

Měření hluku a vibrací na koridorových tratích před a po modernizaci

Klíčová slova: *hluk, hluk z železničního provozu, vibrace, vibrace šířící se zemí, modernizace rychlostního koridoru.*

1. Cíle řešení

Vzrůstající zájem veřejnosti, státních orgánů i orgánů Evropské Unie o udržitelný rozvoj s ohledem na podmínky životního prostředí působí i zvýšený zájem o železniční dopravu a její dopady. Hluk a vibrace způsobené železničním provozem ovlivňují kvalitu života populace žijící podél železničních tratí. Zejména v souvislosti s trendem k modálnímu přesunu dopravy ze silnice na železnici a s tím spojené zvyšování rychlosti.

Primárním cílem modernizace hlavních tratí ČD není snižování hlukových emisí a vibrací způsobených železničním provozem, ale spíše modernizace tratí tak, aby byly způsobilé stát se součástí standardní evropské železniční sítě s přepravní rychlostí do 160 kmh^{-1} . Právě moderní konstrukce železničního svršku s využitím bezpodkladnicového uložení, pružného upevnění a podložek mezi patou kolejnice a pražcem způsobuje zajímavý sekundární účinek modernizace, což je snižování hlukových emisí a hlavně vibrací šířících se zemí.

Tento sekundární účinek i když je teoreticky dobře zdůvodněný musí být podepřen fundovaným a průkazným měřením, aby byl použitelný pro potřeby ČD. Vyjednávání s představiteli místních obecních úřadů i orgánů státní správy o územních rozhodnutích je často velmi obtížné a složité vzhledem k obavám z předpokládaných dopadů hlukových emisí a zemních vibrací na místní infrastrukturu. Tyto obavy a námitky nejsou ve většině případů podloženy řádnými věcnými argumenty. Naměřené výsledky jasně prokázaly výše uvedený předpoklad a mohou být použity pro zlepšení vyjednávací pozice ČD.

Věcné vymezení úkolu a jeho cíle byly stanoveny následujícím způsobem.

- **Změření úrovně hluku a vibrací před a po provedené modernizaci.**
- **Rozšíření úrovně výsledků o měření hluku a vibrací z průjezdu vlaků do nejbližšího okolí včetně frekvenčního charakteru a rychlostní závislosti.**
- **Měření se uskutečnilo na trati Praha - Česká Třebová na dvou vtypovaných měřicích stanovištích.**
- **Naměřená data jsou archivována pro případné použití v databázi.**

Ing. Jan Hlaváček, nar. 1944, absolvent ČVUT - Fakulta elektro - Technická kybernetika - Měřicí technika. Zaměření : Měření hluku, vibrací, dynamiky kolejových vozidel.
Člen pracovní skupiny UIC pro hluk a vibrace "Task Force Noise".
Člen hlukové a vibrační komise ČD při O28 GR ČD.

Celkové řešení úkolu bylo rozděleno do tří postupných etap.

1. etapa byla přehledem dosavadního stavu v Evropě používaných aktivních i pasivních protihlukových a protivibračních opatřeních na vozidlech i na železničním svršku a spodku. Zpráva dále obsahovala doporučení postupu a stanovení metodiky měření hluku a vibrací pro etapu 2 a 3.

2. etapa úkolu byla realizace měřicí kampaně před modernizací trati v doporučeném traťovém úseku.

3. etapa úkolu byla realizace měřicí kampaně po modernizaci trati na totožném měřicím stanovišti a dalším kontrolním měřicím stanovišti.

V tomto příspěvku je věnována pozornost realizaci měřicí kampaně a porovnání naměřených výsledků před a po modernizaci.

2 Měření hluku

Hlukové měření na trati ČD po modernizaci je specifikováno jako třetí fáze úkolu a bylo provedeno ve dvou měřicích kampaních. Měřicí stanoviště byla zvolena s ohledem na snadný přístup, podmínky volného pole a možnost připojení na 220 V.

2.1 Metodika měření

Metodika měření byla vypracována na základě normy ISO/ČSN 3095 "Měření hluku vyzařovaného kolejovými vozidly" s určitými modifikacemi, neboť nešlo o žádnou typovou zkoušku, ale o ověřovací komplexní měření. Tam, kde podle normy ISO 3095 by mohlo dojít k nejasnostem nebo nejednoznačným definicím, byl použit jako doplňující, návrh evropské normy CEN/TC 256 N 165E "RAILWAY APPLICATIONS - NOISE EMISSION - MEASUREMENT OF EXTERNAL NOISE EMITTED BY RAILBOUND VEHICLES".

Jako deskriptor bylo použito maximum A-vážené hladiny akustického tlaku, L_{pAmax} , což je maximální hladina akustického tlaku, v decibelech, stanovená podle A-vážené frekvenční charakteristiky (podle IEC 651). Dalším deskriptorem v souladu s normou byla pak ekvivalentní kontinuální A-vážená hladina akustického tlaku $L_{pAeq, T}$.

Přístrojové vybavení bylo ve třídě 1. podle IEC 651 se záznamem výstupů použitých zvukoměrů na měřicí magnetofon pro pozdější frekvenční analýzu u všech měřicích míst.

Dále byla měřena pomocná veličina rychlost průjezdu soupravy speciálním, za tímto účelem vyvinutým zařízením. Zařízení sestávalo ze dvou indukčních snímačů umístěných na kolejnici v referenční vzdálenosti. Z referenční vzdálenosti mezi snímači a snímané doby průjezdu byla počítána rychlost soupravy. Rychlost projíždějících souprav na druhé koleji byla měřena stopkami.

Měřicí místo M1

V tomto měřicím místě byl použit přesný integrační zvukoměr Brüel & Kjaer typ 2218, osazený kondensátorovým měřicím mikrofonom Brüel & Kjaer typ 4165, pro podmínky volného pole. Průměr mikrofону 0,5", citlivost 46.8 mV/Pa, polarizační napětí 200 V, frekvenční rozsah 2.8 Hz - 10 kHz pro obecná akustická měření. Ze střídavého výstupu zvukoměru byl akustický signál nahráván na měřicí magnetofon TEAC typ XR-5000.

Měřicí místo M2

V tomto měřicím místě byl použit přesný modulový zvukoměr Brüel & Kjaer typ 2231, osazený kondensátorovým měřicím mikrofonem Brüel & Kjaer typ 4155, pro podmínky volného pole. Průměr mikrofonu 0,5", citlivost 50 mV/Pa, polarizační napětí 200 V, frekvenční rozsah 4 Hz - 18 kHz pro obecná akustická měření. Ze střídavého výstupu zvukoměru byl akustický signál nahráván na měřicí magnetofon TEAC typ XR-5000.

Cejchování přístrojů

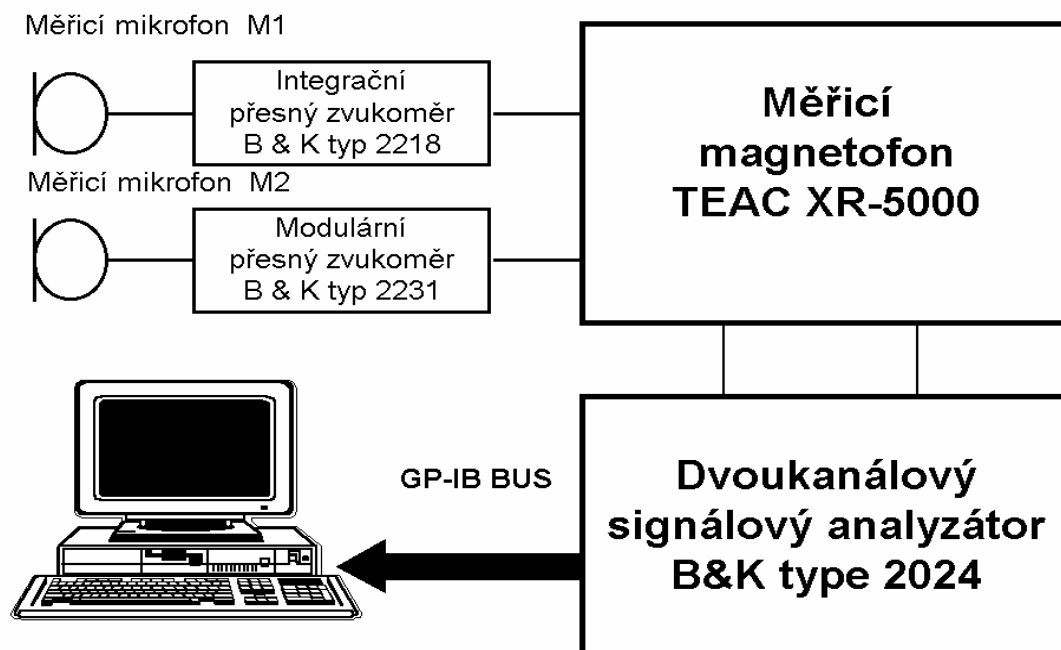
Pro cejchování přístrojů před a po měření každého dne byl použit pistonfon Brüel & Kjaer typ 4220.

Postup měření a zpracování naměřených výsledků

Při měření byl signál z výstupu zvukoměrů umístěných na měřicích místech M1 - M2 nahráván na měřicí magnetofon TEAC XR-5000.

Nahráný signál byl dále zpracován na dvoukanálovém signálovém analyzátoru Brüel & Kjaer, typ 2034. Pomocí rychlé Fourierovy transformace byly navzorkovány frekvenční spektra ve dvou krocích (do 400 Hz a do 12.5 kHz). Tyto soubory byly dále vyhodnoceny zvláštním programem na osobním počítači (Pentium II/450 MHz).

Schéma zapojení měřicího a vyhodnocovacího řetězce je na obr. 1.



Obr. 1: Schéma měřicího a vyhodnocovacího řetězce

2.2 Měření hluku Hořany

Během dvoudenní měřicí kampaně byl sejmuto dostatečně reprezentativní vzorek železničního provozu, aby bylo možno stanovit typické hodnoty hlukových emisí pro jednotlivé typy vlaků (osobní a nákladní). Hlukové emise byly snímány z obou pojížděných kolejí. Druhý den měření bylo měřicí stanoviště přemístěno na druhou stranu, takže byly snímány oba směry v totožných referenčních vzdálenostech. Vzhledem k poměrně velkému počtu naměřených vlaků osobní přepravy nebyly vyhodnocovány průjezdy ze vzdálenější koleje. Naopak u nákladních vlaků byla vyhodnocena i vzdálenější kolej, protože nákladních vlaků bylo méně.

2.2.1 Podmínky měření a měřicí stanoviště

Klimatické podmínky při měření byly odečítány každé dvě až tři hodiny po celou dobu měření.

Stavební parametry trati jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1: Stavební parametry trati

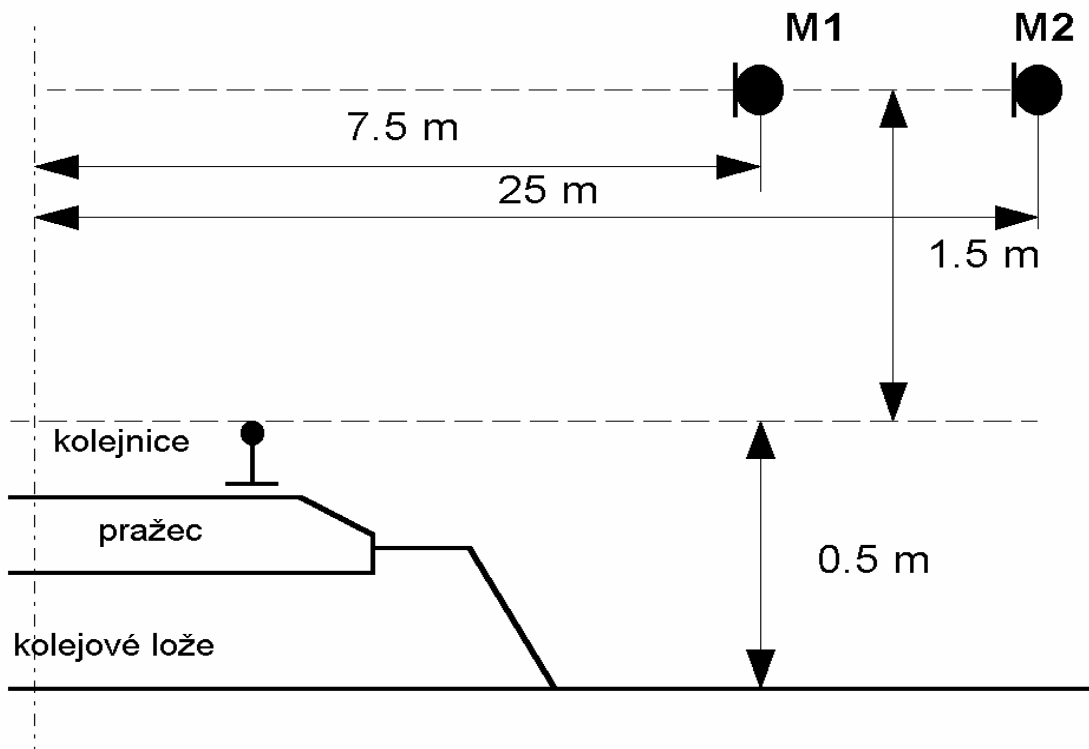
žel. spodek	výška štěrk. lože	typ pražce	typ kolejnice	upevnění
štěrkodrt' + vápenná stabil.	0.3 - 0.5 m	beton B 91 S	UIC 60	Vossloh Skl 14

Měřicí stanoviště bylo umístěno v blízkosti přejezdu trati s okresní silnicí 3341/III Hořany - Sadská se závorami LIS. Na přejezdu byl použit celopryžový povrch s nájezdem z ocelového plechu.

1. kolej směr Kolín cca 15 m za přejezdem LIS.
2. kolej směr Praha 15 m před přejezdem LIS.

Geometrické parametry - kolej bezstyková na rychlost 160 km/h po broušení hlavy kolejnic podle DB Lots 136 cca rok a půl.

Schematický náčrtek umístění mikrofónů je znázorněn na obr. 2.



Obr. 2: Umístění mikrofonů

2.2.2 Naměřené hodnoty

Všechny projíždějící vlakové soupravy byly rozděleny do čtyř základních skupin.

- Osobní vlaky a rychlíky ve směru Kolín (bližší kolej)
- Nákladní vlaky ve směru Kolín i Praha (bližší kolej)
- Osobní vlaky a rychlíky ve směru Praha (bližší kolej)
- Nákladní vlaky ve směru Kolín i Praha (vzdálenější kolej)

Jednotlivé lokomotivy, po případě jiná speciální vozidla nebyla do výsledků zahrnuta.

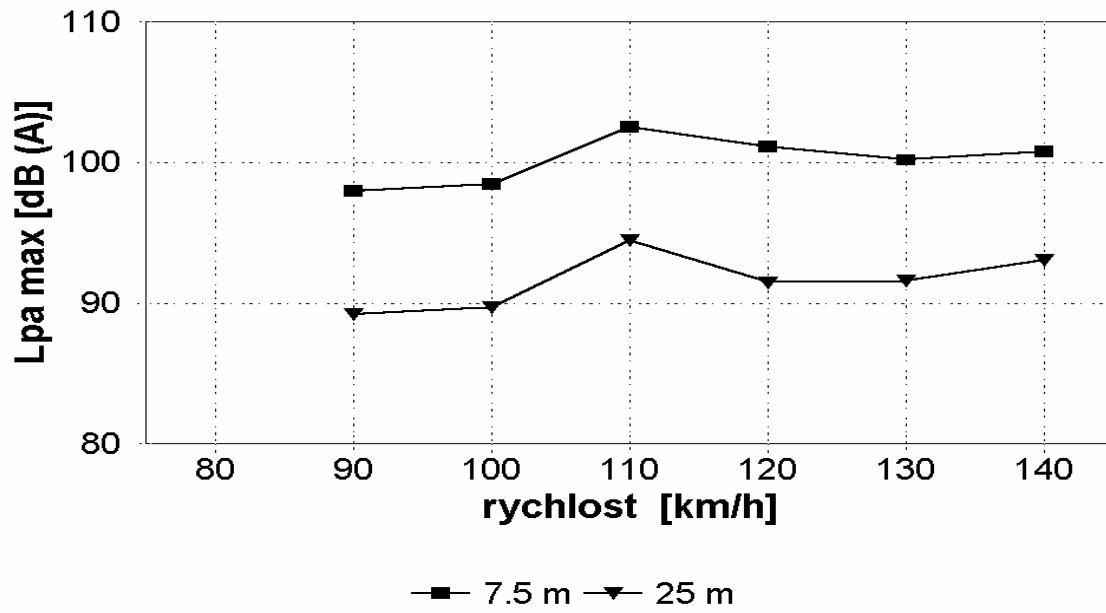
Ve všech grafech jsou pro snazší orientaci označeny výsledky z měřicího místa M1 vzdáleností 7.5 m a měřicího místa M2 vzdáleností 25 m.

V následujícím grafech jsou znázorněny závislosti naměřených maximálních hodnot akustického tlaku na rychlosti.

Graf 1:

Osobní vlaky a rychlíky

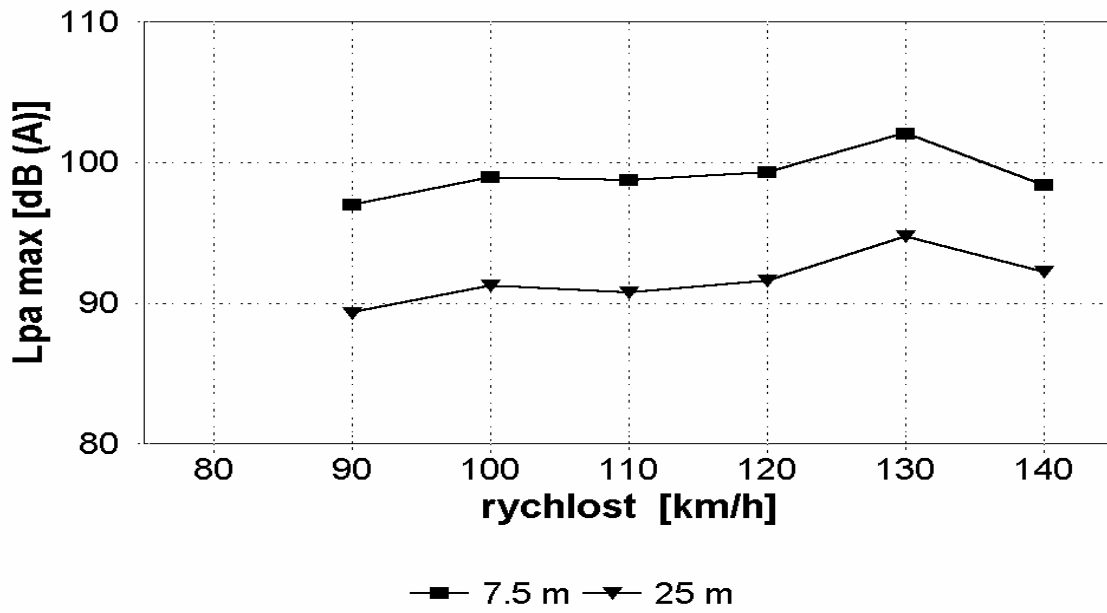
Hořany - bližší kolej - směr Kolín



Graf 2:

Osobní vlaky a rychlíky

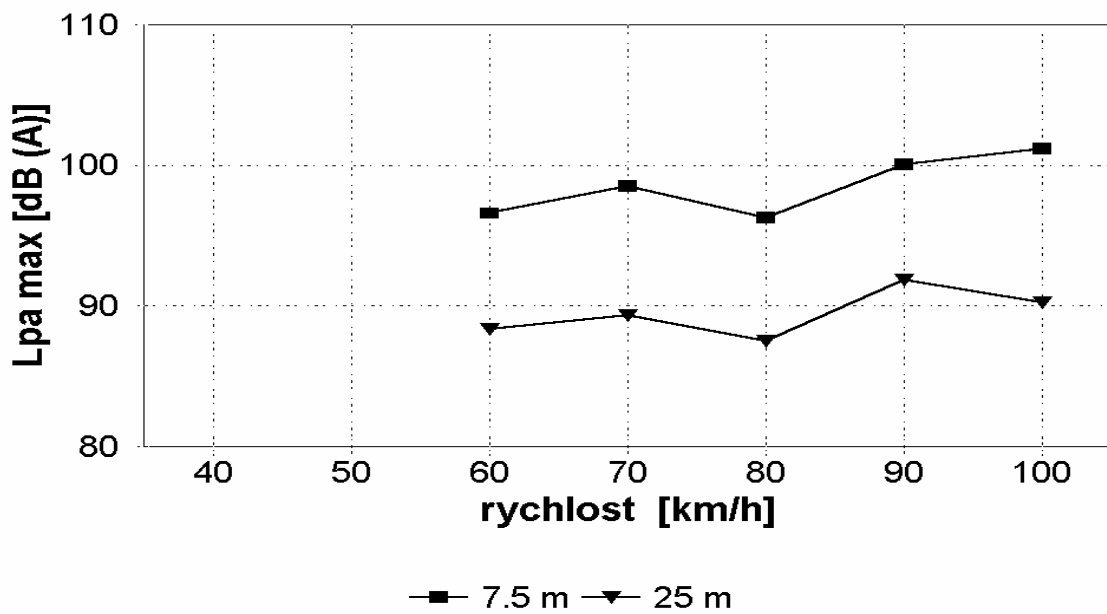
Hořany - bližší kolej - směr Praha



Graf 3:

Nákladní vlaky

Hořany - bližší kolej - oba směry



2.3 Měření hluku Moravany

Během dvoudenní měřicí kampaně byl sejmuto dostatečně reprezentativní vzorek železničního provozu, aby bylo možno stanovit typické hodnoty hlukových emisí pro jednotlivé typy vlaků (osobní a nákladní). Hlukové emise byly snímány pouze ze strany první koleje kde byly podmínky volného pole. To odpovídá podmínkám měření před rekonstrukcí. Druhý den měření bylo měření předčasně ukončeno vzhledem ke špatnému počasí (hustý déšť). U všech vlaků byly vyhodnocovány průjezdy z obou kolejí.

2.3.1 Podmínky měření a měřicí stanoviště

Klimatické podmínky při měření byly sledovány standardním způsobem. Stavební parametry trati jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2: Stavební parametry trati

	žel. spodek	výška štěrku lože	typ pražce	typ kolejnice	upevnění
1. kolej	minerální směs, výztužný geokomponent štěrkožrout + vápenná stabilizace	0.3 - 0.5 m	bet. B 91 S	UIC 60	Vossloh Skl 14
2. kolej	minerální směs, výztužný geokomponent	0.3 - 0.5 m	bet. B 91 S	UIC 60	Vossloh Skl 14

Měřicí stanoviště bylo umístěno v blízkosti přejezdu trati s okresní silnicí Čeradice - Slepotic. Přejezd byl opatřen závorami LIS. Na přejezdu byl použit celopryžový povrch s nájezdem z ocelového plechu. Stanoviště bylo umístěno na straně 1. koleje směr Česká Třebová cca 10 m před přejezdem LIS.

Geometrické parametry - kolej bezstyková na rychlost 160 km/h nebroušená.

Umístění mikrofonů je totožné jako v předchozí kapitole (viz Obr. 2).

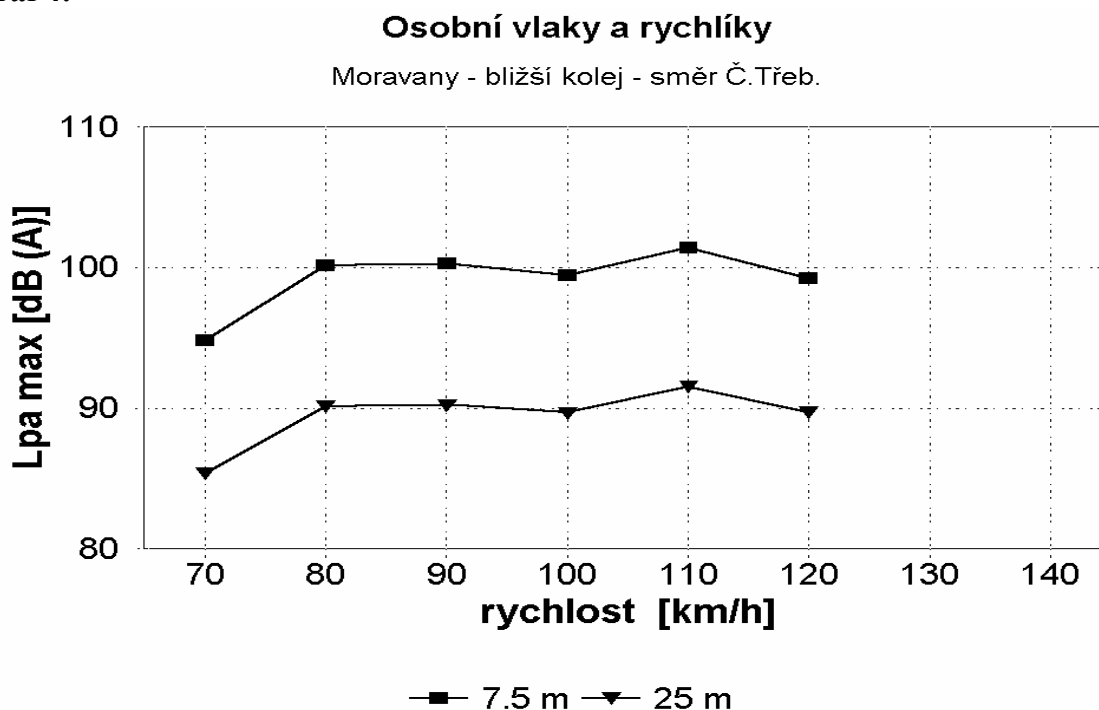
2.3.2 Naměřené hodnoty

Všechny projíždějící vlakové soupravy byly rozděleny do čtyř základních skupin.

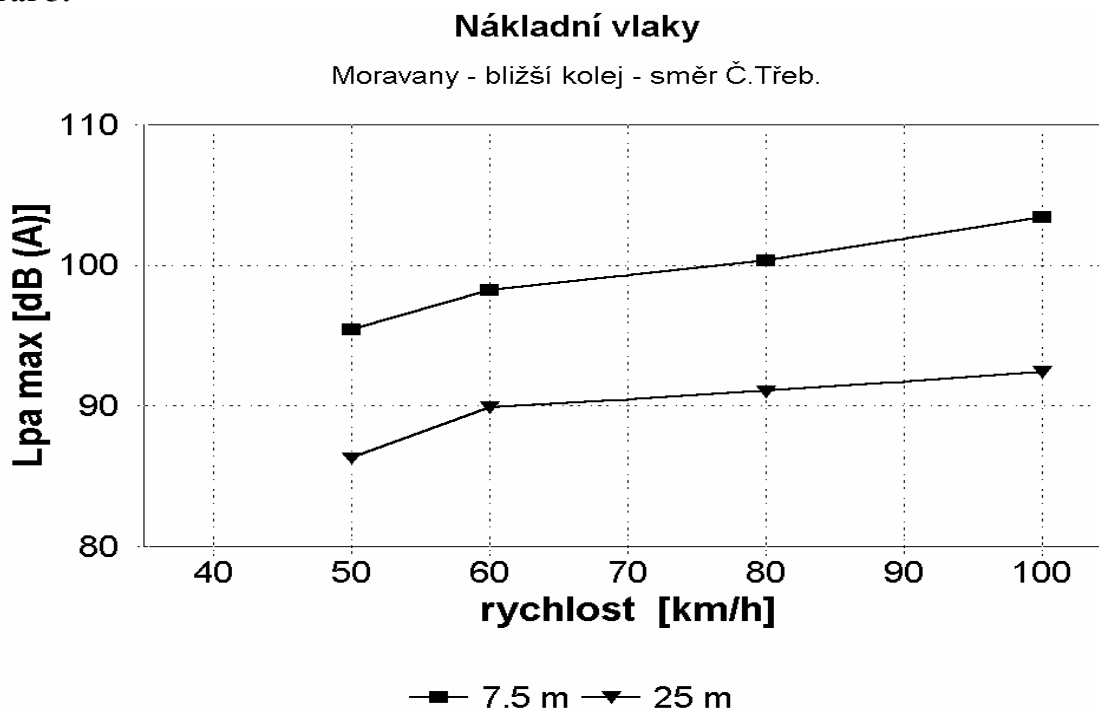
- Osobní vlaky a rychlíky ve směru Česká Třebová (bližší kolej)
- Nákladní vlaky ve směru Česká Třebová (bližší kolej)
- Osobní vlaky a rychlíky ve směru Pardubice (vzdálenější kolej)
- Nákladní vlaky ve směru Pardubice (vzdálenější kolej)

V následujícím grafu jsou znázorněny závislosti naměřených maximálních hodnot akustického tlaku na rychlosti.

Graf 4:



Graf 5:



2.4 Závěry a doporučení

Celkový počet měřených vlakových souprav byl rozdělen do čtyřech skupin jak je uvedeno v kap. 2.2.2 a 2.3.2. Posuzujeme-li osobní vlaky a rychlíky, tak naprostá většina měřených vlakových souprav projížděla rychlostí cca 120 kmh^{-1} .

Měřicí kampaň - Hořany. Porovnáme-li výsledky naměřené po rekonstrukci v Hořanech z bližší koleje můžeme pozorovat zřetelně nižší hodnoty v celém rychlostním pásmu. Pro tuto rychlost, která má nejvíce naměřených vlaků a tedy je statisticky nejprůkaznější je průměrná hodnota L_{pAmax} o **4.28 dB(A)** nižší po rekonstrukci měřeno na referenční vzdálenosti 7.5 m. Na vzdálenosti 25 m pak snížení dosahuje **3.6 dB(A)**. Klíčové však je, že se zvyšující se rychlostí se naměřená hladina nezvyšuje, spíše klesá. Je to způsobeno provozováním vyššího počtu modernizovaných osobních vozů s kotoučovou brzdou, které vykazují zhruba o 10 dB(A) nižší emisní hladiny hluku valení. Z tohoto důvodu lze předpokládat, že i po zvýšení rychlosti na 160 kmh^{-1} se celkové hlukové emise nezvýší, spíše se budou snižovat. Stejný trend pozorujeme i při použití deskriptoru $L_{pAeq, T}$, pouze naměřené hladiny jsou zhruba o 7 - 8 dB(A) nižší.

Porovnáme-li typickou evropskou hodnotu pro osobní vozy s kotoučovou brzdou, která je **84.5 dB(A)** při rychlosti 160 kmh^{-1} s naší naměřenou hodnotou cca **84 dB(A)** při rychlosti 140 kmh^{-1} , dojdeme k názoru, že vezmeme-li v úvahu vliv hnacího vozidla a podíl vozů s klasickou brzdou (brzdové špalíky z šedé litiny), naměřené výsledky vykazují dobrou shodu s hodnotami obecně platnými v Evropské železniční síti.

Porovnání naměřených hodnot z průjezdů nákladních vlaků (bližší koleje) není tak průkazné, protože byl větší rozptyl rychlostí a méně vlaků. Každá rychlostní skupina obsahovala pouze dva až tři vlaky, což není možno považovat za statisticky průkazný vzorek. Nicméně výsledky korespondují a naměřené hodnoty pro rychlost 70 kmh^{-1} (největší počet vlaků) jsou o **4.5 dB(A)** nižší a pro rychlost 80 kmh^{-1} je odstup dokonce **6.5 dB(A)**. Opět se jedná o deskriptor L_{pAmax} a vzdálenost 7.5 m od středu bližší koleje. Měření na vzdálenost 25 m a ekvivalentní hladiny zhruba korespondují s příslušným odstupem.

Typická hodnota je **88 dB(A)** při rychlosti 80 kmh^{-1} a 25 m od středu bližší koleje. Námí naměřená hodnota je **87.5 dB(A)**. To znamená, že v tomto ohledu naměřené hodnoty odpovídají typickým v Evropě. Je ovšem nutno zdůraznit, že Evropské železnice s těmito hladinami hlukových emisí spokojeny nejsou a podnikají opatření pro jejich snížení.

Měřicí kampaň - Moravany. Výsledky naměřené na druhém měřicím stanovišti v Moravanech jsou méně příznivé. Podmínky měření nebylo možno dodržet podle normy. Vzhledem ke snížené rychlosti na přejezdu z Moravan byly všechny výsledky naměřené na první koleji (bližší) zkreslené tím, že všechny vlaky urychlovaly. U výsledků měření na druhé koleji (vzdálenější), jsou výsledky ještě zkreslenější, protože většina vlaků intenzivně brzdila. Také traťový úsek nebyl ještě přebroušen. Přesto jsou všechny naměřené výsledky nižší nebo zhruba totožné jako před rekonstrukcí. Pro získání průkaznějších výsledků by bylo třeba měření opakovat za příznivějších podmínek.

3 Měření vibrací

Měření vibrací na trati ČD po modernizaci probíhalo souběžně s hlukovým měřením. Na měřicím stanovišti v Hořanech byly osazeny snímači postupně obě koleje. V Moravanech

byla měřena pouze první kolej. Vyhodnocovány byly pouze vlaky poježděné na koleji se snímači.

3.1 Metodika měření a použité přístroje

Metodika byla vypracována na základě současných znalostí o účincích vibrací v obytných budovách tak, jak je v pracovních dokumentech prezentují Technické komise TC 108 Vibrace a rázy, Mezinárodní organizace pro normalizaci (ISO/TC 108/SC 2, 3 a 4) a TC 231, Evropské komise pro normalizaci (CEN/TC 231). Hlavní důraz byl kladen na vibrace šířící se zemí a jejich útlum se vzdáleností.

Jako hlavního deskriptoru bylo použito efektivních hodnot zrychlení, L_a , v maximálních hladinách zrychlení vibrací vztažených k referenčnímu zrychlení. Výsledné hladiny vibrací jsou vyjádřeny v dB (re 10^{-6} ms^{-2}).

U všech měřených míst byla provedena frekvenční analýza vibrací v lineárním módu a třetinooktávovém pásmu. Frekvenční analýza byla provedena v rozsahu 0.5 - 400 Hz, což není podle normy ISO 2631 - 2, kde je předepsáno hodnocení vibrací v rozsahu 1 - 80 Hz. Nicméně toto frekvenční pásmo je doporučeno pro měření vibrací šířící se zemí například v projektech (RENVIB) řešených ERRI.

Přístrojové vybavení bylo ve třídě 1. podle IEC 651. Měřicí předzesilovač NEXUS byl použit na úpravu výstupů použitých snímačů pro záznam na měřicí magnetofon pro pozdější frekvenční analýzu u všech měřicích míst.

Měřicí místo V1

V tomto měřicím místě (viz Obr. 3) byl použit přesný piezoelektrický snímač vibrací Brüel & Kjaer typ 4370. Tento snímač má dynamický rozsah $80 \text{ :ms}^{-2} - 12 \text{ kms}^{-2}$, citlivost 10 pC/ms^{-2} , tepelný rozsah $-74 - +250 \text{ }^\circ\text{C}$. Snímač byl připojen k analyzátoru B&K typ 2144.

Měřicí místo V2

V tomto měřicím místě (viz Obr. 3) byl použit přesný piezoelektrický snímač vibrací Brüel & Kjaer typ 4384. Tento snímač má dynamický rozsah $80 \text{ :ms}^{-2} - 120 \text{ kms}^{-2}$, citlivost 1 pC/ms^{-2} , tepelný rozsah $-74 - +250 \text{ }^\circ\text{C}$. Snímač byl připojen k analyzátoru B&K typ 2144.

Měřicí místo V3,V4

V tomto měřicím místě (viz Obr. 3) byl použit tříosý piezoelektrický snímač vibrací Brüel & Kjaer typ 4321. Tento snímač má dynamický rozsah $0.8 \text{ mms}^{-2} - 1 \text{ kms}^{-2}$, citlivost 1 pC/ms^{-2} , tepelný rozsah $-74 - +200 \text{ }^\circ\text{C}$. Zapojeny byly pouze dvě osy, příčně a svisle a přes předzesilovač NEXUS byly výstupy snímačů nahrávány na měřicí magnetofon TEAC XR-5000 pro pozdější zpracování.

Měřicí místo V5

V tomto měřicím místě (viz Obr. 3) byl použit piezoelektrický snímač vibrací Brüel & Kjaer typ 4371. Tento snímač má dynamický rozsah $0.8 \text{ mms}^{-2} - 120 \text{ kms}^{-2}$, citlivost 1 pC/ms^{-2} ,

tepelný rozsah $-74 - +250$ °C. Snímač byl připojen na předzesilovač NEXUS a výstup snímače byl nahráván na měřicí magnetofon TEAC XR-5000 pro pozdější zpracování.

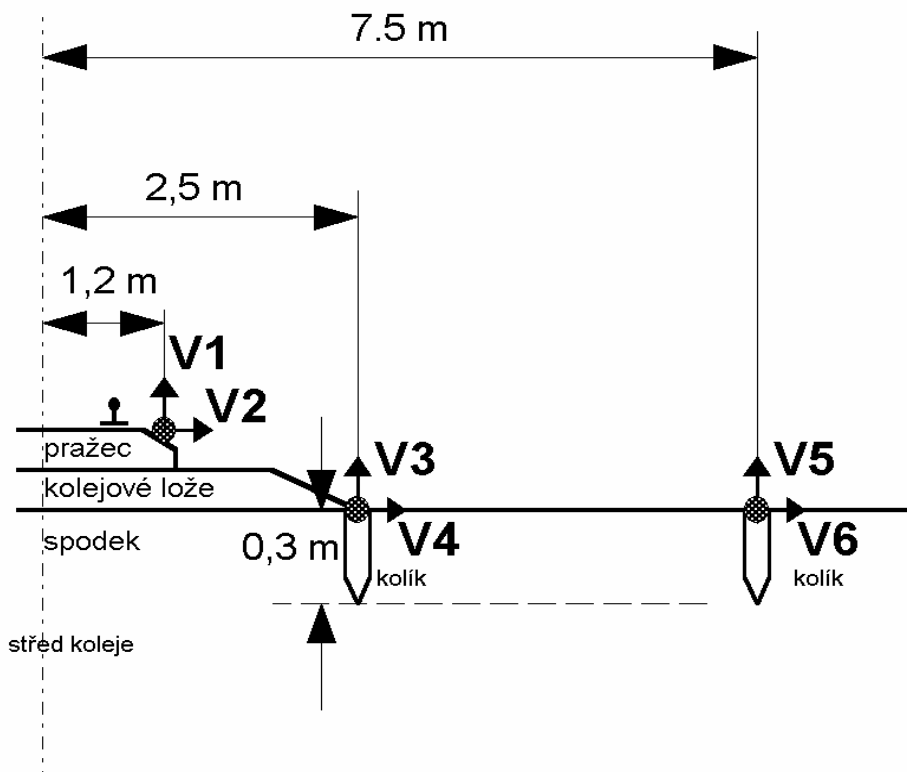
Měřicí místo V6

V tomto měřicím místě (viz Obr. 3) byl použit piezoelektrický snímač vibrací Brüel & Kjaer typ 4371. Tento snímač má dynamický rozsah 0.8 mms^{-2} - 120 kms^{-2} , citlivost 1 pC/ms^{-2} , tepelný rozsah $-74 - +250$ °C. Snímač byl připojen na předzesilovač NEXUS a výstup snímače byl nahráván na měřicí magnetofon TEAC XR-5000 pro pozdější zpracování.

Umístění snímačů zrychlení :

- Měřicí místo **V1** - Indukční snímač vertikálních vibrací byl umístěn na okraji pražce, ve vzdálenosti 1.2 m od středu koleje.
- Měřicí místo **V2** - Indukční snímač horizontálních vibrací byl umístěn na okraji pražce, ve vzdálenosti 1.2 m od středu koleje.
- Měřicí místo **V3** - Indukční snímač vertikálních vibrací byl umístěn na kolíku na okraji kolejového lože ve vzdálenosti 2.5 m od středu bližší koleje. Kolík byl zakopán pod úroveň terénu.
- Měřicí místo **V4** - Indukční snímač horizontálních vibrací byl umístěn na stejném místě jako snímač **V3**.
- Měřicí místo **V5** - Indukční snímač vertikálních vibrací byl umístěn na kolíku v normalizované vzdálenosti 7.5 m od středu bližší koleje. Kolík byl zakopán pod úroveň terénu.
- Měřicí místo **V6** - Indukční snímač horizontálních vibrací byl umístěn na stejném místě jako snímač **V5**.

Schematický náčrtek umístění snímačů je znázorněn na obr. 3



Obr. 3: Umístění snímačů zrychlení

Cejchování přístrojů

Pro cejchování snímačů byl použit kalibrátor Brüel & Kjaer typ 4294.

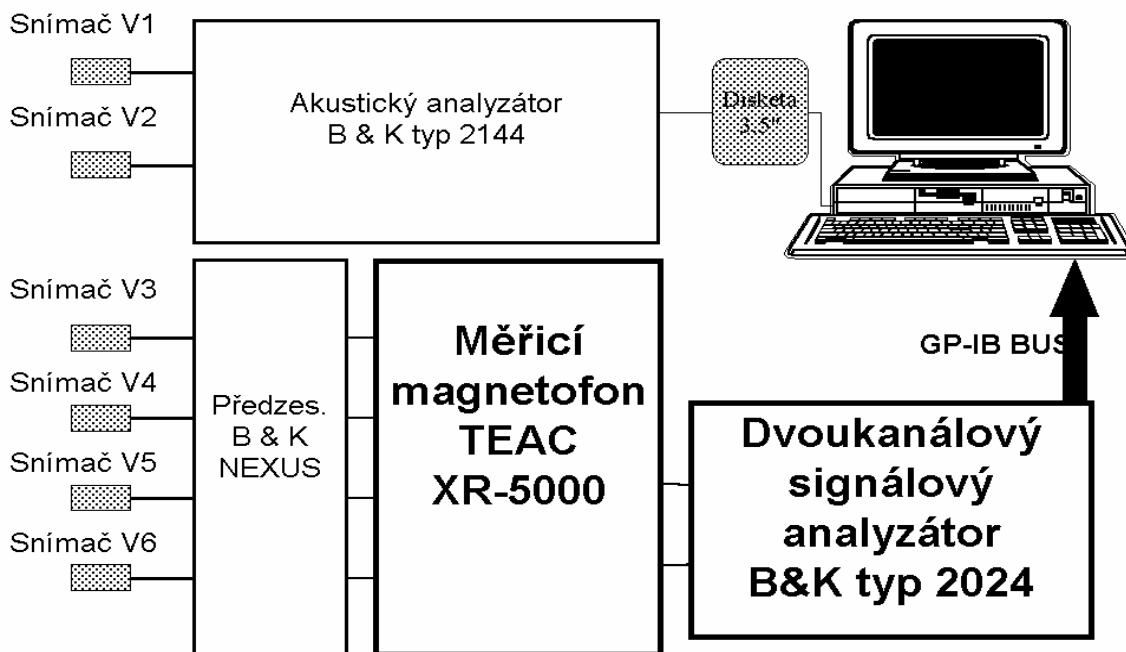
Postup měření a zpracování naměřených výsledků

Při měření byl signál ze snímačů V1 a V2 zpracován přímo na akustickém analyzátoru B&K typ 2144. Data z frekvenční analýzy byla nahrána na disketu a zpracována do ostatních výsledků.

Signály ze snímačů V3-V6 byly upraveny v předzesilovači NEXUS na vhodnou napěťovou úroveň a nahrávány na měřicí magnetofon TEAC XR-5000.

Nahráný signál byl dále zpracován na dvoukanálovém signálovém analyzátoru Brüel & Kjaer, typ 2034. Pomocí rychlé Fourierovy transformace byly navzorkovány frekvenční spektra do 400 Hz. Tyto soubory byly dále vyhodnoceny zvláštním programem na osobním počítači (Pentium II/450 MHz) výsledná frekvenční spektra v třetinooktávovém pásmu a vypočtené celkové hladiny vibrací jsou uvedeny ve výsledcích měření a v přílohách ke zprávě.

Schéma zapojení měřicího a vyhodnocovacího řetězce je na obr. 4.



Obr. 4: Schéma měřicího a vyhodnocovacího řetězce

3.2 Měření vibrací Hořany

3.2.1 Podmínky měření a měřicí stanoviště

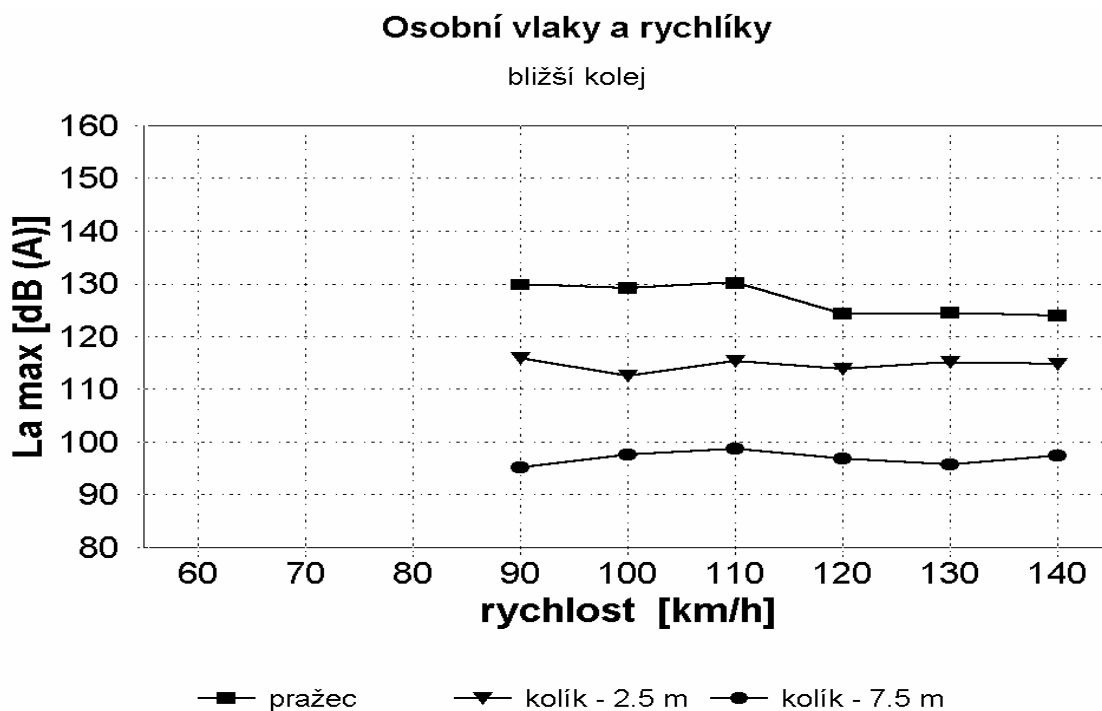
Všechny podmínky měření jsou totožné jako při měření hluku, neboť obě měření probíhala současně a na stejném místě.

Měření bylo realizováno na první koleji směr Kolín i na druhé koleji směr Praha v souladu s přemístěním stanoviště pro měření hluku.

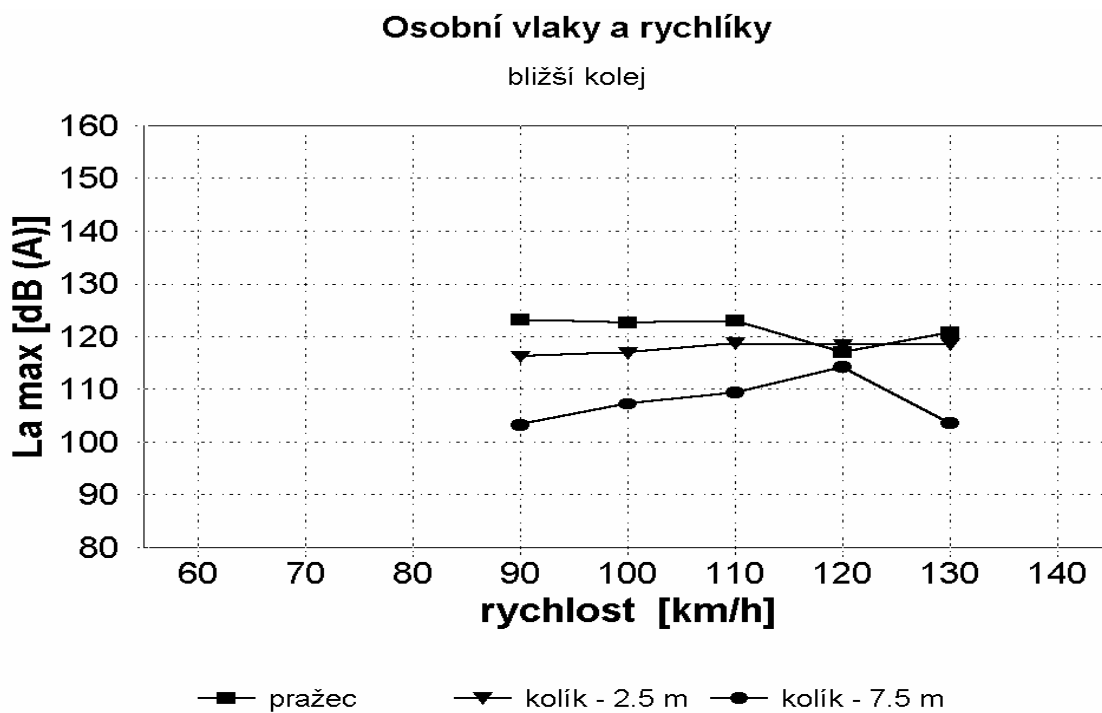
Pro lepší orientaci v grafech naměřených hodnot jsou uvedeny přímo místa snímání (pražec, kolík 1, kolík 2) na místo čísel snímačů ve schématu.

V následujících grafech je znázorněna závislost naměřených maximálních hladin zrychlení na rychlosti

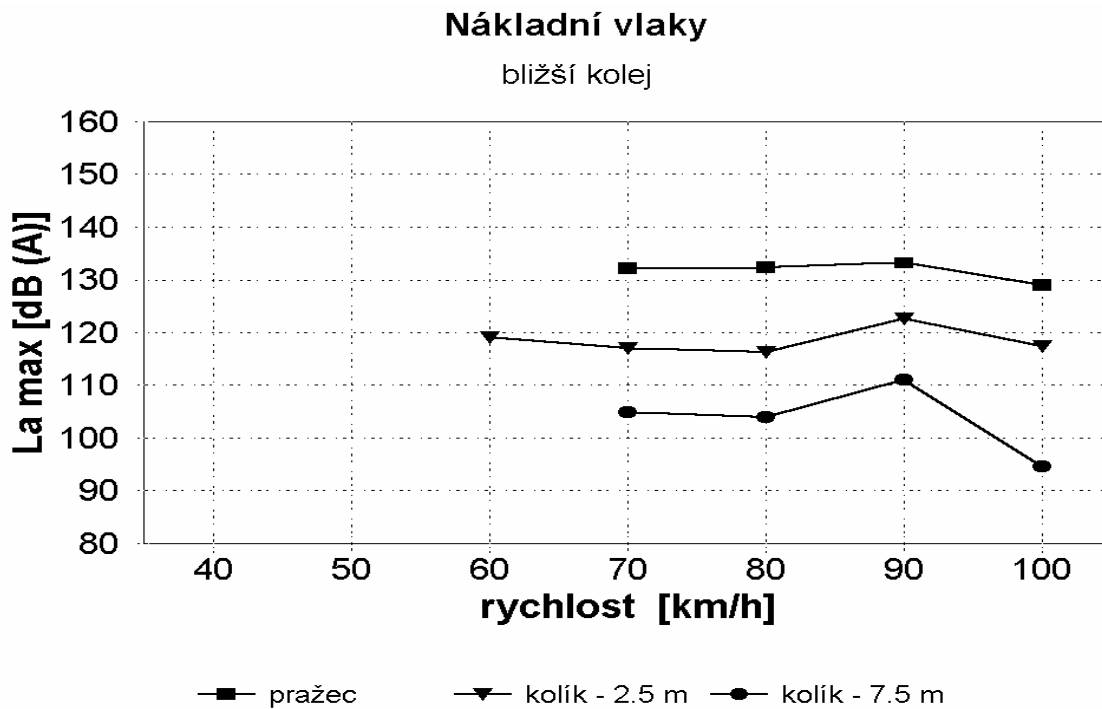
Graf 6: Svislé vibrace - směr Kolín



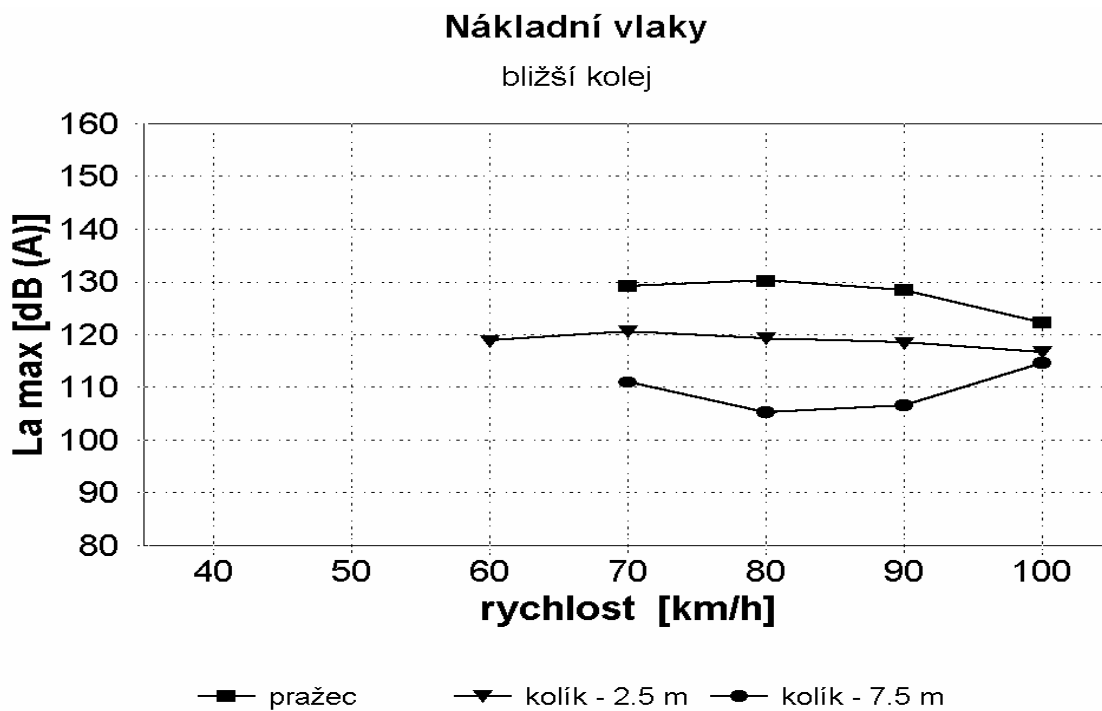
Graf 7: Příčné vibrace - směr Kolín



Graf 8: Svislé vibrace - oba směry (bližší kolej)



Graf 9: Příčné vibrace - oba směry (bližší kolej)



3.3 Měření vibrací Moravany

3.3.1 Podmínky měření a měřicí stanoviště

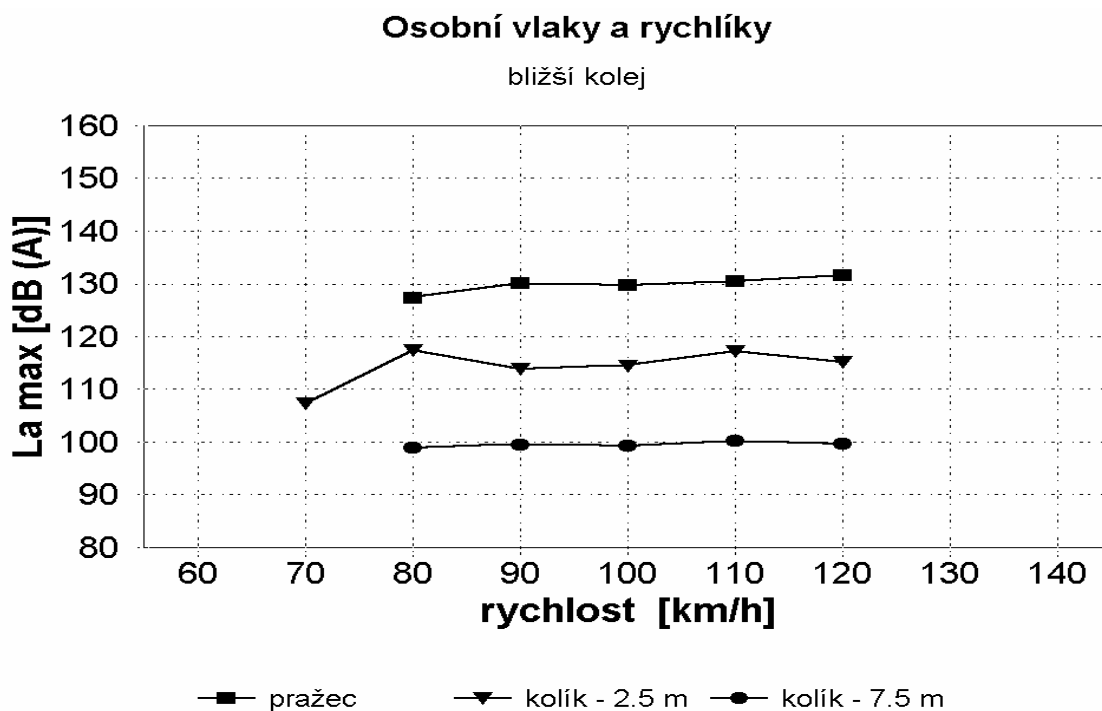
Všechny podmínky měření jsou totožné jako při měření hluku, neboť obě měření probíhala současně a na stejném místě.

Měření bylo realizováno pouze na první koleji směr Česká Třebová (bližší kolej) v souladu s předchozí měřicí kampaní před rekonstrukcí.

3.3.2 Naměřené hodnoty

Rozdělení do skupin je totožné jako při měření hluku. V následujících grafech je znázorněna závislost naměřených maximálních hladin zrychlení na rychlosti.

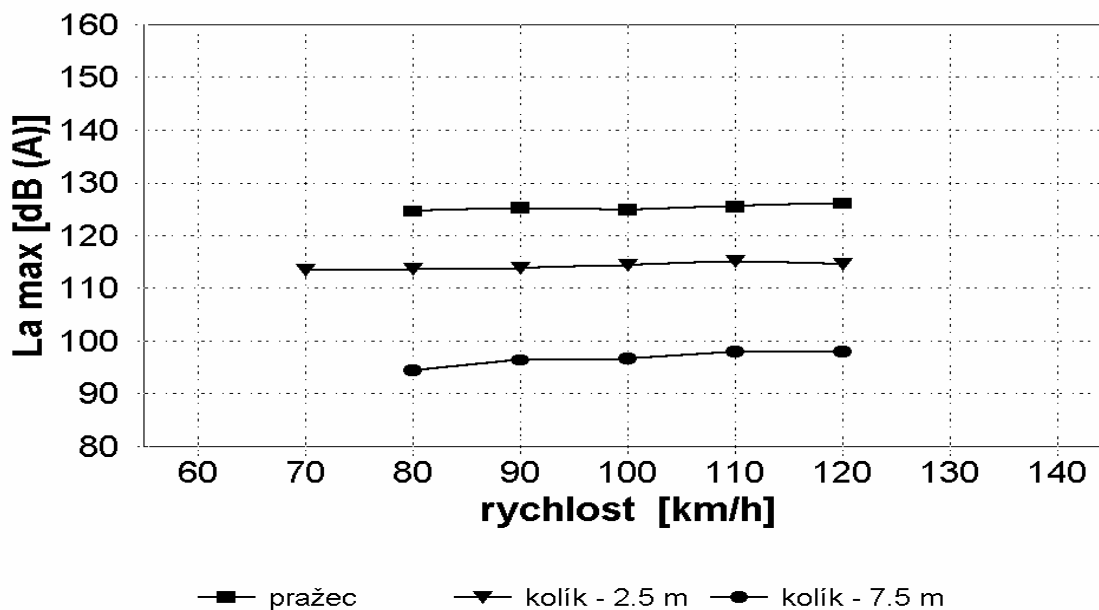
Graf 10: Svislé vibrace - směr Česká Třebová



Graf 11: Příčné vibrace - směr Česká Třebová

Osobní vlaky a rychlíky

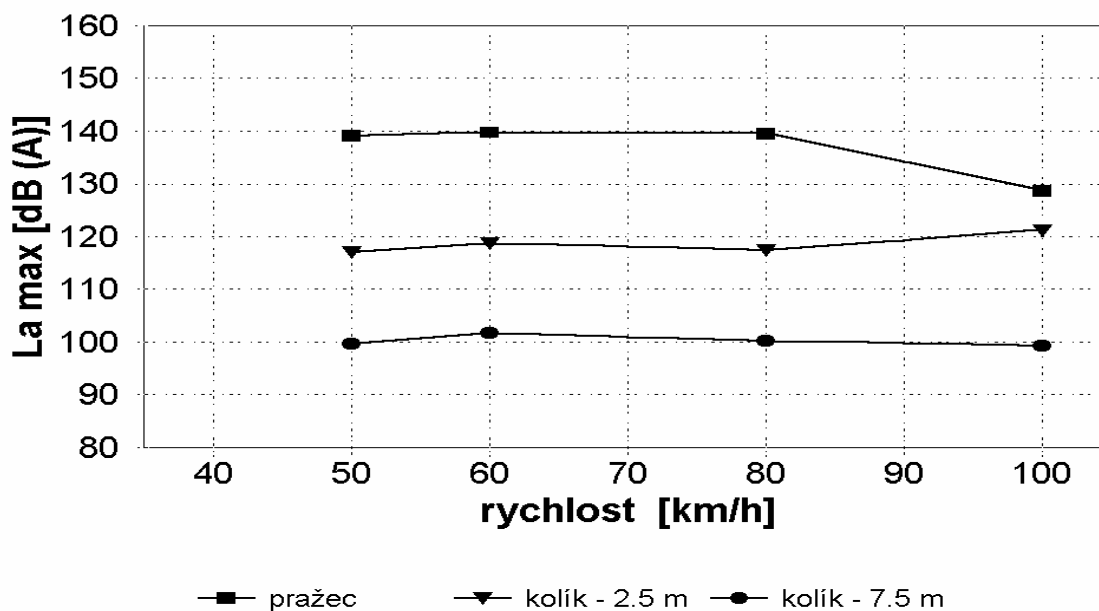
bližší kolej



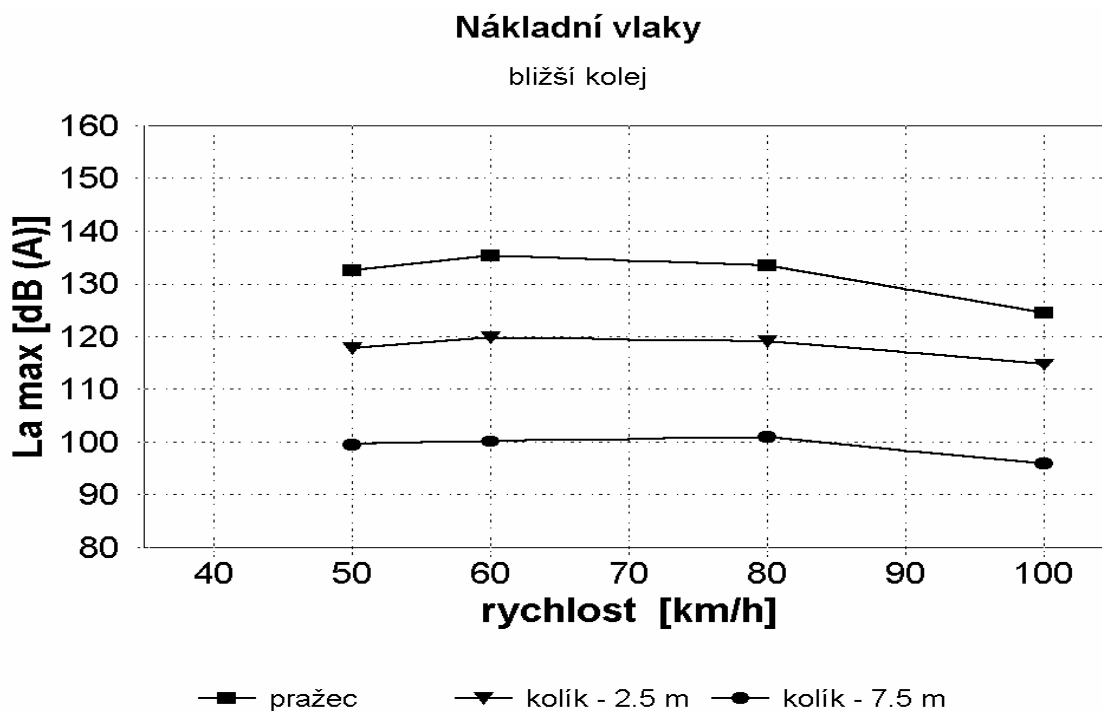
Graf 12: Svislé vibrace - směr Česká Třebová

Nákladní vlaky

bližší kolej



Graf 13: Příčné vibrace - směr Česká Třebová



3.4 Závěry a doporučení

Bylo měřeno celkem šest měřicích míst osazených piezoelektrickými snímači vibrací. Byla zvolena tři měřicí místa a na každém místě byly měřeny svislé a příčné vibrace. První místo bylo zvoleno na pražci, jako referenční místo, kde byly naměřeny vstupní budící hodnoty. Další měřicí místo bylo na kolíku na okraji kolejového lože a posléze na kolíku 7.5 m od středu bližší koleje. Tím byl získán poměrně dobrý obraz o šíření vibrací zemí a poměrném útlumu se vzdáleností.

Porovnáme-li celkové hladiny **svislých** vibrací v závislosti na rychlosti (na bližší koleji), zjistíme, že hladiny vibrací osobních vlaků a rychlíků ve sledovaném rozmezí rychlostí se příliš nemění. Statisticky nejvýznamnější je ovšem hodnota pro rychlost 120 kmh⁻¹, protože zahrnuje největší počet vlaků. Hodnoty naměřené na pražci v Moravanech před modernizací dosahují cca **150 dB (30 ms⁻²)**, hodnoty naměřené na stejném místě po modernizaci dosahují cca **130 dB (3 ms⁻²)**. To je obrovské snížení, o celý řád. Lze jej celkem hodnověrně přičíst vlivu pružného upevnění kolejnic s podložkami pod patou kolejnice. Toto snížení bezpochyby zvýší životnost pražců a dalších komponent traťového upevnění. Zde je nutno zdůraznit, že shodné hodnoty svislých vibrací na pražci byly naměřeny i při měření v Hořanech.

Hodnoty naměřené na kolíku 1 (2.5 m od středu bližší koleje) byly před rekonstrukcí cca kolem **112 - 115 dB (0.5 ms⁻²)**. Téměř totožné hodnoty byly naměřeny i po rekonstrukci. Tyto výsledky je možno přičíst účinkům vápenné stabilizace, která snižuje vibrace na nízkých frekvencích, ale naopak zvyšuje je na vyšších frekvencích. Výsledky frekvenční analýzy tento předpoklad potvrzují.

Na kolíku 2 (7.5 m od středu bližší koleje) byly před rekonstrukcí naměřeny hodnoty o cca **102 - 103 dB**, po rekonstrukci pak **100 dB (0.1 ms⁻²)**. Tato hodnota je velmi nízká téměř na hranici šumu pozadí a v žádném případě nemůže působit rušivě na obyvatele blízko trati.

Na měřicím stanovišti v Hořanech byly hodnoty naměřené na kolíku 1 a 2 poněkud odlišné vlivem jiného složení půdy. Nicméně, ani tam naměřené hodnoty nedosahují zdaleka takových hladin, které by signalizovaly možnost výskytu kritického místa.

U nákladních vlaků, lze odvodit podobné závislosti, i když vzhledem k počtu změřených vlakových souprav a většímu rozptylu rychlostí jsou výsledky méně průkazné.

Přistoupíme-li obdobným způsobem k posouzení **příčných** vibrací, shledáme, že na pražci před rekonstrukcí byly naměřeny hodnoty dosahující **160 dB (100 ms⁻²)**. Tato velmi vysoká hodnota byla způsobena špatnou geometrickou polohou koleje a celkově špatným stavem svršku, jak lze ostatně před rekonstrukcí očekávat. Po rekonstrukci byly naměřeny hodnoty **125 dB (přibližně v řádu 1 ms⁻²)**. To je snížení téměř o dva řády a je nižší než svislé zrychlení což odpovídá běžně naměřeným hodnotám pro trať v dobrém technickém stavu.

Na kolíku 1 jsme zaznamenali po rekonstrukci snížení hladin vibrací o více než **5 dB** a na kolíku 2 jsou hladiny přibližně totožné kolem **100 dB**, po rekonstrukci lehce pod **100 dB**. Opakují, že tato hodnota je tak nízká, že se s ní není třeba zabývat.

Pro nákladní vlaky můžeme vysledovat stejné závislosti, jaké byly uvedeny pro svislé vibrace výše.

4. Celkové závěry

Závěrem je možno konstatovat, že výsledky měření hluku potvrzují předpoklad, že po rekonstrukci se kvalita svrškulepší natolik, že i přes zvýšení rychlostí nebudou hlukové emise vyzářené do okolí vyšší. Dále se jednoznačně potvrdilo, že hlukové emise jsou naopak podstatně nižší i přes zvýšení rychlostí, což je způsobeno vyšším počtem kvalitnějších vozů vybavených kotoučovou brzdou, které jsou ovšem jediné způsobilé provozu rychlostí do 160 km⁻¹. Z těchto výsledků lze tedy odvodit, že celková hluková zátěž na trati po modernizaci bude nižší.

Tyto závěry potvrzují výsledky měření v Hořanech i v Moravanech, i když výsledky měření v Moravanech jsou kontaminovány nedodržením podmínek měření vlivem okolností, které nebylo lze ovlivnit.

Výsledky měření vibrací ukázaly obrovské snížení vibrací, kterým je vystaven pražec. Pružné upevnění a podložky pod patou kolejnice se ukázaly jako velmi účinný absorbér vibrací vybuzenými systémem kolo-kolejnice. Snížení nákladů na údržbu a vibrační zátěže okolí je naprosto evidentní.

V Praze, srpen 2001

Lektoroval: Ing. Jiří Urbánek
GR ČD O28