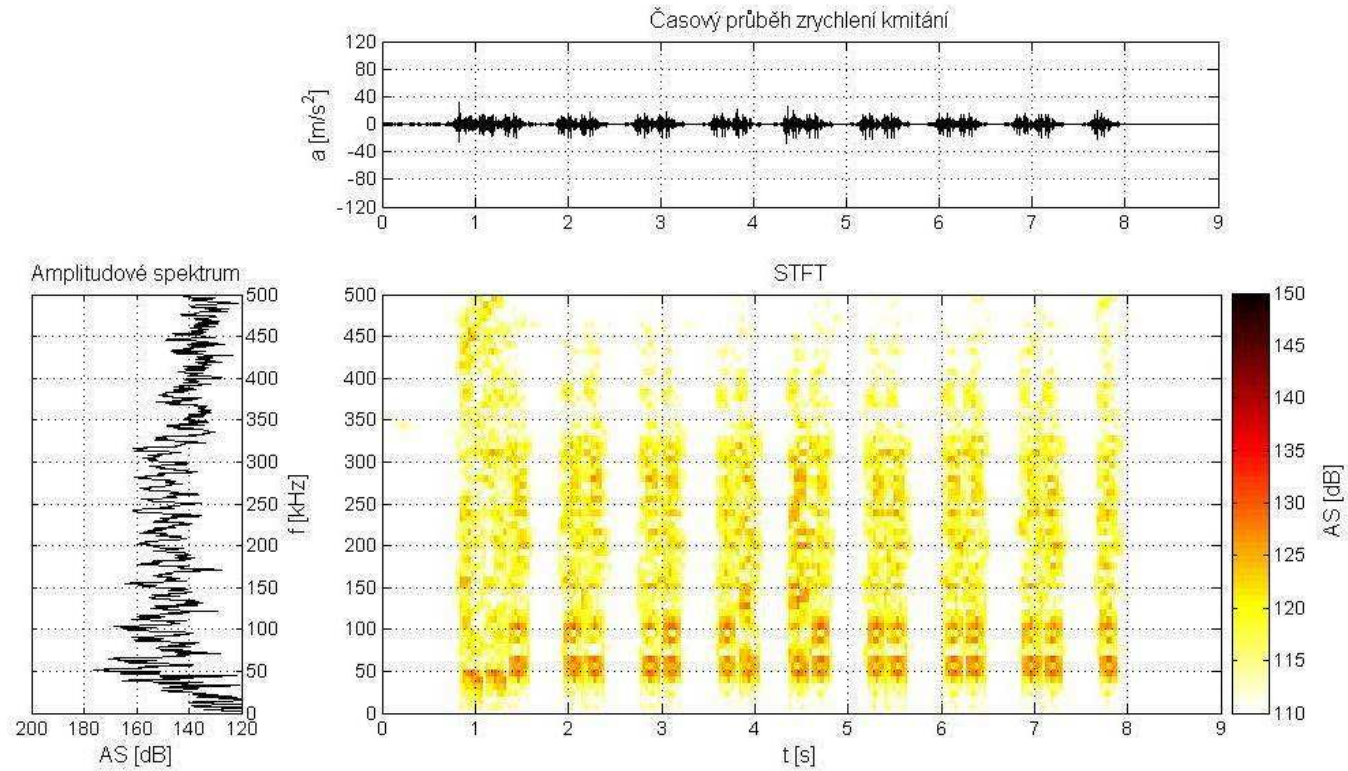
Obr. 4 Srovnání převrácené hodnoty klouzavé RMS a pohybů pražce přímo pod srdcovkou



Obr. 5 Srovnávací graf zrychlení vibrací ve frekvenční rovině – Welchova metoda



Obr. 6 Graf časově-frekvenčního vyhodnocení na pražci pod srdcovkou u výhybky č. 64 v žst. Choceň – vlak EuroCity



Obr. 7 Graf časově-frekvenčního vyhodnocení na pražci pod srdcovkou u výhybky č. 31 v žst. Staré Město u Uherského Hradiště – vlak EuroCity