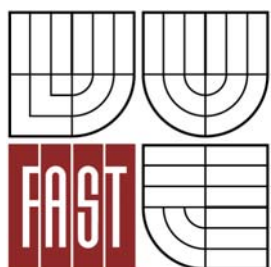




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV ŽELEZNIČNÍCH KONSTRUKCÍ A STAVEB

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF RAILWAY STRUCTURES AND CONSTRUCTIONS

# ANALÝZA AKUSTICKÝCH A VIBRAČNÍCH PARAMETRŮ OD ŽELEZNIČNÍ DOPRAVY

ANALYSIS OF ACOUSTIC AND VIBRATION PARAMETERS FROM RAIL TRANSPORT

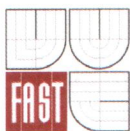
DIPLOMOVÁ PRÁCE  
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

BC. HANA TURČÍKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

prof. Ing. JAROSLAV SMUTNÝ, Ph.D.



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

**Studijní program** N3607 Stavební inženýrství  
**Typ studijního programu** Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia  
**Studijní obor** 3607T009 Konstrukce a dopravní stavby  
**Pracoviště** Ústav železničních konstrukcí a staveb

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

**Diplomant** Bc. HANA TURČÍKOVÁ

**Název** Analýza akustických a vibračních parametrů od železniční dopravy

**Vedoucí diplomové práce** prof. Ing. Jaroslav Smutný, Ph.D.

**Datum zadání diplomové práce** 31. 3. 2013

**Datum odevzdání diplomové práce** 17. 1. 2014

V Brně dne 31. 3. 2013

.....  
doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D.  
Vedoucí ústavu



.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## Podklady a literatura

- 1) MILÁČEK S.: Měření a vyhodnocování mechanických veličin. ČVUT Praha. 2001. ISBN 80 01 02417 2.
- 2) NOVÝ R.: Hluk a chvění. Vydavatelství ČVUT. Praha. 2000. 389 s. ISBN 80-01-02246-3.
- 3) MORAVČÍK M., MORAVČÍK M.: Mechanika železničních tratí. EDIS Žilina. 695 stran. ISBN 80-7100-983-0.
- 4) ESVELD C.: Modern Railway Track. Second Edition. Delft, MRT – Production, 2001, 2nd ed. 654 s. ISBN 90-800324-3-3.
- 5) RATISLAVOVÁ, E.: Analýza akusticko-vibračních parametrů kolejového roštu. Brno, 2012. 91 s., 184 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav železničních konstrukcí a staveb. Vedoucí práce prof. Ing. Jaroslav Smutný, Ph.D.

## Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Železniční doprava patří k významnému zdroji hluku a vibrací, který není v zásadě vázaný na pevné místo. Nepříznivý vliv železniční dopravy je pak zpravidla nejvíce hmatatelný v blízkosti hlavních železničních tahů. Diplomová práce bude zaměřena na provozní ověření vybraných úseků železničních tratí s různými konstrukcemi železničního svršku. Pro účely měření budou vybrána vhodná měřicí stanoviště ve směrových obloucích na koridorových tratích a bude navržena odpovídající metodika měření. Na základě všech provedených zkoušek budou stanoveny dynamické a akustické parametry testovaných konstrukcí. K vyhodnocení zkoušek bude zvolen vhodný matematický aparát. Předpokládá se využití matematických metod v časové a ve frekvenční oblasti. Součástí práce bude rovněž srovnání parametrů testovaných konstrukcí a doporučení pro praxi.

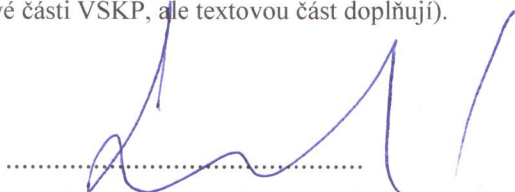
Doporučené přílohy:

- Rozbor současného stavu dané problematiky
- Návrh metodiky měření dynamických a akustických parametrů železniční trati
- Analýza naměřených dat v časové oblasti
- Analýza naměřených dat ve frekvenční oblasti
- Srovnání testovaných konstrukcí
- Závěry a doporučení

## Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

  
.....  
prof. Ing. Jaroslav Smutný, Ph.D.  
Vedoucí diplomové práce

**Abstrakt**

Diplomová práce je zaměřena na provozní ověřování vybraných železničních tratí s různými konstrukcemi železničního svršku. Pro účely měření byla vybrána vhodná měřicí stanoviště ve směrových obloucích na koridorových tratích a byla navržena odpovídající metodika měření. Na základě všech provedených zkoušek byly stanoveny dynamické a akustické parametry testovaných konstrukcí. K vyhodnocení zkoušek byly zvoleny matematické metody v časové a ve frekvenční oblasti. Součástí práce je rovněž srovnání parametrů testovaných konstrukcí a doporučení pro praxi.

**Klíčová slova**

Pružné upevnění kolejnic, Vossloh W14, Pandrol FC I, hluk, vibrace, časová analýza, frekvenční analýza

**Abstract**

This diploma thesis is focused on operational testing of selected railway lines with different structures of superstructure. For the measurement purposes suitable measuring sections in directional curves on the rail corridors were chosen and suitable measuring methodology was designed. Based on all the tests the dynamic and acoustic parameters of tested structures were determined. For the test evaluations suitable mathematic methods in both time and frequency zone was chosen. Part of my work is also to compare the parameters of the tested structures and to make recommendations for practise.

**Keywords**

Elastic rail fastening, Vossloh W14, Pandrol FC I, noise, vibration, time analysis, frequency analysis

## **Bibliografická citace VŠKP**

Bc. Hana Turčíková *Analýza akustických a vibračních parametrů od železniční dopravy*. Brno, 2014. 104 s., 192 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav železničních konstrukcí a staveb. Vedoucí práce prof. Ing. Jaroslav Smutný, Ph.D.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 17.1.2014

.....  
podpis autora  
Bc. Hana Turčíková

## PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala všem, kteří se svou činností podíleli na vzniku této diplomové práce, ať už se jednalo o přípravu měření či samotnou účast na něm, poskytnutí odborné literatury nebo cenné informace, jež vedly k uváženému výběru měřicích úseků. Zvláště bych chtěla velmi poděkovat zejména vedoucímu mé diplomové práce prof. Ing. Jaroslavu Smutnému, Ph.D., jež nese významný podíl na zdárném dokončení tohoto díla. Svou vstřícností, ochotou při konzultacích a odbornými znalostmi mi výrazně pomohl zvládnout veškerá úskalí týkající se této mezioborové a po všech stránkách poměrně náročné diplomové práce.

„Děkuji.“

Autor

## OBSAH

1. ÚVOD.....	5
2. CÍLE PRÁCE.....	7
3. ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU DANÉ PROBLEMATIKY.....	8
3.1 Kolejnice.....	8
3.2 Kolejnicové podpory.....	9
3.3 Kolejnicová upevnění.....	11
3.3.1 Historický vývoj kolejnicového upevnění.....	12
3.3.2 Kolejnicové upevnění v současnosti.....	15
3.3.3 Dnes používané systémy bezpodkladnicových upevnění.....	19
4. NÁVRH METODIKY MĚŘENÍ DYNAMICKÝCH A AKUSTICKÝCH PARAMETRŮ ŽELEZNIČNÍ TRATI.....	26
4.1 Stupeň dynamického útlumu trati.....	27
4.1.1 Situování zkušebního úseku.....	28
4.1.2 Postup měření TDR.....	28
4.1.3 Použitá měřicí technika.....	32
4.1.4 Vyhodnocení TDR.....	33
4.2 Akusticko-dynamické parametry trati.....	36
4.2.1 Umístění snímačů.....	36
4.2.2 Měřicí řetězec.....	42
4.2.3 Teorie analýzy signálu.....	44
5. VLASTNÍ MĚŘENÍ.....	48
5.1 Zásady měření.....	48
5.1.1 Zkušební místo.....	48
5.1.2 Klimatické podmínky.....	49
5.1.3 Měření teploty kolejnice.....	50



5.1.4 Časový interval měření .....	50
5.1.5 Hladina akustického tlaku pozadí .....	51
5.2 Měřicí kampaň Hranice na Moravě, upevnění Vossloh .....	52
5.3 Měřicí kampaň Napajedla, upevnění Pandrol .....	55
6. VYHODNOCENÍ AKUSTICKÝCH PARAMETRŮ .....	58
6.1 Analýza naměřených dat v časové oblasti.....	58
6.1.1 Hladina expozice průjezdu TEL osobních vlaků.....	59
6.1.2 Hladina expozice průjezdu TEL rychlíků a vlaků EuroCity .....	60
6.1.3 Hladina expozice průjezdu TEL nákladních vlaků.....	62
6.2 Analýza naměřených dat ve frekvenční oblasti.....	64
6.2.1 Třetinooktávová analýza hladin akustického tlaku od průjezdu osobních vlaků .....	64
6.2.2 Třetinooktávová analýza hladin akustického tlaku od průjezdu rychlíků a vlaků EuroCity .....	66
6.2.3 Třetinooktávová analýza hladin akustického tlaku od průjezdu nákladních vlaků .....	68
7. VYHODNOCENÍ DYNAMICKÝCH PARAMETRŮ .....	70
7.1 Analýza naměřených dat v časové oblasti.....	70
7.1.1 Efektivní hodnoty hladiny zrychlení vibrací od průjezdu osobních vlaků.....	70
7.1.2 Efektivní hodnoty hladiny zrychlení vibrací od průjezdu rychlíků a vlaků EuroCity .....	72
7.1.3 Efektivní hodnoty hladiny zrychlení vibrací od průjezdu nákladních vlaků.....	75
7.2 Analýza naměřených dat ve frekvenční oblasti.....	77
7.2.1 Frekvenční analýza osobních vlaků.....	77
7.2.2 Frekvenční analýza rychlíků a vlaků EuroCity .....	82
7.2.3 Frekvenční analýza nákladních vlaků.....	87
8. SROVNÁNÍ TESTOVANÝCH KONSTRUKCÍ.....	93

8.1 Výsledky akustických parametrů v časové oblasti .....	93
8.2 Výsledky akustických parametrů ve frekvenční oblasti .....	93
8.3 Výsledky dynamických parametrů v časové oblasti .....	94
8.4 Výsledky dynamických parametrů ve frekvenční oblasti .....	94
9. ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ.....	95
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	97
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....	100
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	102
SEZNAM TABULEK .....	104

## SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A	Fotodokumentace z měření .....	107
PŘÍLOHA B	Grafy TDR .....	119
PŘÍLOHA C	Třetinooktávová analýza průměrných hladin akustického tlaku.....	125
PŘÍLOHA C.1	Třetinooktávová analýza průměrných hladin akustického tlaku - Úsek s upevněním Vossloh W14 .....	127
PŘÍLOHA C.2	Třetinooktávová analýza průměrných hladin akustického tlaku - Úsek s upevněním Pandrol FC I.....	163
PŘÍLOHA D	Grafy akustické odezvy .....	193
PŘÍLOHA D.1	Grafy akustické odezvy - Úsek s upevněním Vossloh W14.....	195
PŘÍLOHA D.2	Grafy akustické odezvy - Úsek s upevněním Pandrol FC I.....	223
PŘÍLOHA E	Grafy dynamické odezvy - vibrace .....	245
PŘÍLOHA E.1	Grafy dynamické odezvy - vibrace - Úsek s upevněním Vossloh W14...247	
PŘÍLOHA E.2	Grafy dynamické odezvy - vibrace - Úsek s upevněním Pandrol FC I....275	

## 1. ÚVOD

Doprava je nepostradatelnou součástí našeho života a patří mezi nejdůležitější odvětví národního hospodářství. V rozvíjející se moderní společnosti představuje jednu ze základních hybných sil a její význam stále stoupá. Potřeba cestovat, snaha o vyšší konkurenceschopnost a zaměstnanost, zvětšování sortimentu výrobků, to vše vede k větší důležitosti dopravy. Společně se všemi přínosy se na druhé straně setkáváme s jejími negativními důsledky. Jedná se o nepříznivé vlivy na životní prostředí jako celku, ale i působení na zdraví obyvatel. Znečištění životního prostředí, dopravní nehody, vznikající hluk a vibrace představují externí náklady.

Železniční doprava, ať už osobní nebo nákladní, má na trhu nezastupitelnou pozici. Představuje nejvýznamnější konkurenci k dopravě silniční a letecké. Z hlediska životního prostředí má jasně navrch. Znečištění ovzduší a vody je mnohem menší než u dopravy silniční. Z hlediska množství dopravních nehod vychází železniční doprava jako bezpečnější alternativa. V České republice je hluk z železniční dopravy v porovnání s ostatními způsoby dopravy spíše okrajovým problémem. Také proto je železniční doprava považována za ekologickou. Zvyšující se potřeba přepravy osob i materiálu si však žádá vyšší rychlosti a intenzity dopravy. To s sebou nese právě problém hluku a vibrací. Hluk snižuje kvalitu života a můžeme jím klasifikovat každý nežádoucí zvuk. Závažnost emisí hluku a vibrací potvrzuje množství studií, které se v posledních letech na toto téma zaměřují. Ochrana životního prostředí je součástí životního stylu uvědomělého jedince a stává se sympatickým trendem moderní společnosti.

Nevýhoda hluku z dopravy oproti jiným zdrojům (jako jsou stacionární zdroje - např. výrobní procesy) spočívá v trvání. Hluk z dopravy trvá téměř nepřetržitě - po celý rok, celý den, popř. téměř celý den. Hluk z železniční dopravy je trochu složitější než ostatní zdroje (silniční doprava, letecká doprava, hluk z výroby). Při průjezdu vlaku rozeznáváme různé zdroje hluku, které nabývají důležitosti v závislosti na rychlosti vlaku. Při nízkých rychlostech (do 60 km/h) hraje nejdůležitější roli hluk od hnací jednotky. Další zdroj hluku je na styku kola a kolejnice. Dělíme ho na valivý, kvílivý a impaktní (narázový). Hluk valivý představuje většinou naprosto nejvýznamnější zdroj, a to při rychlostech 60 - 200 km/h. U rychlostí vyšších než 200 km/h pak dominuje hluk aerodynamický. Můžeme říci, že zatímco aerodynamický hluk a hluk od hnacího stroje je konstantní pro daný typ vlaku, hluk valivý je závislý na více faktorech. Kromě typu vlaku

závisí také na drsnosti povrchu kol a kolejnic. Proto je důležité udržovat stav kolejnic i kol v dobrém stavu.

Hluk v prostředí významným způsobem ovlivňuje zdraví obyvatel, a to jak fyzické, tak duševní. Podle Světové zdravotnické organizace WHO (World Health Organization) je zvýšená míra hluku druhou nejzávažnější příčinou ovlivňování lidského zdraví, hned za znečišťováním ovzduší. Mezi citlivé skupiny se řadí ženy, děti, starší a nemocné osoby. U těchto jedinců se negativní účinky hluku projevují už při nižších hladinách hluku. Nikoho asi nepřekvapí, že nadměrný hluk způsobuje potíže se sluchem. Objevují se poruchy spánku. Lidé trpí větší mírou stresu a s ním souvisejícími psychickými problémy (jako je podrážděnost nebo špatná koncentrace). Lékaři prokázali, že hluk způsobuje oslabení imunity. Osoby přebývající v hlučném prostředí jsou vystaveny většímu riziku kardiovaskulárních nemocí. Nadměrný hluk může být příčinou i vážných civilizačních chorob (např. cukrovka nebo hypertenze, tj. vysoký krevní tlak). Z medicínského hlediska by se proto negativní působení hluku nemělo zanedbávat. Více o negativních vlivech hluku na člověka se můžeme dočíst v odborné literatuře [1] a [2].

Základní limity pro venkovní hluk z železniční dopravy jsou v České republice dány zákonem. Povolené limitní hladiny hluku jsou rozděleny na jednotlivé denní doby. Vše posuzuje krajská hygienická stanice (dále jen KHS). Ta dohlíží na všechny projekty a prověřuje případné stížnosti. KHS je správní úřad zřízený na základě zákona č. 258/2000 Sb. - o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. [3]

## 2. CÍLE PRÁCE

Cílem této diplomové práce je analýza akustických a vibračních parametrů dvou různých konstrukcí železničního svršku. Analýza byla provedena na základě měření *in situ*. Konstrukce se od sebe liší typem kolejnicového upevnění. Pro účely měření byla vybrána dvě měřicí stanoviště ve směrových obloucích. Úkolem byla analýza chování kolejového roštu pod dynamickým zatížením od vlakových souprav na koridorových tratích.

Mezi cíle práce proto patří:

- Rozbor a porovnání konstrukcí železničního svršku s upevněním typu Vossloh W14 a Pandrol FC I na základě akustických veličin v časové a frekvenční oblasti
- Analýza dynamických parametrů v časové a frekvenční oblasti pomocí vibrodiagnostiky a na základě přenosu vibrací srovnat chování obou typů upevnění kolejnic; pro analýzu hluku a vibrací byla použita data z měření *in situ* na širé trati
- Zhodnocení zvolené metodiky měření, popř. návrh na její změny či vylepšení
- Doporučení pro praxi, tedy posouzení vhodnosti použití jednotlivých typů upevnění pro konstrukci tratě v oblouku, odvozené z výsledků analýzy

### 3. ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU DANÉ PROBLEMATIKY

Na železnicích v České republice (dále jen ČR) se setkáváme s klasickou konstrukcí železničního svršku (tj. s kolejovým ložem, na rozdíl od pevné jízdní dráhy) s kolejnicovými podporami ve formě příčných pražců. Příčné pražce jsou uloženy ve šterkovém loži. Kolejnice, kolejnicové pražce, upevňovadla a drobné kolejiwo tvoří celek zvaný kolejový rošt (kolejové pole).

Pro železniční dráhy v ČR je standardizován normální rozchod koleje 1435 mm (tzv. Stephensonův rozchod). Normální rozchod byl použit už před Stephensonem v 18. století na koněspřežných železnicích v Anglii. Stephenson byl jeho velkým zastáncem a propagátorem, proto později rozchod 1435 mm dostal pojmenování po něm. Tento rozchod mají v ČR všechny veřejné železniční tratě, jež nejsou součástí muzea, s výjimkou Jindřichohradeckých místních drah a železniční tratě č. 298 Třemešná ve Slezsku - Osoblaha. Tyto dvě tratě jsou úzkorozchodné, mají tzv. bosenský rozchod 760 mm. [4] Pro důlní, průmyslové, polní a lesní dráhy jsou v ČR dále normalizovány rozchody 600, 760, 900 a 1000 mm.

#### 3.1 KOLEJNICE

Hlavní úlohou kolejnic je vedení kolejových vozidel a zachycování a přenos všech sil, které na kolej působí. Jedná se o síly podélné (rozjezdové a brzděné), příčné (tzv. vodící, které působí při průjezdu vozidla obloukem) a v neposlední řadě síly svislé (kolové síly). Základním materiálem kolejnic je ocel, na tratích s větším zatížením to bývá ocel s příměsí dalších kovů, popř. polokovů (mangan, nikl, molybden, chrom, křemík aj.). Kvalita použitého materiálu je důležitá, protože únosnost železničního svršku je dána především únosností kolejnic.

Dnes se kolejnice svařují do tzv. bezстыkové koleje (dále jen BK). Touto myšlenkou se u nás začal zabývat již ve 30. letech 20. století prof. Ing. Dr. Josef Vaverka, DrSc. z VUT v Brně. První úsek BK byl u nás zřízen v roce 1954 a brzy poté tratě Československých drah (ČSD) zaujímaly jedno z prvních míst na světě, co se týká celkové délky BK.

Používají se širokopatní (Vignolovy) kolejnice. Nejčastějším typem je 49 E1 (dříve označovaná jako S 49). Na našich celostátních tratích je dalším běžným typem R 65.

Základním rozlišujícím parametrem je hmotnost jednoho metru kolejnice v kilogramech, tento číselný údaj je součástí označení typu kolejnice. Kolejnice R 65 tak váží 65 kg/bm.

Na železničních koridorech je kolejnice R 65 nahrazena typem 60 E1, resp. 60 E2 (liší se od sebe nepatrně ve tvaru hlavy, dříve označovaná UIC 60). UIC je zkratka francouzského Union Internationale des Chemins de Fer (Mezinárodní železniční unie). Měření probíhala ve dvou etapách; I. Etapa - Hranice na Moravě, II. Etapa - Napajedla. Oba úseky jsou součástí II. tranzitního železničního koridoru, Hranice na Moravě pak také III. železničního koridoru. Proto se v obou případech setkáváme právě s kolejnicemi typu UIC 60. Výška kolejnice tohoto typu je 172 mm, šířka paty 150 mm, šířka hlavy 72 mm, tloušťka stojiny 16,5 mm a hmotnost je 60,34 kg na 1 metr své délky. Kolejnice pro BK se dodávají v základních délkách 25, 36 a 75 m.

### **3.2 KOLEJNICOVÉ PODPORY**

Kolejnice se pomocí upevňovadel a drobného kolejiva uchycují na podpory. Těmi mohou být příčné, podélné nebo deskové pražce, betonová deska, rámová konstrukce nebo osamělá podpora. Kolejnicové podpory zajišťují požadovaný rozchod koleje a tuhost (stabilitu) kolejového roštu. Slouží také k přenášení zatížení z kolejnic do pražcového podloží. V ČR jsou na speciálních konstrukcích v mimořádných případech použity kolejnicové podpory v podobě podélných pražců nebo osamělých podpor. Zdaleka nejrozšířenějším typem podpor jsou však příčné pražce.

Příčné pražce dělíme z hlediska materiálu na dřevěné, betonové (z předpjatého železobetonu) a ocelové. Z těchto tří typů se začaly nejdříve používat dřevěné pražce. Jejich výhodou je nízká hmotnost, která snižuje náklady na přepravu a usnadňuje manipulaci. Dřevo představuje obnovitelný zdroj materiálu, což je jeho další předností. Velkým pozitivem je pružnost dřeva. Ze všech používaných materiálů je nejpružnější, proto je méně poškozováno vibracemi. Naproti tomu má ale použití dřevěných pražců mnoho nevýhod. Patří mezi ně: nedostatek kvalitního dřeva (používá se zejména bukové a dubové dřevo), krátká životnost, horší stabilita koleje, která je dána nižší hmotností. V neposlední řadě pak stojí za zmínku nutnost užití podkladnic, které zajistí potřebný úklon kolejnic a roznos sil. V současnosti se od používání dřevěných pražců upouští, své uplatnění však stále mají např. na tratích v poddolovaném území nebo ve výhybkách.



Alternativou k dřevěným pražcům se staly pražce ocelové. Ty se u nás vyskytují ve dvou tvarech. Starší mají tvar obráceného koryta. Novější typ využívaný hlavně na regionálních tratích představují ocelové pražce vidlicového tvaru „Y“, jež jsou specifické třemi kolejnicovými upevněními na pražci. Mezi přednosti ocelových pražců řadíme dlouhou životnost, plnou recyklovatelnost, vysoký podélný a příčný odpor, jednoduché upevnění kolejnic. Výhodou je jejich nízká hmotnost, a tedy snadná manipulace a nižší náklady na dopravu. Náklady se také snižují při stavbě užšího kolejového lože a zemního tělesa, neboť pražce „Y“ jsou kratší. Naopak cena samotných pražců je vyšší než u dřevěných nebo betonových. Další nevýhodou je jejich vodivost, která zvyšuje požadavky na odizolování úložné plochy ocelového pražce. Nesmíme také opomenout obtížnost podbíjení pražců.

Betonové pražce jsou dnes používány nejvíce. Přestože mají řadu nevýhod (nízká pružnost, vyšší hmotnost, jedná se o neobnovitelný zdroj materiálu, nelze je recyklovat a jsou náchylnější k mechanickému porušení a k účinkům příčných sil), pro svoje nesporné přednosti hrají nenahraditelnou úlohu v konstrukcích kolejového roštu. Mezi jejich klady patří dlouhá životnost, možnost bezpodkladnicového upevnění a především vyšší stabilita koleje. V obou našich měřených úsecích jsou kolejnice uloženy na betonových pražcích B91 S/1, jež jsou v současné době v ČR jedny z nejpoužívanějších typů. Z hlediska konstrukce kolejového roštu se tedy obě měřicí místa liší jen typem kolejnicového upevnění.

Podle předpisu SŽDC S3 Železniční svršek používáme pro bezстыkovou kolej u pražců, ať už dřevěných, betonových či ocelových, rozdělení „c“ = 675 mm a hustší. Dále existuje přísnější podmínka pro dřevěné a ocelové pražce v hlavních kolejích a v kolejích s otevřeným kolejovým ložem, a to rozdělení pražců „d“ = 610 mm a hustší. Více o kolejnicích a kolejnicových podporách se dočteme v předpisu SŽDC S3 Železniční svršek [5] a v literatuře [6].

### 3.3 KOLEJNICOVÁ UPEVNĚNÍ

Kolejnicové upevnění má několik zásadních funkcí. Primární funkcí je spojení kolejnic a kolejnicových podpor (pražců) v kolejový rošt. Dále zajišťuje předepsaný rozchod koleje a příčný úklon kolejnice. Upevnění má být dostatečně tuhé, zároveň však pružné, aby tlumilo dynamické namáhání kolejového roštu. Silové zatížení pak přenáší do podpor a dále do podloží. Žádaná je jednoduchost, životnost a snadná údržba během používání. Existují také typy upevnění, které po montáži nevyžadují žádnou údržbu, tzv. „Fit and Forget“ (např. Fastclip od britské firmy Pandrol).

Volba systému kolejnicového upevnění přímo ovlivňuje bezpečnost železničního provozu a kvalitu jízdy vozidel.

Systém upevnění se skládá z upevňovadel a drobného kolejiva. Mezi upevňovadla patří: šrouby, hřeby (dnes už v ČR používané jen u historických tratí), svěrky, spony, vrtule, pružné, zajišťovací a distanční kroužky aj. Drobné kolejivo tvoří: podkladnice, spojky, podložky (pryžové nebo polyetylenové) aj.

Jednotlivé typy kolejnicových upevnění rozdělujeme podle tří kritérií:

- a) Podle počtu spojovacích prvků ..... přímé × nepřímé
- b) Podle podkladnic ..... podkladnicové × bezpodkladnicové
- c) Podle typu svěrky nebo spony ..... tuhé × pružné

Upevnění kolejnice k pražci					
přímé				nepřímé	
podkladnicové		bezpodkladnicové		podkladnicové	
tuhé	pružné	tuhé	pružné	tuhé	pružné

Tab. 3.1 Rozdělení upevnění kolejnic dle typu konstrukce

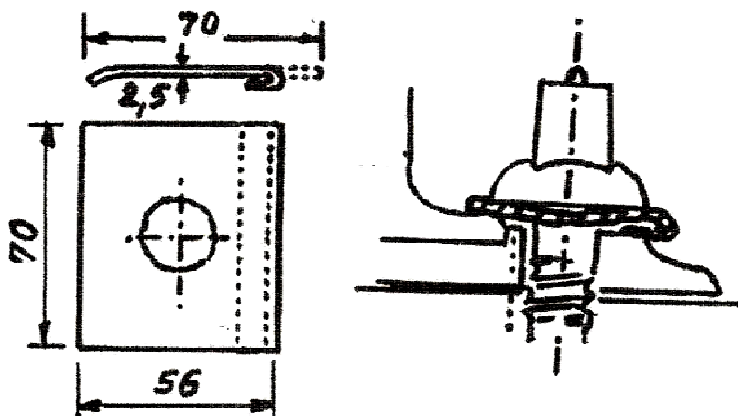
Ad a) Přímé upevnění znamená, že jsou kolejnice (popř. kolejnice s podkladnicemi) uchyceny přímo k pražci, a to jedním systémem upevňovadel. Naproti tomu nepřímé upevnění představuje složitější celek. Jednou soustavou upevňovadel jsou spojeny kolejnice s podkladnicí a dalším systémem jsou upevněny podkladnice k podpoře.

Ad b) Kolejnice se na pražce upevňují buď pomocí podkladnice, tzv. podkladnicové upevnění, nebo přímo, v tom případě se jedná o upevnění bezpodkladnicové. Přínosem podkladnic je roznos napětí od účinků dopravy na větší

plochu. Svislá pružnost koleje je zajišťována pomocí podložek z pryže nebo plastu. Tyto podložky vkládáme u podkladnicových upevnění mezi patu kolejnice a podkladnici a dále mezi podkladnici a pražec. U bezpodkladnicového systému je pak podložka přímo mezi kolejnicí a pražcem.

Ad c) Podle druhu upevňovačů - tzn. podle typu svěrky, spony nebo hřebu - dělíme upevnění kolejnic na tuhé a pružné. U pružného upevnění je pata kolejnice trvale přitlačována pružným prvkem, i při namáhání za průjezdu vlaku. Hřeb, svěrka nebo spona bývá různých tvarů, z oceli různého zhotovení a je možné použít více způsobů uchycení.

První pružné upevnění u nás vynalezl prof. Ing. Emil Mašík z VUT v Brně. Tzv. Mašíkovo pružné pero proti putování nebo Mašíkův plíšek byl patentován v roce 1910 v tehdejší Rakousko-Uhersku. Od toho roku byl k upevnění kolejnic používán rakouskými i některými jinými zahraničními dráhami. Patu kolejnice přitlačoval silou 3 až 4 kN. Tento prototyp dnešních pružných svěrek se vyráběl z ocelového plechu tloušťky 2,5 mm, jeho další rozměry jsou patrné z obrázku č. 3.1.



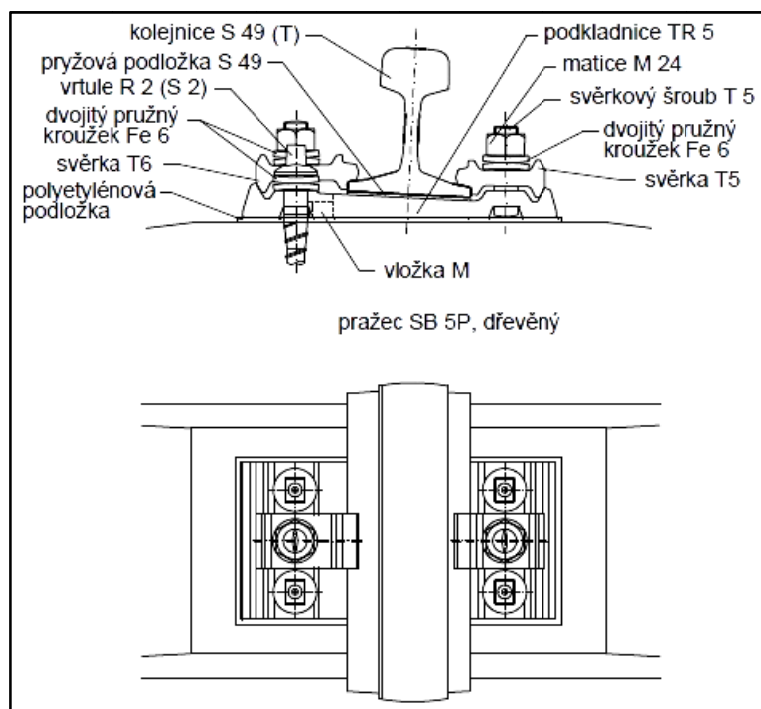
Obr. 3.1 Mašíkův plíšek (Mašíkovo pružné pero proti putování) [7]

### 3.3.1 HISTORICKÝ VÝVOJ KOLEJNICOVÉHO UPEVNĚNÍ

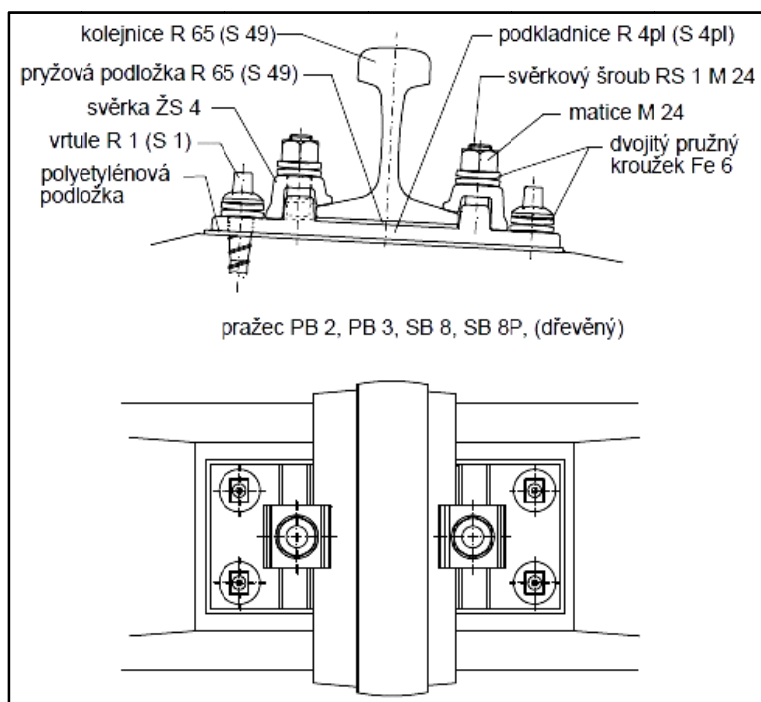
Trvalý vývoj upevnění kolejnic navazuje na vývoj příčných pražců a kolejnic. Jedno z nejstarších upevnění bylo pomocí hřebů, ty se používaly celé 19. století až do začátku století dvacátého. Tento již historický způsob upevnění byl sice levný, byla však zapotřebí velká síla k jejich zatloukání. Hřeby proto nahradily šrouby, jejichž cena je sice vyšší, ale ve srovnání s hřebem lépe drží. Jejich montáž je dnes z velké části automatizovaná.

Starší přímé upevnění bylo postupně doplňováno upevněním nepřímým. Od roku 1950 byla zavedena rozponová podkladnice T 5, užívaná jednotně pro upevnění dřevěných pražců na kolejnice A a T. Nepřetržitý vývoj betonových pražců nastává od poloviny 50. let. S uvedením pražců SB 3 (od roku 1962) a VÚS 62 (od 1965) vznikla podkladnice T 8. V roce 1967 se začal používat pražec SB 5 s rozponovou podkladnicí TR 5 (pro upevnění kolejnic S 49, dnes označovaných jako 49 E1, a R 65).

Rozponové podkladnice T 5, T 8 a TR 5 však měly řadu nedostatků, mezi něž patřila: velká lomovitost, obtížná údržba rozchodu a směru koleje. Proto se později začaly používat žebrové podkladnice S 4 a R 4. Upevňovaly kolejnice typu S 49 (49 E1) nebo R 65 k pražci SB 6 (vyráběnému od roku 1971). O tři roky později se začaly vyrábět pražce typu PB 2. Tento pražec má již ukloněné úložné plochy a podkladnice jsou ploché. Součástí upevnění jsou polyetylenové (PE) vložky a čtyři vrtule zatočené do polyamidových (PA) vložek.



Obr. 3.2 Upevnění nepřímé, podkladnicové, tuhé; rozponové podkladnice tvaru TR 5, svěrky T 5 a T 6; dnes již nepoužívaný typ kolejnicového upevnění



Obr. 3.3 Upevnění nepřímé, podkladnicové, tuhé; žebrové podkladnice tvaru R 4pl nebo S 4pl, svěrky ŽS 4; příklad stále používaného typu upevnění (K)

Přehled starších typů upevnění, které můžeme v ČR stále nalézt, je uveden v následující tabulce (Tab. 3.2). V tabulce jsou uvedeny celé sestavy konstrukce, včetně použitých typů kolejnic a pražců.

Kolejnice	Pražec	Podkladnice
R 65	dřevěné nebo betonové SB 6	žebrové R 4
S 49	dřevěné nebo betonové SB 6	žebrové S 4
R 65	betonové PB 2; PB 3; SB 8; SB 8P	žebrové R 4pl (ploché)
S 49	betonové PB 2; PB 3; SB 8; SB 8P	žebrové S 4pl
R 65; S 49; T	dřevěné nebo betonové SB 5	rozponové TR 5
S 49; T	betonové SB 3; SB 4; VÚS 62; Dosta T 8	rozponové T 8
S 49; T	betonové SB 3; SB 4; VÚS 62; Dosta T 8	žebrové ŽT

Tab. 3.2 Stávající starší typy upevnění

### **3.3.2 KOLEJNICOVÉ UPEVNĚNÍ V SOUČASNOSTI**

Zmíněné betonové pražce SB 3, VÚS 62, SB 5, SB 6 a PB 2 představují dnes již zastaralé typy a v současnosti se u nás už nově nepoužívají. Od začátku 90. let 20. století se u nás postupně začaly rekonstruovat významné tratě tehdejších ČSD, později ČD. Důraz byl kladen především na tzv. tranzitní železniční koridory, které byly považovány za prioritní plán dopravní politiky. Při řešení tranzitních koridorů je mimořádná snaha zvyšovat jízdní rychlosti a umožňovat tím zapojení tratí do evropské železniční sítě. Proto je důležitá pružnost svěrek/spon, jež je potřebná právě pro umožnění zvyšování rychlosti. Pružné upevnění může být jak podkladnicového typu, tak bezpodkladnicové. Pro řešení s podkladnicí se u nás používá hlavně pružná svěrka Skl 12 při použití klasické žebrové podkladnice.

V 90. letech se rozmohl trend v používání bezpodkladnicového pružného upevnění. Od roku 1992 se na koridorech kolejnice UIC 60 (dnes 60 E1, 60 E2) začala ukládat na pražcích B 91/1 z předpjatého betonu (dnes B 91S/1, sloužící pro upevnění W14 Vossloh). O tři roky později vznikla verze pražce pro upevnění typu FC I (Fastclip Pandrol). Pražec nese označení B 91P a upevnění se používá pro stejné typy kolejnic. V roce 1999 se začala používat poslední varianta tohoto betonového pražce, a to pro uchycení kolejnic S 49 (dnes 49 E1) pomocí systému W14 německé firmy Vossloh. Jedná se o pražec B 91S/2. Úložná plocha všech tří variant tohoto pražce je upravena v úklonu 1:40. Pražec má délku 2,60 m a váží 320 kg. Kolejnice se upevňují pružnými svěrkami Skl 14 (pro upevnění typu W14) nebo pružnými sponami Fastclip (pro upevnění Pandrol). Svěrky řady Skl (ať už Skl 14, nebo dříve zmíněná Skl 12) jsou kombinované s vrtulí. Naproti tomu Fastclip je bez vrtule, po montáži není nutná žádná údržba po celou dobu životnosti upevnění. Náklady na údržbu jsou tak v podstatě nulové. Snižování tuhosti upevnění kolejnic pomocí pružného upevnění umožňuje pokles namáhání vlivem pojezdu vlaků. Pružné svěrky nebo spony mají schopnost udržet přítlačnou sílu mnohem déle, tím se snižují nároky na údržbu upevnění.

V současnosti se u nás běžně používají následující typy upevnění:

- Přímé bezpodkladnicové pružné upevnění:
  - Vossloh W14
  - Pandrol Fastclip bez zajištění druhotné tuhosti (FC I)
  - Pandrol Fastclip se zajištěním druhotné tuhosti (FC II)
- Nepřímé podkladnicové pružné upevnění:
  - Upevnění se svěrkami Skl 12 (KS)\*
  - Pandrol e-CLIP - se sponami „e“ s adaptérem (Ke)
- Nepřímé podkladnicové tuhé upevnění:
  - Upevnění se svěrkami ŽS 4 (K)

\* U svěrek Skl 12 používaných pro upevnění KS byla zaznamenána vysoká lámavost, proto se začalo uvažovat o novějším typu Skl 24 od německé firmy Vossloh. V testování na zkušebním úseku uspěly, proto v současnosti dochází k přechodu ze svěrek Skl 12 na Skl 24.

Zvláštní kapitolu představují ocelové pražce vidlicového tvaru „Y“. Díky svému provedení z oceli je možné na ně upevnění kolejnic přímo přivařit. Používá se přímé upevnění S 15. Uzel upevnění je uprostřed mezi dvěma nosníky „I“ profilu. Upevnění se provádí pomocí pružných svěrek Skl 14 a vrtulí s podložkou Uls 7. Výhodou je, že jsou pražce dodávány s kompletně předmontovaným upevněním, jež je sestaveno do předmontážní polohy. Je možno tak ušetřit čas montáže i finance. Ocelové pražce se však vyznačují jistou nedokonalostí, která je způsobena přivařováním upevnění přímo k pražci. To znamená bezpečnostní riziko. Pro dokonalou funkci zabezpečovacího zařízení, které pracuje na principu elektrických kolejových obvodů, má být v trati spolehlivě zajištěna elektrická izolace kolejnicových pásů vůči podporám. Problematické zajištění tohoto elektrického oddělení proto představuje hlavní příčinu velkého nedostatku ocelových pražců, co se týče upevnění. Dalším nedostatkem ocelových pražců je koroze, vznikající především v oblasti upevnění ke kolejnici.

Pro mosty se většinou používá stejného kolejnicového upevnění jako v přilehlých traťových úsecích. Totéž platí pro upevnění kolejnic ve výhybkách. V nich se stále upřednostňuje podkladnicový systém.

Níže uvedená tabulka (Tab. 3.3) ukazuje všechny nové typy konstrukce kolejového roštu, které se u nás zřizují.

Č.	Kolejnice	Pražce	Podkladnice	Svěrky	Typ
1.	60 E1; 60 E2 49 E1	dřevěné	žebrové R 4 žebrové S 4	tuhé ŽS 4	K
2.	60 E1; 60 E2 49 E1	betonové SB 8P	žebrové U 60 žebrové S 4pl	tuhé ŽS 4	K
3.	60 E1; 60 E2 49 E1	dřevěné	žebrové R 4 žebrové S 4	pružné Skl 12	KS
4.	60 E1; 60 E2 49 E1	betonové SB 8P	žebrové U 60 žebrové S 4pl	pružné Skl 12	KS
5.	60 E1; 60 E2 49 E1	betonové SB 8P	žebrové U 60d žebrové S 4pld	tuhé ŽS 4, distanční kroužky, penefolové podložky	Kd
6.	60 E1; 60 E2 49 E1	betonové SB 8P	žebrové U 60d žebrové S 4	pružné Skl 12, distanční kroužky, penefolové podložky	KSd
7.	60 E1; 60 E2 60 E1; 60 E2 49 E1	betonové B 91S/1 betonové B 91P betonové B 91S/2	— — —	pružné Skl 14 pružné spony Fastclip pružné Skl 14	W14 FC I W14
8.	60 E1; 60 E2 49 E1	dřevěné	žebrové R 4 žebrové S 4	pružné Pandrol „e“ s adaptérem	Ke
9.	60 E1; 60 E2 49 E1	betonové SB 8P	žebrové U žebrové S 4pl	pružné Pandrol „e“ s adaptérem	Ke
10.	60 E1; 60 E2 49 E1	betonové SB 8P	žebrové U 60d žebrové S 4pld	pružné Pandrol „e“ s adaptérem, distanční kroužky, penefolové podl.	Ked

Tab. 3.3 Přehled sestav nově zřizovaných typů



V následující tabulce (Tab. 3.4) nalezneme rozdělení typů konstrukcí dle použitého materiálu. Typ konstrukce závisí na druhu koleje, železniční trati a jejím provozním zatížení. Vysvětlení pojmu „vybrané tratě“ obsahuje směrnice GŘ SŽDC č. 16/2005 „Zásady modernizace a optimalizace vybrané železniční sítě České republiky“.

Druh koleje	Kolejnice	Pražce		Úklon úložné plochy (kolejnic)	Typ upevn.	Rozd. pražců	
		Druh	Délka [m]				
průběžné traťové a hlavní staniční koleje na vybraných tratích	60 E1 60 E2	beton	2,6	1:40	W14 FC	u	
	49 E1	beton	2,4-2,6	1:40	W14	c u	
průběžné traťové a hlavní staniční koleje na ostatních tratích (mimo vybrané tratě)	49 E1	Y	2,3	1:40 1:20	S 15	l k	
	užitý a regenerovaný materiál soustavy UIC 60, R 65 nebo S 49 s upevněním KS, Ke, K, W14 nebo FC					c u	
předjízdne koleje na vybraných tratích s provoz. (výsledné provozní) zatížením v hlavních kolejích	větším než 29 mil. hrt/rok	60 E1 60 E2	beton	2,6	1:40	W14 FC	u
		užitý a regenerovaný materiál soustavy UIC 60 nebo R 65 s upevněním K, KS, Ke, W14 nebo FC					d u
	menším než 29 mil. hrt/rok	49 E1	beton	2,4-2,6	1:40 1:20	W14 KS K	c u
		užitý a regenerovaný materiál soustavy UIC 60, R 65 nebo S 49 s upevněním KS, K, W14 nebo FC					c d u
staniční koleje	v zarážkových oblastech	49 E1	tvrdé dřevo	2,6	1:20	KS K	u
	ostatní	49 E1	beton	2,4-2,6	1:40 1:20	W14 KS K	b c d
		49 E1	Y	2,3	1:40 1:20	S 15	k
		užitý a regenerovaný materiál soustavy S 49 s upevněním KS, K nebo W14					b c

Tab. 3.4 Použití materiálu na tratích ČD

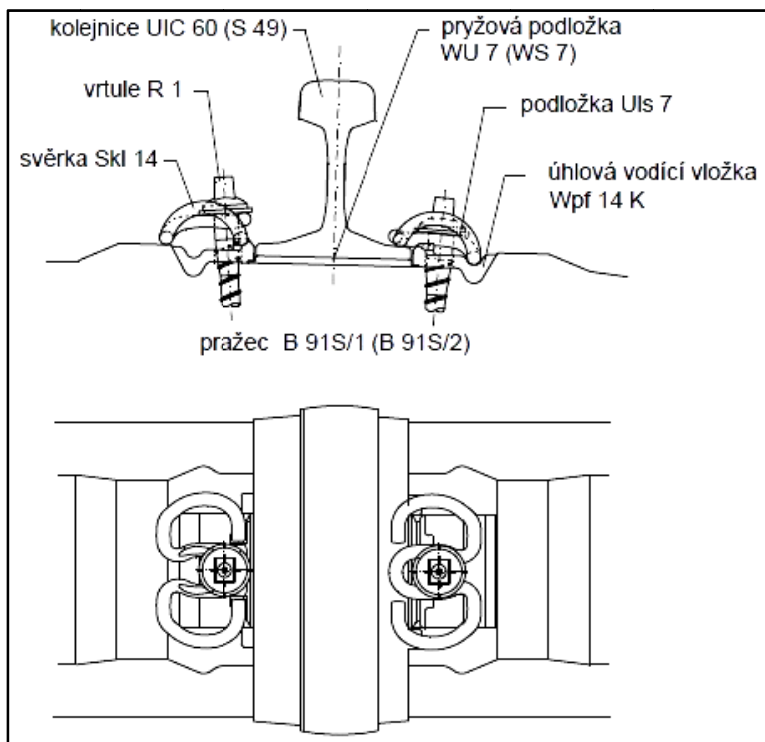
### **3.3.3 DNES POUŽÍVANÉ SYSTÉMY BEZPODKLADNICOVÝCH UPEVNĚNÍ**

#### **Vossloh - W14**

Systém W14 od firmy Vossloh představuje zástupce přímého, pružného upevnění. Nominální svěrná síla je asi  $2 \times 12$  kN při zdvihu svěrky do 13 mm. Předpokladem jsou kmitání paty kolejnice o amplitudě až 2 mm. Kolejnice 60 E1 nebo 60 E2 jsou spojeny s železobetonovými pražci typu B 91S/1, jež jsou používány od roku 1992. V roce 1999 se stejné upevnění začalo aplikovat i na kolejnice 49 E1, a to na podobné pražce B 91S/2. Úložná poloha obou pražců je v úklonu 1:40. Výškovou polohu kolejnice můžeme regulovat pomocí výškově regulačních podložek.

Kolejnice jsou uloženy na pryžových podložkách WU 7, popř. WS 7, umístěných na úložné ploše pražce a upevněny pružnými svěrkami Skl 14. Svěrky jsou smontovány vrtulemi R 1 o rozměrech  $\varnothing 24$  mm  $\times$  145 mm. Ukotveny jsou ve vyměnitelných umělohmotných hmoždinkách. Umístění vrtule je v tzv. „nosu“ svěrky - středním ramenu, které působí jako ochrana proti překlopení nebo nadzvednutí kolejnice. Zajišťuje tímto druhotnou tuhost upevnění. Všechna tři ramena svěrky Skl 14 - střední rameno a dvě ramena vnější - jsou přitlačena na patu kolejnice. Mezi příslušenství upevnění W14 patří boční úhlové vodicí vložky Wpf 14 K. Jsou instalovány pod svěrkami z důvodu zamezení přílišného namáhání pryžových podložek a nadměrného vyklápění kolejnice. Pata kolejnice je tak fixována ve správné poloze a úhlové vložky přenášejí síly z kolejnice do podpory. Materiál úhlových vodicích vložek je polyamid. Tyto úhlové vložky jsou opatřeny vodicí lištou, která v montážní poloze zasahuje pod patu kolejnice. Součástí upevnění lze blíže vidět na Obr. 3.4. Levá část obrázku znázorňuje systém v předmontážní poloze, vpravo pak vidíme pracovní polohu.

Rozšíření rozchodu koleje je nutno zřídit pro směrové oblouky o malých poloměrech ( $R < 275$  m). Potřebné rozšíření je odstupňováno po 2,5 mm, tzn.: -10; -7,5; -5; -2,5; 0; +2,5; +5; +7,5 a +10 mm. Změna rozchodu se provádí pomocí výměny plastových vložek.



Obr. 3.4 Vossloh W14, s pružnými svěrkami Skl 14; upevnění přímé, bezpodkladnicové, pružné



Obr. 3.5 Vossloh W14, s pružnými svěrkami Skl 14; upevnění přímé, bezpodkladnicové, pružné

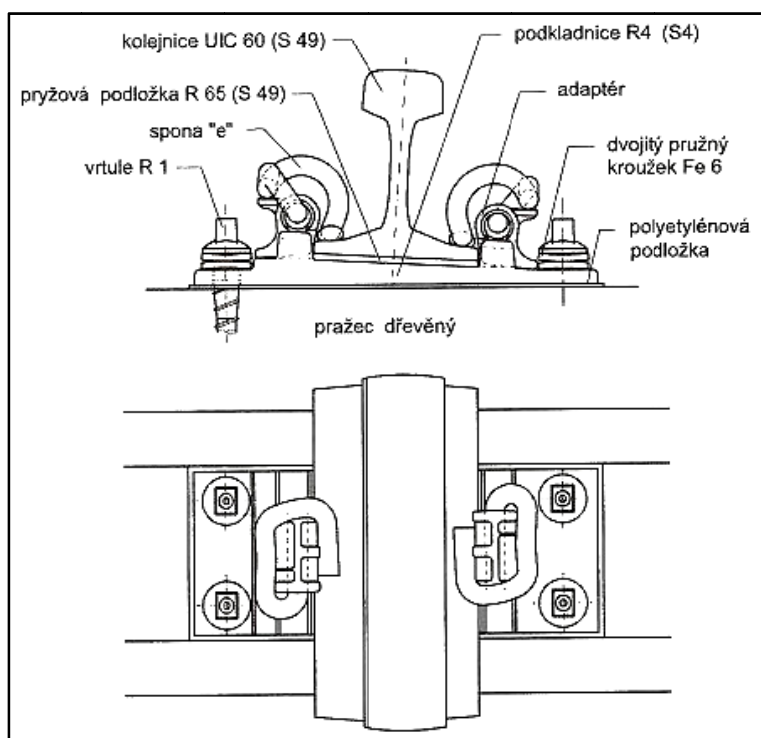
## **Pandrol - Fastclip (FC I a FC II)**

Stejně tak jako Vossloh W 14, i systémy FC I a FC II jsou zástupci přímého, pružného upevnění. Fastclip britské firmy Pandrol byl uveden jako nástupce pružného upevnění e-CLIP od stejné firmy s cílem překonat některá z omezení pružné spony „e“ s adaptérem (upevnění Ke). Fastclip se vyrábí také ve variantě FC II zaručující druhotnou tuhost upevnění. Do pražců jsou zabudovány přímo ve výrobně pražců. Jejich nedostatkem je však neekologičnost. Recyklace těchto upevnění je složitá, je nutno použít speciální vrtný prostředek a epoxidový tmel.

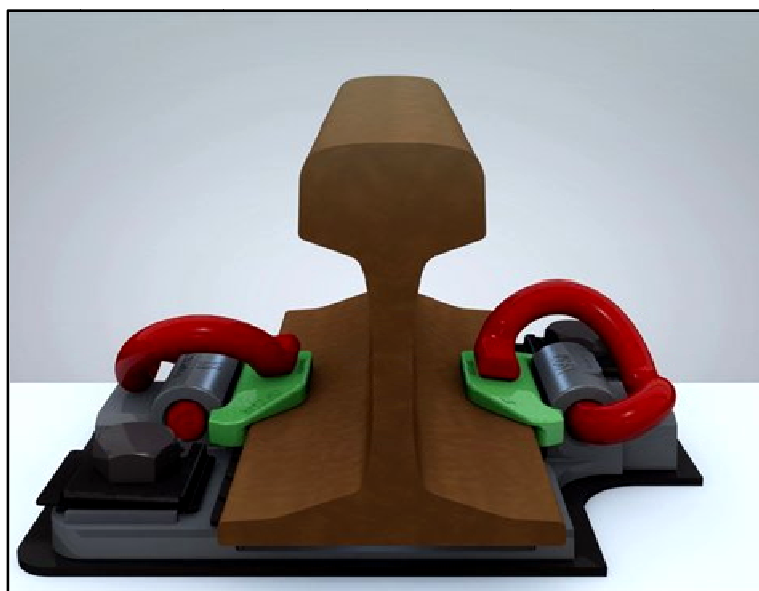
Pro upevnění FC I (popř. FC II) byl vyvinut pražec B 91P, z předpjatého betonu. Jeho úložná plocha je v úklonu 1:40. Kolejnice tvaru 60 E1 nebo 60 E2 jsou uloženy na pryžových podložkách tloušťky 11,5 mm. Podložky jsou tvarově specifické; v podélném směru (tedy souběžně s osou koleje) jsou rozděleny na několik dílů, které jsou samostatně stlačitelné. Tím je dosaženo ještě propracovanější svislé pružnosti. Spojení funguje pomocí pružných spon, které se z předmontážní polohy do polohy pracovní dostanou nasunutím ve směru kolmém na osu koleje. Je-li mezera mezi kolejnicí a příčným pražcem větší než 6 mm, spojení nelze provést, je proto nutné pražec nadzvednout. Na střední část spony, tzv. palec, se navléká plastový izolátor. Uchytení spony k pražci je řešeno pomocí pražcových kotev. Kotva je vybavena bočními plastovými vložkami, které mají za úkol vymezovat polohu kolejnice v uzlu upevnění.

Pro případy malých poloměrů směrových oblouků je rovněž u upevnění Fastclip umožněno v omezené míře ovlivňovat rozšíření rozchodu koleje. Odstupňování je po 2 mm, tedy -4; -2; 0; +2 a +4 mm. Změna rozchodu se provádí pomocí záměny bočních plastových vložek kotvy.

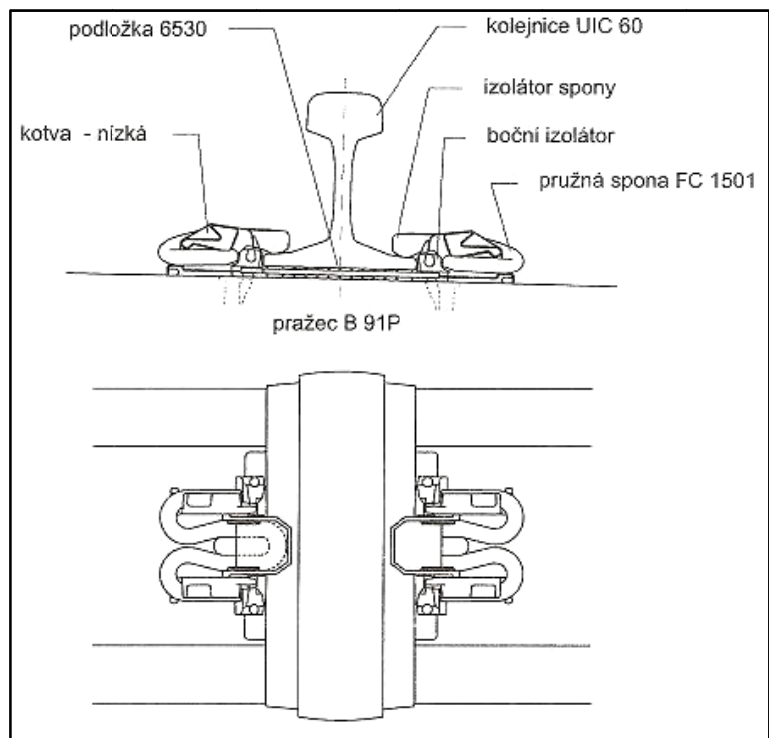
Jednoznačná přednost obou popsaných bezpodkladnicových upevnění je jejich snadná a relativně rychlá montáž. Všechny komponenty jsou předmontovány společně s výrobou pražců. Na stavenišťe tudíž přepravujeme již kompletní sestavu a je nutné už ji jen převést z předmontážní (přepravní) pozice do polohy pracovní.



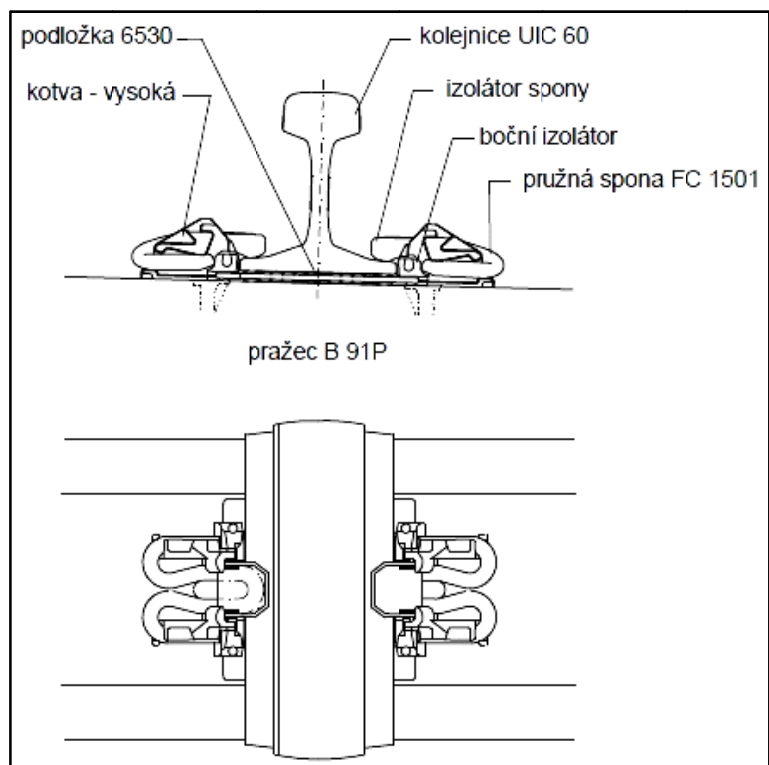
Obr. 3.6 Pandrol e-CLIP, s pružnými sponami „e“ s adaptéry (Ke), žebrové podkladnice R 4 nebo S 4; upevnění nepřímé, podkladnicové, pružné



Obr. 3.7 Pandrol e-CLIP, s pružnými sponami „e“ s adaptéry (Ke), žebrové podkladnice R 4 nebo S 4; upevnění nepřímé, podkladnicové, pružné

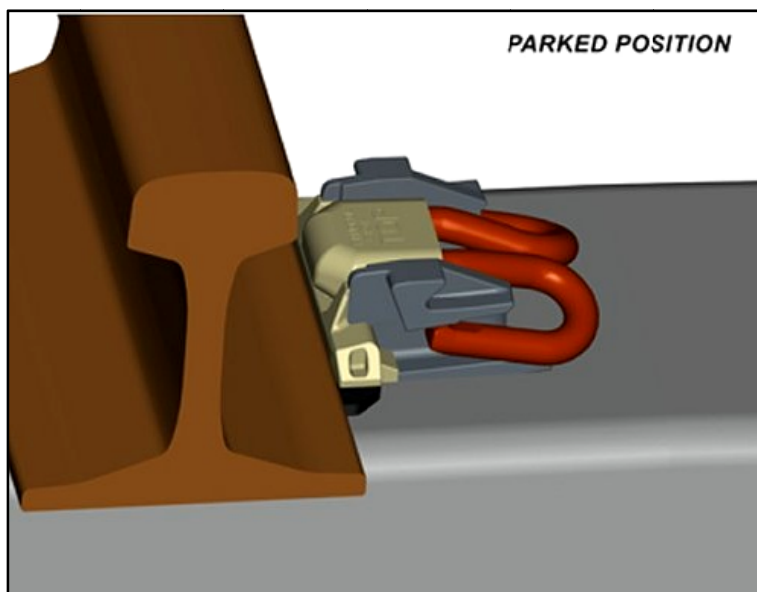


*Obr. 3.8 Pandrol Fastclip (FC I), s pružnými sponami Fastclip 1501 bez zajištění druhotné tuhosti; upevnění přímé, bezpodkladnicové, pružné*



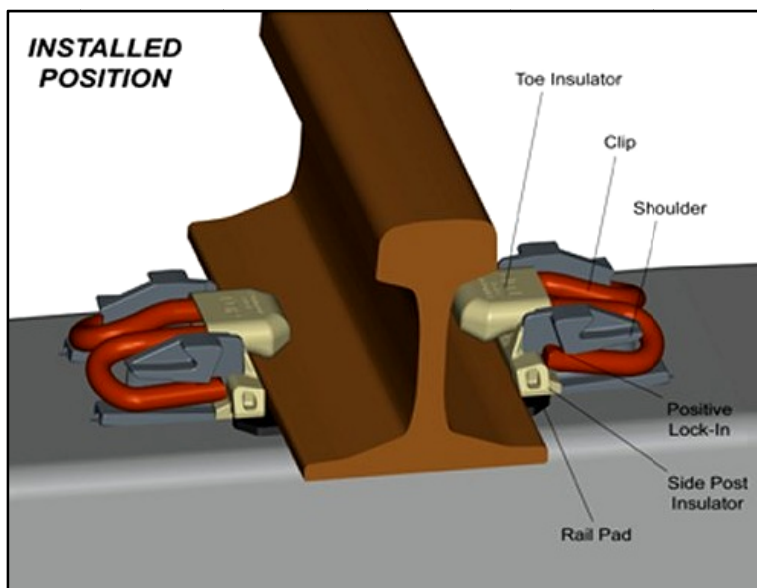
*Obr. 3.9 Pandrol Fastclip (FC II), s pružnými sponami Fastclip 1501 se zajištěním druhotné tuhosti; upevnění přímé, bezpodkladnicové, pružné*

## 1. PŘEDMONTÁŽNÍ POLOHA



Obr. 3.10 Pandrol Fastclip, s pružnými sponami Fastclip 1501; upevnění přímé, bezpodkladnicové, pružné [19]

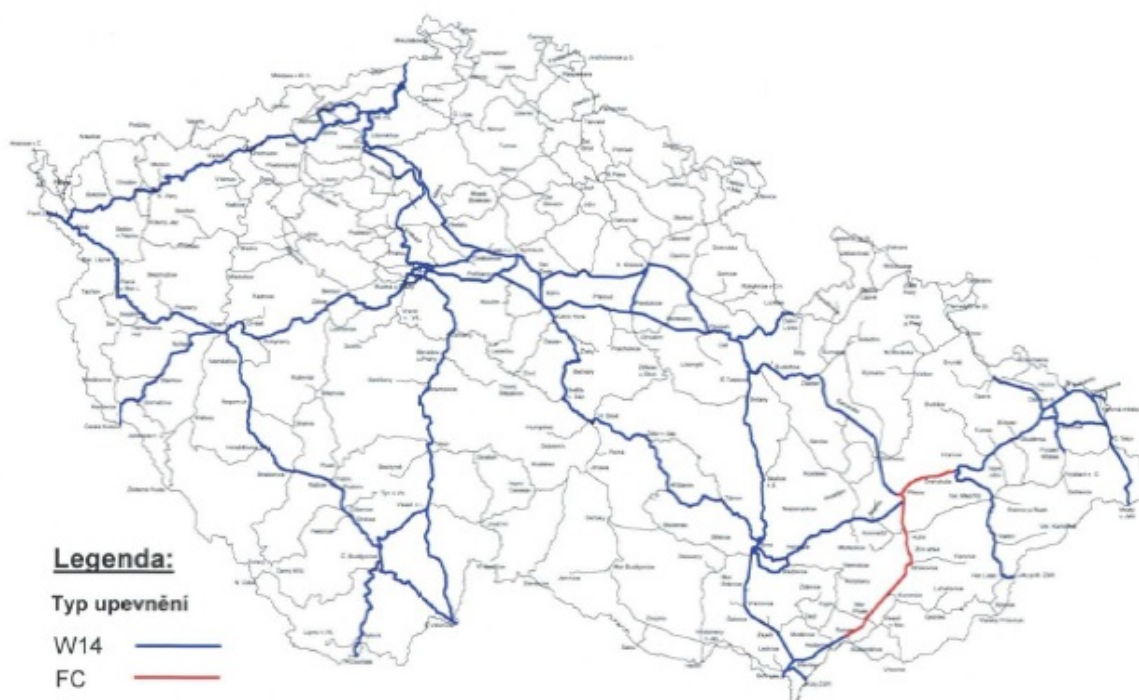
## 2. PRACOVNÍ POLOHA



Obr. 3.11 Pandrol Fastclip, s pružnými sponami Fastclip 1501; upevnění přímé, bezpodkladnicové, pružné [19]

Systemy upevnění W 14 a FC I jsou v České republice použity především na celostátních drahách, jež jsou dnes zařazeny do evropské železniční sítě. Mapa zobrazuje, na kterých tratích je použito upevnění W 14 a kde najdeme Pandrol FC I (Obr. 3.12). Lze snadno vidět, že systém W 14 s přehledem převažuje. Upevnění od firmy Pandrol se v současnosti nachází jen na části II. železničního koridoru a v krátkém zkušebním úseku I. TŽK u Bílovic nad Svitavou.

Pro účely této diplomové práce probíhala měření v úsecích, jež jsou součástí II. nebo III. tranzitního železničního koridoru a je na nich použito právě bezpodkladnicové upevnění. V Hranicích na Moravě je upevnění Vossloh W14, v Napajedlech Pandrol Fastclip.



*Obr. 3.12 Koncepce používání jednotlivých typů upevnění kolejnic [20]*

Více o systémech upevnění se dočteme v předpisu SŽDC S3 Železniční svršek [5] a v literatuře [6], [7], [8] a [9].



## 4. NÁVRH METODIKY MĚŘENÍ DYNAMICKÝCH A AKUSTICKÝCH PARAMETRŮ ŽELEZNIČNÍ TRATI

Tato diplomová práce je zaměřena na provozní ověřování vybraných železničních tratí s různými konstrukcemi železničního svršku. Součástí práce je experimentální měření akusticko-vibračních parametrů konstrukce *in situ*, v závislosti na způsobu upevnění kolejnic k pražcům. Pro účely měření byla vybrána vhodná měřicí stanoviště ve směrových obloucích na II. koridorové trati.

Metodika měření byla navržena na základě odborných znalostí vedoucího mé diplomové práce, prof. Ing. Jaroslava Smutného, Ph.D. Podmínky měření akustické odezvy ze stacionárních stanovišť v terénu a kompletní postup měření jsou popsány v české technické normě [10]. Při měření akustických parametrů jsem vycházela z doporučení této normy.

Posuzovány jsou dva typy upevnění, Vossloh W 14 a Pandrol FC I. Měření probíhala za plného provozu. V závislosti na pojezdu konkrétních kolejových vozidel byly zjišťovány akustické a dynamické odezvy na obou testovaných konstrukcích železničního svršku. Soustřeďuji se především na odezvy na pražci, spodní hraně kolejového lože a přilehlé okolí, do vzdálenosti 7,5 m od osy koleje.

Tzv. vibrodiagnostika, tedy měření zrychlení vibrací, představuje nejvhodnější metodu pro přímé zjištění dynamických účinků na konstrukci. Z pohledu dynamického chování kolejového roštu byly při našem měření zjišťovány i posuny kolejnice a pražce. Analýza posunů je však součástí jiné diplomové práce. Měření hluku pomocí mikrofonů zajišťuje získání akustických parametrů dané trati. Součástí vyhodnocení je i porovnání rozdílů odezev z jednotlivých snímačů na vnitřní straně směrového oblouku a na straně vnější.

K vyhodnocení zkoušek je nutno zvolit vhodný matematický aparát. V mé diplomové práci jsem využila matematických metod v časové a ve frekvenční oblasti. Výsledky poslouží k navázání na trvající analýzu jednotlivých komponentů různých konstrukcí železničního svršku.

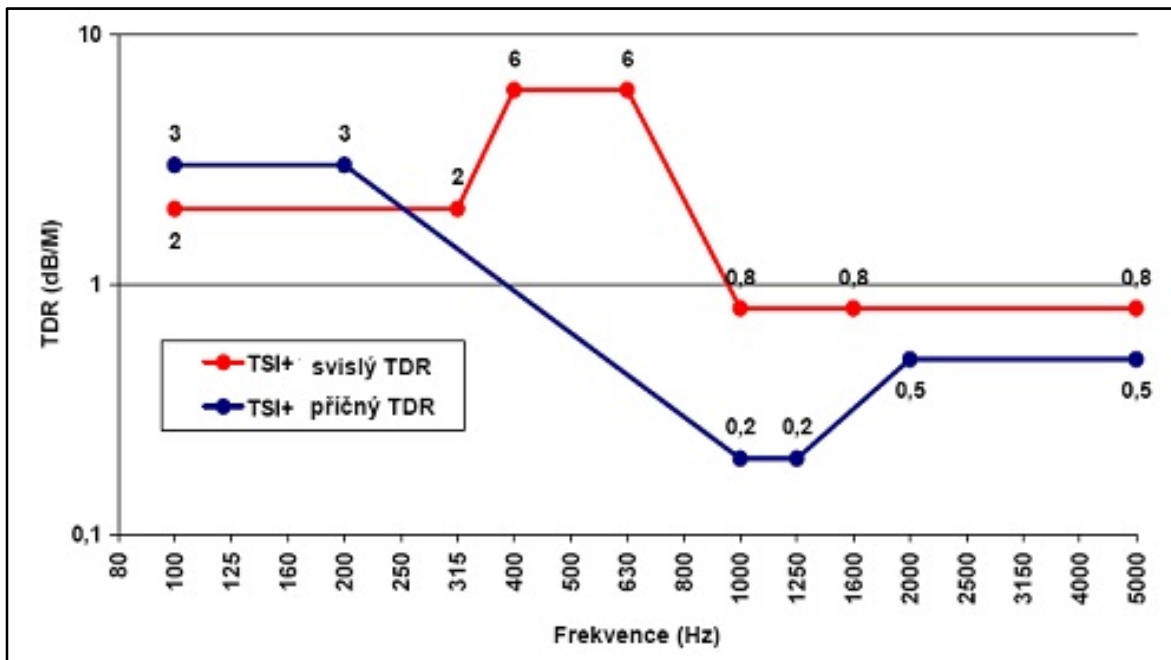
## 4.1 STUPEŇ DYNAMICKÉHO ÚTLUMU TRATI

„Track Decay Rate“ (TDR) neboli stupeň dynamického útlumu trati indikuje míru tlumení vibrací koleje s rostoucí vzdáleností podél tratě. Dynamický útlum vibrací koleje je jeden z možných indikátorů hlukové zátěže neboli tzv. hlukového znečištění (noise radiation) trati. Existují dvě základní metodologie určené ke stanovení TDR, a to metoda AEIF a metoda TNO/PBA (Pass-by Analysis, v přibližném překladu „Analýza míjejícího vozidla“). Metoda AEIF měří dynamický útlum trati bez statického zatížení. Naproti tomu metoda TNO/PBA počítá stupeň útlumu, jak už sám název „Pass-by-Analysis“ napovídá, ze signálu vibrací projíždějících kolejových vozidel, tedy na trati se statickým zatížením. K měření je zapotřebí minimálně deset až patnáct vlaků.

Před samotným měřením akusticko-dynamických parametrů je potřeba prokázat vhodnost daného úseku. Evropský dokument TSI stanovuje vhodnost měřicího úseku pomocí veličiny TDR, z konečné verze národní technické normy byla vypuštěna. Útlum vibrací prakticky představuje postupné zmenšování výchylek kmitů konstrukce. Pro naše měření byla použita metoda AEIF. Tato metoda měří útlumy kolejnice bez statického zatížení, tedy ve chvíli, kdy neprojíždí žádný vlak. V tom se liší od druhé zmíněné metody (TNO, jež je zahrnuta v softwarovém nástroji PBA).

Dynamické útlumy v příčném a ve svislém směru jsou měřeny pomocí bouchání rázového budicího kladívka na kolejnici. Zjišťují se odezvy v různých (zvětšujících se) vzdálenostech od bodu buzení. Celý postup je relativně rychlý za předpokladu, že je trať uzavřená. Pokud se však měření provádí za plného provozu, jak tomu bylo v našem případě, vyžaduje tento postup více času v závislosti na intenzitě dopravy.

Minimální limity dynamických útlumů jsou jasně dány v dokumentu TSI. Tato minima pro příčný i svislý směr jsou zobrazena v podobě křivek spojujících nejmenší požadované hodnoty útlumu v daných frekvencích. Křivky jsou znázorněny v grafu (Obr. 4.1). Na vodorovné ose jsou střední frekvence 1/3 oktávové analýzy, svislá osa popisuje konkrétní hodnoty TDR. Referenční trať musí tyto minimální hodnoty překročit. Více o měření TDR se dozvíme v literatuře [11].



Obr. 4.1 Minimální hodnoty TDR podle TSI pro svislý a příčný směr

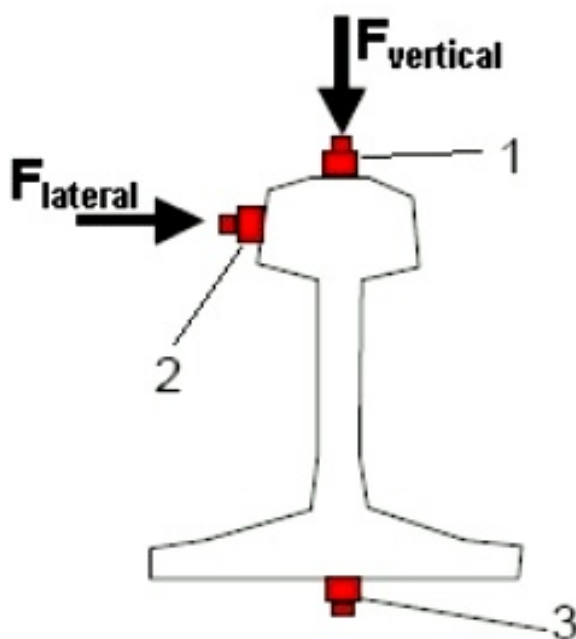
#### 4.1.1 SITUOVÁNÍ ZKUŠEBNÍHO ÚSEKU

Úsek měření dynamického útlumu musí odpovídat místu, kde předpokládáme hlavní fázi měření, tedy zjišťování akusticko-dynamických parametrů trati. Zkušební úsek musí být v bezстыkové koleji, tzn. musí být vybaven dlouhými svařovanými kolejnicemi. Na celé délce měření odezvy, tj. od počátečního bodu 0 do vzdálenosti minimálně 40 m, se nesmí vyskytovat žádné závady ve formě uvolněných pražců, upevňovadel apod. Pro vysokou přesnost a věrohodnost měření má být v úseku konstantní kvalita koleje, např. stejné průřezové parametry kolejnic v příčném směru, tuhost pryžových podložek pod kolejnicí apod. Měření TDR bylo realizováno na obou měřicích úsecích, v Hranicích na Moravě i v Napajedlech, na obou kolejnicových pásech.

#### 4.1.2 POSTUP MĚŘENÍ TDR

Bod 0 představuje místo na kolejnici nepřevýšeného kolejnicového pásu, nachází se přesně uprostřed mezi dvěma pražci. V průřezu kolmém na osu koleje a procházejícím tímto bodem 0 budou v další fázi měření umístěny mikrofony. Na toto místo jsme nalepili dva snímače zrychlení, akcelerometry. Ke kolejnici byly fixovány pomocí včelího vosku. Aby nedošlo při průjezdu vlaků k jejich zničení vlivem vysoké dynamické odezvy na kolejnici, byly zvoleny akcelerometry dánské firmy Brüel & Kjær s menší citlivostí. Jeden

z nich, pro měření příčného TDR, byl umístěn vně pojížděné hrany kolejnice. Pro TDR ve svislém směru se doporučuje umístit snímač na temeno kolejnice. Vzhledem k tomu, že měření probíhala za plného provozu, z praktických důvodů dodržení tohoto doporučení pozbývalo smyslu. Proto byl druhý akcelerometr umístěn na patu kolejnice. Bylo ho tak možné zachovat po celou dobu měření, i při průjezdech vlaků.



Obr. 4.2 Umístění akcelerometrů; 1 - doporučené umístění pro svislý směr, 2 - umístění pro příčný směr, 3 - reálné umístění pro svislý směr;  $F_{LATERAL}=F_{PŘÍČNĚ}$ ,  $F_{VERTICAL}=F_{SVISLE}$  [11]

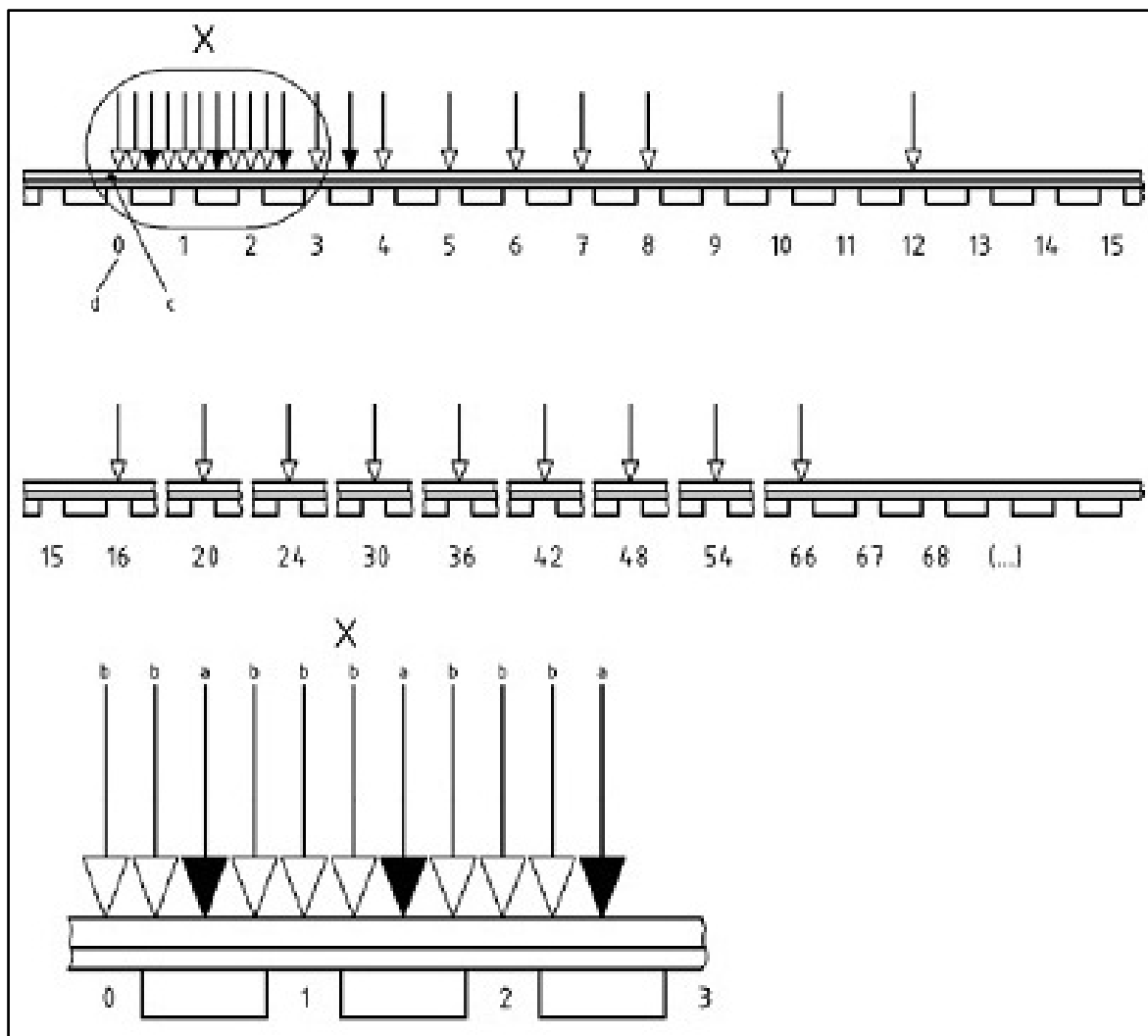
Rázové buzení pomocí kladívka má řadu výhod. Je rychlé, nevyžaduje žádné náročné přípravné práce a je snadno použitelné v provozních podmínkách. Souhrnně tedy můžeme říct, že představuje velmi jednoduchý způsob buzení. Tuhost dotýkajících se povrchů a hmotnost hlavy kladívka ovlivňuje rozsah frekvencí, který je účinně vybuzen. Výška a doba trvání pulsu je závislá na hmotnosti kladívka, materiálu hrotu kladívka, rychlosti úderu a dynamických charakteristikách povrchu.

Impulz rázovým budícím kladívkem provádíme nejprve příčně, pak svisle, v předepsaném kmitočtovém rozsahu minimálně 50 - 6000 Hz. Začínáme v bodě 0 a postupně se vzdalujeme od místa snímače zrychlení. FRF (frekvenční odezva) je přenosová funkce systému (z angl. Frequency Response Function) a jedná se o funkci výstupních veličin v závislosti na vstupních veličinách při nulových počátečních

podmínkách. Tvar frekvenční odezvy v třetinooktávovém spektru se vyznačuje rozsahem pásem o středních frekvencích 100 - 5000 Hz. Je požadováno, aby byla v každém bodě nárazu kladívka provedena nejméně čtyři bouchnutí. Při měření bylo kladívkem boucháno v každém místě přesně čtyřikrát, FRF akcelerace se průměruje z těchto čtyř hodnot.

Při bouchání rázovým kladívkem by měly všechny údery mířit kolmo k povrchu kolejnice. Měli bychom se také snažit, aby všechny čtyři údery z jedné sady (na jednom bodě) mířily přibližně do stejného místa. Komplikací bývají vícenásobné údery čili odskoky kladívka. Těch je třeba se vyvarovat, neboť to vytváří potíže při zpracování signálů.

Měření odezev začínáme impulzem rázovým budícím kladívkem v referenčním bodě 0. Kromě tohoto bodu se v měnicích se vzdálenostech na kolejnici vyskytují body blízkého pole (tj. body v blízkosti akcelerometru) a body vzdáleného pole. Místa nárazů kladívka jsou definována pomocí čísla mezery mezi pražci, přičemž mezeru 0 reprezentuje právě umístění bodu 0. V blízkém poli se vyskytují body od mezery 0 po mezeru 2, včetně pražce, který následuje za mezerou 2. Vzdálenosti nárazů odpovídají čtvrtině rozdělení pražců, z čehož vyplývá, že jsou zde tři body v mezipražcovém prostoru a jeden bod přímo nad pražcem. Detail bodů blízkého pole vidíme v dolní části obrázku 3.3 (výřez „X“). Celkově se jedná o 11 bodů (referenční bod 0 + 10 dalších bodů). Následují body vzdáleného pole. Mezery mezi nimi již nejsou konstantní, ale pro skupiny několika bodů se postupně zvětšují. Tři další body nárazu kladívka jsou ve vzájemných vzdálenostech poloviny rozdělení pražců. 12. bod se tedy nachází v mezeře č. 3, 13. bod nad pražcem, který za mezerou 3 následuje a bod 14. je v mezeře č. 4. Následuje sekvence čtyř bodů, které jsou už jen mezi pražci, tedy v mezerách 5, 6, 7 a 8. Interval dalších dvou umístění kladívkových nárazů je dvakrát větší, body se nachází v mezerách 10 a 12. Poté opět následuje dvakrát zvětšená vzdálenost oproti předešlému intervalu a body v mezerách 16, 20 a 24. Dalších pět bodů je od sebe vzdálených celých šest délek rozložení pražců, měření tedy probíhá v mezerách 30, 36, 42, 48 a 54. Poslední předpokládaný bod je v 66. mezeře mezi pražci. Všechna místa vyvolání impulzu síly (bouchání rázovým kladívkem) jsou znázorněna na Obr. 4.3.



Obr. 4.3 TDR - místa buzení rázovým kladívkem; ve spodní části množina bodů blízkého pole

**LEGENDA:**

- a ..... náraz kladívka do kolejnice nad pražcem
- b ..... náraz kladívka do kolejnice mezi pražci
- c ..... umístění snímače zrychlení
- d ..... index mezery mezi pražci
- X ..... množina bodů blízkého pole

Frekvenční odezva v bodě nula slouží jako referenční bod. Bouchá se tak daleko, dokud v každém třetinooktávovém frekvenčním pásmu není rozdíl mezi hladinou odezvy FRF daného pásma pro referenční měřicí bod 0 a hladinou frekvenční odezvy v daném bodě minimálně 10 dB. Předpokládá se doporučená vzdálenost 40 m od bodu 0, což odpovídá právě 66. mezeře mezi pražci. Dynamický útlum referenčního bodu 0 vstupuje do vzorce jako konstanta pro každý měřicí bod (viz rovnice 4.4). Proto je správnost jeho změření velmi důležitá pro další výpočty.

Je nutno vytvořit alespoň dva úplné soubory měření. Následující soubory se musí změřit buď na druhé kolejnici, nebo na stejné kolejnici za předpokladu, že se místa měření impulsních odezev nalézají od sebe ve vzdálenosti alespoň 10 m. Při našem měření jsme v obou kampaních zvolili první možnost; zjišťovali jsme dynamický útlum trati na obou kolejnicových pásech.

Při našem měření jsme mohli hned *in situ* pozorovat hodnoty hladin frekvenční odezvy. To přinášelo značnou výhodu, jelikož jsme sledovali postupné snižování hladin FRF již v průběhu zkoušky a byli tak schopni měření ve vhodné chvíli zastavit. Ve všech čtyřech případech (tzn. v Hranicích na Moravě na vnějším a vnitřním kolejnicovém pásmu, v Napajedlech taktéž na obou kolejnicových pásech) jsme zaznamenali žádaný pokles hodnot min. 10 dB již dříve, než bylo dosaženo vzdálenosti 40 m od snímače zrychlení. Pro věrohodnost zkoušky jsme přesto pokračovali v měření odezvy až do doporučené 66. mezery za referenčním bodem nula.

Měření TDR není součástí analýzy vibračních nebo akustických parametrů kolejového roštu. Slouží k určení vhodnosti daného úseku pro následné měření akusticko-dynamických parametrů trati. Má proto úlohu jakési přípravy před samotným měřením těchto parametrů.

#### **4.1.3 POUŽITÁ MĚŘICÍ TECHNIKA**

##### **Akcelerometry (snímače zrychlení)**

- Firma: Brüel & Kjær
- Typ: 4507 B001

### Rázové budicí kladívko

- Typ: 8202
- Váha hlavy: 280 g
- Citlivost:  $4 \text{ pC} \cdot \text{N}^{-1}$
- Max. síla: 5000 N
- Frekvenční rozsah: 0 - 7000 Hz

### Měřicí systém

- Firma: Brüel & Kjær
- Systém: PULSE 3560 D

#### 4.1.4 VYHODNOCENÍ TDR

Kolej buzená vibracemi vyzařuje akustický výkon. Celkový akustický výkon je součinem hladiny záření koleje (tzv. vyzařovací účinnost koleje) a sumy druhé mocniny amplitud rychlosti přes vyzařovací plochu. Vztah mezi stupněm útlumu a akusticko-vyzařovacím výkonem konstrukce tratě představuje rovnice 4.1. Pro každé třetinooktávové frekvenční spektrum má být tento vztah vyjádřen jako hodnota v [dB/m].

$$\int_0^{\infty} |A(z)|^2 dz = |A(0)|^2 \cdot \int_0^{\infty} e^{-2\beta} dz = |A(0)|^2 \cdot \frac{1}{2\beta} \quad (4.1)$$

Stupeň dynamického útlumu trati může být v zásadě vyhodnocen jako sklon grafu odezvy amplitudy v decibelech na vzdálenost  $z$ . Pro praxi je však vhodnější hodnotit stupeň útlumu na základě přímého odhadu sumy odezvy podle vztahu 4.2.

$$\int_0^{\infty} \frac{|A(z)|^2}{|A(0)|^2} dz = \frac{1}{2\beta} \approx \sum_{z=0}^{z_{max}} \frac{|A(z)|^2}{|A(0)|^2} \cdot \Delta z \quad (4.2)$$

$\beta$  je možné převést na stupeň útlumu  $\Delta$  pomocí vzorce 4.3. Hodnoty zrychlení vibrací jsou vyjádřeny ve formě třetinooktávových pásem. Stupeň útlumu pro odezvu zprůměrovanou v každém třetinooktávovém spektru pak vyplývá ze vztahů 4.2 a 4.3 a je vyjádřen vzorcem 4.4. Odezva  $A$  může být vyjádřena v podobě zrychlení nebo rychlosti. Tyto veličiny se však liší pouze výrazem  $2\pi f$ , kde  $f$  je frekvence (kmitočet). Je proto nepodstatné, v jakých jednotkách (zda zrychlení či rychlost) bude odezva  $A$  do vzorce vcházet.

$$\Delta = 20 \cdot \log(e\beta) = 8,686 \cdot \beta \quad [\text{dB/m}] \quad (4.3)$$



$$\Delta = \frac{4,343}{\sum_{z=0}^{z_{max}} \frac{|A(z)|^2}{|A(0)|^2} \cdot \Delta z} \quad [\text{dB/m}] \quad (4.4)$$

Pro rovnice 4.1, 4.2, 4.3 a 4.4 platí:

$A(z)$  ..... odezva v měřicí vzdálenosti  $z$

$z$  ..... vzdálenost od budicího bodu podél koleje

$A(0)$  ..... odezva pro referenční bod 0

$\beta$  ..... konstanta útlumu pro amplitudu odezvy  $A$

$z_{max}$  ..... maximální měřicí vzdálenost od budicího bodu

$\Delta z$  ..... interval mezi střední vzdáleností měřicích bodů a měřicími body po obou stranách

$\Delta$  ..... stupeň dynamického útlumu [dB/m]

Přesné změření  $A(0)$  je důležité, jelikož se ukazuje v sumě jako konstantní faktor. Jedná se o nejnázve měřitelnou frekvenční odezvu. Zkušenost ukázala, že zanedbání vlnového útlumu v blízkém poli nevnaší do výsledků této analýzy žádnou významnou chybu.

Pro vysoké stupně útlumu je tato metodika spolehlivá. Může však vykazovat chyby, pokud vzdálenost od budicího bodu (hodnota  $z_{max}$ ) zkrátí odezvu v kterémkoliv třetinooktávovém pásmu dříve, než dojde k dostatečnému útlumu. Dostatečný útlum je potřebný k tomu, aby suma na  $z_{max}$  představovala vhodnou aproximaci k neurčitému integrálu. Minimální stupeň útlumu, jež může být vyhodnocen pro danou vzdálenost  $z_{max}$  je dán vzorcem 4.5.

$$\Delta_{min} = \frac{4,343}{z_{max}} \quad [\text{dB/m}] \quad (4.5)$$

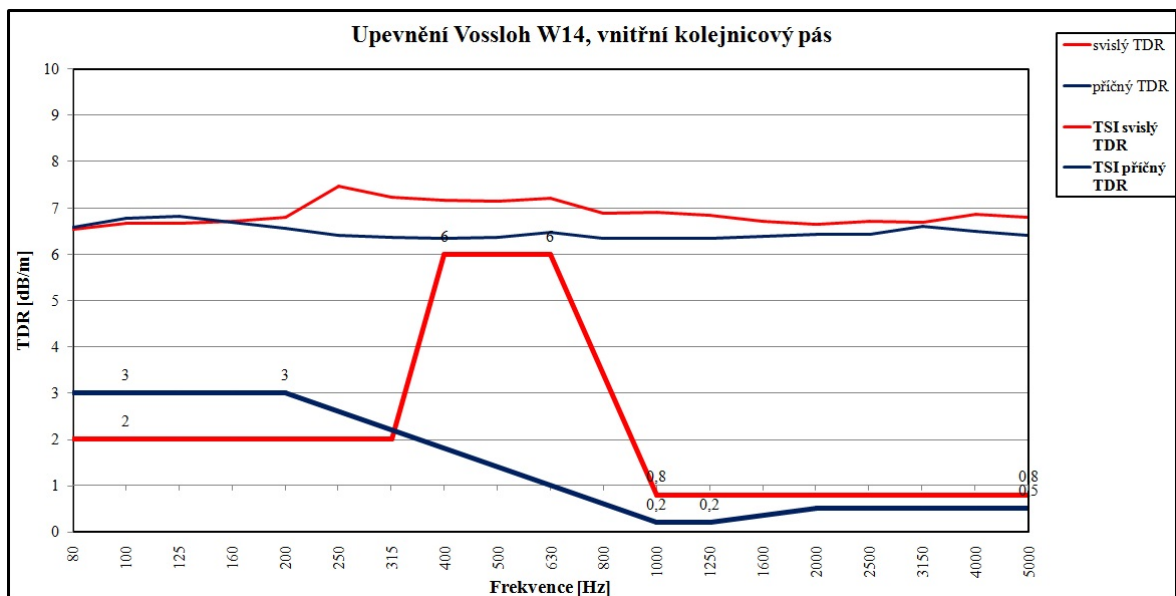
$\Delta_{min}$  ..... minimální stupeň útlumu [dB/m]

$z_{max}$  ..... maximální měřicí vzdálenost od budicího bodu

Vyhodnocený stupeň útlumu by se měl porovnat s touto hodnotou. Pokud se k ní blíží, považuje se tento vyhodnocený stupeň útlumu za nejistý. Vzdálenost  $z_{max}$  okolo 40 m vyhovuje minimálním požadavkům a tedy bývá dostatečná pro vyhodnocení útlumu trati.

Měření bylo realizováno systémem PULSE 3560 D, v němž byla předem vytvořena měřicí šablona. Ta slouží k snadnému a automatizovanému měření v terénu.

Vyhodnocení dynamického útlumu bylo provedeno pomocí sestavené aplikace programu Microsoft Excel. Nejdůležitější část analýzy představuje vynesení grafu dynamického útlumu pro jednotlivé střední frekvence. Pro ilustraci je zde uveden graf (Obr. 4.4), jež reprezentuje výsledek útlumu vnitřního kolejnicového pásu při systému upevnění Vossloh W14. Výsledné křivky byly porovnány s minimálními požadovanými hodnotami TDR. Z výsledků měření vyplývá, že podle TSI je trať způsobilá k měření akusticko-dynamických parametrů. Více o metodice měření TDR se můžeme dočíst v literatuře [11].



Obr. 4.4 Graf TDR (dynamický útlum trati) - upevnění W14, vnitřní kolejnicový pás

## 4.2 AKUSTICKO-DYNAMICKÉ PARAMETRY TRATI

### 4.2.1 UMÍSTĚNÍ SNÍMAČŮ

V obou měřicích kampaních byly použity čtyři snímače akustického tlaku pro měření hluku a dohromady 16 snímačů zrychlení vibrací. Tato diplomová práce se zabývá analýzou signálů ze všech snímačů akustického tlaku a části snímačů vibrací. Rozbor zbývajících senzorů zrychlení vibrací je součástí jiné diplomové práce. Při měření byly rovněž aplikovány snímače posunutí, jejichž analýzou se také zabývá jiná diplomová práce. V tabulkách (Tab. 4.1 a 4.2) uvádím pouze popisy snímačů, jejichž odezvy jsou předmětem této diplomové práce.

Česká technická norma uvádí zásady pro volbu a umístění snímačů akustického tlaku. Pro získání akustických parametrů jsme zvolili čtyři mikrofony pro volné pole, dva z nich jsme umístili ve vnitřní straně oblouku a dva ve vnější straně. Umístění mikrofonů je požadováno volit tak, aby zvukové vlny mířily ke snímači v co nejmenším, pokud možno nulovém, úhlu. Z toho důvodu byla osa každého mikrofonu ve vodorovném směru.

Osy všech mikrofonů byly v jedné rovině, kolmé k ose koleje. Umístění mikrofonů v řezu touto rovinou bylo ve vzdálenosti 1,85 m a 7,5 m od osy koleje. Dva mikrofony v bližší vzdálenosti (na straně vnitřní a vnější) jsou umístěny v ose pražce, výškově na spojnici temen kolejnicových pásů. Tyto snímače akustického tlaku sloužily k zachycení odezvy v oblasti blízké kontaktu kolo-kolejnice. Proto bylo cílem je umístit co nejbližší ke zdroji hluku. Zároveň však z bezpečnostních důvodů nebylo možné tyto mikrofony umístit v příliš těsné blízkosti osy koleje. Jako optimální vzdálenost tak byla zvolena hodnota 1,85 m. Použit byl hlukový mikrofon 4189 A012 Brüel & Kjær.

Mikrofony umístěné 7,5 m od osy koleje pak zaznamenávají hluk vzdáleného pole. Poloha těchto snímačů byla rovněž v ose pražců, ve výšce 1,2 m nad spojnici temen kolejnicových pásů. Pro zajištění horizontální vzdálenosti 7,5 m bylo použito pásmo. Místo protnutí spojnice temen kolejnicových pásů v této vzdálenosti bylo zjištěno pomocí digitálního měřidla s laserovým zaměřovačem. K tomuto bodu v prostoru byla pak jednoduše přičtena výška 1,2 m a tím jednoznačně určena poloha mikrofonu. Pro snímání akustického tlaku v tomto místě byl použit mikrofon typu M 360. Metodika měření je v souladu s českou technickou normou [10].

Pro zjišťování dynamického chování konstrukce byla zvolena metoda vibrodiagnostiky, neboli měření vibrací. Snímače byly umístěny na hlavě pražce v blízkosti upevnění kolejnice, na hranách kolejového lože a ve vzdálenosti 7,5 m od osy koleje. Přesné rozmístění snímačů akustického tlaku i zrychlení vibrací je popsáno v tabulkách (Tab. 4.1 a 4.2) a na schématu (Obr. 4.5).

Snímače vibrací můžeme podle fyzikálního principu rozdělit na kapacitní, elektrodynamické a piezoelektrické. Poslední jmenované byly použity při našem měření. Tyto akcelerometry pracují na základě piezoelektrického jevu, čili schopnosti látky generovat elektrické napětí při své mechanické deformaci. Tento jev se vyskytuje pouze u nesymetrických krystalů. V měřicí technice se jako piezoelektrikum používá destička vyříznutá z křemene ( $\text{SiO}_2$ ).

Na pražce byly umístěny tříosé akcelerometry 4524 B od firmy Brüel & Kjær. Předpokládám, že pro porovnání konstrukcí kolejového roštu bude směrodatný svislý směr vibrací. Z toho důvodu se v následné analýze zabývám odezvami ze snímačů zrychlení vibrací ve směru z (tedy právě ve svislém směru). V místech mimo kolejový rošt pak byly aplikovány jednoosé snímače zrychlení vibrací. Na spodní hraně kolejového lože byl použit typ 4507 B004, ve vzdáleném poli pak akcelerometry 752 A13.

Podobně jako u analýzy akustických parametrů, máme i u dynamických charakteristik díky těmto rozdílným vzdálenostem od osy koleje komplexní informace o dynamickém chování. Čidla na hlavě pražce slouží ke zjištění zrychlení vibrací v blízkosti průjezdu kola po kolejnici a nejvýznamněji ukazují chování upevnění. Zásadní vliv na kvalitu železničního svršku trati mají vibrace nízkých frekvencí, jež se šíří kolejovým ložem. Z toho důvodu byly pro analýzu dynamického působení na pražcové podloží aplikovány dva senzory zrychlení vibrací právě na hrany kolejového lože. Akcelerometry ve vzdálenostech 7,5 m pak doplňují měření o informace ze vzdáleného pole.

S ohledem na umístění snímačů byly vybrány tři typy akcelerometrů s rozdílnou citlivostí. Typy snímačů a jejich rozmístění byly zvoleny na základě zkušeností prof. Ing. Jaroslava Smutného, Ph.D. a v souladu s normou ČSN EN 15461+A1. [12]

Před nalepením akcelerometrů A7\_p\_z a A15\_p\_z byly povrchy betonových pražců očištěny a vyhlazeny pomocí smirkového papíru. Na takto očištěný povrch byly

sekundovým lepidlem nalepeny plastové podložky od firmy Brüel & Kjær. Na samotných akcelerometrech jsou podélné drážky, které umožňují jeho nasunutí do podložek.

Snímače umístěné na hraně kolejového lože a ve vzdálenosti 7,5 m od osy koleje (tedy akcelerometry A11r\_s\_z, A12r\_s\_z, A13r\_s\_z a A14r\_s\_z) byly osazeny pomocí šroubů. Do země nebo kolejového lože byly zatlučeny ocelové kolíky opatřené na horní ložné ploše závitem. Snímač s matkou byl přišroubován k tomuto závitu. Tím bylo zajištěno dostatečně stabilní spojení pro měření. Všechny akcelerometry byly před měřením kalibrovány.

Kanál fyzicky (port)	Označení kanálu	Umístění mikrofonů	Typ snímače
16 / CH 0	M0_m	Vzdálenost 1,85 m od osy koleje, výška na spojnicí temen kolejnicových pásů; v ose pražce na straně vnitřní vzhledem k směrovému oblouku; stativ	B&K 4189
17 / CH 1	M1_m	Vzdálenost 7,5 m od osy koleje, výška 1,2 m nad spojnicí temen kolejnicových pásů; v ose pražce na straně vnitřní vzhledem k směrovému oblouku; stativ	M 360
24 / CH 8	M8_m	Vzdálenost 1,85 m od osy koleje, výška na spojnicí temen kolejnicových pásů; v ose pražce na straně vnější vzhledem k směrovému oblouku; stativ	B&K 4189
25 / CH 9	M9_m	Vzdálenost 7,5 m od osy koleje, výška 1,2 m nad spojnicí temen kolejnicových pásů; v ose pražce na straně vnější vzhledem k směrovému oblouku; stativ	M 360

Tab. 4.1 Popis jednotlivých snímačů akustického tlaku

#### LEGENDA:



- SNÍMAČE AKUSTICKÉHO TLAKU

M1\_m

m ... typ upevnění = V (Vossloh W14) nebo P (Pandrol FC I)

I ... pořadí snímače (1 až 4)

Typ snímače akust. tlaku	Rozměr [mm]	Citlivost [mV/Pa]	Frekvenční rozsah [Hz]	Dynamický rozsah [dB]
B&K 4189 A012	12,7	50	20 ÷ 20 000	16,5 ÷ 138
M 360	6,35	12,5	20 ÷ 20 000	35 ÷ 130

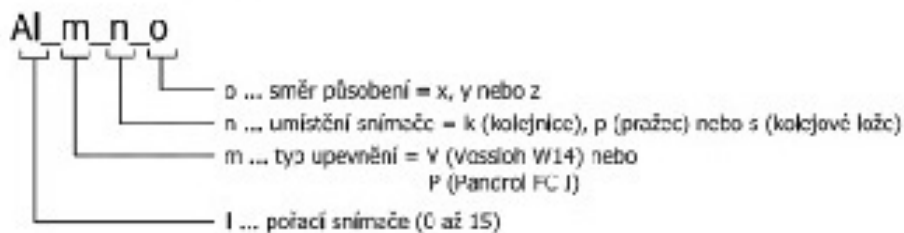
Tab. 4.2 Základní parametry použitých mikrofonů

Kanál fyzicky (port)	Označení kanálu	Umístění akcelerometrů	Typ snímače
12 / CH 11	A11r_m_s_z	Na spodní hraně kolejového lože; svisle; v ose pražce; na straně vnitřní vzhledem k směrovému oblouku; měřicí kolík + podložka B & K	4507 B004
13 / CH 12	A12r_m_s_z	Vzdálenost 7,5 m od osy koleje; svisle; v ose pražce na straně vnitřní vzhledem k směrovému oblouku; měřicí kolík + závit	752 A13
14 / CH 13	A13r_m_s_z	Na spodní hraně kolejového lože; svisle; v ose pražce; na straně vnější vzhledem k směrovému oblouku; měřicí kolík + podložka B & K	4507 B004
15 / CH 14	A14r_m_s_z	Vzdálenost 7,5 m od osy koleje; svisle; v ose pražce na straně vnější vzhledem k směrovému oblouku; měřicí kolík + závit	752 A13
23 / CH 7	A7_m_p_z	Pražec; svisle; na straně vnitřní vzhledem k směrovému oblouku; podložka B & K	4524-B-Z
31 / CH 15	A15_m_p_z	Pražec; svisle; na straně vnější vzhledem k směrovému oblouku; podložka B & K	4524-B-Z

Tab. 4.3 Popis jednotlivých snímačů zrychlení vibrací

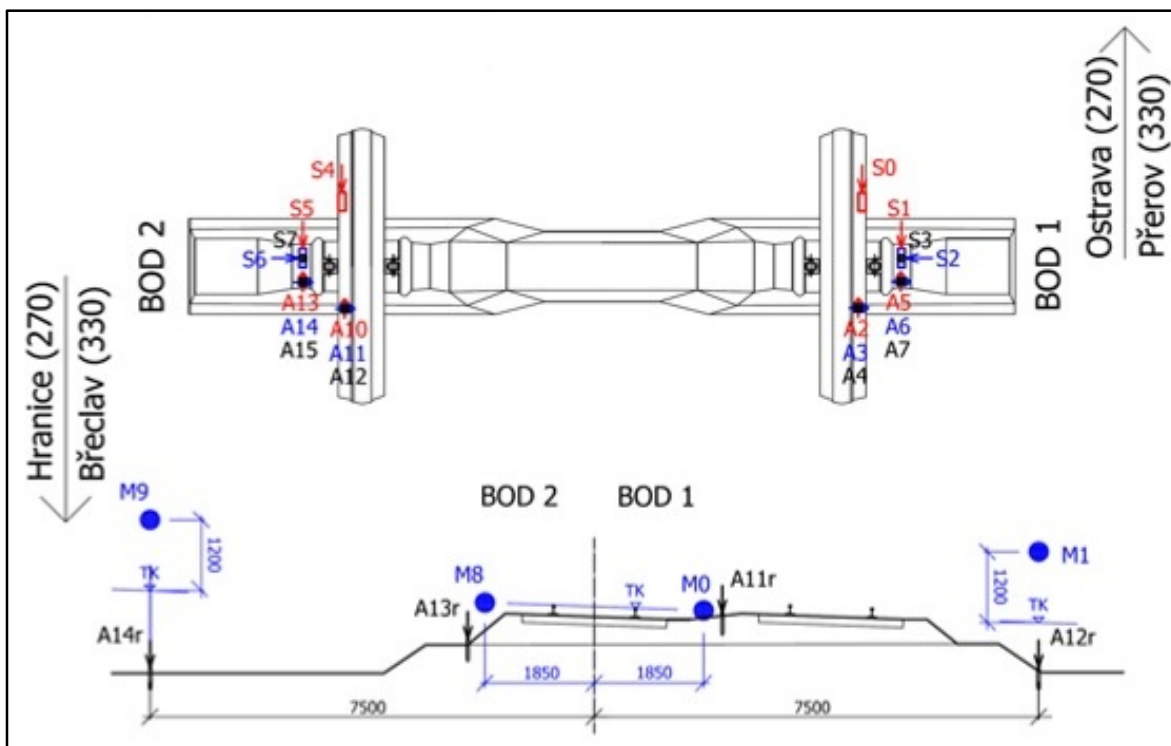
## LEGENDA:

☉ → ■ - SNÍMAČE ZRYCHLENÍ VIBRACÍ



Typ snímače zrychl. vibrací	Hmotnost [g]	Citlivost [mV/Pa]	Frekvenční rozsah [Hz]	Max. zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]
4507 B004	5	10	0,3 ÷ 6 000	700
752 A13	20	100	0,3 ÷ 1 000	50
4524 B	5	10	1 ÷ 6 000	7 000

Tab. 4.4 Základní parametry použitých akcelerometrů



Obr. 4.5 Rozmístění všech mikrofónů, akcelerometrů a snímačů posunutí



*Obr. 4.6 Ukázka snímače akustického tlaku (mikrofon typu M 360)*



*Obr. 4.7 Ukázka snímače zrychlení vibrací (akcelerometr typu 4524 B)*



#### 4.2.2 MĚŘICÍ ŘETĚZEC

Měření bylo snímáno prostřednictvím 10 kanálů (pro čtyři hlukové mikrofony a šest akcelerometrů). Snímače byly pomocí kabelů zapojeny do integrované měřicí PC sestavy. Všechny signály z vlakových souprav byly zaznamenány pomocí počítačové sestavy DEWE-2502 firmy DEWETRON. Do vyhodnocovacího programu DEWESoft byla zadána vzorkovací frekvence a hodnoty horních a dolních propustí.

Správné nastavení těchto vstupních parametrů je velmi důležité. Vzorkovací frekvence musela být zvolena pro měření hluku a vibrací stejná. A to z toho důvodu, že měřicí ústředna DEWE-2502 neumožňuje nastavení dvou různých hodnot najednou v rámci jednoho měření. Vzorkovací frekvence představuje počet naměřených hodnot za jednotku času (obvykle za jednu sekundu). Abychom dodrželi Shannonův teorém (nebo také Nyquistův teorém, Kotělnikovův teorém), je nutno zvolit vzorkovací frekvenci větší než dvojnásobek nejvyšší frekvence vzorkovaného signálu. V opačném případě by byla rekonstrukce signálu nedokonalá. Vzhledem k předpokládaným vyhodnocovacím metodám byla zvolena vzorkovací frekvenci 10,0 kHz. V mém případě byla nejvyšší frekvence signálu zrychlení vibrací 2,0 kHz a akustického tlaku 4,0 kHz. Pro kontrolu splnění Shannonova teorému se musíme řídit vyšší hodnotou. Vzorkovací frekvence 10,0 kHz je pro naše měření dostačující.

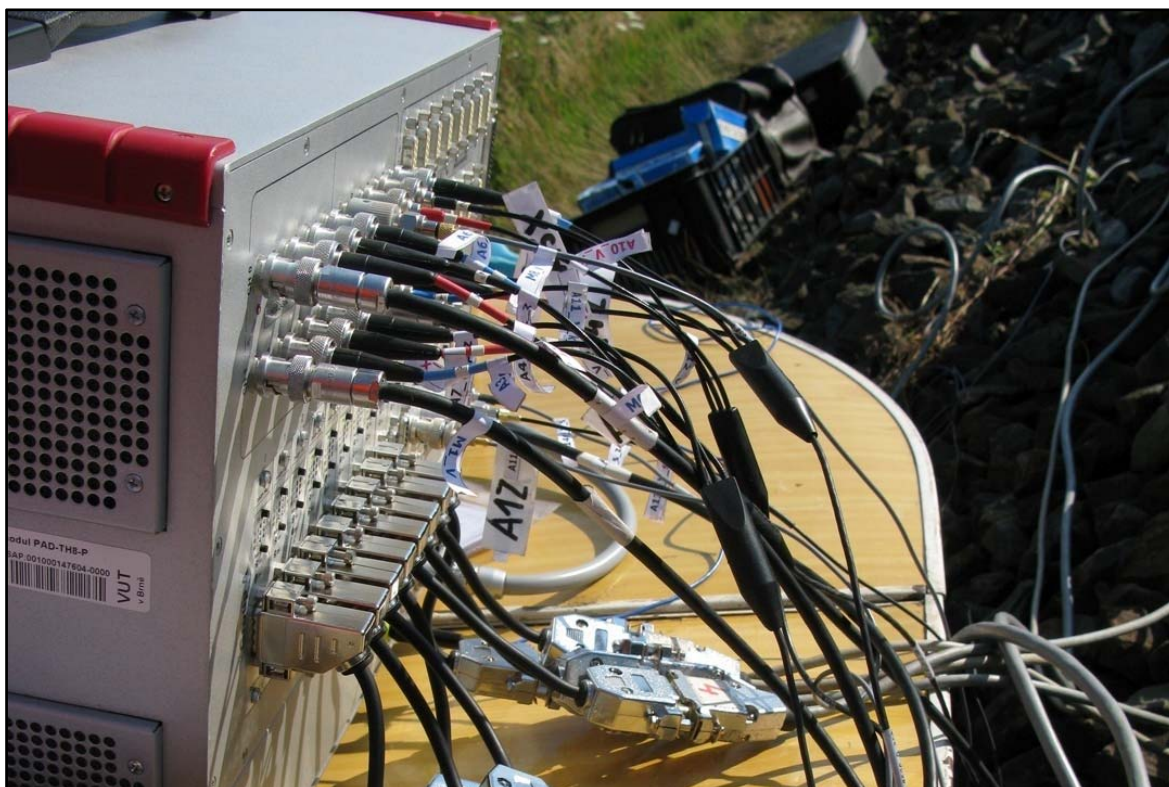
Z hlediska dynamických parametrů jsou pro nás zásadní frekvence do 1,0 kHz. Frekvence vyšší než 1,0 kHz již nemají na dynamické chování konstrukce velký vliv. Proto byla pro všechny snímače zrychlení vibrací nastavena hodnota dolní propusti právě 1,0 kHz. Horní propust má za úkol odstranit rušivé prvky při nízkých frekvencích, jakým je např. triboelektrický šum. Tento šum vzniká mezi kabelem a izolátorem kabelu za vzniku povrchového náboje. Z toho důvodu byla na snímačích zvolena horní propust 3,4 Hz, na snímačích typu 4507 B004 a 752 A13 horní propust 1,0 Hz. Pro přehlednost jsou všechny parametry uvedeny v tabulce (Tab. 4.5).

Více o metodice měření akustických a dynamických parametrů se dočteme v literatuře [15] a [16].

Parametr měření		Hodnota
Počet kanálů	Hluk	4
	Vibrace	6
Horní propust [Hz]	Hluk	3,4
	Vibrace - na pražcích	3,4
	Vibrace - kolejové lože a 7,5 m od osy	1,0
Dolní propust [kHz]	Hluk	1,0
	Vibrace	
Vzorkovací frekvence $f_{vz}$ [kHz]	Hluk	10
	Vibrace	

Tab. 4.5 Nastavení parametrů pro správnost měření

Pro usnadnění práce se zapojováním jednotlivých snímačů do PC sestavy byly vytvořeny dvojice štítků, kterými byly označeny oba konce kanálů. Příklady takového označení vidíme např. na obrázcích 4.6 a 4.7 (označení u snímače). Stejnými štítky byly pak označeny i konce kabelů u počítačové sestavy (viz obr. 4.8).



Obr. 4.8 Měřicí ústředna DEWE-2502 se zapojenými kabely označenými štítky

### 4.2.3 TEORIE ANALÝZY SIGNÁLU

#### Rozdělení signálů:

- Deterministický
  - Přejídný
  - Periodický — Harmonický
  - Kvaziperiodický
- Stochastický
  - Stacionární
  - Nestacionární

Klasifikace signálů mnohdy není jednoduchý proces. Existují například signály, které nemůžeme zařadit ani mezi determinované (deterministické), ani stochastické. Rozdělení, jež je uvedeno výše, proto představuje jedno z více základních způsobů rozdělení měřených signálů.

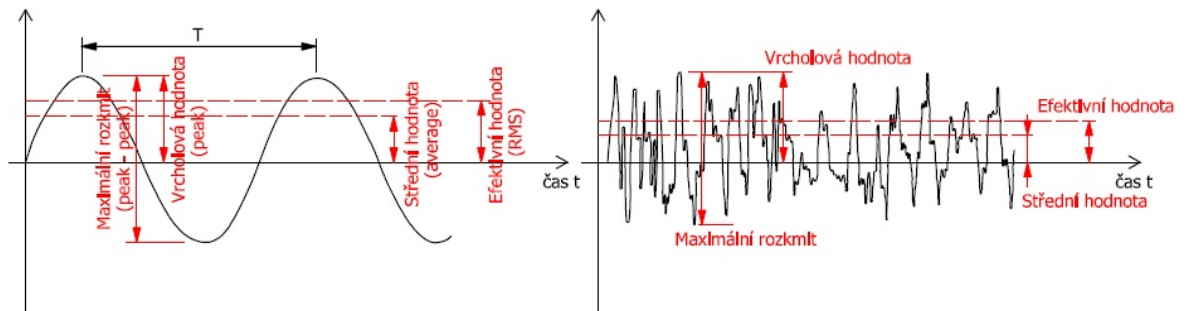
Z hlediska determinovanosti signálu představuje chování konstrukce kolejového roštu pod dynamickým zatížením kolejovými vozidly signál stochastický, neboli náhodný. To znamená, že velikost signálu v daném okamžiku můžeme určit pouze s jistou pravděpodobností. Většina signálů měřených na konstrukci železničního svršku má podobu přechodového signálu. Signál vybíhá do vrcholových hodnot a po odeznění buzení se vrací do své původní polohy.

Informace o metodách analýzy signálu byly převzaty z literatury [18].

#### ANALÝZA DAT V ČASOVÉ OBLASTI

Jednou z nejdůležitějších charakteristik pro popis signálu v časové oblasti je RMS (z anglického Root Mean Square), neboli efektivní hodnota. Představuje důležité měřítko škodlivosti a nebezpečnosti vibrací. Dalšími kritérii je zjišťování globálních a lokálních minim a maxim (viz Obr. 4.9).

Pro hodnocení dynamických parametrů je zrychlení vibrací  $a$  [ $\text{m/s}^2$ ] převedeno na hodnotu v decibelech v podobě efektivní hladiny zrychlení vibrací  $L_{Aef}$  (rovnice 4.6).



Obr. 4.9 Způsoby hodnocení signálu v časové oblasti [15]

Hladina zrychlení vibrací se vypočítá dle následujícího vztahu:

$$L_{Aef} = 20 \cdot \log \frac{a_i}{a_0} \quad [\text{dB}] \quad (4.6)$$

Kde platí:

$a_{1ef}$  ..... efektivní hladina zrychlení vibrací [dB]

$a_i$  ..... sledované zrychlení vibrací [ $\text{m/s}^2$ ]

$a_0$  ..... referenční hodnota zrychlení vibrací [ $\text{m/s}^2$ ];  $a_0 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}^2$

Pro analýzu hluku je jedna z nejdůležitějších veličin hladina expozice průjezdu *TEL*. Je to vážená hladina expozice hluku *A* průjezdu vlaku, měřená v časovém intervalu *T* a normalizovaná na dobu průjezdu  $T_p$ . Doba průjezdu vlaku  $T_p$  v [s] se vypočítá podle základního vzorce pro rychlost, tedy jako celková délka vlaku (od nárazníku k nárazníku) *v* [m] dělená rychlostí průjezdu *v* [m/s]. Časový interval *T* musí být dostatečně dlouhý tak, aby zahrnul veškerou akustickou energii daného průjezdu vlaku (viz kapitola 5.1.4 Časový interval měření). *TEL* je dána vztahem 4.7.

Vzhledem k tomu, že lidský sluch má obecně rozdílnou citlivost při různých frekvencích, zavádí se váhové filtry A, B, C nebo D. U váhových filtrů se zavádí tzv. korekce  $K_i$  [dB], které jsou přičteny k hladinám hluku na jednotlivých frekvencích. Hladiny hluku jsou tak přepočteny na takové hodnoty, jak je vnímá lidský sluch. Konkrétní hodnoty korekcí váhových filtrů se dočteme v literatuře [17]. Pro časovou analýzu byl použit váhový filtr A, který je v mezinárodním měřítku nejčastěji používán. Tento postup je také doporučen v technické normě ČSN EN ISO 3095 [10].

$$TEL = 10 \cdot \log \left( \frac{1}{T_p} \cdot \int_0^T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right) \quad [\text{dB}] \quad (4.7)$$

Kde platí:

TEL .....vážená hladina expozice průjezdu A [dB]

$T_p$  ..... doba průjezdu vlaku [s]

$T$  ..... časový interval měření [s]

$p_A(t)$  ..... okamžitý vážený akustický tlak A [Pa]

$p_0$  ..... referenční hodnota akustického tlaku A [Pa];  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Pa

## ANALÝZA DAT VE FREKVENČNÍ OBLASTI

K nalezení popisu signálu pomocí jeho složek ve frekvenční oblasti slouží spektrální (neboli frekvenční) analýza. K přechodu z časové do frekvenční oblasti byla použita Fourierova transformace.

Fourierova transformace (FT) patří mezi klasické neparametrické metody. To znamená, že se celá analýza opírá pouze o reálná změřená data. Nevytváříme žádné modely vzniku a predikce signálu. Fourierova transformace se používá ze všech metod transformace nejvíce. Pro přímou transformaci platí následující vztah (rovnice 4.8):

$$X(f) = k_1 \cdot \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot e^{-j2\pi ft} \cdot dt \quad (4.8)$$

A pro zpětnou transformaci pak platí vztah 4.9.

$$x(t) = k_2 \cdot \int_{-\infty}^{\infty} X(f) \cdot e^{j2\pi ft} \cdot df \quad (4.9)$$

Kde pro vztahy 4.8 a 4.9 platí:

$X(f)$  ..... signál ve frekvenční oblasti

$x(t)$  ..... signál v časové oblasti

$k_1, k_2$  ..... konstanty

$f$  ..... frekvence [Hz]

$t$  ..... čas [s]

Pro analýzu akustických parametrů byla zvolena veličina hladina akustického tlaku [dB]. Tato veličina se vztahuje na zdroj hluku a charakterizuje jeho schopnost vyzařovat zvukovou energii. Hladina akustického tlaku je dána vztahem 4.10.

$$L_p = 20 \cdot \log \frac{p}{p_0} \quad [\text{dB}] \quad (4.10)$$

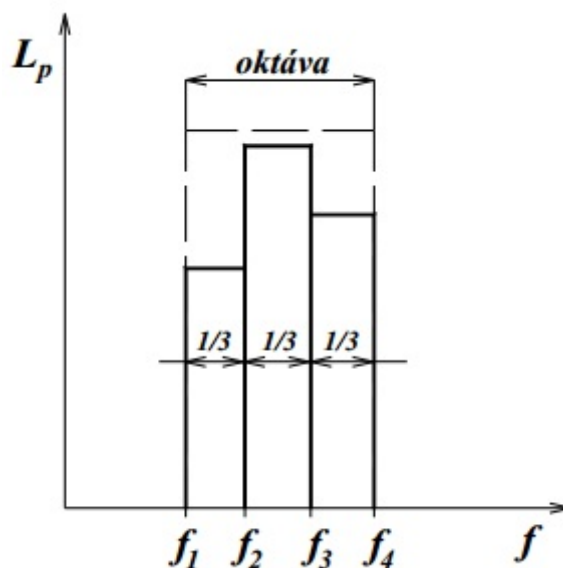
Kde platí:

$L_p$  ..... hladina akustického tlaku [dB]

$p$  ..... sledovaný akustický tlak [Pa]

$p_0$  ..... referenční akustický tlak [Pa];  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Pa

Pro frekvenční oblast byla použita třetinooktávová analýza průměrných hladin akustického tlaku. Třetinooktávové pásmo vznikne rozdělením oktávového pásma na třetiny, v logaritmických stupnicích. Pro toto pásmo platí vztahy 4.11 a 4.12.



Obr. 4.10 Příklad třetinooktávového pásma [17]

$$\log \frac{f_2}{f_1} + \log \frac{f_3}{f_2} + \log \frac{f_4}{f_3} = \log \frac{f_4}{f_1} = \log 2 \quad (4.11)$$

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{f_3}{f_2} = \frac{f_4}{f_3} = \sqrt[3]{2} \cong 1,26 \quad (4.12)$$

Kde pro vztahy 4.11 a 4.12 platí:

$f_1, f_4$  ..... krajní frekvence jedné oktávy [Hz]

$f_2, f_3$  ..... krajní frekvence třetinooktávy [Hz]

## **5. VLASTNÍ MĚŘENÍ**

Pro účely měření byla vybrána dvě měřicí stanoviště ve směrových obloucích a byla navržena odpovídající metodika měření. Obě stanoviště jsou součástí tranzitních železničních koridorů. Při výběru měřicích úseků bylo důležité postupovat tak, aby se podmínky trati co nejvíce shodovaly. Byla proto vybrána místa s podobným profilem trati, se srovnatelnou charakteristikou dopravy a s podobnými geometrickými parametry (úseky ve směrových obloucích s nepříliš rozdílnými poloměry). Co se týče konstrukce železničního svršku, jsou v tomto ohledu obě měřicí kampaně také srovnatelné. Na obou stanovištích jsou použity kolejnice i kolejnicové podpory stejného typu. Konstrukce kolejového roštu se tak liší pouze v použitém typu upevnění. To napomáhá k průkaznosti vyhodnocení, jež je založeno právě na porovnávání chování konstrukce dle typu upevnění.

### **5.1 ZÁSADY MĚŘENÍ**

Měření probíhala podle zásad, jež jsou v souladu s normou ČSN EN ISO 3095 a s předpisem SŽDC S 3/2. Všechny údaje byly zaznamenány do protokolu o zkoušce, pro každou měřicí kampaň samostatně.

#### **5.1.1 ZKUŠEBNÍ MÍSTO**

Povrch terénu zkušebního stanoviště (místa měření) musí být přibližně rovný a se sklonem vůči hornímu povrchu kolejnice 0 m až -1 m. Tyto podmínky mají být splněny proto, aby se hluk v krajině mohl volně šířit.

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. Středů 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 (kolejová vozidla) a mikrofony nesmějí pohybovat žádné osoby. Pozorovatel musí být na takovém místě, aby zásadním způsobem neovlivňoval měřenou hladinu akustického tlaku.

Negativní vliv na zkoušku 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 látek.

### **5.1.2 KLIMATICKÉ PODMÍNKY**

Klimatické podmínky se zapisovaly do protokolu měření ve formě tabulky, a to po jedné hodině měření. Zaznamenávalo se aktuální počasí, teplota a vlhkost vzduchu, atmosférický tlak a rychlost větru.

Poslední zmíněná charakteristika je z klimatických podmínek asi nejdůležitější. Aby nedocházelo ke zkreslování údajů, provádějí se měření pouze při rychlostech větru menších než 5 m/s. Rychlost větru se měřila pomocí přenosného anemometru (větroměru) Conrad Windmaster 2, ve výšce mikrofonu. Obě měření splňovala daná kritéria. V Hranicích na Moravě byla maximální rychlost 2,5 m/s, v Napajedlech 1,8 m/s.

Další podmínkou je počasí bez srážek, tedy neprší-li nebo nesněží. Vzhledem k tomu, že obě měření se uskutečnila v červenci, asi není třeba zmiňovat, že sněhové srážky se nevyskytovaly. Jak můžeme vidět z tabulek dále (Tab. 5.2 a Tab. 5.4), klimatické podmínky byly příznivé a déšť se během zkoušky také nevyskytl. Při měření v Napajedlech bylo po celou dobu jasno, v Hranicích na Moravě pak jasno až polojasno. Teplota vzduchu, barometrický tlak a vlhkost vzduchu byly zjišťovány pomocí přenosné meteorologické stanice.



*Obr. 5.1 Anemometr (větroměr) Conrad Windmaster 2*



### **5.1.3 MĚŘENÍ TEPLoty KOLEJNICE**

Teplota kolejnice se měřila bezdotykově pomocí infračerveného digitálního teploměru, opatřeného bodovým laserovým zaměřovačem. Teploměr pracuje na principu snímání vyzařovaného tepelného vlnění, které vystupuje z povrchu kolejnice. Laserový paprsek označuje červeným bodem střed snímané plochy a slouží tak k jednoduššímu zaměření místa, jehož teplotu potřebujeme zjistit. Naměřená teplota představuje průměr snímané plochy. Proto čím menší snímaná plocha je (a tedy čím menší vzdálenost od kolejnice), tím přesnější výsledek nám teploměr ukazuje. V souladu s doporučeními SŽDC S 3/2 byl teploměr kalibrován, s přesností čtení na 0,1 °C.

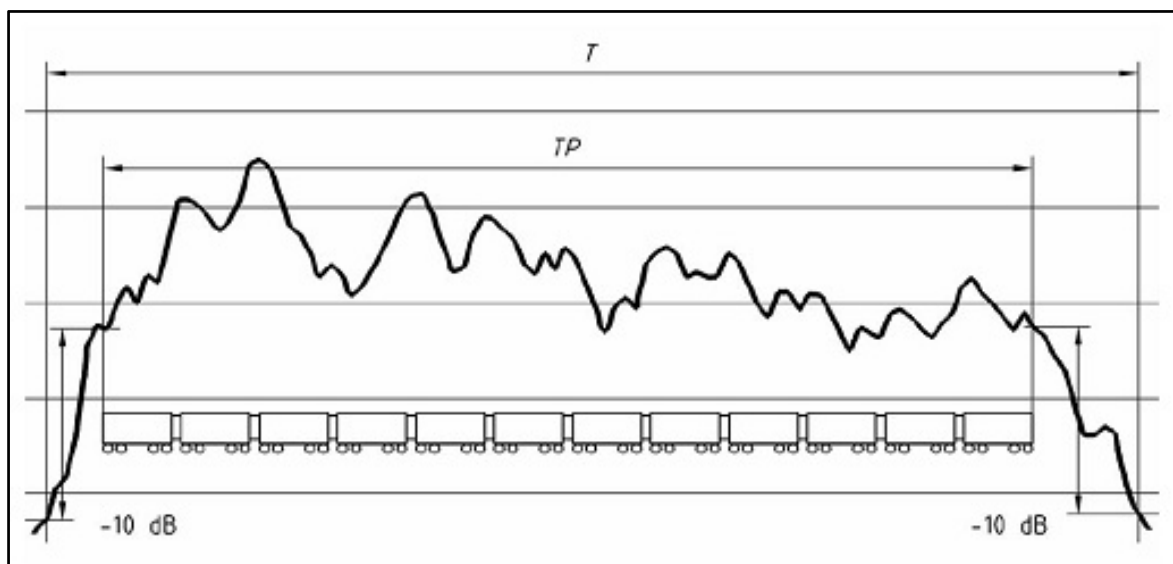
Podle stejného předpisu se rovněž doporučuje měřit teplotu na zastíněné stojině kolejnice. V praxi však měření teploty kolejnic upozornila na problematiku určení skutečné vnitřní teploty kolejnic. Podle zkušeností tuto skutečnou teplotu nelze získat, neboť je ovlivněna teplotním spádem v kolejnici a lokálními klimatickými vlivy. Je tedy možno se k této teplotě jen přiblížit. Zásadní pro přesnost je množství měřených bodů na povrchu kolejnice. S přibývajícím počtem měřených bodů se přesnost měření teploty zvyšuje. Každou hodinu se teplota měřila na třech bodech kolejnice (vždy na zastíněné stojině) a hodnoty se zprůměrovaly. V tabulkách č. 5.2 a 5.4 pak vidíme právě tyto průměry.

### **5.1.4 ČASOVÝ INTERVAL MĚŘENÍ**

Požadavek na časový interval měření je součástí české technické normy ČSN EN ISO 3095. Měření akusticko-dynamických parametrů začíná ve chvíli, kdy vážená hladina akustického tlaku  $A$  dosáhne hodnoty o 10 dB nižší, než hladina zjištěná v okamžiku, kdy se čelo vlaku nachází před místem mikrofonu. Analogicky je pak měření ukončeno ve chvíli, kdy hladina akustického tlaku  $A$  klesne o 10 dB oproti hladině  $A$  změřené v okamžiku, kdy je konec vlaku před měřicím profilem. Doba mezi těmito dvěma mezními okamžiky pak udává časový interval měření.

Čas začátku a konce vlaku byl zachycen pomocí aplikace webkamery, která v průběhu měření snímala průjezdy vlakových souprav. Kamera byla umístěna v ose mikrofonů, tedy kolmo k ose koleje. Systémově byla propojena s programem DEWEsoft, čímž byl umožněn přesný záznam průjezdu vlaků.

Také bylo čelo a konec vlaku zaznamenáno pomocí klávesových zkratk. Pro vyhodnocení měření byly signály na základě uvedených požadavků ořezány a výpočty byly provedeny jen z těchto oříznutých hodnot. Příklad určení časového intervalu měření je na obrázku 5.2.



Obr. 5.2 Časový interval měření akusticko-dynamických parametrů trati [10]

$T_p$  ..... doba průjezdu vlaku nebo ucelené jednotky

$T$  ..... časový interval měření

### 5.1.5 HLADINA AKUSTICKÉHO TLAKU POZADÍ

Hladina akustického tlaku pozadí  $A$  musí být při typové zkoušce minimálně o 10 dB nižší než hodnota hladiny akustického tlaku  $A$  odpovídající projíždějícímu vozidlu při hluku pozadí. Tento rozdíl 10 dB musí být při frekvenční analýze zajištěn v každém frekvenčním pásmu.

Pro kontrolní zkoušky je pravidlo benevolentnější, hladina akustického tlaku pozadí  $A$  musí být nižší alespoň o 5 dB než hladina  $A$  zjištěná měřením hluku vyzařovaného vozidlem. Tato podmínka musí být splněna vždy. Je-li rozdíl těchto hladin menší než 10 dB, je zapotřebí naměřenou hodnotu korigovat dle následující tabulky (Tab. 5.1).

Rozdíl mezi hladinou akustického tlaku $A$ zjištěnou při měření hluku vyzařovaného vozidlem při hluku pozadí a vlastní hladinou akustického tlaku $A$ pozadí [dB]	Korekce, která se má přičíst k hladině akustického tlaku $A$ zjištěné při měření hluku vyzařovaného vozidlem při hluku pozadí [dB]
> 10	0
6 až 9	-1
5	-2

Tab. 5.1 Korekce hladin akustického tlaku  $A$  při hluku pozadí

Součástí obou měřicích kampaní bylo toto kontrolní měření hladiny akustického pozadí  $A$ . Žádný z rozdílů hladin nebyl menší než 10 dB, a to na žádném frekvenčním pásmu. Proto nebylo nutné hodnoty upravovat pomocí korekcí.

## 5.2 MĚŘICÍ KAMPAŇ HRANICE NA MORAVĚ, UPEVNĚNÍ VOSSLOH

První etapa měření akusticko-dynamických parametrů se uskutečnila 16.7.2013 v lokalitě Hranice na Moravě. Stanoviště bylo situováno na trati č. 270 (trať Česká Třebová - Přerov - Bohumín) ve staničení km 213,692. Trať č. 270 je součástí celostátní dráhy a je v celé své délce elektrizovaná a dvoukolejná. Hranice na Moravě patří do II. a III. železničního koridoru.

Měřený úsek trati byl bez závad na kolejovém roštu. Poslední rekonstrukce byla v roce 2004. Větší údržba v podobě broušení kolejnic a souvislého podbíjení proběhla v roce 2009.

Měření probíhalo na koleji č. 2 mezi zastávkou Bělotín a železniční stanicí Hranice na Moravě. Úsek se nachází v pravostranném oblouku (ve směru staničení) o poloměru  $R = 704 \text{ m}$  a převýšení  $D = 113 \text{ mm}$ . Ve směru staničení trať stoupá ve sklonu  $4,62\%$ . Řídicí centrum měření bylo umístěno na vnější straně směrového oblouku v mírném zářezu.

V této lokalitě je bezстыková kolej s normálním rozchodem 1435 mm. Kolejový rošt je tvořen kolejnicemi UIC 60 a betonovými pražci typu B91 S/1. Kolejnice jsou upevněny pomocí systému Vossloh W14.

Ve vzdálenosti asi 50 m od místa měření se nacházel železniční přejezd místní komunikace.



Obr. 5.3 Měřicí stanoviště Hranice na Moravě, upevnění Vossloh W14

Podmínky měření jsou uvedeny v tabulce níže (Tab. 5.2). Všechny vlakové soupravy projíždějící po koleji č. 2 měly stejný směr, a to do železniční stanice Hranice na Moravě. Skladba dopravy je uvedena v tabulce č. 5.3.

Hranice na Moravě - podmínky měření								
Datum	Hodina	Počasí	Teplota vzduchu [°C]	Teplota kolejnice [°C]		Vlhkost vzduchu [%]	Atm. tlak [hPa]	Vítr (max.) [m/s]
				Vnitřní	Vnější			
16.7.2013	9:47	Jasno	22,4	14,7	19,1	50	1021	0,0
	10:47	Polojasno	30,1	18,5	21,4	27	1017	0,7
	11:47	Polojasno	29,8	29,4	31,0	34	1020	0,0
	12:47	Polojasno	31,3	15,4	15,9	23	1021	2,0
	13:47	Polojasno	33,7	45,8	47,0	20	1020	2,5

Tab. 5.2 Podmínky měření - měřicí stanoviště Hranice na Moravě

Hranice na Moravě - přehled měřených souprav							
Pořadí	Čas	Druh vlaku	Typ lokomotivy	Počet vozů	Směr (2. kolej)	Rychlost [km/h]	Pozn.
1.	9:57	SC Pendolino	682	7	Hranice	144	—
2.	10:11	pracovní vlak	—	—	Hranice	56 - 44	—
3.	10:20	nákladní	363	24	Hranice	40 - 45	—
4.	10:23	nákladní	363	34	Hranice	56	—
5.	10:29	IC RegioJet	362	5	Hranice	116	—
6.	10:42	nákladní	2 × Taurus E190	32	Hranice	40 - 45	—
7.	10:47	Ex	151	7	Hranice	103	—
8.	10:54	LEO Express	Siemens	5	Hranice	92	1)
9.	11:17	R	362	6	Hranice	107	—
10.	11:22	Os	163	3	Hranice	104	—
11.	11:30	EC	380	6	Hranice	112	—
12.	11:57	SC Pendolino	682	7	Hranice	150	—
13.	12:10	nákladní	363	25	Hranice	86	—
14.	12:15	nákladní	363	21	Hranice	60 - 50	—
15.	12:26	nákladní	740	2	Hranice	64	—
16.	12:29	IC RegioJet	362	5	Hranice	107	2)
17.	12:37	Ex	151	6	Hranice	114	—
18.	12:47	nákladní	363	24	Hranice	77	—
19.	12:59	LEO Express	Siemens	5	Hranice	128	—
20.	13:17	R	362	6	Hranice	110	—
21.	13:28	Os	163	3	Hranice	101	—
22.	13:38	nákladní	130	43	Hranice	78	—
23.	13:41	Lv	130, 121, 122	3	Hranice	79	3)
24.	13:58	nákladní	3 × 742	22	Hranice	50 - 28	—
25.	14:00	R	EP09	6	Hranice	53	—

Tab. 5.3 Přehled měřených vlakových souprav - měřicí stanoviště Hranice na Moravě

Poznámky k tabulce č. 5.3:

- 1) Souběh s nákladním vlakem jedoucím ve směru Ostrava
- 2) Souběh s vlakem IC RegioJet jedoucím ve směru Ostrava
- 3) Lokomotivní vlak

### **5.3 MĚŘICÍ KAMPAŇ NAPAJEDLA, UPEVNĚNÍ PANDROL**

Další kampaň měření proběhla druhý den, 17.7.2013 v lokalitě Napajedla. Stanoviště bylo situováno ve staničení km 152,106 železniční trati č. 330 (Přerov - Břeclav). Tato trať je dvoukolejná, elektrizovaná, celostátní a je součástí II. železničního koridoru.

Trať nevykazovala žádné známky vad kolejového roštu. Poslední rekonstrukce tohoto úseku trati proběhla v roce 1999. Při této rekonstrukci proběhlo také broušení kolejnic. Poslední zhutňování šterkového lože pomocí souvislého podbíjení proběhlo v roce 2011.

Měření akusticko-dynamických parametrů probíhalo na koleji č. 2 mezi železničními stanicemi Napajedla a Otrokovice. Úsek je v pravostranném oblouku (bráno ze směru staničení) o poloměru  $R = 761\text{ m}$ , převýšení je  $D = 133\text{ mm}$ . Ve směru staničení trať klesá se sklonem  $-3,33\%$ . Měření probíhalo z řídicího centra, jež se nacházelo v mírném násypu na vnější straně oblouku.

Kolej v celém úseku je bezстыková, o normálním rozchodu 1435 mm. Součástí železničního svršku jsou kolejnice UIC 60 a pražce B91 S/1 z předpjatého železobetonu. Upevnění je typu Pandrol FC I.

Ve vzdálenosti asi 180 m od měřicího stanoviště se nacházel železniční přejezd a hradlo Žlutava (v km 151,925). Podrobnější informace o železničních tratích č. 270 a 330 nalezneme v literatuře [13] a [14].



Obr. 5.4 Měřicí stanoviště Napajedla, upevnění Pandrol FC I

Tabulka č. 5.4 obsahuje údaje o klimatických podmínkách a hodnoty teploty kolejnice, zaznamenávané každou hodinu. Na koleji č. 2, kde probíhalo měření, projížděly vlaky v obou směrech (Napajedla, Otrokovice). Údaje o všech měřených vlakových soupravách jsou uvedeny v tabulce 5.5.

Napajedla - podmínky měření								
Datum	Hodina	Počasí	Teplota vzduchu [°C]	Teplota kolejnice [°C]		Vlhkost vzduchu [%]	Atm. tlak [hPa]	Vítr (max.) [m/s]
				Vnitřní	Vnější			
17.7.2013	8:30	Jasno	23,1	33,2	33,7	49	1031	0,8
	9:30	Jasno	26,4	41,6	44,6	43	1031	0,8
	10:30	Jasno	29,1	50,7	53,5	33	1030	1,4
	11:30	Jasno	31,1	48,5	48,9	25	1030	1,8
	12:30	Jasno	39,2	56,7	54,6	20	1026	0,0
	13:30	Jasno	38,8	49,7	49,3	20	1027	1,0

Tab. 5.4 Podmínky měření - měřicí stanoviště Napajedla

Napajedla - přehled měřených souprav							
Pořadí	Čas	Druh vlaku	Typ lokomotivy	Počet vozů	Směr (2. kolej)	Rychlost [km/h]	Pozn.
1.	8:39	R	150	5	Napajedla	116	—
2.	8:51	nákladní	363	25	Otrokovice	83	—
3.	9:05	nákladní	742	9	Napajedla	54 - 59	—
4.	9:12	nákladní	363	9	Napajedla	45	—
5.	9:20	R	150	5	Otrokovice	108	—
6.	9:33	Lv	ASP	1	Napajedla	55	1)
7.	9:54	R	362	5	Napajedla	100	—
8.	10:39	R	150	5	Napajedla	96	—
9.	10:50	nákladní	189, 742, 742	27	Otrokovice	46	—
10.	10:56	nákladní	363	32	Otrokovice	58	—
11.	11:20	R	150	5	Otrokovice	108	—
12.	11:26	nákladní	363	18	Napajedla	65	—
13.	11:49	R	362	5	Napajedla	110	—
14.	12:02	MUV 77	—	—	Napajedla	57	2)
15.	12:18	EC	380	6	Napajedla	114	—
16.	12:24	Os	362	3	Napajedla	101	—
17.	12:43	Os	163	3	Otrokovice	110	—
18.	12:50	nákladní	363	25	Napajedla	60	—
19.	13:16	Os	362	3	Napajedla	115	—
20.	13:20	nákladní	Siemens	31	Napajedla	79 - 50	—

Tab. 5.5 Přehled měřených vlakových souprav - měřicí stanoviště Napajedla

Poznámky k tabulce č. 5.5:

1) Lokomotivní vlak - podbíječka

2) Postřikovací souprava (MUV 77)

Jedna z důležitých charakteristik, podle kterých můžeme vlaky srovnávat, je jejich rychlost. V obou měřicích kampaních byla rychlost vlakových souprav měřena pomocí laserového rychloměru Buschnell 10-1900.



## 6. VYHODNOCENÍ AKUSTICKÝCH PARAMETRŮ

Zpracovaná analýza akustických parametrů je v časové a ve frekvenční oblasti. Pro srovnávání byl vytvořen soubor osmi dvojic referenčních vlakových souprav. Jedna souprava z každé dvojice reprezentuje chování upevnění Vossloh W14 (úsek Hranice na Moravě), druhá souprava projížděla na úseku s upevněním Pandrol FC I (stanoviště Napajedla). Na základě tohoto souboru vlaků srovnávám jak hluk, tak vibrace. Srovnání jednotlivých vlakových souprav bylo provedeno podle více kritérií. Těmito kritérii jsou: druh vlaku, jeho rychlost, typ lokomotivy, počet vozů a v neposlední řadě hodnota průjezdem vyvolaného nedostatku/přebytku převýšení. Srovnávané vlaky byly rozděleny do tří skupin podle druhu vlaku. První skupinou jsou osobní vlaky (tedy dvojice č. 1 a 2), druhou skupinu tvoří rychlíky a vlaky EuroCity (3. - 5. dvojice) a poslední srovnávanou kategorií jsou nákladní vlaky (dvojice č. 6, 7 a 8).

Srovnání vlaků obou měřených úseků									
Dvojice	Pořadí vlaků	Čas	Druh vlaku	Typ lokomotivy	Počet vozů	Úsek	Rychlost [km/h]	$D_{eq}$ [mm]	I/E [mm]
1	10.	11:22	Os	163	3	Hranice na Moravě	104	182	I= 69
	19.	13:16	Os	362	3	Napajedla	115	206	I= 73
2	21.	13:28	Os	163	3	Hranice na Moravě	101	171	I= 58
	17.	12:43	Os	163	3	Napajedla	110	188	I= 55
3	9.	11:17	R	362	6	Hranice na Moravě	107	192	I= 79
	11.	11:20	R	150	5	Napajedla	108	181	I= 48
4	20.	13:17	R	362	6	Hranice na Moravě	110	203	I= 90
	13.	11:49	R	362	5	Napajedla	110	188	I= 55
5	11.	11:30	EC	380	6	Hranice na Moravě	112	211	I= 98
	15.	12:18	EC	380	6	Napajedla	114	202	I= 69
6	4.	10:23	nákladní	363	34	Hranice na Moravě	56	53	E= 61
	10.	10:56	nákladní	363	32	Napajedla	58	53	E= 81
7	13.	12:10	nákladní	363	25	Hranice na Moravě	86	124	I= 11
	2.	8:51	nákladní	363	25	Napajedla	83	107	E= 27
8	14.	12:15	nákladní	363	21	Hranice na Moravě	60 - 50	71	E= 43
	12.	11:26	nákladní	363	18	Napajedla	65	66	E= 68

Tab. 6.1 Srovnání vlakových souprav různých konstrukcí upevnění

### 6.1 ANALÝZA NAMĚŘENÝCH DAT V ČASOVÉ OBLASTI

Pro vyhodnocení akustických parametrů v časové oblasti je nejdůležitější veličinou hladina expozice průjezdu  $TEL$  [dB]. Pro tuto analýzu byl použit váhový filtr A, jež je v mezinárodním měřítku nejčastěji používán. Tento postup je také doporučen v technické normě ČSN EN ISO 3095 [10]. Hodnoty hladin expozice průjezdu vidíme v tabulkách 6.2 až 6.7. Z důvodu zavedení filtru A je jako jednotka uvedena dB(A).

### 6.1.1 HLADINA EXPOZICE PRŮJEZDU TEL OSOBNÍCH VLAKŮ

V první fázi srovnávám dvě dvojice osobních vlaků. Všechny čtyři vlakové soupravy měly za lokomotivu 3 vozy. V případě první dvojice je typ hnacího vozidla různý, ale ve své hmotnosti se příliš neliší, proto mohl být zařazen do srovnání. Druhá dvojice vlaků měla stejný typ hnacího vozidla, a sice lokomotivu 163. Vlaky projížděly srovnatelnou rychlostí (v obou srovnávaných dvojicích se rychlost liší o 9 km/h). Také hodnoty nedostatku převýšení jsou podobné. Pro první dvojici je to 69 a 73 mm; v případě druhé dvojice dosahují hodnoty srovnatelných 58 a 55 mm. Podrobnosti o všech srovnávaných vlacích najdeme v tabulce na začátku kapitoly 6 (Tab. 6.1).

Dvojice č. 1			TEL [dB(A)]			
			Vnější strana		Vnitřní strana	
Číslo vlaku	Úsek	Vlak, rychlost [km/h]	M8 (1,85 m)	M9 (7,5 m)	M0 (1,85 m)	M1 (7,5 m)
10.	Hranice na Moravě	Os; 104	98	90	98	87
19.	Napajedla	Os; 115	97	87	94	86

Tab. 6.2 Hladina expozice průjezdu TEL - dvojice č. 1

Dvojice č. 2			TEL [dB(A)]			
			Vnější strana		Vnitřní strana	
Číslo vlaku	Úsek	Vlak, rychlost [km/h]	M8 (1,85 m)	M9 (7,5 m)	M0 (1,85 m)	M1 (7,5 m)
21.	Hranice na Moravě	Os; 101	97	89	97	86
17.	Napajedla	Os; 110	97	88	95	87

Tab. 6.3 Hladina expozice průjezdu TEL - dvojice č. 2

Z těchto dvojic dosahuje větších rozdílů pár č. 1. Nejvyšší rozdíl je na bližším mikrofonu na vnitřní straně, a to o 4 dB. Z této dvojice vychází jako hlučnější vlak projíždějící na konstrukci s upevněním Vossloh, ačkoliv byla u něj rychlost nižší (104 km/h). Na tento výsledek nemůže mít vliv ani rozdílnost lokomotiv, neboť hlučnější vlak měl lokomotivu s lehce nižší hmotností (typ 163; hmotnost ve službě 85 t). Lokomotiva vlaku v Napajedlech (typ 362) váží 86 t. U druhé dvojice je největší rozdíl patrný na stejném mikrofonu (M0; 1,85 m). Po zprůměrování hladin expozice průjezdu z těchto dvou srovnávaných párů vychází lépe konstrukce s upevněním Pandrol. Na

mikrofonu ve vzdálenosti 1,85 m od osy koleje jsou rozdíly 0,5 dB na vnější straně oblouku. Na straně vnitřní pak 3 dB. Vyšších hodnot dosahuje upevnění Vossloh. U vzdálenějších mikrofonů na vnější straně (M9; 7,5 m od osy) je tento rozdíl v průměru 3 dB. Po vyhodnocení signálů ze všech čtyř snímačů akustického tlaku pak dostáváme průměrné rozdíly hladiny TEL 1,4 dB, v neprospěch upevnění Vossloh.

Dále jsem se zaměřila na rozdíly v odezvách mezi mikrofony na vnější a na vnitřní straně oblouku. U všech těchto vlaků dostáváme vyšší (nebo stejné) hodnoty ze snímačů na vnější straně. Tyto rozdíly dosahují až 3 dB. V průměru se od sebe hodnoty na vnější a na vnitřní straně liší o 1,6 dB. To platí bez ohledu na typ upevnění. Zvýšený hluk na vnější straně je způsoben převýšením v oblouku. K menším hodnotám akustické odezvy na straně vnitřní přispívá rovněž konstrukce kolejového lože.

### 6.1.2 HLADINA EXPOZICE PRŮJEZDU TEL RYCHLÍKŮ A VLAKŮ EURO CITY

V další fázi jsem provedla srovnání 4 rychlíků a 2 vlaků EC (EuroCity). U rychlíků dvojice č. 3 je jiný typ hnacího vozidla. Vlak v úseku Hranice na Moravě měl lokomotivu typu 362, oproti tomu vlaková souprava v Napajedlech byla hnána lokomotivou 150. Rozdíly v hmotnostech však nejsou příliš výrazné, a proto byly zařazeny do srovnávacího souboru. Rychlost těchto vlaků je téměř stejná (107 a 108 km/h). Vlak v Hranicích na Moravě má 6 vozů, souprava v Napajedlech 5 vozů. Další dva rychlíky (dvojice č. 4) již mají stejnou lokomotivu (typ 362) a stejnou rychlost 110 km/h. Počet vozů je opět mírně odlišný. Vlak projíždějící úsekem Hranice na Moravě má za lokomotivou 6 vozů, vlak v Napajedlech 5 vozů. Dvojice č. 5 sestává z totožných vlakových souprav. Jedná se o vlaky EuroCity s lokomotivou 380. Oba vlaky mají 6 vozů a jejich rychlost je velmi podobná (112 a 114 km/h). Představují proto ideální volbu vlaků ke srovnání. Podrobnosti o všech srovnávaných vlacích najdeme v tabulce na začátku kapitoly 6 (Tab. 6.1).

Dvojice č. 3			TEL [dB(A)]			
			Vnější strana		Vnitřní strana	
Číslo vlaku	Úsek	Vlak, rychlost [km/h]	M8 (1,85 m)	M9 (7,5 m)	M0 (1,85 m)	M1 (7,5 m)
9.	Hranice na Moravě	R; 107	102	93	102	91
11.	Napajedla	R; 108	103	94	102	94

Tab. 6.4 Hladina expozice průjezdu TEL - dvojice č. 3

Dvojice č. 4			TEL [dB(A)]			
			Vnější strana		Vnitřní strana	
Číslo vlaku	Úsek	Vlak, rychlost [km/h]	M8 (1,85 m)	M9 (7,5 m)	M0 (1,85 m)	M1 (7,5 m)
20.	Hranice na Moravě	R; 110	101	93	101	92
13.	Napajedla	R; 110	102	93	100	93

Tab. 6.5 Hladina expozice průjezdu TEL - dvojice č. 4

Dvojice č. 5			TEL [dB(A)]			
			Vnější strana		Vnitřní strana	
Číslo vlaku	Úsek	Vlak, rychlost [km/h]	M8 (1,85 m)	M9 (7,5 m)	M0 (1,85 m)	M1 (7,5 m)
11.	Hranice na Moravě	EC; 112	95	87	95	86
15.	Napajedla	EC; 114	97	88	93	85

Tab. 6.6 Hladina expozice průjezdu TEL - dvojice č. 5

Z tabulek (Tab. 6.4 a 6.5) je patrné, že v případě průjezdu rychlíků (tedy dvojic č. 3 a 4), jsou větší odezvy na upevnění Pandrol. Bývá to ovšem rozdíl pouhého 1 dB. Jedinou výjimkou je u dvojice č. 3 signál ze vzdáleného mikrofonu na vnitřní straně (M1; 7,5 m od osy). Rozdíl odezev z těchto snímačů je 3 dB. Tato hodnota zároveň představuje největší rozdíl hlučnosti ze všech snímačů těchto tří dvojic vlaků. Zajímavé výsledky zobrazuje tabulka 6.6 o dvojici č. 5. Jedná se o vlaky EC, jež jsou prakticky totožné. Ukazuje se, že hlučnost na vnější straně oblouku je větší v situaci s upevněním Pandrol. Na bližším mikrofonu (M8; 1,85 m od osy) je rozdíl 2 dB, odezva z mikrofonu M9 (7,5 m od osy) se liší o 1 dB. Na straně vnitřní je však situace přesně opačná. Se stejnými hodnotami rozdílů se jako hlučnější projevuje upevnění Vossloh. Z těchto údajů vyplývá, že akustické odezvy těchto dvou vlaků jsou srovnatelné.

Průměrný rozdíl odezev ze všech snímačů u rychlíků a vlaků EC je 1 dB. Přičemž největší rozdíl 1,3 dB je u odezvy z mikrofonu M8, umístěného 1,85 m od osy na vnější straně oblouku. U vzdálenějšího mikrofonu na stejné straně je tento rozdíl pouhých 0,7 dB. Tyto rozdíly hrají v neprospěch upevnění Pandrol. Na straně vnitřní jsou pak odezvy vyrovnané. Je však potřeba podotknout, že větší hlučnost upevnění Pandrol se týká pouze dvojic č. 3 a 4. To jsou právě dvojice vlaků, jež se liší počtem vozů. V obou případech vychází horší výsledky (vyšší hodnoty) pro soupravy s menším počtem vozů.

Nejvýznamnější vliv na hluk z vlakové soupravy má lokomotiva. V soupravě s menším počtem vozů je vliv lokomotivy zřetelnější. Vlaky s menším počtem vozů tak vykazují vyšší odezvy. Z toho důvodu nelze z analýzy těchto rychlíků vyvodit absolutní závěr. Pro přesnost vyhodnocení by v ideálních podmínkách měly mít vlakové soupravy stejný počet vozů. V reálném prostředí měření *in situ* je však splnění všech požadovaných kritérií (stejný druh vlaku, rychlost, typ lokomotivy, počet vozů, nedostatek/přebytek převýšení) těžko dosažitelné. Vybrané srovnávané vlaky jsou ty, které se těmto požadavkům nejvíce blíží.

Z hlediska rozdílů hodnot na vnější a na vnitřní straně oblouku je situace obdobná jako v případě osobních vlaků. Bez výjimky jsou odezvy vyšší (popř. stejné) na vnější straně oblouku. Volba upevnění na tuto skutečnost nemá vliv. Největší rozdíl je 4 dB a průměrně se hodnoty liší o 1,2 dB.

### **6.1.3 HLADINA EXPOZICE PRŮJEZDU TEL NÁKLADNÍCH VLAKŮ**

Vyhodnocení nákladních vlaků je komplikovanou záležitostí. Je prakticky nemožné najít dvě stejné vlakové soupravy. Pro srovnávání bylo zvoleno 6 vlakových souprav se stejným typem hnacího vozidla, a sice lokomotivou typu 363. Také rychlosti se od sebe příliš neliší. U dvojice č. 6 je rozdíl pouhé 2 km/h a u dvojice č. 7 jsou to 3 km/h. Neznáme však hmotnost nákladu, která se může od sebe značně lišit. Z hlediska počtu vozů bylo také nesnadné zvolit srovnatelné soupravy. Vlaky páru č. 6 se od sebe liší o dva vozy (souprava projíždějící úsekem Hranice na Moravě měla celkem 34 vozů, souprava v Napajedlech 32 vozů). Jediná srovnatelná dvojice se stejným počtem vozů je dvojice č. 7 s 25 vozy. Poslední zkoumaný pár vlaků se pak liší o 3 vozy. Vlak projíždějící stanovištěm v Hranicích na Moravě měl za lokomotivou 21 vozů, souprava v Napajedlech pak jen 18 vozů. Podrobnosti o všech srovnávaných vlacích najdeme v tabulce na začátku kapitoly 6 (Tab. 6.1).

Dvojice č. 6 - 8 (nákladní vlaky)			TEL [dB(A)]			
			Vnější strana		Vnitřní strana	
Číslo vlaku	Úsek	Vlak, rychlost [km/h]	M8 (1,85 m)	M9 (7,5 m)	M0 (1,85 m)	M1 (7,5 m)
4.	Hranice na Moravě	Na; 56	99	91	99	89
10.	Napajedla	Na; 58	102	94	102	94
13.	Hranice na Moravě	Na; 86	102	94	103	93
2.	Napajedla	Na; 83	104	95	104	95
14.	Hranice na Moravě	Na; 55	107	99	107	97
12.	Napajedla	Na; 65	104	96	104	96

Tab. 6.7 Hladina expozice průjezdu TEL - dvojice č. 6 - 8 (nákladní vlaky)

Vzhledem k již zmiňované komplikované srovnatelnosti jednotlivých vlaků (pro rozdílný počet vozů a hmotnost nákladu) jsem provedla srovnání pouze z průměrů hodnot na jednotlivých stanovištích. Největší rozdíl mezi upevněními je u odezvy ze snímače M1 (vnitřní strana; vzdálenost 7,5 m od osy). Rozdíl činí 2 dB. Na bližším mikrofonu ve vnitřní straně oblouku je rozdíl průměrně jen 0,3 dB. Stejná hodnota rozdílu je také na mikrofonu M9 (vnější strana; 7,5 m od osy). Odezvy mikrofonů M8 (vnější strana; 1,85 m od osy koleje) se liší o 0,7 dB. Celkový průměr odezev ze všech snímačů je pak 0,8 dB. Z rozebíraných tří skupin vlaků vykazují nákladní vlaky nejmenší rozdíly a jejich akustické parametry jsou tak nejméně ovlivňovány použitým typem upevnění.

Co se týče rozdílů mezi stranami vůči druhé koleji (tedy vnější a vnitřní strana), i v případě nákladních vlaků platí stejné pravidlo jako u vlaků osobní přepravy. Tedy že vnější strana vykazuje větší odezvy než strana vnitřní (popř. jsou srovnatelné). Jedinou výjimkou je 13. vlak v úseku Hranice na Moravě. Větší hodnota na vnitřní straně oblouku je u bližšího mikrofonu (M0 oproti M8; vzdálenost 1,85 m od osy koleje). Rozdíl ovšem činí jen 1 dB. Tento vlak je také jediný ze všech porovnávaných nákladních vlaků, který svým průjezdem rychlostí 86 km/h vyvolává nedostatek převýšení. U všech ostatních nákladních vlaků se díky jejich nižší rychlosti setkáváme naopak s přebytkem převýšení. Obecně nejsou rozdíly v odezvách na vnější a vnitřní straně tak markantní jako u vlaků osobní přepravy. Ve většině případů jsou tyto rozdíly dokonce nulové. Je to pravděpodobně dáno mnohem vyšší hmotností těchto vlaků. Maximální hodnota rozdílu je 2 dB a průměr pak činí pouhých 0,3 dB. Rozdíly na vnější a vnitřní straně u nákladních vlaků jsou tedy téměř zanedbatelné.

## 6.2 ANALÝZA NAMĚŘENÝCH DAT VE FREKVENČNÍ OBLASTI

Druhou úrovní analýzy akustických parametrů je vyhodnocení ve frekvenční oblasti. V této oblasti byla zvolena metoda třetinooktávové analýzy průměrných hladin akustického tlaku. Pásmo slyšitelnosti je u člověka teoreticky  $16 \text{ Hz} \approx 20 \text{ kHz}$ , prakticky je to spíše  $16 \text{ Hz} \approx 16 \text{ kHz}$ . Spodní hranice třetinooktávového spektra byla určena podle dolní meze pásma slyšitelnosti. V rámci technických opatření stavby dochází ke snižování hluku v oblasti do  $12,5 \text{ kHz}$ . Jako horní hranice pro tuto analýzu byla zvolena právě tato hodnota. Třetinooktávová analýza hladin akustického tlaku byla proto provedena v pásmu frekvencí  $16 \text{ Hz} \approx 12,5 \text{ kHz}$ .

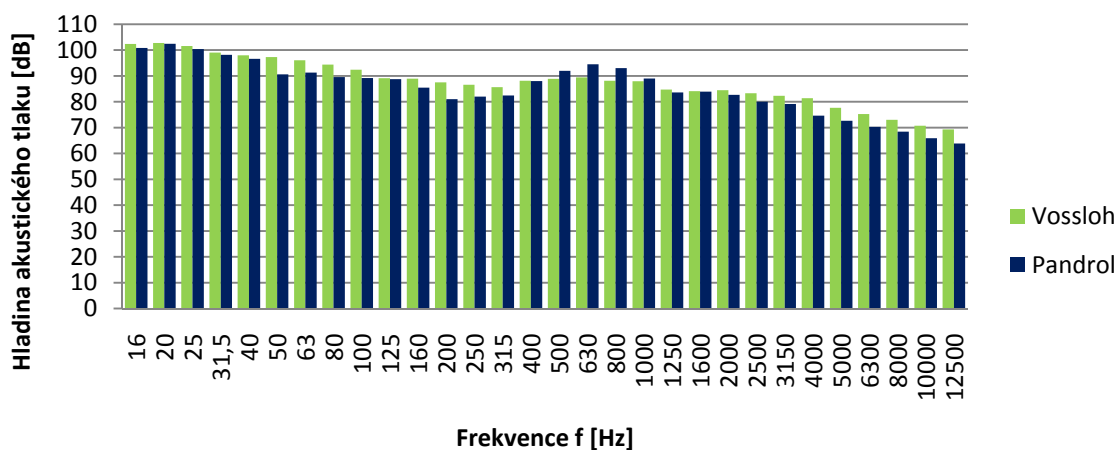
V této analýze nebyl použit žádný váhový filtr. Vyhodnocení je, stejně jako v časové oblasti, rozděleno do 3 skupin. První dvě skupiny představují vlaky osobní přepravy, skupina poslední pak zastupuje nákladní vlakové soupravy. Záznam signálu každé dvojice vlaků byl zpracován ve formě sloupcového grafu se dvěma řadami sloupců. Osa  $x$  představuje jednotlivá kmitočtová pásma  $f$  [Hz], osa  $y$  průměrné hladiny akustického tlaku  $L_p$  [dB]. Zelené sloupce označují signály s upevněním Vossloh, tmavě modré pak upevnění Pandrol. Z grafů jsou tak patrné rozdíly hlučnosti na konkrétních frekvencích. Pro srovnání akustické odezvy ve frekvenční oblasti byl použit stejný soubor srovnávaných dvojic jako pro časovou analýzu (Tab. 6.1). Z výsledků v časové oblasti vyplývá, že nejvyšší hodnoty akustické odezvy jsou na snímači M8, tedy mikrofon ve vnější části oblouku vzdálený  $1,85 \text{ m}$  od osy koleje. Proto jsem pro vyhodnocení hluku ve frekvenční oblasti využila signálů právě z těchto snímačů.

### 6.2.1 TŘETINOOKTÁVOVÁ ANALÝZA HLADIN AKUSTICKÉHO TLAKU OD PRŮJEZDU OSOBNÍCH VLAKŮ

Z grafů 6.1 a 6.2 je patrné, že celkově vyšší hodnoty vykazuje upevnění Vossloh. Rozdíly odezev dvojice č. 1 jsou výraznější než u dvojice č. 2. Oba typy upevnění dosahují nejvyšších hodnot průměrné hladiny akustického tlaku na nejnižších frekvencích  $16 \text{ Hz}$  a  $20 \text{ Hz}$ . Vlaky z 1. dvojice na těchto frekvencích překračují  $100 \text{ dB}$ . Naopak nejnižší hodnoty jsou na druhém konci spektra, při frekvenci  $12,5 \text{ kHz}$ . Největší rozdíly hladin akustického tlaku ve prospěch upevnění Pandrol jsou na frekvencích  $50$  až  $315 \text{ Hz}$  a dále na vysokých frekvencích  $2 \text{ kHz}$  až  $12,5 \text{ kHz}$ . Maximální rozdíly v těchto pásmech činí  $7 \text{ dB}$ . Naopak v pásmu středních frekvencí  $500$  až  $1000 \text{ Hz}$  hlučnost upevnění Pandrol

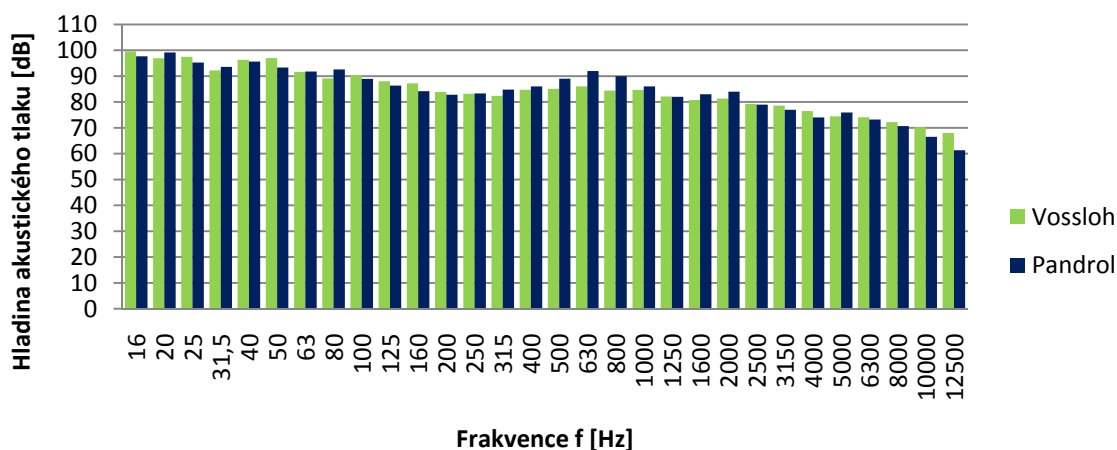
převyšuje nad upevněním Vossloh. Tato skutečnost je patrnější u osobních vlaků dvojice č. 2. Lidský sluch je nejcitlivější v oblasti okolo  $f = 1000$  Hz. V tomto pásmu však tyto dvě konstrukce nevykazují velké rozdíly.

### Dvojice č. 1



Graf 6.1 Třetinooktávová analýza průměrných hladin akustického tlaku - dvojice č. 1; snímač M8 (1,85 m)

### Dvojice č. 2



Graf 6.2 Třetinooktávová analýza průměrných hladin akustického tlaku - dvojice č. 2; snímač M8 (1,85 m)

Pro nejlépe slyšitelné pásmo 100 ~ 5000 Hz jsem provedla tzv. energetické součty (viz Tab. 6.8). Z této tabulky lze vypočítat, že hodnoty jsou horší na straně upevnění Pandrol. Rozdíly jsou však jen malé.



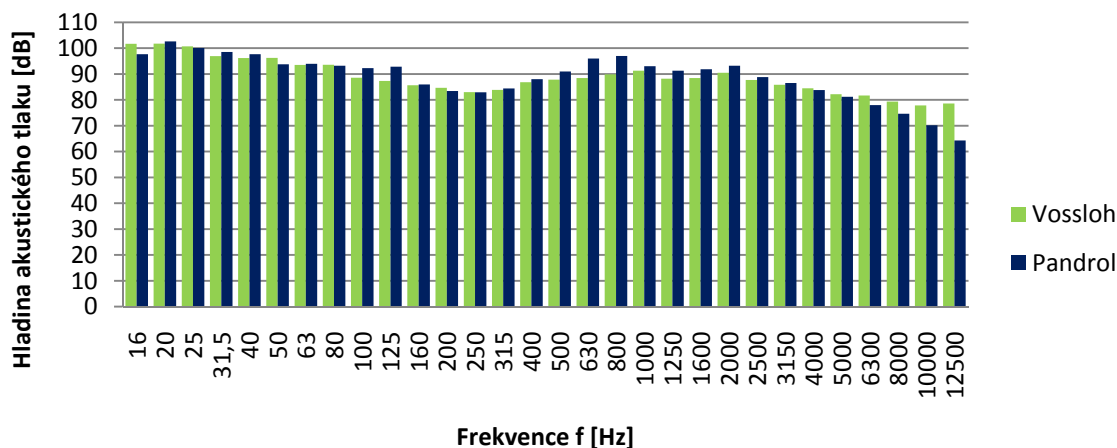
Typ upevnění (měřicí stanoviště)	L <sub>p</sub> [dB]	
	Dvojice č. 1	Dvojice č. 2
Vossloh (Hranice na Moravě)	100	97
Pandrol (Napajedla)	100	99

Tab. 6.8 Energetické součty v oblasti 100 až 5000 Hz; srovnání osobních vlaků

### 6.2.2 TŘETINOOKTÁVOVÁ ANALÝZA HLADIN AKUSTICKÉHO TLAKU OD PRŮJEZDU RYCHLÍKŮ A VLAKŮ EURO CITY

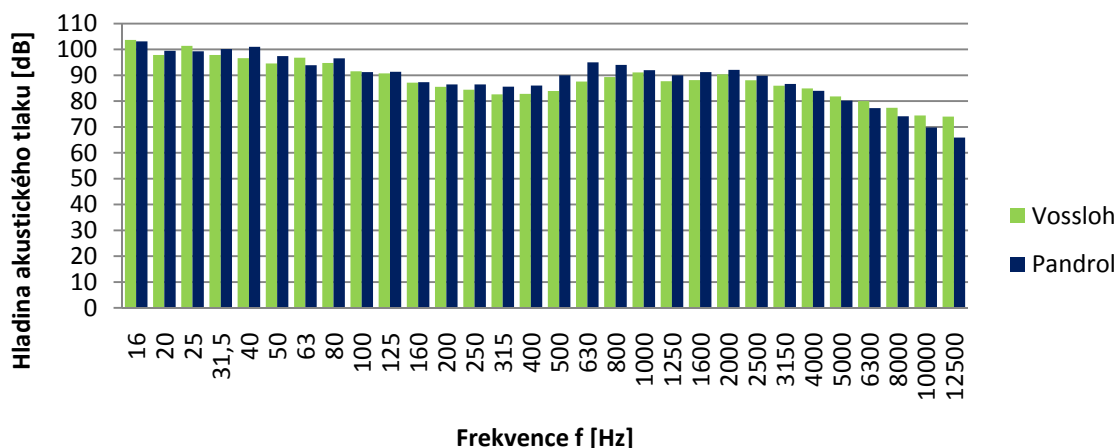
U rychlíků a vlaků EuroCity jsou nejvyšší a nejnižší hladiny akustického tlaku na stejných frekvencích jako u vlaků osobních. Největší odezvy tedy obě upevnění vykazují při nízkých frekvencích 16 a 20 Hz. Nejnižší pak v pásmu vysokých frekvencí, 10 a 12,5 kHz. Z hlediska rozdílů mezi oběma konstrukcemi je výrazná frekvenční oblast 200 až 3150 Hz. V tomto pásmu středních frekvencí si vede lépe upevnění Vossloh. Upevnění Pandrol ve vybraných frekvencích tohoto pásma dosahuje hodnot až o 7 dB vyšších než konstrukce s upevněním Vossloh. Vyšší hodnoty u upevnění Vossloh se vyskytují v pásmu vysokých frekvencí 4 až 12,5 kHz.

#### Dvojice č. 3



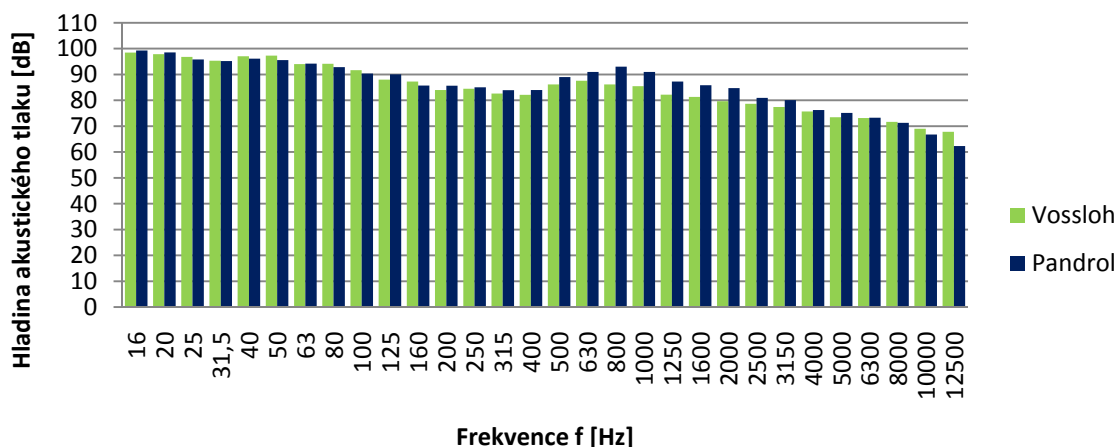
Graf 6.3 Třetinooktávová analýza průměrných hladin akustického tlaku - dvojice č. 3; snímač M8 (1,85 m)

#### Dvojice č. 4



Graf 6.4 Třetinooktávová analýza průměrných hladin akustického tlaku - dvojice č. 4; snímač M8 (1,85 m)

#### Dvojice č. 5



Graf 6.5 Třetinooktávová analýza průměrných hladin akustického tlaku - dvojice č. 5; snímač M8 (1,85 m)

Typ upevnění (měřící stanoviště)	L <sub>p</sub> [dB]		
	Dvojice č. 3	Dvojice č. 4	Dvojice č. 5
Vossloh (Hranice na Moravě)	100	100	98
Pandrol (Napajedla)	104	103	100

Tab. 6.9 Energetické součty v oblasti 100 až 5000 Hz; srovnání rychlíků a vlaků EC

Konstrukce s upevněním Vossloh vykazuje na vybraných frekvencích vyšší odezvy. V pásmu nejvyšší frekvence 12,5 kHz v případě dvojice vlaků č. 3 dosahuje hodnot

dokonce o 14 dB vyšších. Tyto vysoké frekvence však nejsou pro lidský sluch zásadní. Mnohem větší roli pro nás hrají střední frekvence okolo 1000 až 2000 Hz. Akustický tlak v těchto frekvencích vnímáme citlivěji, a proto se může subjektivně zdát hluk větší. Z toho důvodu jsem opět vypočítala energetické součty pro rozsah 100 až 5000 Hz (Tab. 6.9). Z těchto výsledků lze celkově považovat za hlučnější konstrukci s upevněním Pandrol.

### 6.2.3 TŘETINOOKTÁVOVÁ ANALÝZA HLADIN AKUSTICKÉHO TLAKU OD PRŮJEZDU NÁKLADNÍCH VLAKŮ

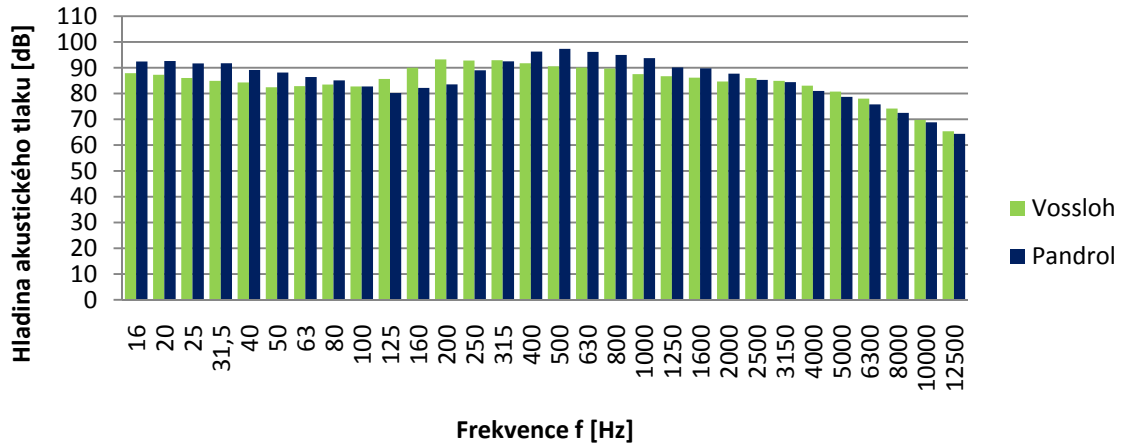
Srovnávané nákladní vlaky představují dvojice č. 6, 7 a 8. Na rozdíl od vlaků osobní přepravy se nejvyšší hodnoty akustického tlaku již nevyskytují ve spektru nízkých frekvencí. V konstrukci s upevněním Pandrol se největší míra hluku projevuje na středních frekvencích (500 a 630 Hz). Zde průměrné hladiny akustického tlaku dosahují hodnot až 100 dB. V případě upevnění Vossloh nemůžeme jednoznačně říct, na kterých frekvencích je obecně dosaženo maxima. U prvního porovnávaného nákladního vlaku (z 6. dvojice) se maximum nachází na frekvenci 200 Hz. U druhého vlaku (7. dvojice) jsou maximální hodnoty při kmitočtech 400 a 500 a dále také v pásmu nízkých frekvencí (do 40 Hz). U posledního nákladního vlaku s upevněním Vossloh najdeme nejvyšší odezvy na frekvencích 315 a 1000 Hz. Z grafu 6.6 je patrné, že hlučnější upevnění zde představuje Pandrol. Dle grafu 6.8 (dvojice č. 8) naopak můžeme vyhodnotit upevnění Vossloh jako horší z hlediska akustických parametrů. U vlakových souprav 7. dvojice jsou odezvy mnohem vyrovnanější, přesto lze v tomto případě vyhodnotit upevnění Pandrol jako hlučnější variantu.

Pro ukázkou odezvy obou konstrukcí v důležitých frekvencích 100 až 5000 Hz jsem opět provedla energetické součty v oblasti nejslyšitelnějšího pásma. Horší akustické vlastnosti při průjezdu nákladních vlaků vykazuje upevnění typu Pandrol. Rozdíly však nejsou příliš výrazné.

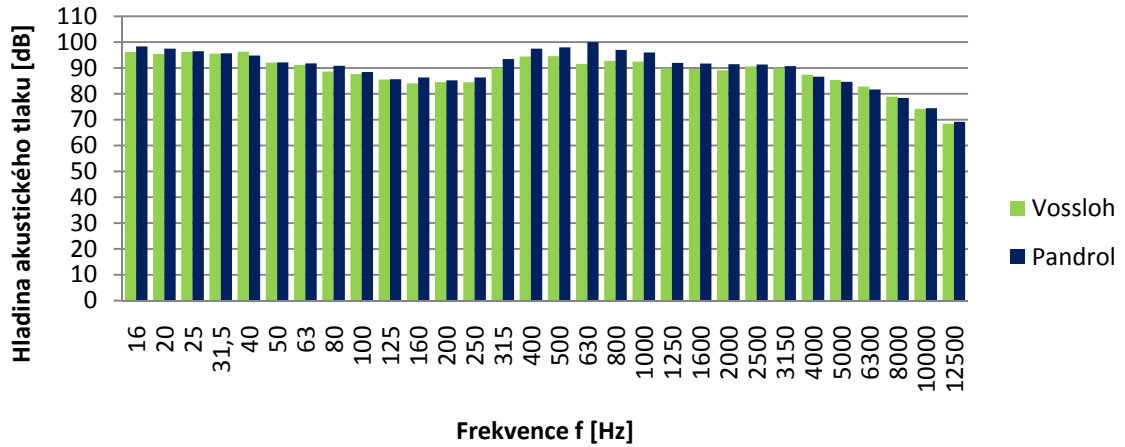
Typ upevnění (měřicí stanoviště)	L <sub>p</sub> [dB]		
	Dvojice č. 6	Dvojice č. 7	Dvojice č. 8
Vossloh (Hranice na Moravě)	102	103	107
Pandrol (Napajedla)	104	106	105

Tab. 6.10 Energetické součty v oblasti 100 až 5000 Hz; srovnání nákladních vlaků

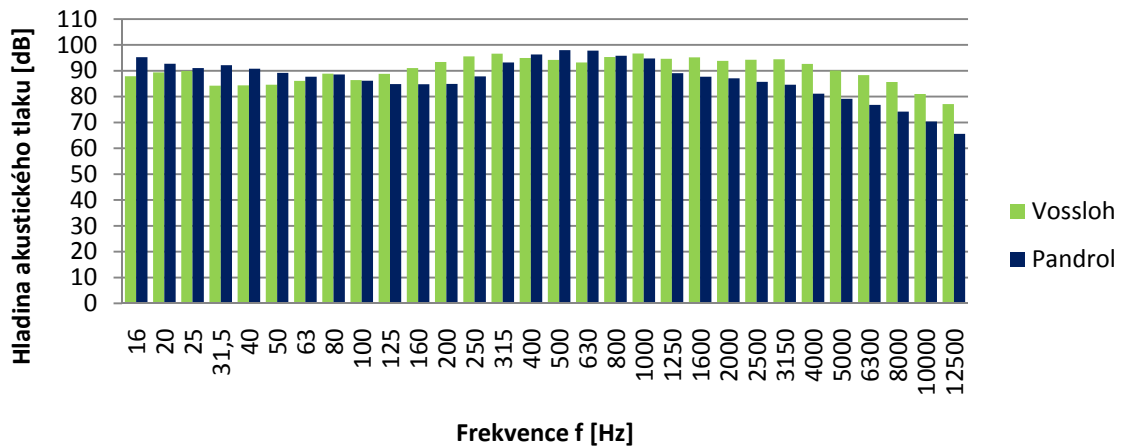
**Dvojice č. 6 - 8 (nákladní vlaky)**



*Graf 6.6 Třetinooktávová analýza průměrných hladin akustického tlaku - dvojice č. 6; snímač M8 (1,85 m)*



*Graf 6.7 Třetinooktávová analýza průměrných hladin akustického tlaku - dvojice č. 7; snímač M8 (1,85 m)*



*Graf 6.8 Třetinooktávová analýza průměrných hladin akustického tlaku - dvojice č. 8; snímač M8 (1,85 m)*

## 7. VYHODNOCENÍ DYNAMICKÝCH PARAMETRŮ

Stejně jako u analýzy akustických parametrů, vyhodnocení dynamických parametrů jsem provedla také v časové a ve frekvenční oblasti. Analýza je opět rozdělena do tří skupin, a sice osobní vlaky, rychlíky a EC a vlaky nákladní. V těchto skupinách srovnávám dvojice vlaků. Jako první v dvojici uvádím vlak ze stanoviště Hranice na Moravě, čili z úseku s upevněním Vossloh W14. Druhá vlaková souprava z dvojice představuje vždy vlak projíždějící úsekem Napajedla. V tomto úseku nalezneme upevnění typu Pandrol FC I.

### 7.1 ANALÝZA NAMĚŘENÝCH DAT V ČASOVÉ OBLASTI

Pro hodnocení dynamických parametrů v časové oblasti je zrychlení vibrací  $a$  [ $\text{m/s}^2$ ] převedeno na hodnotu v decibelech v podobě efektivní hladiny zrychlení vibrací  $L_{Aef}$ . Hladiny zrychlení vibrací byly tedy zpracovány v podobě efektivních hodnot, tzv. RMS (Root Mean Square). Tato charakteristika je pro popis signálu v časové oblasti stěžejní. Představuje důležité měřítko škodlivosti a nebezpečnosti vibrací.

#### 7.1.1 EFEKTIVNÍ HODNOTY HLADINY ZRYCHLENÍ VIBRACÍ OD PRŮJEZDU OSOBNÍCH VLAKŮ

Pro porovnání osobních vlaků byly použity dvě dvojice. Vlaky měřené v úseku Hranice na Moravě měly lokomotivy typu 163. Vlak v Napajedlech z druhé srovnávané dvojice byl vybaven stejným typem hnacího vozidla. Pouze vlaková souprava v Napajedlech z první dvojice (vlak č. 19) měla lokomotivu typu 362. Všechny čtyři vlakové soupravy měly za lokomotivou 3 vozy.

Vlaky projížděly podobnou rychlostí (v obou srovnávaných dvojicích se rychlost lišila o 9 km/h, rychlejší vlaky projížděly úsekem Napajedla). Na rozvoj vibrací má velký vliv projektované převýšení trati a rychlost kolejových vozidel. Hodnoty nedostatku převýšení jsou podobné. Pro první dvojici je to 69 a 73 mm; v případě druhé dvojice dosahují hodnoty srovnatelných 58 a 55 mm. Podrobnosti o všech srovnávaných vlcích najdeme v tabulce na začátku kapitoly 6 (Tab. 6.1).

Dvojice č. 1			L <sub>Aef</sub> [dB]					
			Vnější strana			Vnitřní strana		
Číslo vlaku	Úsek	Vlak, rychlost [km/h]	A15 (hlava pražce)	A13r (hrana kol. l.)	A14r (7,5 m od osy)	A7 (hlava pražce)	A11r (hrana kol. l.)	A12r (7,5 m od osy)
10.	Hranice na Moravě	Os; 104	136	107	94	137	104	68
19.	Napajedla	Os; 115	133	99	91	128	102	69

Tab. 7.1 Efektivní hodnoty zrychlení vibrací - dvojice č. 1

Dvojice č. 2			L <sub>Aef</sub> [dB]					
			Vnější strana			Vnitřní strana		
Číslo vlaku	Úsek	Vlak, rychlost [km/h]	A15 (hlava pražce)	A13r (hrana kol. l.)	A14r (7,5 m od osy)	A7 (hlava pražce)	A11r (hrana kol. l.)	A12r (7,5 m od osy)
21.	Hranice na Moravě	Os; 101	131	101	90	132	99	63
17.	Napajedla	Os; 110	136	100	93	132	105	72

Tab. 7.2 Efektivní hodnoty zrychlení vibrací - dvojice č. 2

Z hodnot uvedených v tabulce 7.1 (dvojice č. 1) je vidět, že upevnění Vossloh (úsek Hranice na Moravě) vykazuje vyšší hodnoty zrychlení vibrací. Tuto skutečnost lze vyzorovat ze signálů všech snímačů (na vnější i na vnitřní straně oblouku), s výjimkou akcelerometru A12r. Na tomto snímači je vyšší odezva při upevnění Pandrol. Ovšem rozdíl činí pouhý 1 dB, což je pro oblast vibrací zanedbatelná hodnota. Celkově je proto zrychlení vibrací vyšší u upevnění Vossloh. Nejvíce patrné je to na snímači A7 (tedy na čidle nejbližším ke zdroji vibrací; na straně vnitřní). Rozdíl na tomto snímači dosahuje 9 dB.

V případě dvojice č. 2 je situace poněkud odlišná. Jediný snímač, na kterém vychází hodnoty zrychlení vibrací vyšší u upevnění Vossloh, je A13r (tedy na hraně kolejového lože; na vnější straně oblouku). Tento rozdíl je však jen 1 dB, tedy vibrace v tomto místě jsou v podstatě vyrovnané. Po vyhodnocení zrychlení vibrací ze všech snímačů vychází upevnění Pandrol FC I jako konstrukce s vyššími vibracemi. Rozdíly však nejsou příliš výrazné.

Z časové analýzy je patrné, že hodnoty zrychlení vibrací u osobních vlaků jsou vyrovnané. Průměrný rozdíl hodnot z obou srovnávaných dvojic je na hlavě pražce na straně vnější pouze 1 dB. Mírně vyšší vibrace jsou u upevnění Pandrol. Na hraně kolejového lože na vnější straně je průměrný rozdíl 4,5 dB v neprospěch upevnění

Vossloh. Ve vzdáleném poli vnější strany oblouku jsou pak hodnoty v průměru zcela vyrovnané. Co se týče průměrných odezvy na vnitřní straně oblouku, na hlavě pražce je rozdíl 4,5 dB. Vyšší hodnoty jsou u upevnění Vossloh. V oblasti mimo kolejový rošt je pak zrychlení vibrací větší při průjezdu vlaků na konstrukci s upevněním Pandrol. Na hraně kolejového lože je tento rozdíl 2 dB, ve vzdálenosti 7,5 m od osy koleje pak rozdíl činí 5 dB. Jak vidíme, rozdíly efektivních hodnot zrychlení vibrací u žádného ze snímačů nepřekračují 5 dB. Z pohledu zrychlení vibrací tedy můžu prohlásit chování konstrukcí s oběma typy upevnění za srovnatelné.

Z hlediska závislosti na straně oblouku (zda vnější, nebo vnitřní) se projevuje stejné pravidlo jako u akustických parametrů. A sice, že v průměru jsou vyšší hodnoty zrychlení vibrací na straně vnější. Tento projev je nejpatrnější u nejbližších snímačů (rozdíly mezi akcelerometry A14r a A12r).

Můžeme vyzorovat ještě jeden důležitý jev, týkající se vzdálenosti od zdroje kmitání. Přestože v některých případech jsou odezvy u železničního svršku (tedy na pražci a na hraně kolejového lože) rozdílné v závislosti na použitém typu upevnění, s rostoucí vzdáleností se tyto rozdíly stírají. Porovnáme například odezvy na vnější straně oblouku u dvojice č. 1. Zatímco na hraně kolejového lože je rozdíl mezi odezvami obou upevnění 8 dB, ve vzdálenosti 7,5 m od osy koleje je tento rozdíl zredukován na 3 dB. Na vnitřní straně oblouku vidíme podobný průběh. V blízkosti zdroje vibrací, na hlavě pražce, se obě upevnění liší o 9 dB. Na hraně kolejového lože je rozdíl 2 dB a ve vzdáleném poli činí rozdíl už pouhý 1 decibel. Obecně jsou tedy vibrace ve vzdálenosti 7,5 m od osy koleje v podstatě vyrovnané. To přináší pozitivní informaci pro stavby v blízkosti železniční tratě. Z tohoto pohledu nezáleží na typu použitého upevnění.

### ***7.1.2 EFEKTIVNÍ HODNOTY HLADINY ZRYCHLENÍ VIBRACÍ OD PRŮJEZDU RYCHLÍKŮ A VLAKŮ EURO CITY***

Pro porovnání rychlíků jsem použila dvě dvojice (č. 3 a 4). Srovnání vlaků EuroCity představuje dvojice č. 5. Tato dvojice sestává z totožných vlakových souprav. Jedná se o vlaky s lokomotivou 380 a 6 vozy. Jejich rychlost je velmi podobná (112 a 114 km/h). Představují proto ideální volbu vlaků ke srovnání. U rychlíků dvojice č. 3 je jiný typ hnacího vozidla. Vlak v úseku Hranice na Moravě měl lokomotivu typu 362, oproti tomu vlaková souprava v Napajedlech byla hnána lokomotivou typu 150.

Rozdíly v hmotnostech však nejsou příliš výrazné. Rychlost těchto vlaků je navíc téměř stejná (107 a 108 km/h), a proto byly zařazeny do srovnávacího souboru. Vlak v Hranicích na Moravě má 6 vozů, souprava v Napajedlech 5 vozů. Další dva rychlíky (dvojice č. 4) již mají stejnou lokomotivu (typ 362) a stejnou rychlost 110 km/h. Počet vozů je opět mírně odlišný. Vlak projíždějící úsekem Hranice na Moravě má za lokomotivou 6 vozů, vlak v Napajedlech 5 vozů. Podrobnosti o všech srovnávaných vlacích najdeme v tabulce na začátku kapitoly 6 (Tab. 6.1).

Dvojice č. 3			L <sub>Aef</sub> [dB]					
			Vnější strana			Vnitřní strana		
Číslo vlaku	Úsek	Vlak, rychlost [km/h]	A15 (hlava pražce)	A13r (hrana kol. l.)	A14r (7,5 m od osy)	A7 (hlava pražce)	A11r (hrana kol. l.)	A12r (7,5 m od osy)
9.	Hranice na Moravě	R; 107	138	105	94	139	101	68
11.	Napajedla	R; 108	137	99	90	135	103	68

Tab. 7.3 Efektivní hodnoty zrychlení vibrací - dvojice č. 3

Dvojice č. 4			L <sub>Aef</sub> [dB]					
			Vnější strana			Vnitřní strana		
Číslo vlaku	Úsek	Vlak, rychlost [km/h]	A15 (hlava pražce)	A13r (hrana kol. l.)	A14r (7,5 m od osy)	A7 (hlava pražce)	A11r (hrana kol. l.)	A12r (7,5 m od osy)
20.	Hranice na Moravě	R; 110	138	105	93	138	101	68
13.	Napajedla	R; 110	136	100	91	133	103	70

Tab. 7.4 Efektivní hodnoty zrychlení vibrací - dvojice č. 4

Dvojice č. 5			L <sub>Aef</sub> [dB]					
			Vnější strana			Vnitřní strana		
Číslo vlaku	Úsek	Vlak, rychlost [km/h]	A15 (hlava pražce)	A13r (hrana kol. l.)	A14r (7,5 m od osy)	A7 (hlava pražce)	A11r (hrana kol. l.)	A12r (7,5 m od osy)
11.	Hranice na Moravě	EC; 112	131	104	91	134	102	66
15.	Napajedla	EC; 114	137	101	93	132	105	71

Tab. 7.5 Efektivní hodnoty zrychlení vibrací - dvojice č. 5

Rychlík č. 9 (ze srovnávané dvojice č. 3) projíždějící na konstrukci s upevněním Vossloh vykazuje mírně vyšší odezvy vibrací než srovnávaný rychlík při upevnění Pandrol. Nejpatrnější rozdíl je na hraně kolejového lože vnější strany oblouku, kde



odchylka hodnot činí 6 dB. Rozdíly odezev ze zbývajících umístění akcelerometrů jsou už jen 0 až 4 dB. Vzhledem k takto malým rozdílům můžeme účinky obou konstrukcí považovat za srovnatelné.

Podobné výsledky přináší dvojice č. 4. Rozdíly hodnot zrychlení vibrací ze všech snímačů jsou v rozmezí 2 až 5 dB. Na hlavě pražce jsou to 2 dB na straně vnější a 5 dB na vnitřní straně oblouku. Snímače umístěné na hraně kolejového lože vykazují odezvy 5 dB ve vnější straně oblouku a 2 dB na straně vnitřní. Ve vzdálenosti 7,5 m od osy koleje pak rozdíly na obou stranách oblouku činí 2 dB. Na vnější straně je tento rozdíl ve prospěch upevnění Pandrol, na straně vnitřní naopak ve prospěch upevnění Vossloh.

Nejvyšší rozdíly z této skupiny srovnávaných dvojic můžeme pozorovat u vlaků EuroCity (tedy srovnávaná dvojice č. 5). Maximální odchylka je 6 dB, a to na snímači A15r (tedy na hlavě pražce; na vnější straně oblouku). Vyšší zrychlení vibrací v tomto případě vykazuje upevnění Pandrol. Další výraznější rozdíl je naopak na straně vnitřní, konkrétně ve vzdáleném poli u snímače A12r. Odezva na tomto akcelerometru je u upevnění Pandrol FC I vyšší o 5 dB. Ostatní čidla zrychlení vibrací dávají odezvy dva až tři decibely. Z tohoto vyhodnocení vyplývá, že v případě srovnávané dvojice č. 5 vykazuje upevnění Pandrol FC I vyšší efektivní hodnoty zrychlení vibrací než Vossloh W14.

Pro shrnutí jsem provedla zprůměrování výstupů z měření všech vlakových souprav dvojic 3 až 5 (viz Tab. 7.3, 7.4 a 7.5). Rozdíly hodnot uvádím od nejvyšších k těm nejméně významným. Průměrný rozdíl hodnot zrychlení vibrací na hraně kolejového lože na straně vnější je 4,7 dB. Vyšší odezva je u konstrukce s upevněním Vossloh. Na hlavě pražce vnitřní strany oblouku je rozdíl 3,7 dB, opět v neprospěch upevnění Vossloh. Ve vzdálenosti 7,5 m od osy koleje směrem dovnitř oblouku je odezva při upevnění Pandrol vyšší o 2,3 dB. Na stejně vzdáleném snímači, který byl umístěn na vnější straně oblouku, činí rozdíl hodnot už jen 1,3 dB. Na zbývajících dvou akcelerometrech jsou hodnoty zrychlení vibrací vyšší při upevnění Pandrol, a to o 1 dB. Celkově tedy vidíme, že průměrné rozdíly nedosahují 5 dB. Proto z hlediska časové analýzy můžeme považovat konstrukce s oběma typy upevnění za srovnatelné.

I v případě rychlíků a souprav EC jsou odezvy vibrací vyšší na vnější straně oblouku než na straně vnitřní. Největší rozdíly vidíme na akcelerometrech vzdáleného pole (snímače A12r a A14r). Rozdíly mezi odezvami z čidel na vnější a na vnitřní straně jsou

u upevnění Vossloh průměrně 9,1 dB. V případě upevnění Pandrol jsou tyto rozdíly menší, a to 6,9 dB.

V této kategorii vlaků se projevuje stejný trend jako u vlaků osobních, co se týče útlumu vibrací s rostoucí vzdáleností od kolejového vozidla. U srovnávaných rychlíků dvojice č. 3 je na hraně kolejového lože ve vnější straně oblouku rozdíl RMS zrychlení vibrací 6 dB. Ve vzdálenosti 7,5 m od osy tento rozdíl klesne na 4 dB. Na vnitřní straně oblouku je situace ještě příznivější. Zatímco na hlavě pražce se odezvy liší v závislosti na typu upevnění o 4 dB, na hraně kolejového lože je rozdíl 2 dB. A ve vzdálenosti 7,5 m od osy koleje už jsou efektivní hodnoty zrychlení vibrací totožné. Rychlíky z dvojice č. 4 toto pravidlo také potvrzují. Na vnější straně oblouku jsou rozdíly odezev ze snímačů umístěných na hraně kolejového lože 5 dB. Ve vzdáleném poli jsou tyto rozdíly už jen 2 dB. Na hlavě pražce na straně vnitřní se hodnoty liší o 5 dB. Rozdíl RMS zrychlení vibrací klesne ve vzdálenosti 7,5 m od osy koleje na 2 dB. Obecně se z hlediska vibrací ve vzdáleném poli chovají oba typy upevnění vyrovnaně. Pokud proto řešíme negativní účinky vibrací na stavbu umístěnou v bezprostřední blízkosti železniční trati, volba upevnění na tyto účinky nemá výrazný vliv.

### ***7.1.3 EFEKTIVNÍ HODNOTY HLADINY ZRYCHLENÍ VIBRACÍ OD PRŮJEZDU NÁKLADNÍCH VLAKŮ***

Následující soubor srovnávaných vlakových souprav obsahuje nákladní vlaky s lokomotivou 363. Jak už bylo uvedeno v analýze akustických parametrů, dvojice vlaků nikdy nebudou dokonale srovnatelné. Bližší informace o vlakových soupravách nalezneme v tabulce na začátku kapitoly 6 (Tab. 6.1).

Vyhodnocení nákladních vlaků je komplikované v problematice dynamických parametrů stejně tak, jak tomu bylo v případě hluku. Problémem při vyhodnocování bývá rozdílná hmotnost celého vlaku, ale také jednotlivých vozů. Rozložení nákladu bývá různé, což má vliv i na rozvoj vibrací. Prakticky však nejsme schopni toto rozložení v analýze zohlednit.

Dvojice č. 6 - 8 (nákladní vlaky)			L <sub>Aef</sub> [dB]					
			Vnější strana			Vnitřní strana		
Číslo vlaku	Úsek	Vlak, rychlost [km/h]	A15 (hlava pražce)	A13r (hrana kol. l.)	A14r (7,5 m od osy)	A7 (hlava pražce)	A11r (hrana kol. l.)	A12r (7,5 m od osy)
4.	Hranice na Moravě	Na; 56	138	100	88	139	107	66
10.	Napajedla	Na; 58	137	99	87	133	107	70
13.	Hranice na Moravě	Na; 86	141	101	92	143	105	68
2.	Napajedla	Na; 83	140	100	91	138	108	73
14.	Hranice na Moravě	Na; 55	138	104	90	139	110	68
12.	Napajedla	Na; 65	139	104	95	135	109	74

Tab. 7.6 Efektivní hodnoty zrychlení vibrací - dvojice č. 6 - 8 (nákladní vlaky)

Rozdíly v dynamickém chování konstrukcí s upevněním Vossloh a s upevněním Pandrol jsou při pojezdu nákladních vlaků minimální na vnější straně oblouku. Na hlavě pražce jsou tyto rozdíly v průměru 0,3 dB. Na hraně kolejového lože se odezvy liší o 0,7 dB a odezvy z nejbližších snímačů vibrací se různí v průměru o 1 decibel. Rozvoj vibrací na vnější straně je tedy v podstatě totožný. Větší rozdíly se objevují na straně vnitřní. Hodnoty zrychlení vibrací se na hlavě pražce liší o 5 dB ve prospěch upevnění Pandrol. Na hraně kolejového lože jsou rozdíly minimální (v průměru jen 0,7 dB). Ve vzdálenosti 7,5 m od osy koleje se hodnoty liší průměrně o 5 dB, tentokrát ve prospěch upevnění Vossloh. Podle tohoto porovnání proto pro konstrukci kolejového roštu vychází jako škodlivější upevnění Vossloh. Naopak v širším okolí železniční trati působí o něco větší problémy upevnění Pandrol. Ani v jednom případě však rozdíly nejsou markantní.

Co se týče odezev u jednoho upevnění ze stejně vzdálených snímačů na vnější a na vnitřní straně oblouku, není v případě nákladních vlaků závěr tak jednoznačný jako u vlaků osobní přepravy. U některých dvojic akcelerometrů jsou vyšší hodnoty na vnější straně, u jiných naopak na vnitřní straně oblouku. V případě upevnění Vossloh a akcelerometrů na hlavě pražce a na hraně kolejového lože jsou vyšší odezvy na straně vnitřní. Při upevnění Pandrol jsou vyšší odezvy na straně vnitřní jen u čidel umístěných na hraně kolejového lože. Při umístění na hlavě pražce vykazuje upevnění Pandrol vyšší hodnoty na snímačích vně oblouku. Pro akcelerometry ve vzdáleném poli (7,5 m od osy) platí stejné výsledky jako u osobních vlaků, rychlíků a vlaků EuroCity. Tedy že odezvy ze snímačů na vnější

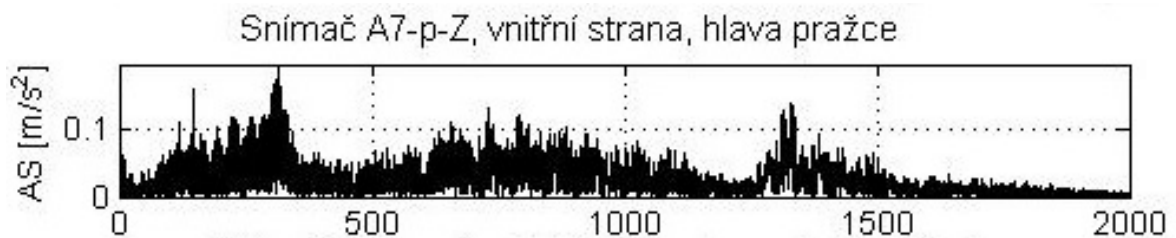
straně (A14r) jsou výrazně větší než z akcelerometrů na straně vnitřní (A12r). To platí jak pro upevnění Vossloh W14, tak pro Pandrol FC I.

## 7.2 ANALÝZA NAMĚŘENÝCH DAT VE FREKVENČNÍ OBLASTI

Vibrace byly snímány na šesti akcelerometrech. Typy použitých snímačů, jejich značení a rozmístění je uvedeno v kapitole 4.2.1. Pro každou projíždějící vlakovou soupravu byly vytvořeny grafy amplitudových spekter ze signálů všech snímačů. Každému vlaku tedy přísluší celkem 6 těchto grafů. Interval frekvencí je od nuly do 2000 Hz. Na přenos vibrací do okolí a do konstrukcí umístěných v blízkosti trati mají největší vliv složky vibrací na frekvencích do 500 Hz. Vyhodnocení vibrací bylo provedeno pro tři dvojice vlaků různých kategorií. Zvolila jsem referenční dvojici vlaků osobních, dále vlaků EuroCity a nakonec také referenční dvojici nákladních vlaků.

Grafy signálů všech měřených vlakových souprav jsou uvedeny v příloze E. Příloha je rozdělena na dílčí celky podle měřicího stanoviště (a tedy podle typu upevnění). Soubory signálů z jednotlivých vlaků jsou seřazeny podle času průjezdu vlaků.

Příklad grafu dynamické odezvy je uveden na obrázku (Obr. 7.1). Osa  $x$  znázorňuje frekvenci  $f$  [Hz], osa  $y$  potom hodnotu zrychlení vibrací  $a$  [ $\text{m/s}^2$ ].



Obr. 7.1 Příklad grafu dynamické odezvy; snímač A7-p-z; hlava pražce; umístěný na vnitřní straně oblouku

### 7.2.1 FREKVENČNÍ ANALÝZA OSOBNÍCH VLAKŮ

Vyhodnocení osobních vlaků ve frekvenční oblasti jsem provedla pro referenční dvojici vlaků s podobnými parametry. Výběr dvojic vlaků podléhal stejným kritériím jako při hodnocení akustických parametrů nebo hodnocení vibrací v časové oblasti. Klíčovým kritériem byl tedy nedostatek převýšení. Mnou zvolená reprezentativní dvojice vlaků je dvojice č. 1. Jedná se o 10. vlak v pořadí projíždějící úsekem Hranice na Moravě (upevnění Vossloh) a 19. vlak v pořadí z úseku Napajedla (upevnění Pandrol). Vlaky mají rozdílný

typ hnacího vozidla. V úseku s upevněním Vossloh je to lokomotiva 163 vážící 85 t, ve stanovišti se systémem upevnění Pandrol pak lokomotiva 362 vážící 86 t. Rozdíl v hmotnostech je zanedbatelný, proto jsou vlaky vhodné ke srovnání. Obě soupravy měly tři vozy. V nedostatku převýšení se od sebe liší jen o 4 mm, proto tato dvojice vlaků představuje ideální volbu k porovnání. Bližší informace o obou soupravách nalezneme v tabulce 6.1.

- **HLAVA PRAŽCE; VNĚJŠÍ STRANA OBLOUKU**

#### **Vossloh W14**

Hlavní složky zrychlení vibrací jsou v oblasti 50 až 1250 Hz. V porovnání s upevněním Pandrol vidíme rozdíly v amplitudovém spektru na nízkých frekvencích. Na frekvencích 0 až 200 Hz vykazuje upevnění Vossloh hodnoty zrychlení vibrací přibližně 0,08 - 0,1 m/s<sup>2</sup>. Maximální hodnoty v této oblasti nízkých frekvencí vystupují na 0,13 m/s<sup>2</sup>. Na frekvenci 70 Hz peak sahá až k hodnotě 0,14 m/s<sup>2</sup>. Ve frekvenční oblasti 200 až 370 Hz dochází ke snížení amplitud. Výraznější shluk vibrací se objevuje mezi frekvencemi 370 a 490 Hz. Zde dosahují amplitudy maxima až 0,2 m/s<sup>2</sup>, a to na frekvenci 420 Hz. Ve středních frekvencích (490 až 1000 Hz) pozorujeme vyrovnaný průběh amplitud. Tři peaky v této frekvenční oblasti překračují hodnotu 0,2 m/s<sup>2</sup>, a to cca na frekvencích 580 Hz, 650 Hz a 760 Hz. Následuje shluk maximálních amplitud, na frekvencích 1000 až 1130 Hz. V této důležité frekvenční oblasti se také nachází absolutní maximum celého signálu. Toto maximum je na frekvenci 1050 a dosahuje hodnoty přibližně 0,25 m/s<sup>2</sup>. Další shluk vibrací se nachází na frekvencích 1130 až 1220 Hz. Maximální hodnota překračuje 0,2 m/s<sup>2</sup>, na frekvenci 1170 Hz. Od frekvence 1220 Hz má signál již sestupnou tendenci. Ustálí se na hodnotu přibližně 0,04 m/s<sup>2</sup> na frekvenci 1300 Hz. Ve vyšších frekvencích (1300 až 2000 Hz) už je signál vyrovnaný okolo této hodnoty.

#### **Pandrol FC I**

Na rozdíl od upevnění Vossloh má upevnění Pandrol užší rozsah frekvencí, ve kterých se objevují významné hodnoty zrychlení vibrací. Důležité složky zrychlení vibrací jsou v oblasti 300 až 900 Hz. V oblasti nízkých frekvencí (0 až 200 Hz) jsou hodnoty asi pětkrát nižší než při upevnění Vossloh. Od 200 Hz nastává postupný vzestup amplitud až na hodnotu cca 0,22 m/s<sup>2</sup>. Tato hodnota je přibližně na frekvenci 500 Hz. V oblasti 550 až 660 Hz se nachází výrazný shluk vysokých peaků. Nejvyšší z nich je přibližně na

frekvenci 560 Hz a dosahuje hodnoty  $0,25 \text{ m/s}^2$ . Jedná se zároveň o nejvyšší dosaženou hodnotu z celého signálu. Maximální hodnota zrychlení vibrací je tedy stejná jako při upevnění Vossloh. Od frekvence 660 Hz již amplitudy klesají. Zvýšená hodnota se objevuje na frekvenci 700 Hz, a to cca  $0,14 \text{ m/s}^2$ . Další výraznější shluk vibrací se vyskytuje okolo frekvence 750 Hz. Nachází se zde několik peaků dosahujících hodnot přibližně  $0,16 \text{ m/s}^2$ . Od této frekvence má signál již sestupnou tendenci. Ve frekvencích 960 až 1250 Hz dosahují hodnoty pouze cca  $0,03 \text{ m/s}^2$ . Tato oblast představuje právě frekvence, ve kterých upevnění Vossloh vykazuje maximální hodnoty. V rozsahu frekvencí 1250 až 2000 Hz jsou již hodnoty zrychlení vibrací zanedbatelné.

## • HLAVA PRAŽCE; VNITŘNÍ STRANA OBLOUKU

### Vossloh W14

Pojem vnitřní strana oblouku je myšlen ve vztahu ke středu oblouku a zároveň také ve vztahu k druhé koleji. Akcelerometr na vnitřní straně oblouku je tedy umístěn blíže k druhé koleji. Signál z hlavy pražce na této straně oblouku má podobný průběh jako na straně vnější. Vykazuje však vyšší výkyvy; signál na vnější straně oblouku má vyrovnanější průběh. Také se zde objevuje shluk vibrací na frekvencích 1300 až 1550 Hz. Na vnější straně oblouku tato frekvenční oblast nebyla významná. Co se týče srovnání s upevněním Pandrol, upevnění typu Vossloh vykazuje vyšší zrychlení vibrací. Hodnoty jsou přibližně dvakrát větší. Výrazně vyšší hodnoty jsou opět v oblasti nízkých frekvencí (0 až 250 Hz). Nejvýraznější peak zde dosahuje hodnoty až  $0,27 \text{ m/s}^2$ . V pásmu frekvencí 200 až 350 Hz dochází k poklesu vibrací. Následují dva významné shluky vibrací, a sice na frekvencích 350 až 450 Hz a dále mezi frekvencemi 450 a 600 Hz. Maximální hodnoty amplitud zde dosahují až  $0,3 \text{ m/s}^2$ . Nejvyšší hodnota se nachází přibližně na frekvenci 500 Hz. Další průběh ve středních frekvencích (600 až 900 Hz) je vyrovnaný. Peaky amplitud dosahují přibližně  $0,2 \text{ m/s}^2$ . Výrazný peak v této oblasti je na frekvenci 790 Hz. Její hodnota je cca  $0,25 \text{ m/s}^2$ . Od této frekvence vibrace postupně klesají na intenzitě. Zlom však nastává na frekvenci 1230 Hz. Od této frekvence hodnoty stoupají ke shluku vibrací s maximální amplitudou téměř  $0,2 \text{ m/s}^2$ . Tento peak se nachází na frekvenci 1300 Hz. Od tohoto lokálního maxima má zrychlení vibrací sestupnou tendenci. Na vyšších frekvencích (1600 až 2000 Hz) již jen cca  $0,03 \text{ m/s}^2$ .

## **Pandrol FC I**

Signál ze snímače na pražci ve vnitřní straně oblouku má v podstatě totožný tvar průběhu jako signál z vnější strany oblouku. Rozdíl je však ve velikosti zrychlení vibrací. Hodnoty na této straně oblouku jsou poloviční. Ve vztahu k upevnění Vossloh je na tomto upevnění zrychlení vibrací také v průměru dvakrát menší. V oblasti nízkých vibrací (0 až 250 Hz) je průběh velmi vyrovnaný a hodnoty zrychlení vibrací jsou oproti upevnění Vossloh výrazně (až desetkrát) menší. Nárůst amplitud začíná na frekvenci 250 Hz. Důležité složky zrychlení vibrací jsou tedy od této frekvence až do cca 970 Hz. Je možné si povšimnout, že v této oblasti se průběhy signálů obou typů upevnění příliš neliší. Ale s tím rozdílem, že upevnění Pandrol dosahuje hodnot dvakrát až třikrát nižších. Důležité frekvence jsou v této oblasti 280 Hz, 370 Hz, 490 Hz, 520 Hz, 560 Hz, 600 Hz, 630 Hz, 700 Hz, 750 Hz, 840 Hz a 940 Hz. V těchto frekvencích se nachází výrazné peaky amplitud. Maximální hodnota zrychlení vibrací je přitom na frekvenci 370 Hz, dosahuje cca  $0,13 \text{ m/s}^2$ . Od frekvence 970 Hz až po 2000 Hz vibrace postupně slábnou.

### **• HRANA KOLEJOVÉHO LOŽE; VNĚJŠÍ STRANA OBLOUKU**

#### **Vossloh W14**

Signál ze snímačů na hraně kolejového lože má jednodušší průběh než signály z hlavy pražce. Klíčové frekvence jsou 0 až 150 Hz. Ve frekvencích vyšších než 150 Hz už je zrychlení vibrací téměř nulové. Hodnoty prudce stoupají z nejnižší frekvence až na frekvenci cca 40 Hz. Zde je maximální hodnota zrychlení vibrací rovna  $0,05 \text{ m/s}^2$ . Z této hodnoty amplitudy zase klesají, až téměř k nule. V oblasti do 100 Hz se nachází ještě další tři peaky, a to na frekvencích 45 Hz, 60 Hz a 80 Hz.

#### **Pandrol FC I**

Průběh vibrací je podobný jako u upevnění Vossloh. Důležité složky zrychlení vibrací se nachází v oblasti nízkých frekvencí, do 150 Hz. Průběh má opět podobu prudké stoupající vlny. Na frekvenci přibližně 20 Hz se nachází amplituda o hodnotě  $0,006 \text{ m/s}^2$ . Na frekvenci 50 Hz se pak nachází globální maximum celého signálu. V těsné blízkosti okolo této frekvence se nachází tři peaky. Nejvyšší z nich dosahuje hodnoty  $0,012 \text{ m/s}^2$ . V oblasti okolo frekvence 500 Hz se nachází ještě jeden shluk vibrací, ale hodnoty zrychlení vibrací jsou řádově v tisícinách  $\text{m/s}^2$ . Jedná se proto o nevýznamné složky vibrací. Celkově tedy upevnění Pandrol na tomto snímači vykazuje nižší hodnoty než

upevnění Vossloh. To sice platilo i v případě akcelerometru umístěného na hlavě pražce, rozdíl ovšem nebyly tak markantní. Zatímco na hlavě pražce vykazovalo upevnění Pandrol jen mírně nižší hodnoty zrychlení vibrací, na hraně kolejového lože jsou hodnoty asi 5× nižší než při upevnění Vossloh. S rostoucí vzdáleností od zdroje vibrací tedy odezvy klesají mnohem více než u upevnění Vossloh. Tato skutečnost ukazuje na lepší tlumicí vlastnosti upevnění Pandrol FC I.

#### • HRANA KOLEJOVÉHO LOŽE; VNITŘNÍ STRANA OBLOUKU

##### **Vossloh W14**

Snímač umístěný na hraně kolejového lože vnitřní strany oblouku vykazuje nižší odezvy než na vnější straně oblouku, a to přibližně dvojnásobně. Klíčové frekvence jsou v tomto případě 30 Hz až 200 Hz. Na frekvencích 40 Hz až 110 Hz se nachází několik peaků, z nichž největší má hodnotu cca 0,023 m/s<sup>2</sup>. Od frekvence 110 Hz má signál sestupnou tendenci. V oblasti 250 až 500 Hz jsou hodnoty zrychlení vibrací konstantní. Nabývají hodnot přibližně 0,002 m/s<sup>2</sup>. Ve vyšších frekvencích už vibrace nejsou významné.

##### **Pandrol FC I**

V porovnání se snímačem na hraně kolejového lože ve vnější straně oblouku jsou odezvy na tomto snímači srovnatelné. Mírně zvýšené hodnoty se objevují pouze v pásmu frekvencí 250 až 450 Hz. Ovšem hodnoty jsou zde v řádu tisícín m/s<sup>2</sup> (asi 0,002 až 0,003 m/s<sup>2</sup>). Tyto hodnoty zrychlení vibrací proto nehrají významnou roli. Zajímavější je porovnání signálů z hlediska typu upevnění. Stejně jak tomu bylo na vnější straně oblouku, i na této straně je rozvoj vibrací nižší při upevnění Pandrol. Konstrukce se v tomto ohledu liší přibližně dvojnásobně. Hlavní složky zrychlení vibrací se nacházejí na frekvencích od 30 do 100 Hz. Nejvyšší peak nalezneme na frekvenci 60 Hz a má přibližnou hodnotu 0,012 m/s<sup>2</sup>.

#### • VZDÁLENOST 7,5 M OD OSY KOLEJE; VNĚJŠÍ STRANA OBLOUKU

##### **Vossloh W14**

V neposlední řadě nás zajímá rozvoj vibrací v širším okolí železniční trati. Akcelerometry byly umístěny ve vzdálenosti 7,5 m od osy koleje. Průběh signálu z těchto akcelerometrů je obdobný jako u snímačů na hraně kolejového lože. Oproti odezvě ze snímače na hraně kolejového lože jsou hodnoty utlumeny na pětinu. Nejvýraznější peak



tedy dosahuje hodnoty  $0,012 \text{ m/s}^2$ . Hlavní složky zrychlení vibrací jsou na frekvencích do 150 Hz. Na vyšších frekvencích se hodnoty limitně blíží nule.

### **Pandrol FC I**

Průběh vibrací v případě upevnění Pandrol vypadá téměř stejně jako u upevnění Vossloh. Vzestup na nejvyšší amplitudu a následný sestup má ještě ostřejší průběh. Maximální hodnota peaku je  $0,007 \text{ m/s}^2$ . Tato hodnota je na frekvenci 50 Hz. Opět se tedy s rostoucí vzdáleností od zdroje potvrzuje nižší rozvoj vibrací na upevnění Pandrol.

- **VZDÁLENOST 7,5 M OD OSY KOLEJE; VNITŘNÍ STRANA OBLOKU**

### **Vossloh W14**

Tvar signálu vypadá opět obdobně jako na vnější straně oblouku. Oblast zrychlení vibrací je v rozmezí 0 až 130 Hz. Nejvyšší dosažená hodnota je  $6 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}^2$ . To představuje velmi malé zrychlení vibrací. Tlumící schopnosti upevnění jsou proto vyhovující.

### **Pandrol FC I**

V případě upevnění Pandrol se na signálu z tohoto snímače zrychlení vibrací projevuje ve frekvencích 0 až 160 Hz. Maximální výchylka činí necelých  $5 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}^2$ . Ve vzdálenosti 7,5 m už rozdíly mezi upevněními nejsou tak výrazné, obě hodnoty jsou malých rozměrů. Ovšem i zde vykazuje menší odezvy upevnění Pandrol.

## **7.2.2 FREKVENČNÍ ANALÝZA RYCHLÍKŮ A VLAKŮ EURO CITY**

V této kategorii bylo složitější vybrat dvojici vlaků s velmi podobným nedostatkem převýšení tak, aby se zároveň shodovaly i v ostatních parametrech (jako je typ lokomotivy nebo počet vozů). Pro porovnání jsem vybrala vlaky EuroCity, jež projížděly oběma stanovišti a byly totožné. Jedná se o dvojici č. 5 (viz tabulka 6.1). V úseku Hranice na Moravě tento vlak projížděl jako 11. v pořadí, v Napajedlech pak 15. v pořadí. Byly vybaveny lokomotivou typu 380. Soupravy měly 6 vozů. Jízdní rychlosti souprav byly 112 km/h a 114 km/. Tyto vlaky představují referenční dvojici, jež reprezentuje dynamické chování rychlíků a EC na tratích s upevněními Vossloh W14 a Pandrol FC I.

## • HLAVA PRAŽCE; VNĚJŠÍ STRANA OBLOUKU

### Vossloh W14

Prvním krokem analýzy je vizuální porovnání signálu z průjezdu tohoto vlaku a signálu vlaku osobního. Na první pohled vypadají průběhy identicky. Hodnoty z průjezdu soupravy EC jsou však výrazně menší, přibližně poloviční. Ukazuje se tak, že s vyšší rychlostí vlaku jsou odezvy menší. Hlavní složky vibrací se projevují v pásmu frekvencí od 0 Hz do 1300 Hz. Průběh je poměrně vyrovnaný. V celém spektru těchto vibrací amplitudy vybíhají k průměrným hodnotám 0,05 až 0,1 m/s<sup>2</sup>. Vyšších hodnot zrychlení vibrací je dosaženo v rozmezí frekvencí 700 až 1200 Hz. Na frekvenci, jež se blíží nule, se vyskytují dva výrazné peaky s hodnotami dosahujícími 0,1 m/s<sup>2</sup>. V oblasti nízkých frekvencí (přibližně 40 Hz až 170 Hz) se dále nachází shluk vibrací s rozkmitem 0,1 m/s<sup>2</sup>. Tato hodnota je dosažena na frekvenci 130 Hz. Poté dochází k mírnému útlumu vibrací. V důležitém frekvenčním rozsahu 200 až 600 Hz má zrychlení vibrací vyrovnaný průběh. Amplitudy dosahují hodnot cca 0,07 m/s<sup>2</sup>. Výraznější peaky se objevují na kmitočtech 270 Hz, 320 Hz, 420 Hz, 480 Hz a 580 Hz. Od frekvence 600 Hz má signál vzestupnou tendenci. Výraznější shluky vibrací se nachází v okolí kmitočtů 800 Hz a 900 Hz. V těchto frekvencích maximální rozkmity signálu přesahují 0,12 m/s<sup>2</sup>. Absolutního maxima je dosaženo cca na frekvenci 900 Hz a má velikost 0,125 m/s<sup>2</sup>. Výrazné zrychlení vibrací probíhá v celém pásmu středních frekvencí až do 1200 Hz. Na této frekvenci už mí signál klesající průběh a ustálí se na hodnotě přibližně 0,02 m/s<sup>2</sup>, a sice na frekvenci 1320 Hz. Ve vyšších frekvencích je rozvoj vibrací již nepříliš významný. Na frekvenci okolo 1470 Hz se objevuje shluk vibrací, jež mírně převyšují průměr. Tyto vibrace jsou ale přesto malých rozměrů.

### Pandrol FC I

V případě upevnění Pandrol FC I se na signálu z projíždějícího vlaku EC objevuje stejná tendence jako v případě osobních vlaků. V oblasti nízkých frekvencí je zrychlení vibrací méně významné. Celkově má upevnění Pandrol užší interval, ve kterých se projevují hlavní složky zrychlení vibrací. Nabývá však výrazně vyšších hodnot než upevnění Vossloh. Hodnoty jsou přibližně dvakrát (na vybraných frekvencích až třikrát) vyšší. Globální maximum celého signálu překračuje 0,4 m/s<sup>2</sup>. V oblasti nízkých frekvencí (0 až 250 Hz) zrychlení vibrací nabývá hodnot přibližně 0,03 m/s<sup>2</sup>. Nejvyšší amplitudy v této oblasti dosahují cca 0,06 m/s<sup>2</sup>. Hodnoty jsou to tedy v porovnání s upevněním

Vossloh přibližně poloviční. Od frekvence 250 Hz nastává postupný nárůst vibrací. Významný shluk vibrací se vyskytuje ve frekvencích 370 až 520 Hz. Zde je několik peaku, z nichž nejvyšší má hodnotu  $0,27 \text{ m/s}^2$ . Tato hodnota je na frekvenci 440 Hz. Další shluk je v pásmu 540 až 600 Hz. V této oblasti dosahují amplitudy hodnot cca  $0,25 \text{ m/s}^2$ . Nachází se zde také jeden výrazný osamělý peak. Ten je na frekvenci 570 Hz a dosahuje velikosti přes  $0,41 \text{ m/s}^2$ . Jedná se o jeden ze dvou nejvýznamnějších rozkmitů celého signálu vůbec. Další takový výrazný peak o stejné velikosti se nachází na frekvenci 640 Hz. Od frekvence 650 Hz až do 910 Hz má signál velmi vyrovnaný průběh. Amplitudy se pohybují v rozsahu cca  $0,2$  až  $0,23 \text{ m/s}^2$ . Od kmitočtu 910 Hz má průběh klesající tendenci. Klesání je postupné, až do frekvence cca 1300 Hz. V pásmu vysokých frekvencí je rozvoj vibrací již nevýznamný.

- **HLAVA PRAŽCE; VNITŘNÍ STRANA OBLOUKU**

#### **Vossloh W14**

Opět jsem provedla vizuální zhodnocení rozdílů mezi signálem z tohoto vlaku a z osobního vlaku (viz kapitola 7.2.1). Závěry jsou obdobné jako v případě čidla umístěného na hlavě pražce ve vnější straně oblouku. Průběhy vypadají stejně, velikosti zrychlení vibrací jsou však poloviční. Amplitudy se pohybují cca okolo hodnoty  $0,1 \text{ m/s}^2$ . V další fázi se věnuji srovnání konstrukcí obou typů upevnění. Pro upevnění Vossloh W14 je typické značně široké pásmo frekvencí, ve kterých se projevují významné složky zrychlení vibrací. Toto pásmo je na jedné straně ohraničeno nejnižšími frekvencemi, na straně druhé přibližně kmitočtem 1500 Hz. Nejvýznamnější vibrace se projevují v oblasti 100 až 350 Hz. První zvýšená amplituda je na frekvenci 140 Hz a dosahuje hodnoty  $0,17 \text{ m/s}^2$ . Další výrazný rozkmit je při frekvenci 315 Hz. Zde dosahuje zrychlení vibrací hodnoty téměř  $0,2 \text{ m/s}^2$ . Toto lokální maximum představuje zároveň globální extrém celého signálu. Z frekvence 315 Hz hodnoty vibrací strmě klesají a ustalují se přibližně na hodnotách kolem  $0,05 \text{ m/s}^2$ . Zvýšení vibrací nastává v oblasti středních frekvencí (600 Hz až 1000 Hz). V této části spektra se amplitudy pohybují okolo hodnoty  $0,1 \text{ m/s}^2$ . Nejvyšší peak je na frekvenci 730 Hz, zde je zrychlení vibrací rovno cca  $0,13 \text{ m/s}^2$ . V pásmu vyšších frekvencí se nachází jediný výrazný shluk vibrací, a sice na kmitočtech 1260 Hz až 1530 Hz. Amplitudy ve dvou místech (1315 Hz a 1330 Hz) vyběhnou k hodnotě  $0,14 \text{ m/s}^2$ . Na frekvencích 1530 až 2000 Hz už zrychlení vibrací nedosahuje zajímavých hodnot.

## **Pandrol FC I**

Signál z tohoto snímače v případě upevnění Pandrol na první pohled nevykazuje velké rozdíly oproti upevnění Vossloh, co se týče velikosti amplitud. Výsledky jsou vyrovnané, amplitudy se pohybují okolo hodnoty  $0,1 \text{ m/s}^2$ . Rozdíly jsou v rozložení frekvenčních oblastí, ve kterých se vyskytují důležité složky vibrací. V oblasti nízkých frekvencí (0 až 250 Hz) se vibrace příliš neprojevují. Důležité složky zrychlení vibrací jsou situovány na kmitočtech 250 Hz až 1050 Hz. Společným rysem obou typů upevnění je významná oblast kolem frekvence 300 Hz. V tomto případě je to přesněji oblast 270 Hz až 440 Hz. Nachází se zde shluk vibrací s nejvyšším peakem s hodnotou cca  $0,15 \text{ m/s}^2$ , a sice na frekvenci 320 Hz. Dalším výrazným místem je shluk zvýšených amplitud vibrací kolem frekvence 650 Hz. Nejvyšší hodnota zrychlení vibrací zde dosahuje přibližné hodnoty  $0,14 \text{ m/s}^2$ . Posledním zvýšením vibrací v oblasti středních frekvencí je skupina peaků v pásmu kolem frekvence 850 Hz. Maximální rozkmit činí asi  $1,8 \text{ m/s}^2$ . Představuje zároveň maximální hodnotu amplitudy celého signálu. Z této hodnoty vibrace postupně klesají. Hodnoty se ustálí na  $0,03 \text{ m/s}^2$  a zůstávají vyrovnané v pásmu 1050 Hz až 1330 Hz. Poté dojde k dalšímu snížení hodnot zrychlení vibrací. Z grafu tedy vidíme, že maximální hodnoty se od sebe příliš neliší. Významné hodnoty zrychlení vibrací jsou v případě upevnění Pandrol posunuty více ke středu kmitočtového spektra.

### **• HRANA KOLEJOVÉHO LOŽE; VNĚJŠÍ STRANA OBLOUKU**

#### **Vossloh W14**

Hlavní složky vibrací jsou u tohoto signálu v pásmu nízkých frekvencí. Konkrétně je to oblast od 0 Hz do 140 Hz. Ve vyšších frekvencích už vibrace v podstatě vymizí. Hodnoty zrychlení vibrací strmě vystoupají na maximální hodnotu, která je přibližně kolem frekvence 50 Hz. Zde se nacházejí dva peaky. Výraznější z nich má hodnotu přibližně  $0,034 \text{ m/s}^2$ . Od této amplitudy hodnoty zase rychle klesají, téměř k nule. Průběh signálu je v podstatě totožný jako u osobních vlaků.

#### **Pandrol FC I**

Signál ze stejného snímače v případě upevnění Pandrol se výrazně neliší. Důležité složky vibrací se realizují na frekvencích od 0 Hz do 100 Hz. Ve frekvencích vyšších než 100 Hz se hodnoty limitně blíží nule. Maximální rozkmit se nachází přibližně na frekvenci 60 Hz. Hodnota amplitudy je cca  $0,021 \text{ m/s}^2$ . Na vyšších frekvencích jsou vibrace opět

rovny téměř nule. Maximální hodnota zrychlení vibrací je tedy nižší než u upevnění Vossloh. Je možné si povšimnout, že se zde objevuje stejná závislost jako v případě osobních vlaků. A to fakt, že s rostoucí vzdáleností od zdroje vibrací jsou vibrace významněji utlumeny v případě upevnění Pandrol. U průjezdu rychlejších vlaků (rychlíky a vlaky EuroCity) je tato závislost dokonce více patrná než v případě osobních vlaků. Porovnáme-li odezvy ze snímačů na hlavě pražce, vychází hodnoty zrychlení vibrací při upevnění Pandrol dvakrát až třikrát vyšší než při upevnění Vossloh. Na hraně kolejového lože se však situace obrátí. Zatímco při upevnění Vossloh W14 byly maximální hodnoty zrychlení vibrací na hraně kolejového lože sníženy oproti hodnotám na pražci přibližně 4×, v případě upevnění Pandrol FC I byly vibrace na hraně kolejového lože sníženy 19× oproti hodnotám na pražci. Je zde tedy potvrzeno, že upevnění Pandrol vykazuje lepší tlumicí schopnosti s rostoucí vzdáleností.

## • HRANA KOLEJOVÉHO LOŽE; VNITŘNÍ STRANA OBLOKU

### **Vossloh W14**

Na první pohled je viditelné, že snímač na hraně kolejového lože ve vnitřní straně oblouku vykazuje nižší odezvy než snímač na straně vnější. Hodnoty jsou nižší přibližně dvojnásobně. Interval, v němž se vibrace nacházejí, je v tomto případě širší. Zahrnuje oblast od 0 Hz do přibližně 330 Hz. V intervalu 150 Hz až 330 Hz však zrychlení vibrací nabývá jen malých rozměrů. Důležité složky vibrací jsou tedy soustředěny opět do stejné části, a to do frekvencí 0 Hz až 150 Hz. Nejvyšší peak je na frekvenci 50 Hz, stejně jako u snímače na vnější straně oblouku. Tento rozkmit nabývá hodnoty přibližně  $0,015 \text{ m/s}^2$ . Je to tedy menší hodnota než na vnější straně. Za tímto peakem se nachází ještě tři další, již menších hodnot. První z nich je těsně za maximem, druhý se nachází na frekvenci 80 Hz a třetí na kmitočtu 100 Hz. Všechny tři peaky dosahují hodnoty přibližně  $0,012 \text{ m/s}^2$ .

### **Pandrol FC I**

Odezvy z tohoto snímače jsou velmi podobné jako signál na hraně kolejového lože ve vnější straně oblouku. Maxima je dosaženo také na stejné frekvenci, a to 60 Hz. Vyskytují se zde dva peaky v těsné blízkosti vedle sebe. První z nich představuje globální maximum celého signálu, má hodnotu přibližně  $0,032 \text{ m/s}^2$ . Druhý peak má hodnotu zhruba poloviční. Důležité složky zrychlení vibrací jsou v pásmu od 0 Hz do 150 Hz. Ve vyšších frekvencích jsou již hodnoty téměř nulové.

- **VZDÁLENOST 7,5 M OD OSY KOLEJE; VNĚJŠÍ STRANA OBLOUKU**

**Vossloh W14**

Signál ze snímače ve vzdáleném poli má podobný průběh jako signál z čidla na hraně kolejového lože. Liší se však řádově ve velikosti zrychlení vibrací. Hlavní (a v podstatě jediné) složky zrychlení vibrací jsou realizovány v pásmu frekvencí 0 Hz až 130 Hz. Vzestup z minimálních hodnot zrychlení vibrací na nejvyšší hodnotu je plynulejší než následný sestup. Maximální amplituda se nachází přibližně na frekvenci 50 Hz. Její hodnota je rovna cca  $0,007 \text{ m/s}^2$ .

**Pandrol FC I**

Podstatné pásmo frekvencí je v tomto případě 0 Hz až 120 Hz. Nejvyšší hodnoty se nachází ve frekvenční oblasti 50 Hz až 60 Hz. Nachází se zde shluk několika peaků v těsné blízkosti vedle sebe. Zrychlení vibrací dosahuje hodnot přibližně  $0,007 \text{ m/s}^2$ . Vyčnívá mezi nimi jeden osamocený peak s vyšší hodnotou, a to  $0,011 \text{ m/s}^2$ .

- **VZDÁLENOST 7,5 M OD OSY KOLEJE; VNITŘNÍ STRANA OBLOUKU**

**Vossloh W14**

Průběh na této straně oblouku je obdobný, ovšem ve velikosti zrychlení vibrací je řádový rozdíl. Zatímco na vnější straně oblouku se hodnoty zrychlení vibrací pohybovaly v tisícinách  $\text{m/s}^2$ , na vnitřní straně oblouku jsou to jen desítitisíciny  $\text{m/s}^2$ . Rozsah vibrací je na kmitočtech 0 Hz až 130 Hz. Na frekvenci 10 Hz se objevují dva peaky. Vyšší z nich dosahuje hodnoty téměř  $3 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}^2$ . Další dva peaky se nachází okolo frekvence 50 Hz, tedy ve stejné oblasti jako v případě vnější strany oblouku. Globální maximum celého signálu má hodnotu přibližně  $4,5 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}^2$ .

**Pandrol FC I**

V případě upevnění Pandrol je na vnitřní straně oblouku také o jeden řád menší hodnota odezvy než na straně vnější. Z toho vyplývá, že jsou pro naše účely, tj. srovnání dynamických parametrů, směrodatnější údaje z vnější strany oblouku. Zrychlení vibrací se odehrává především ve frekvenční oblasti 0 Hz až 100 Hz. Objevují se zde dva výraznější peaky. První z nich je na frekvenci 40 Hz a má hodnotu cca  $3,5 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}^2$ . Maximální rozkmit je pak na kmitočtu 60 Hz, s hodnotou zrychlení vibrací přibližně  $6 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}^2$ . Upevnění Pandrol tedy vykazuje mírně zvýšené hodnoty oproti upevnění Vossloh. Rozdíly

však nejsou příliš markantní. Obě konstrukce můžeme zhodnotit jako vyhovující z hlediska útlumu vibrací.

### **7.2.3 FREKVENČNÍ ANALÝZA NÁKLADNÍCH VLAKŮ**

Z těchto tří kategorií vlakových souprav byl právě výběr nákladních vlaků nejkomplicovanější záležitostí. Bylo v podstatě nemožné najít dva vlaky s podobnou hodnotou přebytku převýšení. Nákladní vlaky se také velmi různí v počtu vozů, v hmotnosti nákladu a dalších parametrech. Po vizuálním zhodnocení všech srovnávaných dvojic nákladních vlaků můžu prohlásit, že mají všechny dvojice společné rysy, co se dynamického chování týče. Byla vybrána referenční dvojice vlaků, které jsou si navzájem nejvíce podobné. Jedná se o dvojici č. 7 (viz tabulka 6.1). Na úseku Hranice na Moravě (s upevněním Vossloh) to byl vlak projíždějící jako 13. v pořadí. Ve stanovišti Napajedla (úsek s upevněním Pandrol) je pak hodnocen nákladní vlak, jež projížděl úsekem jako druhý. Obě vlakové soupravy byly vybaveny stejným typem hnacího vozidla, a sice lokomotivou typu 363. Počet vozů je také totožný, a to 25 vozů. Jízdní rychlosti vlaků byly 86 km/h a 83 km/h. V tomto ohledu jsou si vlaky tedy také velmi podobné. Následná frekvenční analýza přináší reprezentativní obraz o dynamickém chování všech nákladních vlaků, jejichž signály byl v daných úsecích naměřeny.

#### **• HLAVA PRAŽCE; VNĚJŠÍ STRANA OBLOUKU**

##### **Vossloh W14**

Před vlastní analýzou rozdílů mezi upevněními jsem provedla vizuální porovnání signálů z nákladních vlaků oproti signálům z dříve vyhodnocovaných kategorií vlaků. Hodnoty zrychlení vibrací u nákladních vlaků jsou větší než hodnoty u vlaků osobní přepravy. Rozdíl je patrný zejména v porovnání s vlaky EuroCity. Amplitudy vykazují mnohem vyrovnanější průběh. V oblasti nízkých frekvencí (0 až 40 Hz) se vyskytuje několik peaků, z nichž největší dosahuje hodnoty  $0,14 \text{ m/s}^2$ . Klíčová oblast frekvencí je v tomto případě především mezi 300 Hz a 1250 Hz. Frekvenční rozsah je to tedy poměrně velký. Hodnoty zrychlení vibrací se průměrně pohybují okolo  $0,2 \text{ m/s}^2$ . Vyšší hodnoty jsou v nižších frekvencích tohoto rozsahu, tj. přibližně 370 Hz až 550 Hz. Poté dojde k mírnému poklesu. Avšak amplitudy zrychlení vibrací se stále drží hodnot  $0,2 \text{ m/s}^2$ . Od frekvence 1250 Hz má signál sestupnou tendenci. Ustálí se na hodnotách cca  $0,04 \text{ m/s}^2$  na

kmitočtu 1350 Hz. Při frekvenci 1500 Hz dojde ještě k jednomu snížení hodnot. V oblasti vysokých frekvencí vibrace výrazně nefigurují.

### **Pandrol FC I**

Při porovnání signálu z projíždějícího nákladního vlaku se signály vlaků osobní přepravy vidíme, že se vibrace chovají podobně. A to jak v přibližném průběhu, tak ve velikosti amplitud. V porovnání se signálem z nákladního vlaku při upevnění Vossloh vidíme zvýšení maximálních hodnot. Kmitočtové spektrum, ve kterých figurují hlavní složky vibrací, má naopak menší rozsah. Jedná se především o oblast frekvencí 260 Hz až 700 Hz. Průběh v této oblasti není tak vyrovnaný jako v případě upevnění Vossloh. Absolutní maximální hodnoty rozkmitu je dosaženo na frekvenci přibližně 350 Hz. Hodnota zrychlení vibrací se blíží  $0,4 \text{ m/s}^2$ . Poté hodnoty mírně klesnou a amplitudy kulminují okolo hodnoty  $0,25 \text{ m/s}^2$ . Další výraznější nárůst vibrací nastává v kmitočtové oblasti 580 Hz až 630 Hz. Hodnoty se zde blíží k  $0,38 \text{ m/s}^2$ . V pásmu středních frekvencí (700 Hz až 1000 Hz) amplitudy dosahují hodnot cca  $0,1 \text{ m/s}^2$ . Ve vyšších frekvencích již rozvoj vibrací není příliš významný.

### **• HLAVA PRAŽCE; VNITŘNÍ STRANA OBLOUKU**

#### **Vossloh W14**

Oproti vnější straně oblouku se důležité složky dynamické odezvy vyskytují na širším pásmu vibrací. Toto pásmo začíná na nejnižších frekvencích a končí až při kmitočtu přibližně 1500 Hz. V oblasti nízkých frekvencí můžeme pozorovat shluk vibrací s množinou peaků, z nichž nejvyšší dosahuje hodnoty  $0,18 \text{ m/s}^2$ . Tento shluk se vyskytuje na kmitočtech 100 Hz až 200 Hz. Hodnota  $0,18 \text{ m/s}^2$  náleží frekvenci cca 140 Hz. Od frekvence 300 Hz dochází k pozvolnému gradování amplitud. Nejvyšší rozkmity se soustřeďují na kmitočtech 450 Hz, 500 Hz, 510 Hz a 520 Hz. Zrychlení vibrací dosahuje hodnot přibližně  $0,38 \text{ m/s}^2$ . Od frekvence 520 Hz má signál sestupnou tendenci. Klesání trvá až do kmitočtu cca 1230 Hz. Zde je hodnota asi  $0,05 \text{ m/s}^2$ . Na frekvencích 1250 Hz až 1450 Hz pozorujeme výrazný shluk vibrací. Nejvyšší peak má hodnotu cca  $0,36 \text{ m/s}^2$  a nachází se na frekvenci 1310 Hz. Od této frekvence již signál klesá. Hodnoty ve vyšších frekvencích (1500 Hz až 2000 Hz) dosahují již jen cca  $0,04 \text{ m/s}^2$ .



## **Pandrol FC I**

Signál na hlavě pražce při upevnění Pandrol je trochu odlišný. Nenajdeme zde výrazný shluk vibrací na vyšších frekvencích, jež je typický pro upevnění Vossloh. Průběh je tedy plynulejší. Hlavní složky vibrací jsou v pásmu 200 Hz až 1000 Hz. Od nulové frekvence signál postupně stoupá k maximálním hodnotám jen s mírnými výkyvy. Například na frekvenci 230 Hz se vyskytuje jeden osamocený peak, jež svou velikostí vybočuje z normálu. Jeho hodnota je cca  $0,14 \text{ m/s}^2$ . Oblast s nejvyššími hodnotami je pak 400 Hz až 500 Hz. Vyskytuje se zde několik amplitud kulminujících kolem hodnoty  $0,2 \text{ m/s}^2$ . Nejvyšší rozkmit je pak přibližně  $0,22 \text{ m/s}^2$ , a to na frekvenci 460 Hz. Na středních frekvencích 500 Hz až 750 Hz má signál klesající průběh. Jediný výkyv od normálu představuje peak na frekvenci 700 Hz. Jeho hodnota je  $0,15 \text{ m/s}^2$ . Poté následuje shluk vibrací na kmitočtech 750 Hz až 950 Hz. Maximální amplituda je na frekvenci 800 Hz a má hodnotu  $0,17 \text{ m/s}^2$ . Ve vyšších frekvencích již vibrace nemají výrazný průběh. Objevuje se zde sice ještě jedna mírná vlna zvýšení oproti normálu (kolem frekvence 1250 Hz), ovšem v porovnání s upevněním Vossloh v dané oblasti je toto zvýšení zanedbatelné.

### **• HRANA KOLEJOVÉHO LOŽE; VNĚJŠÍ STRANA OBLOUKU**

#### **Vossloh W14**

Na hraně kolejového lože se vibrace projevují v pásmu frekvencí 0 Hz až 150 Hz. Nástup maximálního rozkmitu je velmi strmý. Globální maximum se nachází na frekvenci 40 Hz. Jeho hodnota je přibližně  $0,022 \text{ m/s}^2$ . V oblasti nízkých frekvencí se vyskytuje ještě několik peaků, a to přibližně na frekvencích 10 Hz, 70 Hz, 80 Hz a 110 Hz. Dosahují velikostí  $0,005 \text{ m/s}^2$  až  $0,01 \text{ m/s}^2$ . Rozvoj vibrací v oblasti středních a vysokých frekvencí je zanedbatelný, stejně jako u předchozích kategorií vlaků.

#### **Pandrol FC I**

Hodnoty zrychlení vibrací jsou v případě upevnění Pandrol přibližně poloviční. Potvrzuje to již dříve doložený závěr o lepších tlumících schopnostech tohoto typu upevnění. Hlavní frekvenční oblast je stejná, od 0 Hz do 150 Hz. Nejvyšší peak dosahuje vrcholové hodnoty cca  $0,011 \text{ m/s}^2$ . Tato hodnota je dosažena na frekvenci 40 Hz. Dále se zde ovšem objevuje mírně zvýšený rozvoj vibrací v pásmu 150 Hz až 650 Hz. Nejvyšší amplituda v této oblasti je na frekvenci 610 Hz a její hodnota činí přibližně  $0,003 \text{ m/s}^2$ .

Jedná se ale o amplitudy v rozsahu tisícín  $\text{m/s}^2$ . Vibrace v tomto pásmu proto nejsou tak zásadní jako v oblasti nízkých frekvencí.

- **HRANA KOLEJOVÉHO LOŽE; VNITŘNÍ STRANA OBLOUKU**

#### **Vossloh W14**

Maximální amplitudy signálu z této strany oblouku nedosahují takových rozměrů jako na straně vnější. Na druhou stranu se zde nachází více rozkmitů zvýšených oproti normálu. Tyto vyšší amplitudy se objevují na frekvencích 40 Hz, 100 Hz, 110 Hz a 130 Hz. Dosahují hodnot  $0,01 \text{ m/s}^2$  až  $0,018 \text{ m/s}^2$ . Důležitá oblast vibrací je tedy stále v pásmu nízkých frekvencí. Na kmitočtech 350 Hz až 450 Hz se objevuje mírně zvýšená vlna amplitud. Zrychlení vibrací zde dosahuje hodnot cca  $0,005 \text{ m/s}^2$ .

#### **Pandrol FC I**

V porovnání s upevněním Vossloh jsou hodnoty vyšší. Další rozdíl je v tom, že hlavní složky zrychlení vibrací už nejsou vázány jen na oblast nejnižších frekvencí. Vyskytují se zde dvě fáze výrazného zvýšení amplitud. Průběh na kmitočtech 0 Hz až 150 Hz je podobný. Maximální rozkmit je na frekvenci 40 Hz. Zrychlení vibrací zde dosahuje hodnoty přibližně  $0,02 \text{ m/s}^2$ . Poté má signál sestupnou tendenci. Od frekvence 200 Hz však nastává další nárůst. Nejvyšší peak je přibližně na kmitočtu 230 Hz. Jeho velikost je  $0,013 \text{ m/s}^2$ . Poté dochází k postupnému klesání s mírnými výkyvy. Od frekvence 600 Hz vykazují vibrace již zanedbatelné hodnoty.

- **VZDÁLENOST 7,5 M OD OSY KOLEJE; VNĚJŠÍ STRANA OBLOUKU**

#### **Vossloh W14**

Oblast frekvencí, ve kterých se vibrace projevují, je 0 Hz až 130 Hz. Maximální rozkmit se nachází při kmitočtu 40 Hz a jeho hodnota činí  $0,012 \text{ m/s}^2$ .

#### **Pandrol FC I**

Odezvy na tomto snímači jsou při upevnění Pandrol více než dvojnásobně menší než při upevnění Vossloh. Tato skutečnost je opět důkazem, že upevnění Pandrol má lepší tlumicí schopnosti s rostoucí vzdáleností od zdroje vibrací. Frekvenční rozsah zásadních hodnot zrychlení vibrací je obdobný u obou typů upevnění. V tomto případě je to konkrétně 0 Hz až 100 Hz. V oblasti 30 Hz až 60 Hz se nachází čtyři peaky zvýšených amplitud. Nejvýraznější z nich má hodnotu mírně přes  $0,004 \text{ m/s}^2$ , a to na frekvenci 40 Hz.

- **VZDÁLENOST 7,5 M OD OSY KOLEJE; VNITŘNÍ STRANA OBLOUKU**

#### **Vossloh W14**

Vibrace na vnitřní straně oblouku jsou charakteristické menšími hodnotami než na straně vnější. Hodnoty jsou desetkrát menší. Vibrace se projevují v pásmu do 60 Hz. Výrazný peak je na frekvenci 40 Hz a dosahuje hodnoty přibližně  $11 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}^2$ .

#### **Pandrol FC I**

V případě upevnění Pandrol jsou hodnoty z tohoto signálu rovněž desetkrát menší než ze signálu na vnější straně oblouku. V závislosti na typu upevnění vykazuje nižší hodnoty upevnění Pandrol. Frekvenční rozsah, ve kterém se objevují výraznější vibrace, je od nuly po cca 100 Hz. Maximální amplituda je na frekvenci 40 Hz. Její hodnota je přibližně  $7 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}^2$ .

## **8. SROVNÁNÍ TESTOVANÝCH KONSTRUKCÍ**

### **8.1 VÝSLEDKY AKUSTICKÝCH PARAMETRŮ V ČASOVÉ OBLASTI**

Vyhodnocení akustických parametrů bylo provedeno na základě veličiny *TEL* [dB], neboli hladiny expozice průjezdu. Tato veličina představuje nejdůležitější charakteristiku v časové oblasti. Z porovnání osobních vlaků vyplývá, že se jako mírně hlučnější projevuje konstrukce s upevněním Vossloh W14. V případě rychlejších vlaků (rychlíků a vlaků EuroCity) je situace opačná, vyšší odezvy jsou při upevnění Pandrol FC I. Rozdíly však nejsou příliš výrazné. Nákladní vlaky vykazují oproti vlakům osobní přepravy nejmenší rozdíly. Akustické parametry jsou proto v případě nákladních vlaků nejméně ovlivňovány použitým typem upevnění. Z analýzy lze vyvodit jednotný závěr, a sice že akustické odezvy obou typů upevnění jsou srovnatelné.

Z vyhodnocení v časové oblasti vyplývá ještě jeden závěr. Ten se týká závislosti hladiny expozice průjezdu na straně oblouku (z hlediska středu tohoto oblouku). Vyšší akustické odezvy jsou na vnější straně. To platí pro všechny vlakové soupravy a bez ohledu na typ upevnění.

### **8.2 VÝSLEDKY AKUSTICKÝCH PARAMETRŮ VE FREKVENČNÍ OBLASTI**

Pro hodnocení ve frekvenční oblasti byla zvolena metoda třetinooktávové analýzy průměrných hladin akustického tlaku. Tato metoda nám pomáhá pochopit akustický průběh na konkrétních frekvencích. U vlaků osobní přepravy se nejvyšší hodnoty akustického tlaku nachází na nejnižších frekvencích (16 a 20 Hz). Naopak nejnižších hodnot je dosaženo na frekvencích 10 kHz a 12,5 kHz. V případě nákladních vlaků jsou nejvyšší hodnoty posunuty více ke středním frekvencím.

Z hlediska porovnání typů upevnění nabývá Pandrol FC I vyšších hodnot v pásmu středních frekvencí (500 až 1000 Hz). Naopak na nízkých frekvencích a v pásmu vysokých kmitočtů vychází hůř upevnění Vossloh W14. Lidský sluch je nejcitlivější na střední frekvence. Proto vychází jako hlučnější upevnění Pandrol. Rozdíly ovšem nejsou příliš markantní.

### **8.3 VÝSLEDKY DYNAMICKÝCH PARAMETRŮ V ČASOVÉ OBLASTI**

Hladiny zrychlení vibrací byly zpracovány v podobě efektivních hodnot, tzv. RMS (Root Mean Square). Tato charakteristika je pro popis signálu v časové rovině stěžejní. Z výsledků analýzy vyplývá, že hodnoty zrychlení vibrací u obou typů upevnění jsou vyrovnané. Minimální rozdíly jsou především ve vzdáleném poli, kde dochází k účinnému útlumu vibrací. Obě konstrukce tedy hodnotím jako srovnatelné.

Z hlediska závislosti na straně oblouku (zda vnější, nebo vnitřní) se projevuje stejné pravidlo jako u akustických parametrů. A sice, že v průměru jsou vyšší hodnoty zrychlení vibrací na straně vnější.

### **8.4 VÝSLEDKY DYNAMICKÝCH PARAMETRŮ VE FREKVENČNÍ OBLASTI**

Z výsledků frekvenční analýzy je patrné, že upevnění Pandrol FC I má lepší tlumicí účinky než upevnění Vossloh W14. Na hlavě pražce vykazovalo upevnění Pandrol FC I srovnatelné, mnohdy i vyšší hodnoty než Vossloh. Na hraně kolejového lože už byly však hodnoty zrychlení vibrací u obou konstrukcí srovnatelné.

Z vyhodnocení ve frekvenční oblasti vyplývá stejný závěr týkající se velikosti odezvy v závislosti na straně oblouku. I v tomto případě se tedy potvrzuje, že rozvoj vibrací je výrazně nižší na vnitřní straně oblouku. Typ použitého upevnění na tuto skutečnost nemá vliv.

## 9. ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ

Zkoumání akustických parametrů je důležité především z hlediska negativního ovlivňování osob. Lidský sluch je na určité frekvence citlivější, a sice na pásmo středních frekvencí okolo 1000 Hz. To znamená, že hluk v těchto frekvencích můžeme subjektivněji vnímat jako hlasitější. V rozsahu těchto kmitočtů byly zjištěny horší vlastnosti upevnění Pandrol FC I. Nutno však podotknout, že rozdíly v obou typech konstrukcí nebyly příliš výrazné.

Při měření na trati byly mikrofony umístěny na obou stranách směrového oblouku, chápáno z pohledu jeho středu. Ve vnitřní straně oblouku se nachází další kolej. Z výsledků měření bylo dokázáno, že na vnější straně je hlučnost výrazně vyšší. Je to dáno konstrukcí železničního svršku. Díky převýšení koleje v oblouku a s ním spojeném náklonu projíždějícího vozu se hluk šíří daleko lépe právě na vnější straně oblouku. Hlukové složky na vnitřní straně oblouku jsou navíc částečně pohlceny šterkovým ložem a také druhou kolejí.

Z pohledu dynamických parametrů nás zajímají jak vibrace na kolejovém roštu, které mají vliv na stavbu železničního svršku, tak vibrace, které prostupují do širšího okolí. Rozvoj vibrací má na daných typech upevnění různý průběh. Na hlavě pražce dosahují oba systémy upevnění podobných hodnot, mnohdy však Pandrol FC I vykazuje až dvakrát vyšší zrychlení vibrací. Je to dáno především vysokou pružností tohoto upevnění v porovnání se systémem Vossloh W14. Díky této pružnosti dovoluje typ Pandrol v samotném uzlu upevnění větší rozkmitání konstrukce. To představuje jeho nevýhodu, ale zároveň přednost. Ačkoli jsou totiž vibrace přímo na konstrukci větší, utlumení směrem do širšího okolí trati je efektivnější. Oproti tomu Vossloh W14 se vyznačuje větší tuhostí. Ta je dána způsobem upevnění kolejnice, tedy pevnějším přišroubováním pomocí vrtule. Proto je rozvoj vibrací na pražci při upevnění Vossloh menší, ve vzdáleném poli však má horší tlumicí schopnosti. Můžeme tedy říct, že průběh vibrací tohoto typu upevnění má stálejší charakter. V celkovém zhodnocení lze prohlásit oba typy upevnění za stabilní, vyhovující pro použití do tratí v oblouku.

Zvolená metodika měření plně vyhovovala našim požadavkům. Podařilo se pomocí ní zjistit jak principiální vzorce chování obou typů konstrukcí, tak podrobnější rozdíly ve vybraných situacích. Do každé metodiky však můžeme vnést nová zdokonalení. Níže je

uvedeno několik návrhů, se kterými můžu přijít právě díky zkušenosti z předchozího měření.

Stejně jako tomu bylo u akustických parametrů, také v případě vibrací jsou významnější hodnoty na vnější straně oblouku. Tento poznatek se projevuje u všech vlakových souprav na obou typech upevnění. Proto bych pro další měření doporučila umístit akcelerometry i snímače akustického tlaku pouze do vnější části oblouku. Tento postup zjednoduší a urychlí jak samotné měření, tak i následné vyhodnocování. Rovněž zmírní materiální požadavky na počet prvků měřicí soustavy.

Pro zachycení průjezdů vlakových souprav by mohlo být měřicí stanoviště vybaveno spouštěcími infrabrány. Ty by tak umožnily dokonalejší záznam měřených souprav. Dalším způsobem zdokonalení záznamu vlaků by bylo vybavení měřicího úseku jednou kamerou navíc, dohromady tedy dvěma kamerami. První z nich by byla nasměrována kolmo k ose průjezdu tak, jak tomu bylo i v případě našeho měření. Druhá kamera by směřovala šikmo k příjíždějícímu vlaku. Umožňovala by tak spolehlivější způsob zachycení typu lokomotivy než v případě ručních záznamů.

Doporučuji pokračovat i nadále ve zkoumání akustických a dynamických charakteristik různých komponentů železničního svršku. Experimentální analýzu je možné provádět také na zkušebních okruzích, jako je okruh v Cerhenicích. Je však na místě podotknout, že již při projektování zkušebních okruhů bychom měli dodržovat co nejpodobnější podmínky trati, jako je typ podloží, geometrické parametry či například výškové vedení trati.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] NOVÝ, Richard. *Hluk a chvění*. 3. vyd. Praha: ČVUT, 2009. ISBN 978-80-01-04347-9.
- [2] FICKER, Tomáš. *Handbook of Building Thermal Technology, Acoustics and Daylighting*. 1. vyd. Brno: CERM, s.r.o., 2004. ISBN 80-214-2670-5.
- [3] Česká republika. O ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. In: *258/2000 Sb.* 2000. Dostupné z: <http://www.sbcz.cz/>
- [4] Rozchod koleje. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2013, 25.10.2013 [cit. 2013-12-27]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Rozchod\\_koleje](http://cs.wikipedia.org/wiki/Rozchod_koleje)
- [5] Předpis SŽDC S3. *Železniční svršek*. Olomouc: TÚDC - Oddělení typové dokumentace, 2008. Změna 01. 2011.
- [6] Projektování kolejové dopravy: *Železniční svršek*. TÝFA, Lukáš. ČVUT FD. [online]. 2012 [cit. 2013-12-27]. Dostupné z: <http://www.fd.cvut.cz/personal/tyfal/str/predmety/pkd-pr/pkd5.pdf>
- [7] Běžná kolej (3. část): Vývoj pružného upevnění. *SŽDC: Správa železniční dopravní cesty* [online]. [cit. 2013-12-27]. Dostupné z: <http://www.szdc.cz/o-nas/zeleznice-cr/historie-zeleznice/zeleznici-svrsek/bezna-kolej-3.html>
- [8] Běžná kolej (4. část): Pražce. *SŽDC: Správa železniční dopravní cesty* [online]. [cit. 2013-12-27]. Dostupné z: <http://www.szdc.cz/o-nas/zeleznice-cr/historie-zeleznice/zeleznici-svrsek/bezna-kolej-4.html>
- [9] *Železniční pražec*. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2005-2013 [cit. 2013-12-27]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%BDelezni%C4%8Dn%C3%AD\\_pra%C5%BEec](http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%BDelezni%C4%8Dn%C3%AD_pra%C5%BEec)
- [10] ČSN EN ISO 3095. *Železniční aplikace - Akustika - Měření hluku vyzařovaného kolejovými vozidly*. Praha: Český normalizační institut, 2006.



- [11] KALIVODA. Track decay rate of different railway noise test sites. [online]. 2005 [cit. 2013-12-27]. Dostupné z: <http://webistem.com/acoustics2008/acoustics2008/cd1/data/fa2005-budapest/paper/672-0.pdf>
- [12] ČSN EN 15461+A1. *Železniční aplikace - Emise hluku - Charakterizace dynamických vlastností úseků koleje pro měření hluku při průjezdech*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [13] Železniční trať Česká Třebová - Přerov - Bohumín. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2008-2013 [cit. 2013-12-27]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%BDlezni%C4%8Dn%C3%AD\\_tra%C5%A5\\_%C4%8Cesk%C3%A1\\_T%C5%99eov%C3%A1\\_-\\_P%C5%99erov\\_-\\_Bohum%C3%ADn](http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%BDlezni%C4%8Dn%C3%AD_tra%C5%A5_%C4%8Cesk%C3%A1_T%C5%99eov%C3%A1_-_P%C5%99erov_-_Bohum%C3%ADn)
- [14] Železniční trať Přerov - Břeclav. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2009-2013 [cit. 2013-12-27]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%BDlezni%C4%8Dn%C3%AD\\_tra%C5%A5\\_P%C5%99erov\\_-\\_B%C5%99eclav](http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%BDlezni%C4%8Dn%C3%AD_tra%C5%A5_P%C5%99erov_-_B%C5%99eclav)
- [15] TOMANDL, Vladimír. *Analýza dynamických parametrů kolejnicových upevnění*. Brno, 2007. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav železničních konstrukcí a staveb. Vedoucí práce doc. Ing. Jaroslav Smutný, Ph.D.
- [16] SMUTNÝ, J., V. TOMANDL a I. VUKUŠIČ. Dynamické vlastnosti kolejového roštu s Y pražci. *Silnice Železnice* [online]. 2011 [cit. 2013-12-27]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/dynamicke-vlastnosti-kolejoveho-rostu-s-y-prazci/>
- [17] Decibelové veličiny v akustice, kmitočtová pásma. In: [online]. [cit. 2013-12-27]. Dostupné z: [http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env\\_fyzika/EF\\_03.pdf](http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_03.pdf)
- [18] SMUTNÝ, Jaroslav a Luboš PAZDERA. *Železniční stavby: Měřicí technika a dynamika železničních staveb*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1998. ISBN 80-214-0976-2.

- [19] PANDROL FASTCLIP. *Pandrol Track Systems* [online]. [cit. 2013-12-27].  
Dostupné z: <http://www.pandrolrahee.com/product-ballasted-fast.html>
- [20] Typy upevnění kolejnic. [online]. [cit. 2013-12-27]. Dostupné z:  
<http://www.railian.com/teorie/upevneni.html>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$A$	.....	hladina akustického tlaku
$a$	.....	zrychlení vibrací
$A(0)$	.....	odezva pro referenční bod 0
$A(z)$	.....	odezva v měřicí vzdálenosti $z$
$a_0$	.....	referenční hodnota zrychlení vibrací
$a_i$	.....	sledované zrychlení vibrací
BK	.....	bezstyková kolej
bm	.....	běžný metr
ČD	.....	České dráhy
ČR	.....	Česká republika
ČSD	.....	Československé státní dráhy
dB	.....	decibel
$e$	.....	Eulerovo číslo (základ přirozených logaritmů)
EC	.....	EuroCity
Ex	.....	expres
$f$	.....	frekvence (kmitočet)
FRF	.....	frekvenční odezva, přenosová funkce systému (Frequency Response Function)
FT	.....	Fourierova transformace
Hz	.....	hertz, jednotka frekvence
IC	.....	InterCity
KHS	.....	krajská hygienická stanice
$K_i$	.....	korekce k váhovým filtrům A, B, C, D
$L_{Aef}$	.....	efektivní hladina zrychlení vibrací
$L_p$	.....	hladina akustického tlaku
Lv	.....	lokomotivní vlak
Os	.....	osobní vlak
$p$	.....	sledovaný akustický tlak
$p_0$	.....	referenční akustický tlak
Pa	.....	Pascal
$p_A(t)$	.....	okamžitý vážený akustický tlak

R .....	rychlík
RMS .....	efektivní hodnota (Root Mean Square)
SC .....	SuperCity
$T$ .....	časový interval měření
TDR .....	stupeň dynamického útlumu trati (Track Decay Rate)
TEL .....	hladina expozice průjezdu A (Transit Exposure Level)
$T_p$ .....	doba průjezdu vlaku nebo ucelené jednotky
TSI .....	technická specifikace interoperability
VUT .....	Vysoké učení technické
WHO .....	World Health Organisation (Světová zdravotnická organizace)
$X(f)$ .....	signál ve frekvenční oblasti
$x(t)$ .....	signál v časové oblasti
$z$ .....	vzdálenost od budicího bodu podél koleje
$z_{max}$ .....	maximální měřicí vzdálenost od budicího bodu
$\beta$ .....	konstanta útlumu pro amplitudu odezvy $A$
$\Delta$ .....	stupeň útlumu
$\Delta_{min}$ .....	minimální stupeň útlumu
$\Delta z$ .....	interval mezi střední vzdáleností měřicích bodů a měřicími body po obou stranách
$\pi$ .....	Ludolfovo číslo (Pi)

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 3.1 Mašíkův plíšek (Mašíkovo pružné pero proti putování) [7].....	12
Obr. 3.2 Upevnění nepřímé, podkladnicové, tuhé; rozponové podkladnice tvaru TR 5, svěrky T 5 a T 6; dnes již nepoužívaný typ kolejnicového upevnění .....	13
Obr. 3.3 Upevnění nepřímé, podkladnicové, tuhé; žebrové podkladnice tvaru R 4pl nebo S 4pl, svěrky ŽS 4; příklad stále používaného typu upevnění (K).....	14
Obr. 3.4 Vossloh W14, s pružnými svěrkami Skl 14; upevnění přímé, bezpodkladnicové, pružné .....	20
Obr. 3.5 Vossloh W14, s pružnými svěrkami Skl 14; upevnění přímé, bezpodkladnicové, pružné .....	20
Obr. 3.6 Pandrol e-CLIP, s pružnými sponami „e“ s adaptéry (Ke), žebrové podkladnice R 4 nebo S 4; upevnění nepřímé, podkladnicové, pružné .....	22
Obr. 3.7 Pandrol e-CLIP, s pružnými sponami „e“ s adaptéry (Ke), žebrové podkladnice R 4 nebo S 4; upevnění nepřímé, podkladnicové, pružné .....	22
Obr. 3.8 Pandrol Fastclip (FC I), s pružnými sponami Fastclip 1501 bez zajištění druhotné tuhosti; upevnění přímé, bezpodkladnicové, pružné.....	23
Obr. 3.9 Pandrol Fastclip (FC II), s pružnými sponami Fastclip 1501 se zajištěním druhotné tuhosti; upevnění přímé, bezpodkladnicové, pružné.....	23
Obr. 3.10 Pandrol Fastclip, s pružnými sponami Fastclip 1501; upevnění přímé, bezpodkladnicové, pružné [19].....	24
Obr. 3.11 Pandrol Fastclip, s pružnými sponami Fastclip 1501; upevnění přímé, bezpodkladnicové, pružné [19].....	24
Obr. 3.12 Koncepce používání jednotlivých typů upevnění kolejnic [20] .....	25
Obr. 4.1 Minimální hodnoty TDR podle TSI pro svislý a příčný směr .....	28
Obr. 4.2 Umístění akcelerometrů; 1 - doporučené umístění pro svislý směr, 2 - umístění pro příčný směr, 3 - reálné umístění pro svislý směr; $F_{LATERAL}=F_{PŘÍČNĚ}$ , $F_{VERTICAL}=F_{SVISLE}$ [11].....	29
Obr. 4.3 TDR - místa buzení rázovým kladívkem; ve spodní části množina bodů blízkého pole ..	31
Obr. 4.4 Graf TDR (dynamický útlum trati) - upevnění W14, vnitřní kolejnicový pás .....	35
Obr. 4.5 Rozmístění všech mikrofonů, akcelerometrů a snímačů posunutí .....	40
Obr. 4.6 Ukázka snímače akustického tlaku (mikrofon typu M 360).....	41
Obr. 4.7 Ukázka snímače zrychlení vibrací (akcelerometr typu 4524 B).....	41
Obr. 4.8 Měřicí ústředna DEWE-2502 se zapojenými kabely označenými štítky .....	43
Obr. 4.9 Způsoby hodnocení signálu v časové oblasti [15].....	45
Obr. 4.10 Příklad třetinooktávového pásma [17].....	47
Obr. 5.1 Anemometr (větroměr) Conrad Windmaster 2.....	49

Obr. 5.2 Časový interval měření akusticko-dynamických parametrů trati [10].....	51
Obr. 5.3 Měřicí stanoviště Hranice na Moravě, upevnění Vossloh W14.....	53
Obr. 5.4 Měřicí stanoviště Napajedla, upevnění Pandrol FC I .....	56
Obr. 7.1 Příklad grafu dynamické odezvy; snímač A7-p-z; hlava pražce; umístěný na vnitřní straně oblouku.....	77

## SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1 Rozdělení upevnění kolejnic dle typu konstrukce.....	11
Tab. 3.2 Stávající starší typy upevnění.....	14
Tab. 3.3 Přehled sestav nově zřizovaných typů.....	17
Tab. 3.4 Použití materiálu na tratích ČD.....	18
Tab. 4.1 Popis jednotlivých snímačů akustického tlaku.....	38
Tab. 4.2 Základní parametry použitých mikrofonů.....	39
Tab. 4.3 Popis jednotlivých snímačů zrychlení vibrací.....	39
Tab. 4.4 Základní parametry použitých akcelerometrů.....	40
Tab. 4.5 Nastavení parametrů pro správnost měření.....	43
Tab. 5.1 Korekce hladin akustického tlaku A při hluku pozadí.....	52
Tab. 5.2 Podmínky měření - měřicí stanoviště Hranice na Moravě.....	53
Tab. 5.3 Přehled měřených vlakových souprav - měřicí stanoviště Hranice na Moravě.....	54
Tab. 5.4 Podmínky měření - měřicí stanoviště Napajedla.....	56
Tab. 5.5 Přehled měřených vlakových souprav - měřicí stanoviště Napajedla.....	57
Tab. 6.1 Srovnání vlakových souprav různých konstrukcí upevnění.....	58
Tab. 6.2 Hladina expozice průjezdu TEL - dvojice č. 1.....	59
Tab. 6.3 Hladina expozice průjezdu TEL - dvojice č. 2.....	59
Tab. 6.4 Hladina expozice průjezdu TEL - dvojice č. 3.....	60
Tab. 6.5 Hladina expozice průjezdu TEL - dvojice č. 4.....	61
Tab. 6.6 Hladina expozice průjezdu TEL - dvojice č. 5.....	61
Tab. 6.7 Hladina expozice průjezdu TEL - dvojice č. 6 - 8 (nákladní vlaky).....	63
Tab. 6.8 Energetické součty v oblasti 100 až 5000 Hz; srovnání osobních vlaků.....	66
Tab. 6.9 Energetické součty v oblasti 100 až 5000 Hz; srovnání rychlíků a vlaků EC.....	67
Tab. 6.10 Energetické součty v oblasti 100 až 5000 Hz; srovnání nákladních vlaků.....	68
Tab. 7.1 Efektivní hodnoty zrychlení vibrací - dvojice č. 1.....	71
Tab. 7.2 Efektivní hodnoty zrychlení vibrací - dvojice č. 2.....	71
Tab. 7.3 Efektivní hodnoty zrychlení vibrací - dvojice č. 3.....	73
Tab. 7.4 Efektivní hodnoty zrychlení vibrací - dvojice č. 4.....	73
Tab. 7.5 Efektivní hodnoty zrychlení vibrací - dvojice č. 5.....	73
Tab. 7.6 Efektivní hodnoty zrychlení vibrací - dvojice č. 6 - 8 (nákladní vlaky).....	76

# PŘÍLOHY



## SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A	Fotodokumentace z měření.....	107
PŘÍLOHA B	Grafy TDR.....	119
PŘÍLOHA C	Třetinooktávová analýza průměrných hladin akustického tlaku .....	125
PŘÍLOHA C.1	Třetinooktávová analýza průměrných hladin akustického tlaku - Úsek s upevněním Vossloh W14 .....	127
PŘÍLOHA C.2	Třetinooktávová analýza průměrných hladin akustického tlaku - Úsek s upevněním Pandrol FC I .....	163
PŘÍLOHA D	Grafy akustické odezvy .....	193
PŘÍLOHA D.1	Grafy akustické odezvy - Úsek s upevněním Vossloh W14 .....	195
PŘÍLOHA D.2	Grafy akustické odezvy - Úsek s upevněním Pandrol FC I.....	223
PŘÍLOHA E	Grafy dynamické odezvy - vibrace .....	245
PŘÍLOHA E.1	Grafy dynamické odezvy - vibrace - Úsek s upevněním Vossloh W14 ..	247
PŘÍLOHA E.2	Grafy dynamické odezvy - vibrace - Úsek s upevněním Pandrol FC I....	275

# PŘÍLOHA A

FOTODOKUMENTACE Z MĚŘENÍ



Obr. A.1 Měřicí kampaň č. 1 - stanoviště Hranice na Moravě



Obr. A.2 Měřicí kampaň č. 2 - stanoviště Napajedla



Obr. A.3 Upevnění Vossloh W14; měřicí úsek Hranice na Moravě



Obr. A.4 Upevnění Pandrol FC I; měřicí úsek Napajedla



Obr. A.5 Příprava před zkouškou TDR - úprava povrchu kolejnice smirkovým papírem



Obr. A.6 Zkouška TDR - umístění snímače zrychlení pro příčný směr



Obr. A. 7 Zkouška TDR - umístění snímače zrychlení pro svislý směr



Obr. A.8 Zkouška TDR - rázové buzení; body blízkého pole



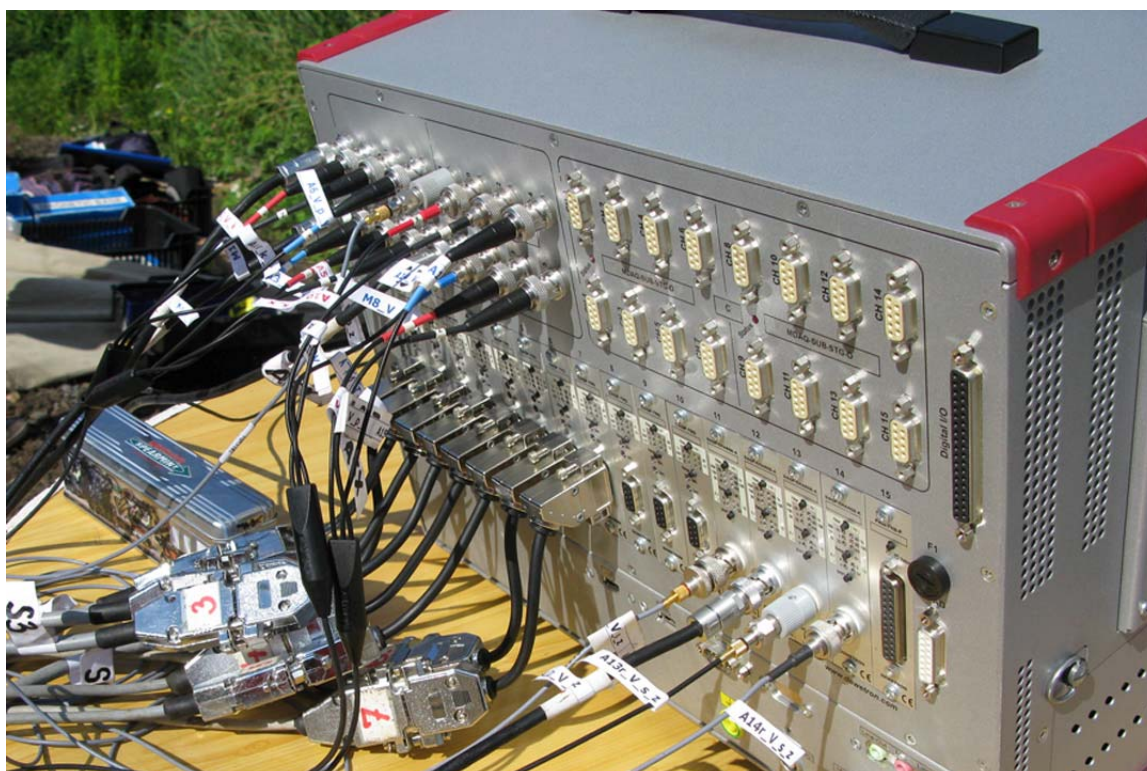
Obr. A.9 Zkouška TDR - rázové budicí kladívko typu 8202



Obr. A.10 Zkouška TDR - kontrola naměřených dat; měření systémem PULSE 3560 D

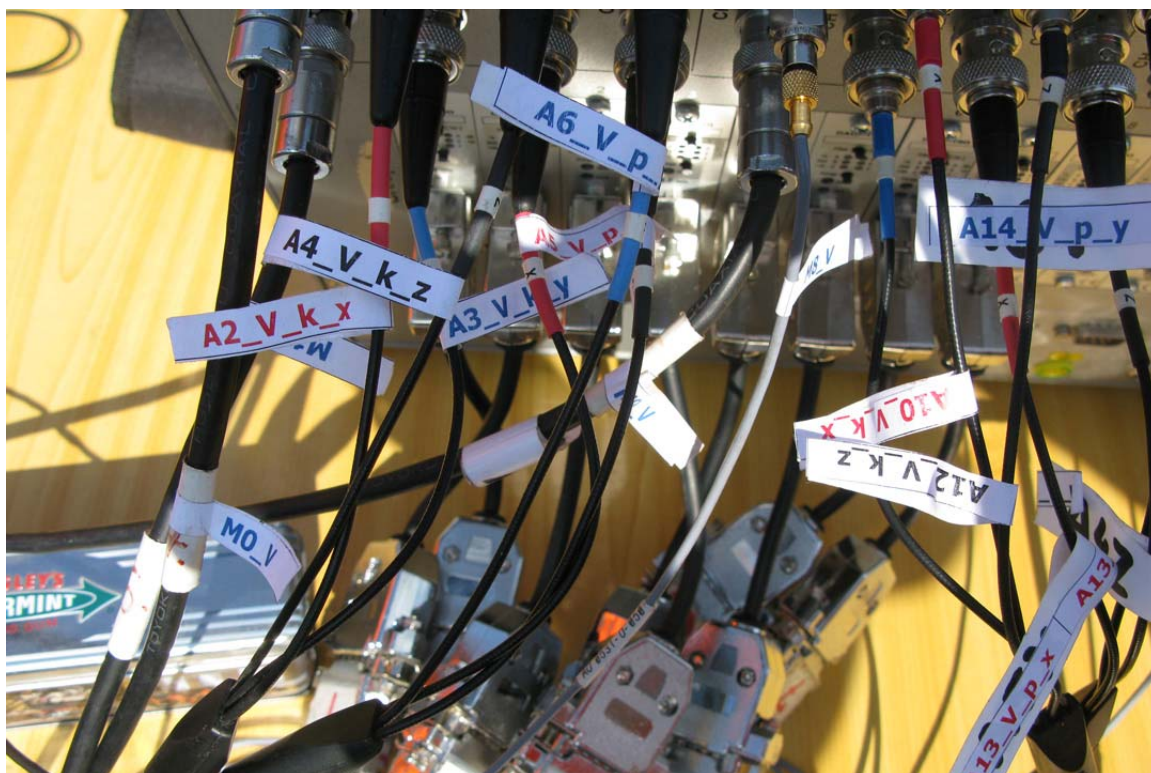


Obr. A.11 Měření akusticko-dynamických parametrů - PC sestava DEWE 2502

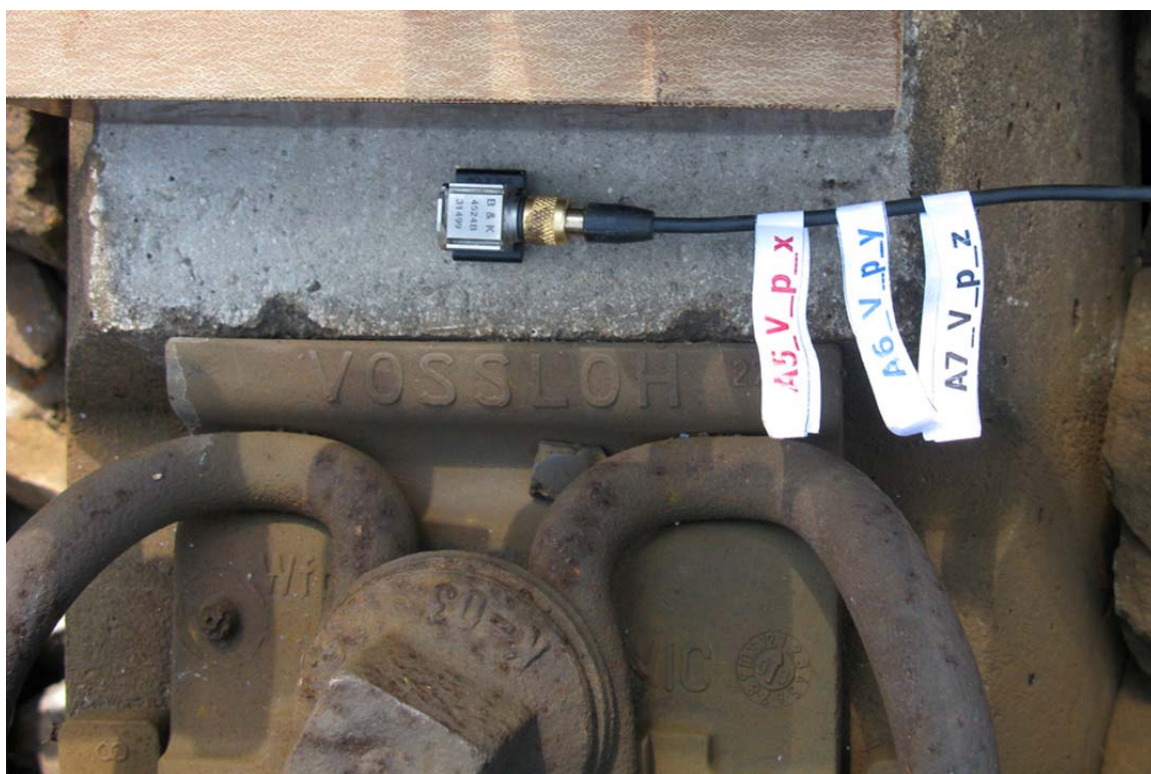


Obr. A.12 Měření akusticko-dynamických parametrů - PC sestava DEWE 2502





Obr. A.13 Měření akusticko-dynamických parametrů - detail štítků označujících kabely z jednotlivých snímačů



Obr. A.14 Měření akusticko-dynamických parametrů - akcelerometr na hlavě pražce



Obr. A.15 Měření akusticko-dynamických parametrů - akcelerometr umístěný na hraně kolejového lože



Obr. A.16 Měření akusticko-dynamických parametrů - akcelerometr umístěný ve vzdálenosti 7,5 m od osy koleje



Obr. A.17 Měření akusticko-dynamických parametrů - mikrofon umístěný 7,5 m od osy koleje; ve výšce 1,2 m nad spojnici temen kolejnic (TK)



Obr. A.18 Měření akusticko-dynamických parametrů - detail mikrofonu umístěného 7,5 m od osy koleje; ve výšce 1,2 m nad spojnici temen kolejnic (TK)



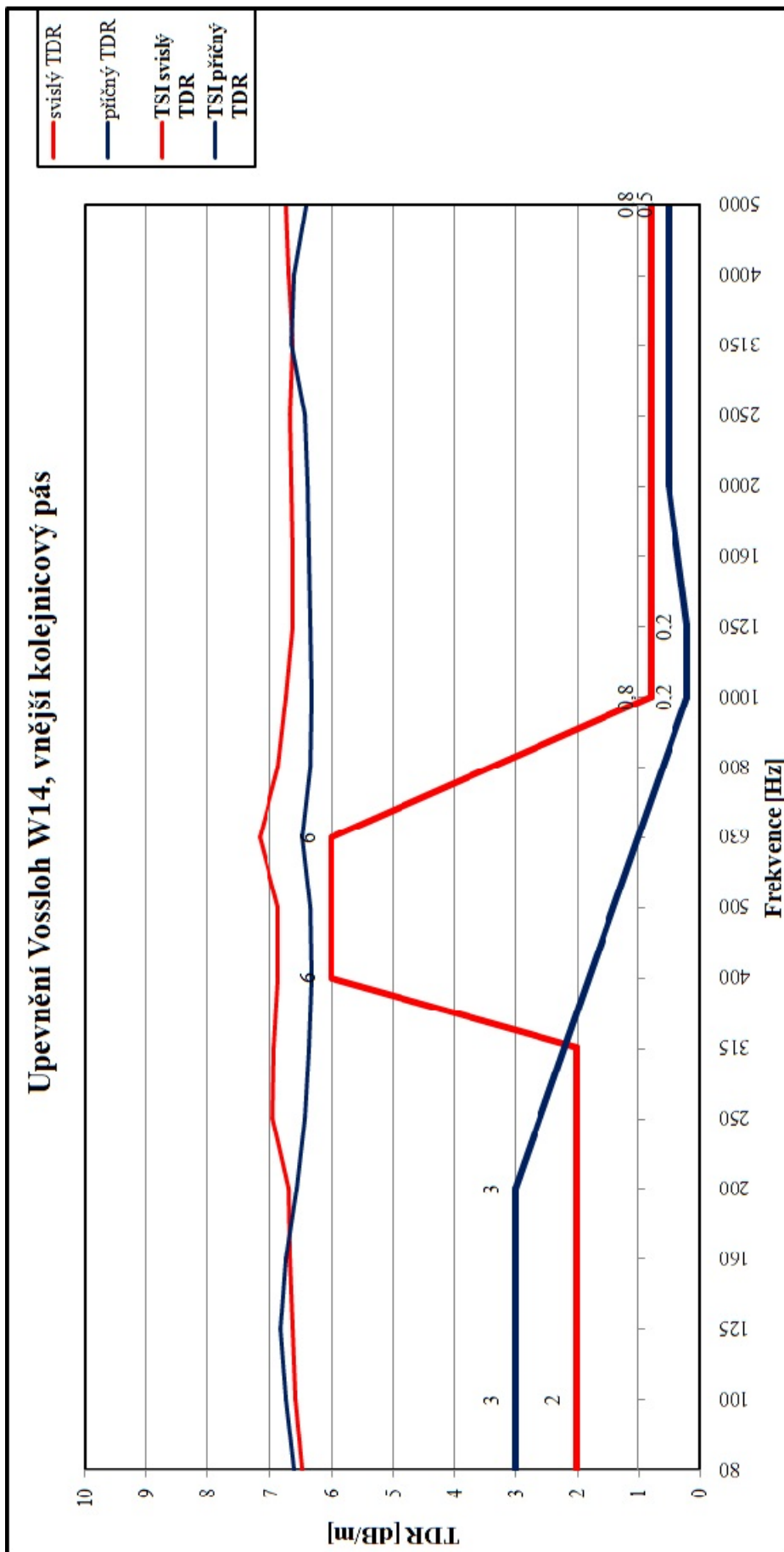
Obr. A.19 Měření akusticko-dynamických parametrů - vlevo mikrofon umístěný 1,85 m od osy koleje; vpravo akcelerometr na hraně kolejového lože



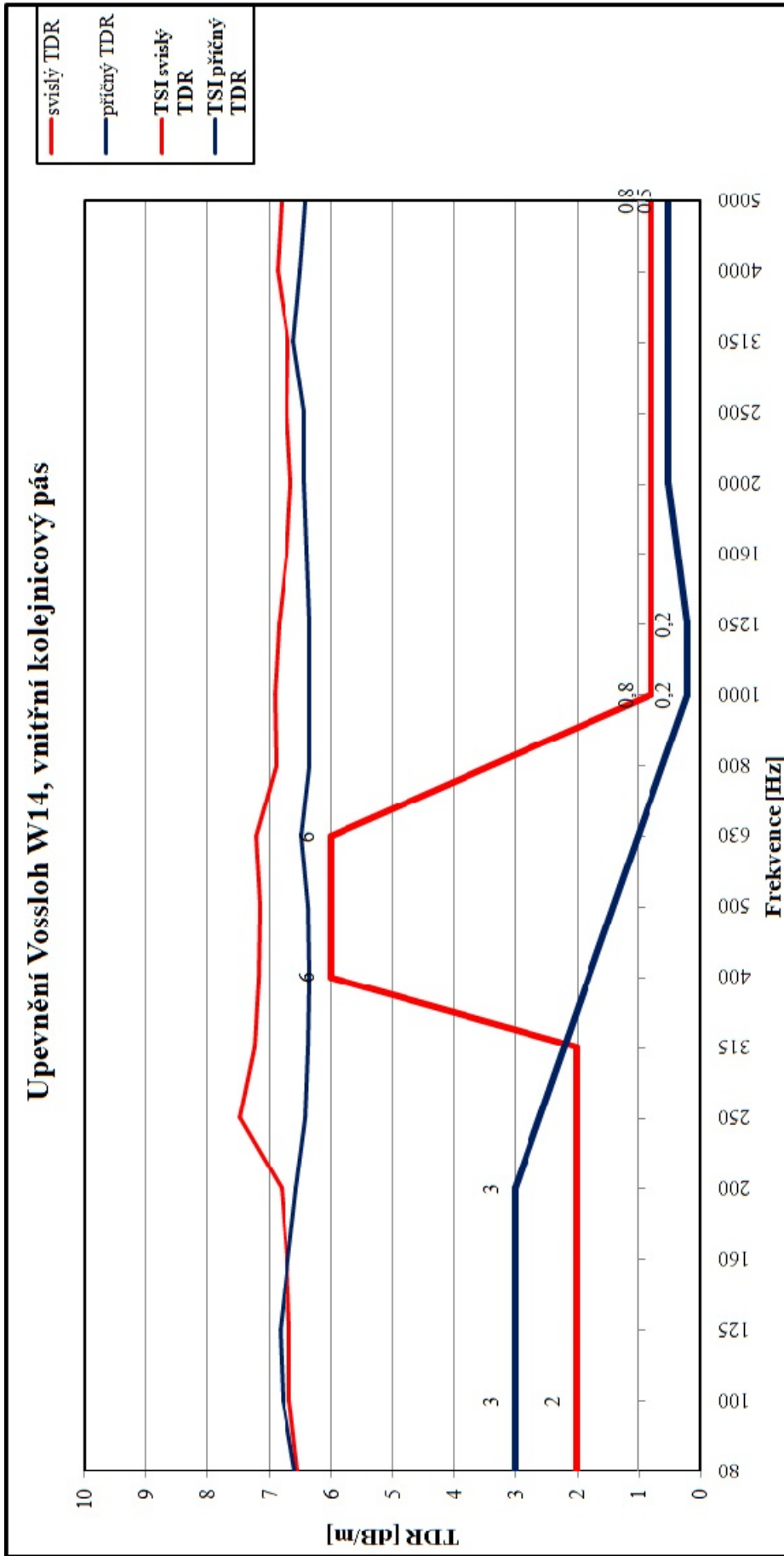
Obr. A.20 Měření akusticko-dynamických parametrů - kontrola naměřených dat

# **PŘÍLOHA B**

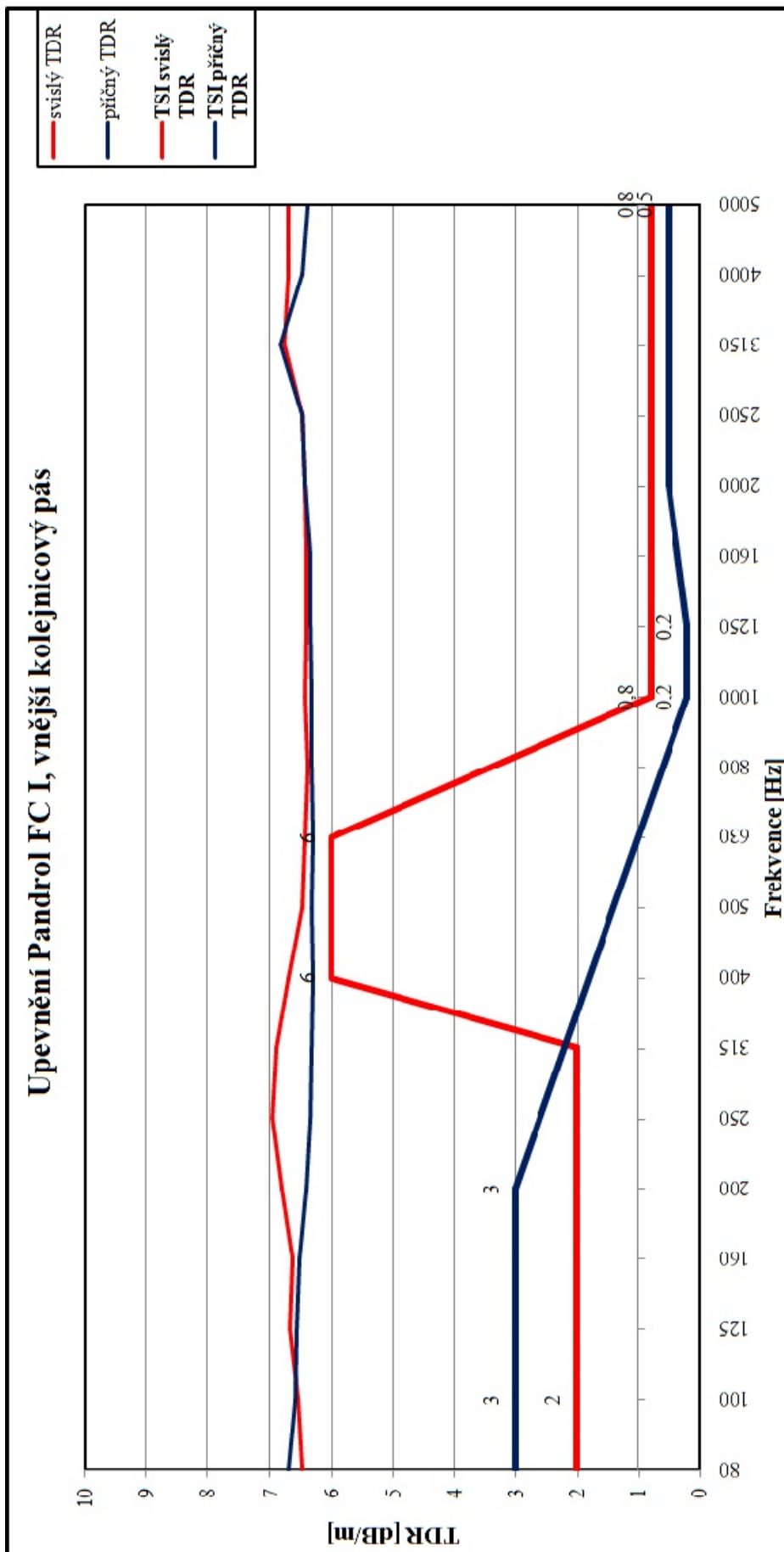
GRAFY TDR



Graf B.1 Stupeň dynamického útlumu TDR - upevnění Vossloh W14; vnější kolejnicový pás

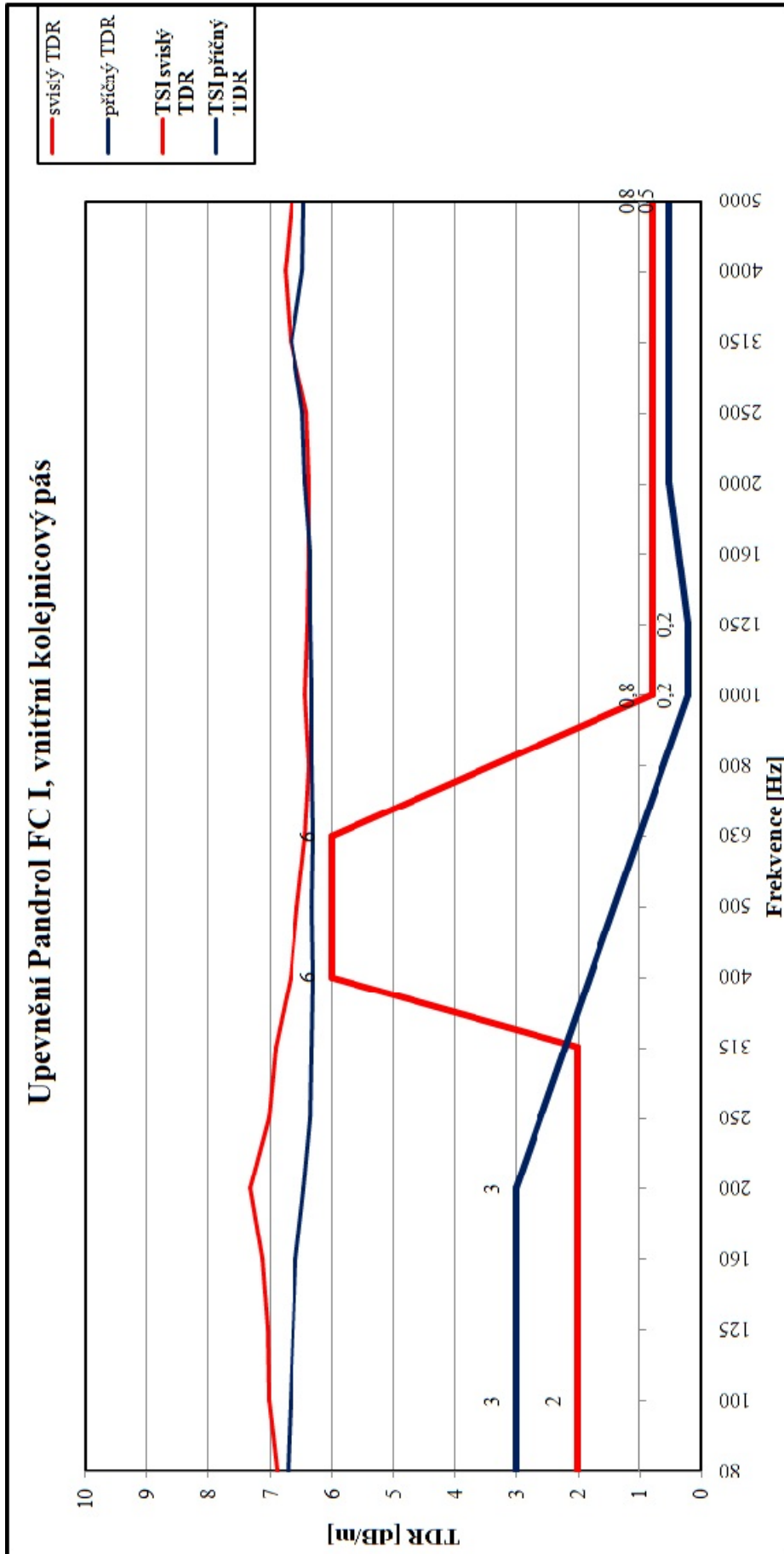


Graf B.2 Stupeň dynamického útlumu TDR - upevnění Vossloh W14; vnitřní kolejnicový pás



Graf B.3 Stupeň dynamického útlumu TDR - upevnění Pandrol FC I; vnější kolejnicový pás





Graf B.4 Stupeň dynamického útlumu TDR - upevnění Pandrol FC I; vnitřní kolejničový pás

# **PŘÍLOHA C**

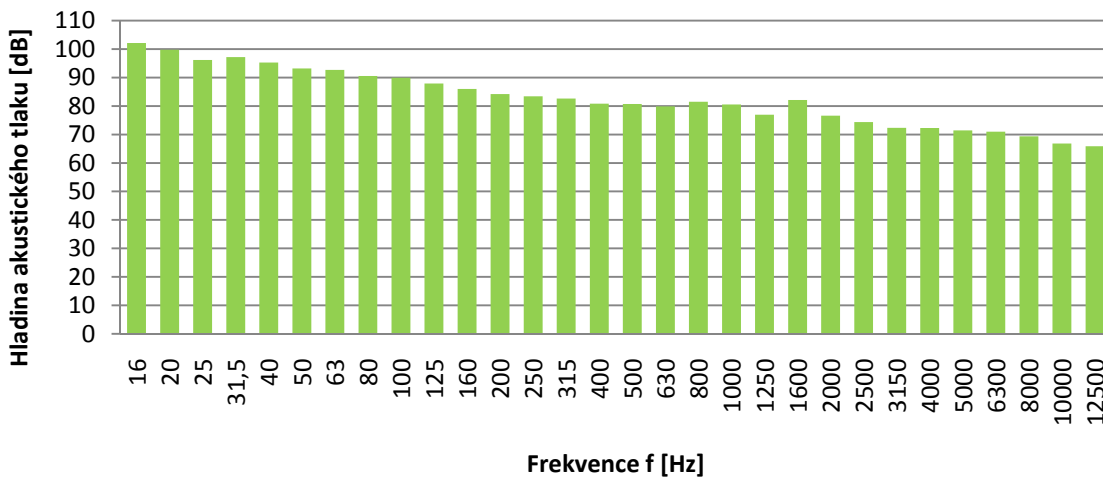
TŘETINOOKTÁVOVÁ ANALÝZA PRŮMĚRNÝCH HLADIN  
AKUSTICKÉHO TLAKU

# **PŘÍLOHA C.1**

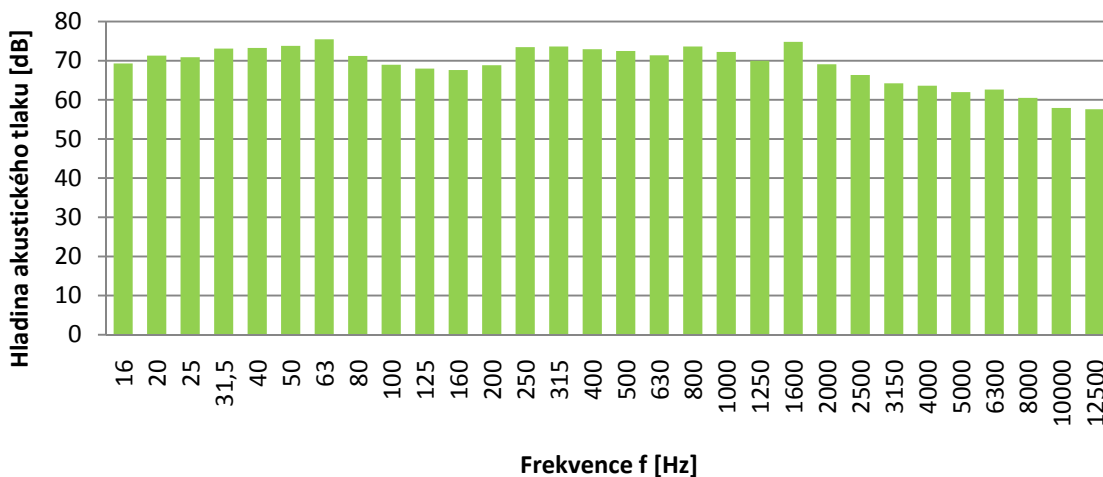
TŘETINOOKTÁVOVÁ ANALÝZA PRŮMĚRNÝCH HLADIN  
AKUSTICKÉHO TLAKU

Úsek s upevněním Vossloh W14

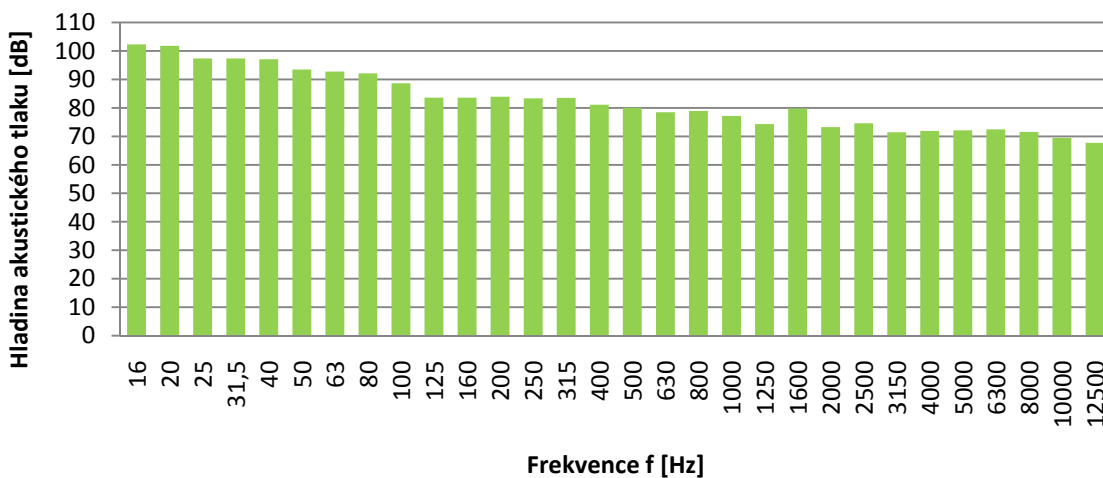
**SC Pendolino - lokomotiva 682; 7 vozů; v = 144 km/h**



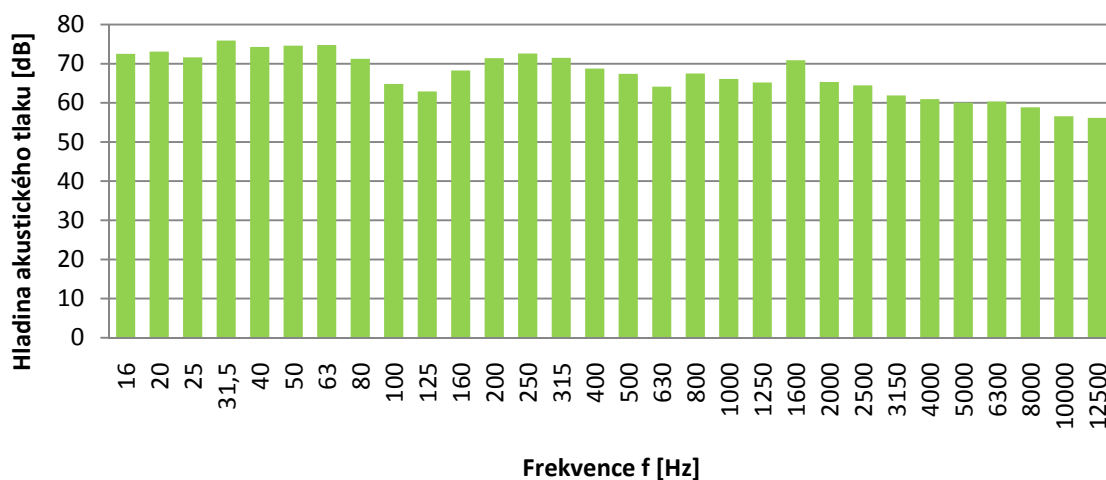
Graf C.1.1 SC Pendolino - lokomotiva 682; 7 vozů; v = 144 km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.1.2 SC Pendolino - lokomotiva 682; 7 vozů; v = 144 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

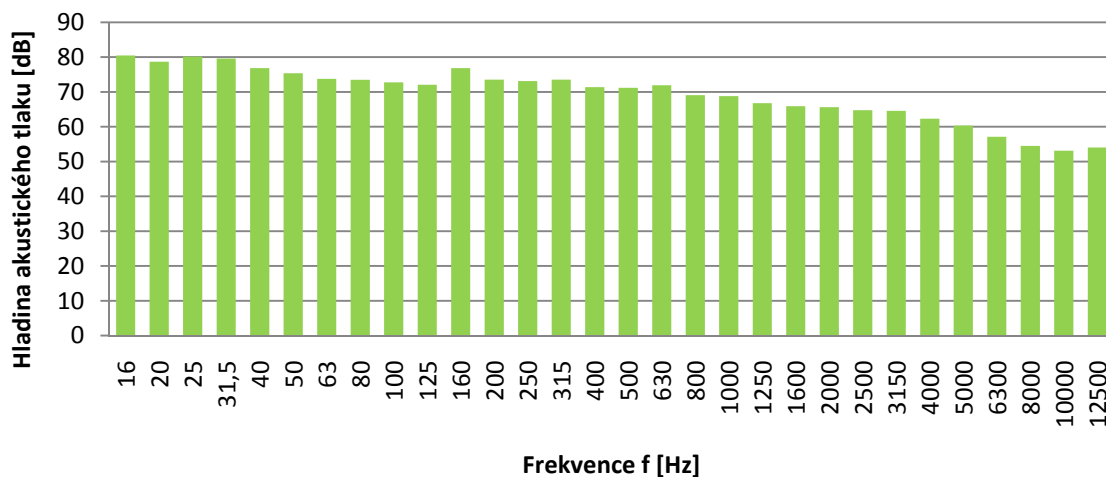


Graf C.1.3 SC Pendolino - lokomotiva 682; 7 vozů; v = 144 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

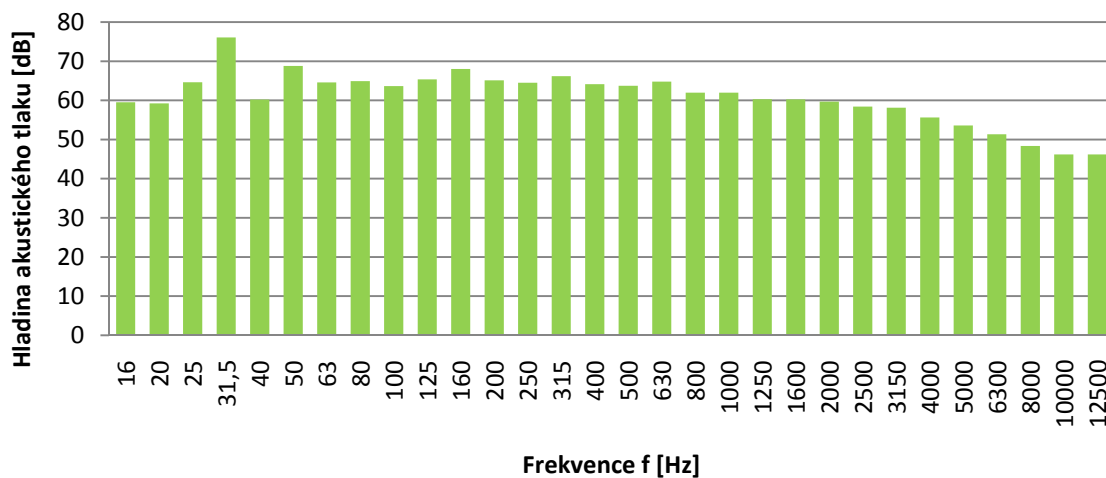


Graf C.1.4 SC Pendolino - lokomotiva 682; 7 vozů; v = 144 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

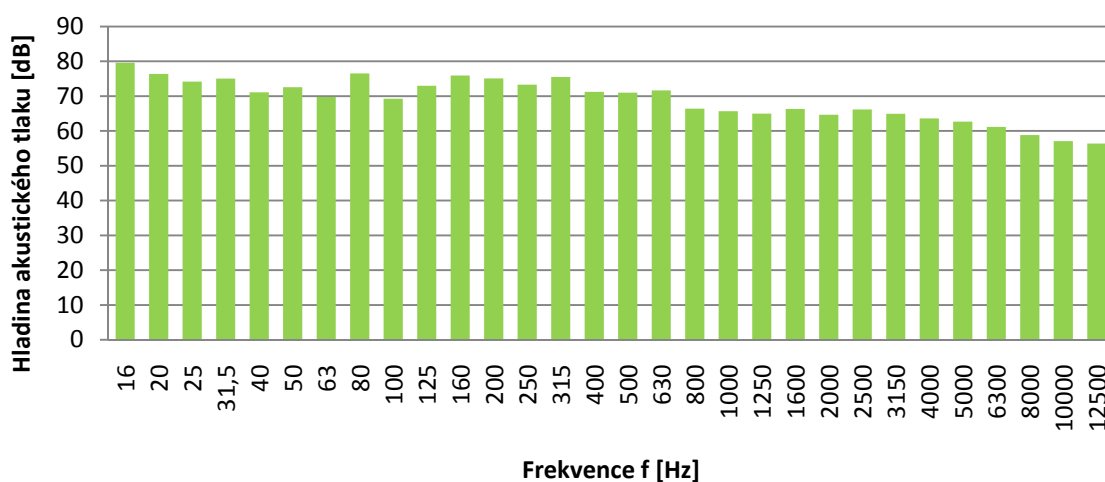
**Pracovní vlak - v = 56 - 44 km/h**



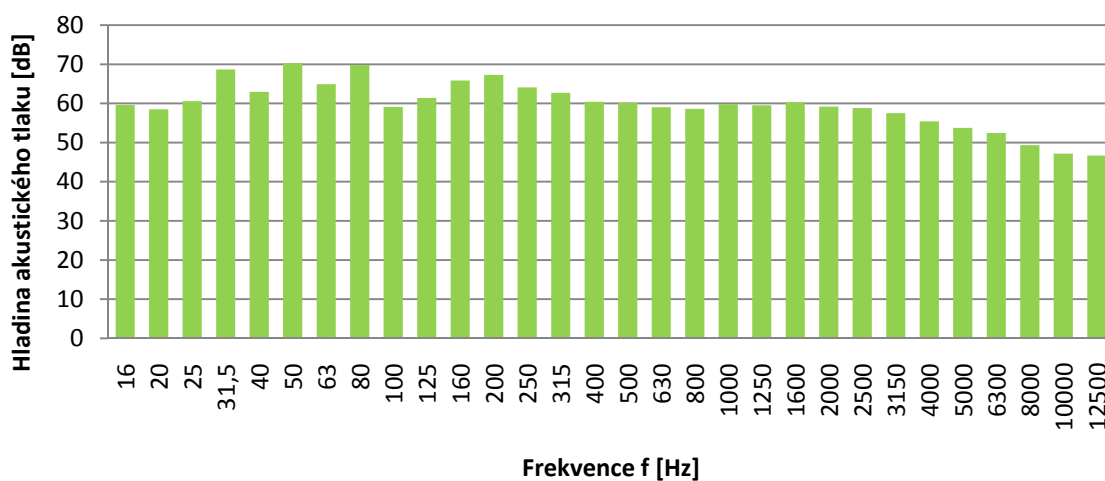
Graf C.1.5 Pracovní vlak - v = 56 - 44 km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.1.6 Pracovní vlak - v = 56 - 44 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

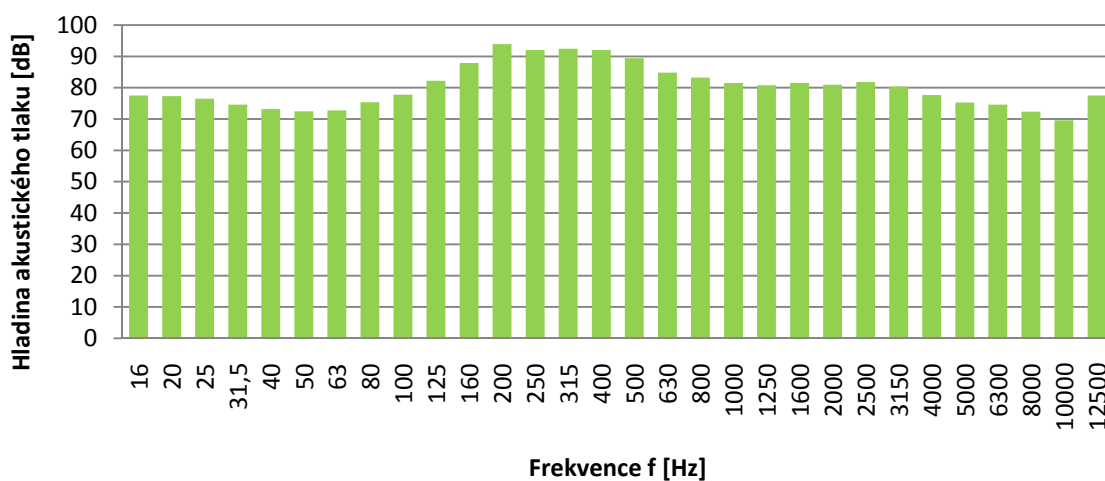


Graf C.1.7 Pracovní vlak -  $v = 56 - 44$  km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

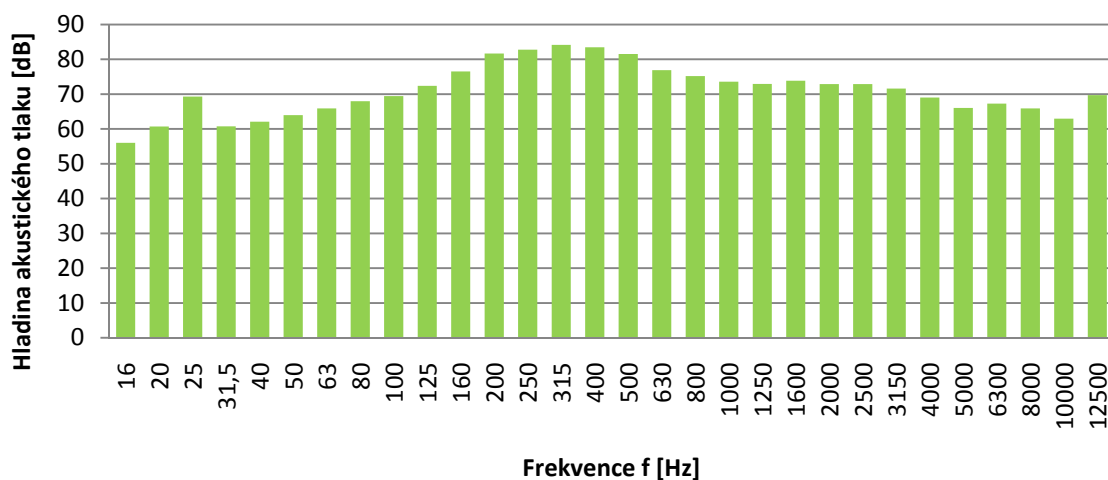


Graf C.1.8 Pracovní vlak -  $v = 56 - 44$  km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

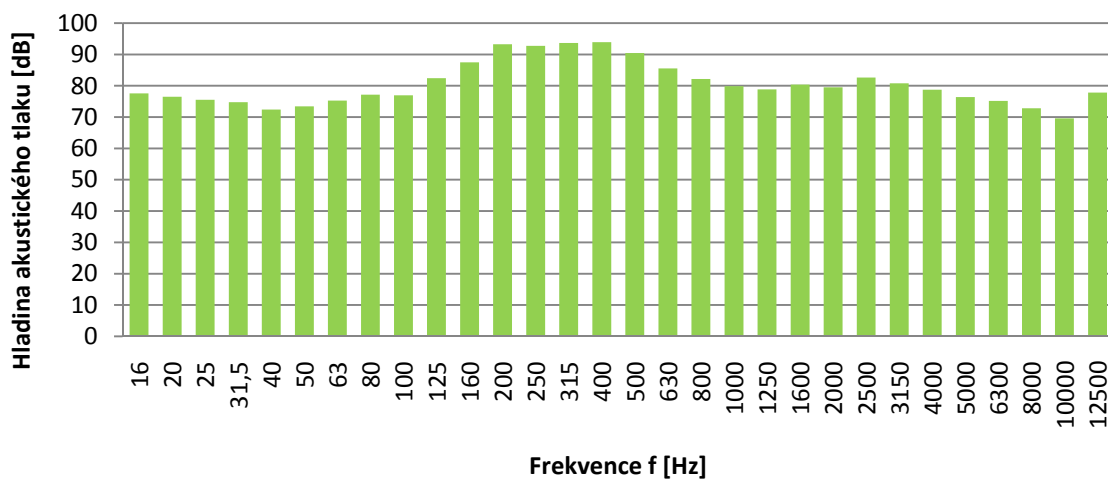
**Nákladní vlak - lokomotiva 363; 24 vozů;  $v = 40 - 45$  km/h**



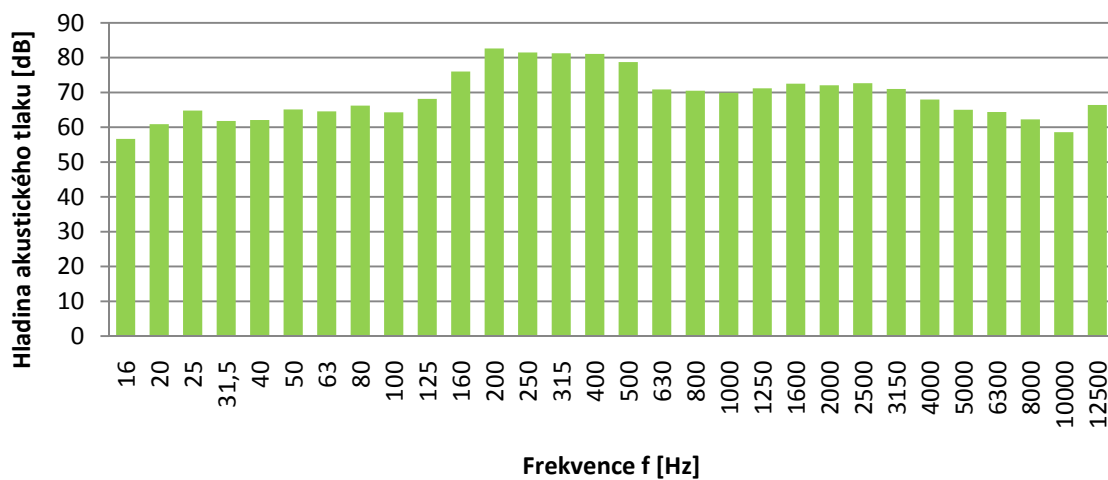
Graf C.1.9 Nákladní - lokomotiva 363; 24 vozů;  $v = 40 - 45$  km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.1.10 Nákladní - lokomotiva 363; 24 vozů; v = 40 - 45 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

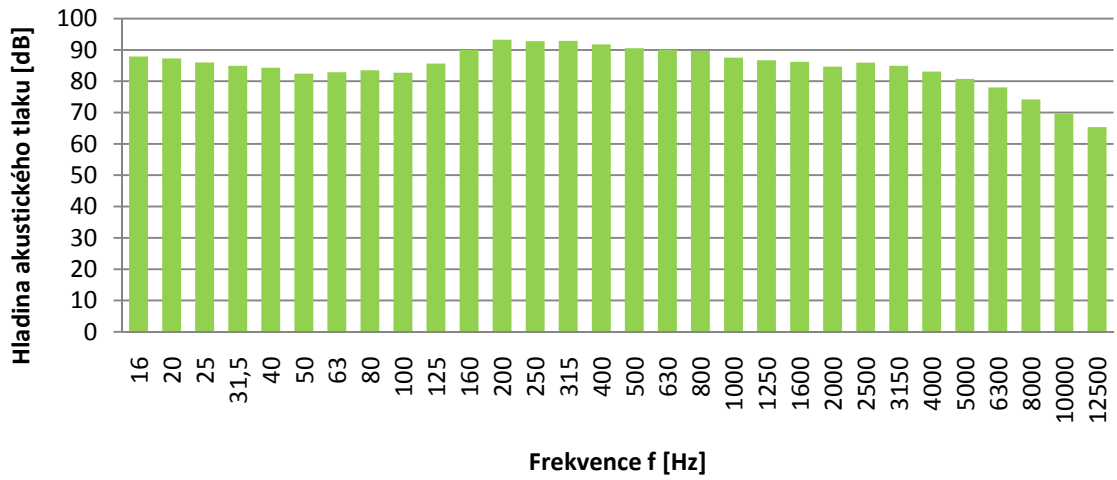


Graf C.1.11 Nákladní - lokomotiva 363; 24 vozů; v = 40 - 45 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

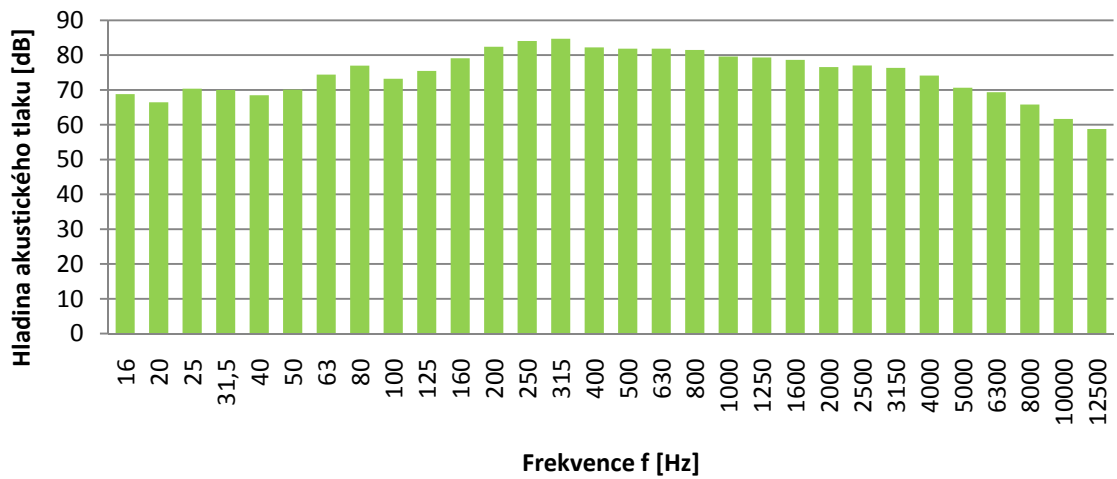


Graf C.1.12 Nákladní - lokomotiva 363; 24 vozů; v = 40 - 45 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

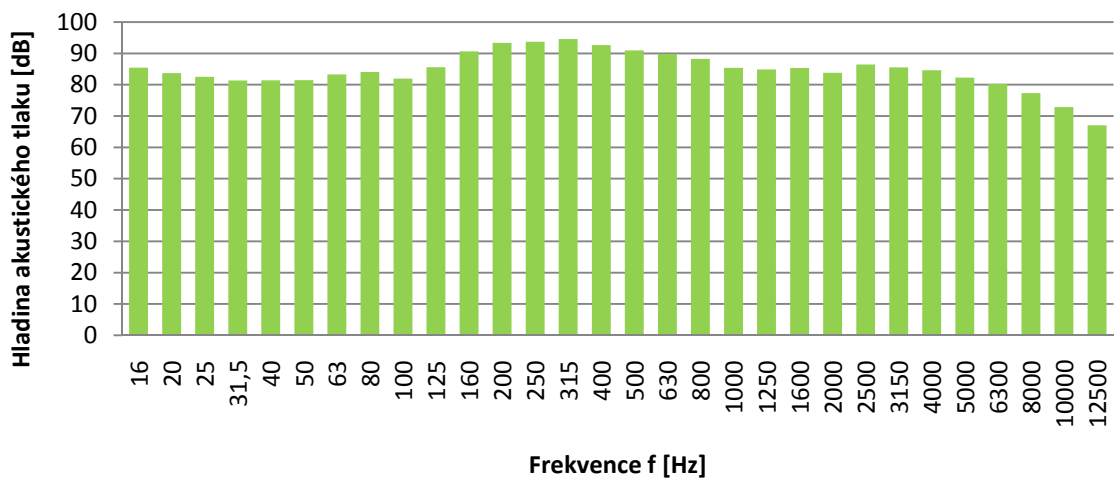
**Nákladní vlak - lokomotiva 363; 34 vozů; v = 56 km/h**



Graf C.1.13 Nákladní - lokomotiva 363; 34 vozů; v = 56 km/h; M8 (1,85 m; vnější)

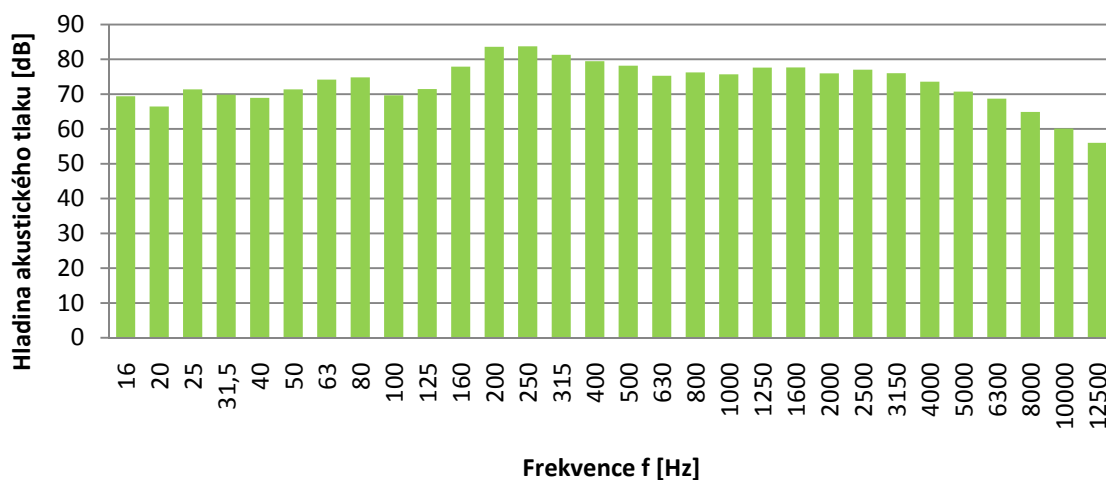


Graf C.1.14 Nákladní - lokomotiva 363; 34 vozů; v = 56 km/h; M9 (7,5 m; vnější)



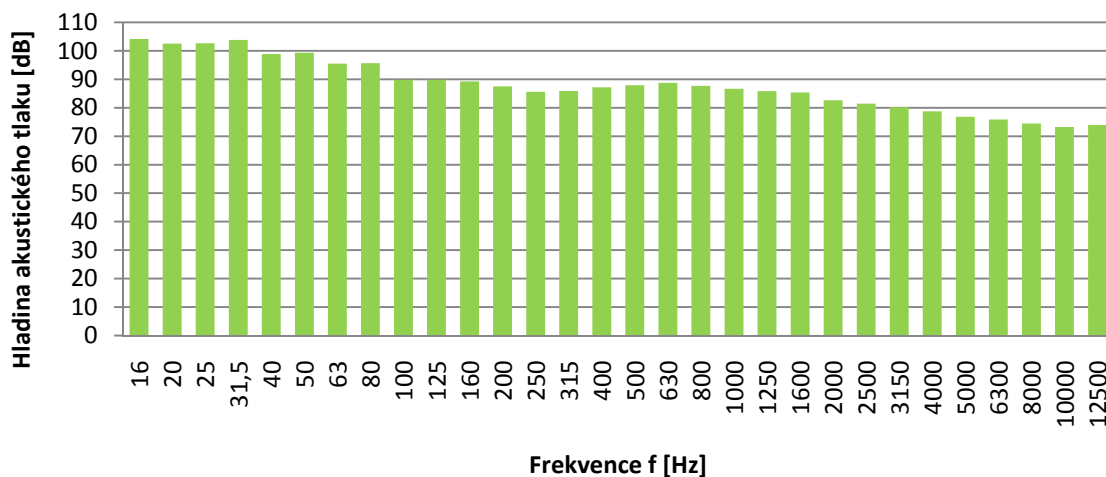
Graf C.1.15 Nákladní - lokomotiva 363; 34 vozů; v = 56 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)



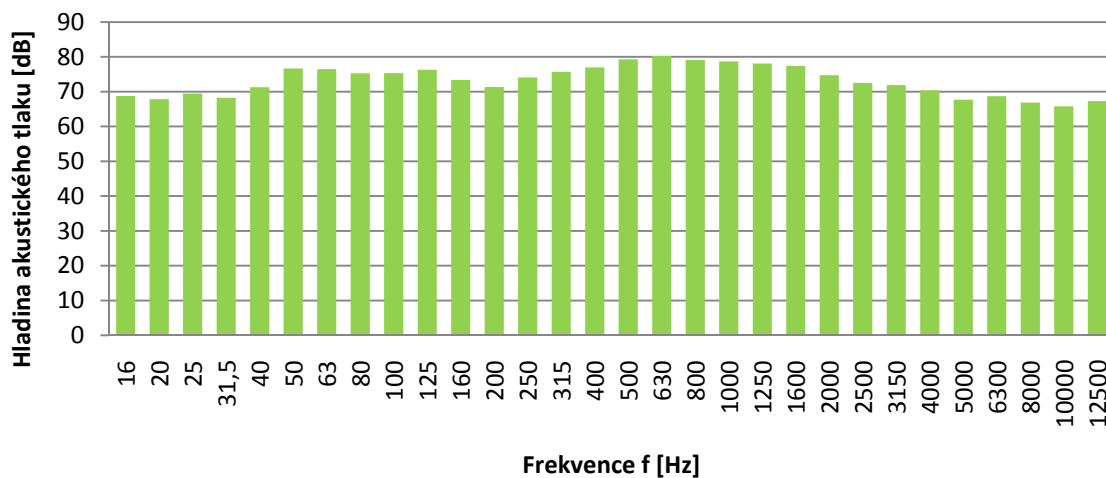


Graf C.1.16 Nákladní - lokomotiva 363; 34 vozů; v = 56 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

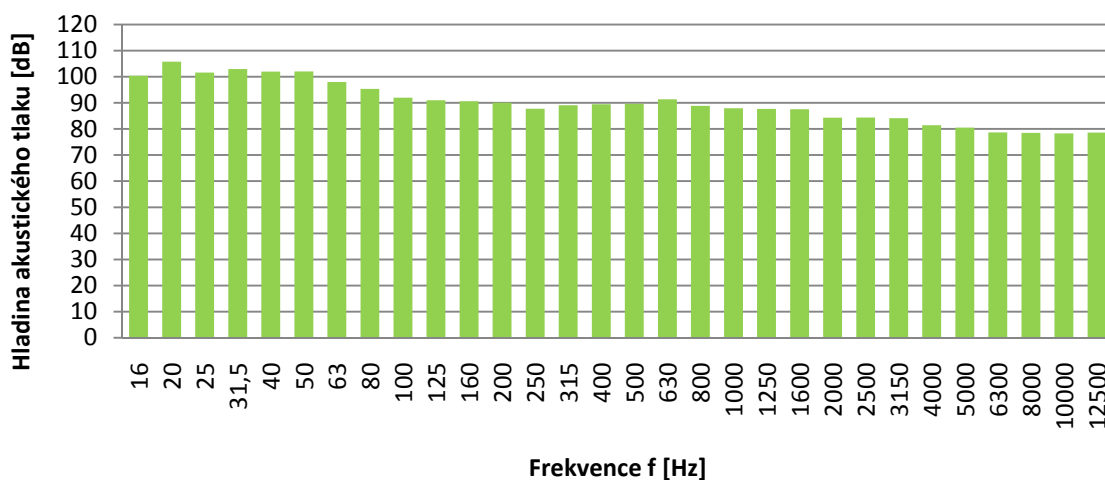
**IC RegioJet - lokomotiva 362; 5 vozů; v = 116 km/h**



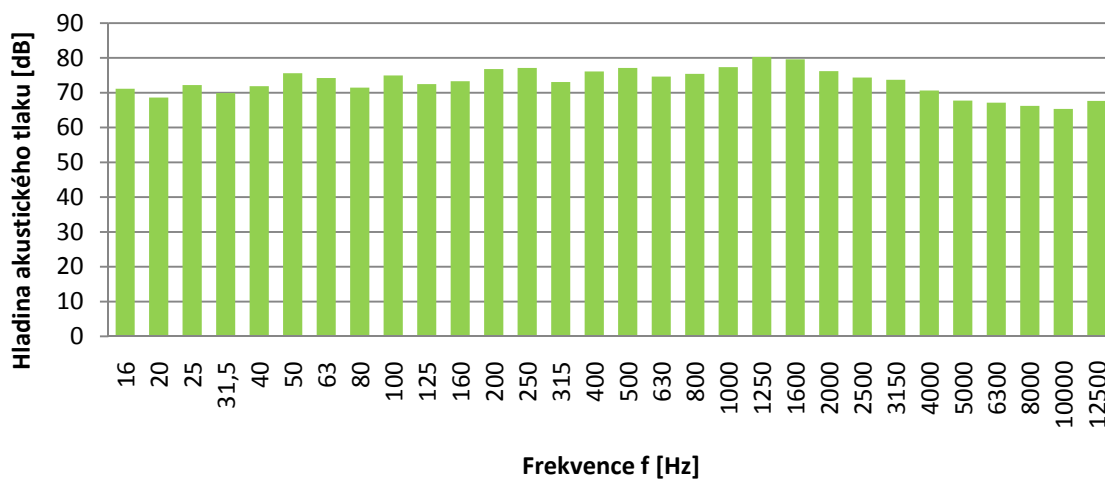
Graf C.1.17 IC RegioJet - lokomotiva 362; 5 vozů; v = 116 km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.1.18 IC RegioJet - lokomotiva 362; 5 vozů; v = 116 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

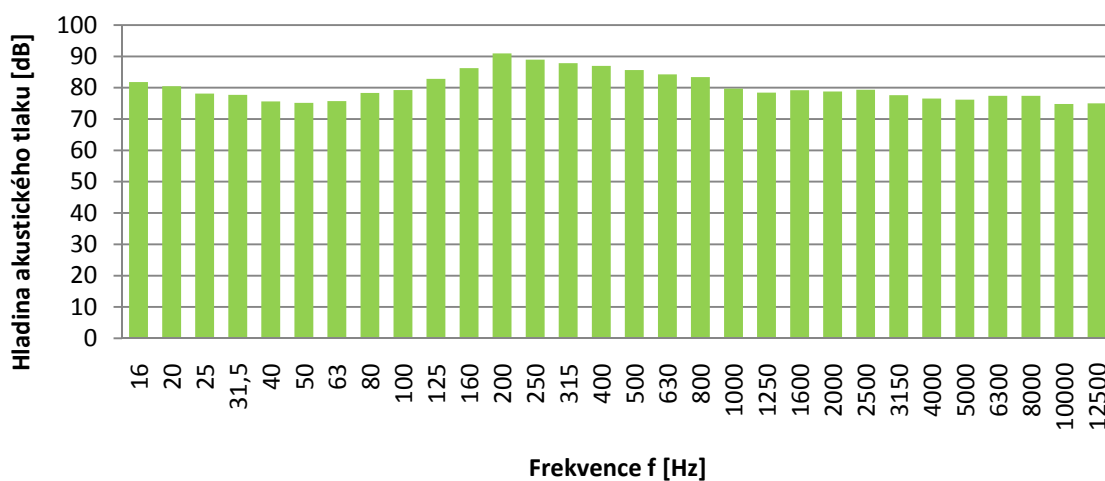


Graf C.1.19 IC RegioJet - lokomotiva 362; 5 vozů; v = 116 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

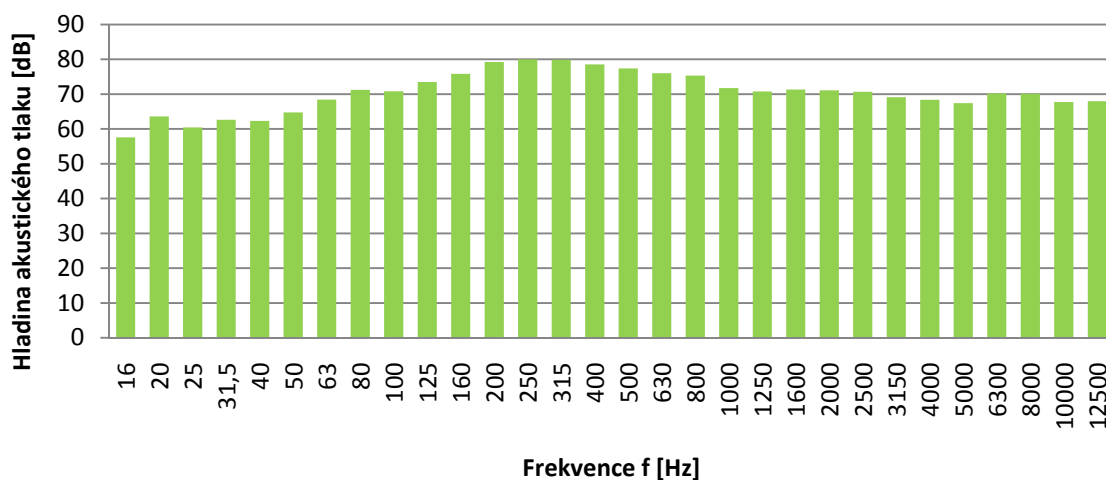


Graf C.1.20 IC RegioJet - lokomotiva 362; 5 vozů; v = 116 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

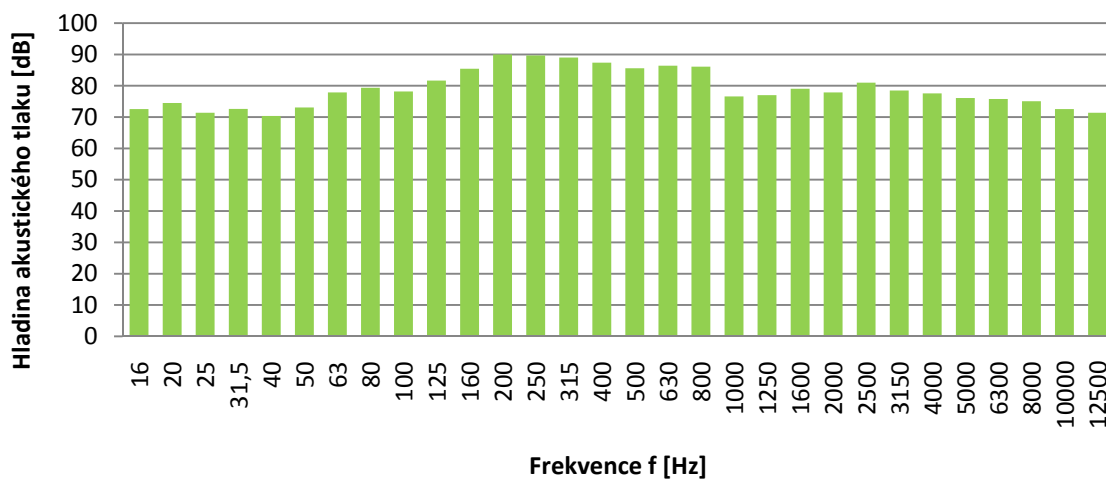
**Nákladní vlak - lokomotivy 2 × Taurus E190; 32 vozů; v = 40 - 45 km/h**



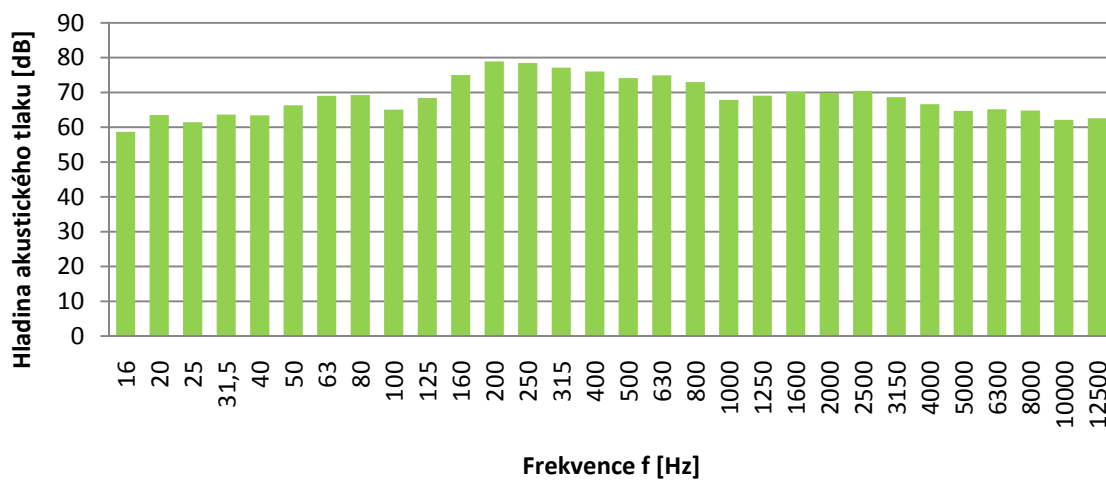
Graf C.1.21 Nákladní - 2 × Taurus E190; 32 vozů; v = 40 - 45 km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.1.22 Nákladní - 2 × Taurus E190; 32 vozů; v = 40 - 45 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

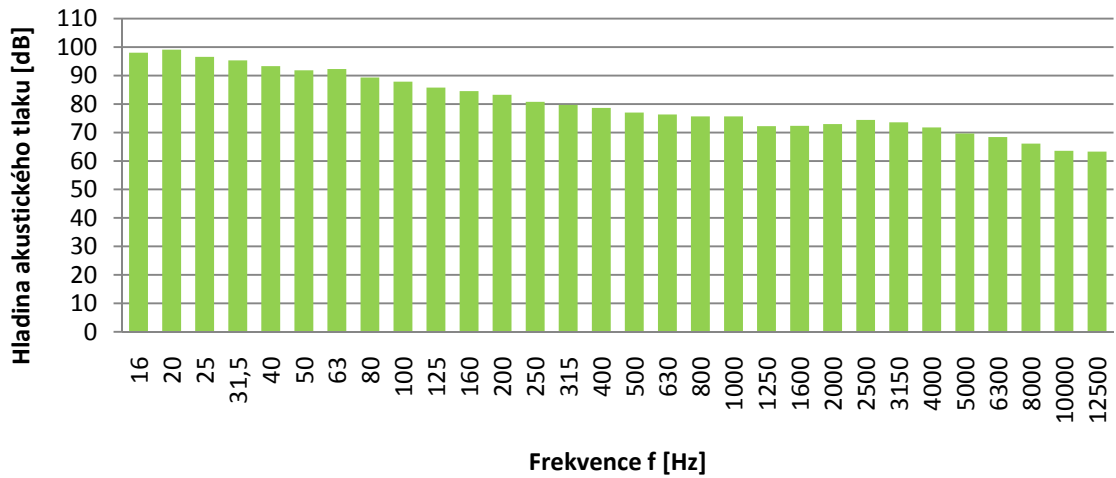


Graf C.1.23 Nákladní - 2 × Taurus E190; 32 vozů; v = 40 - 45 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

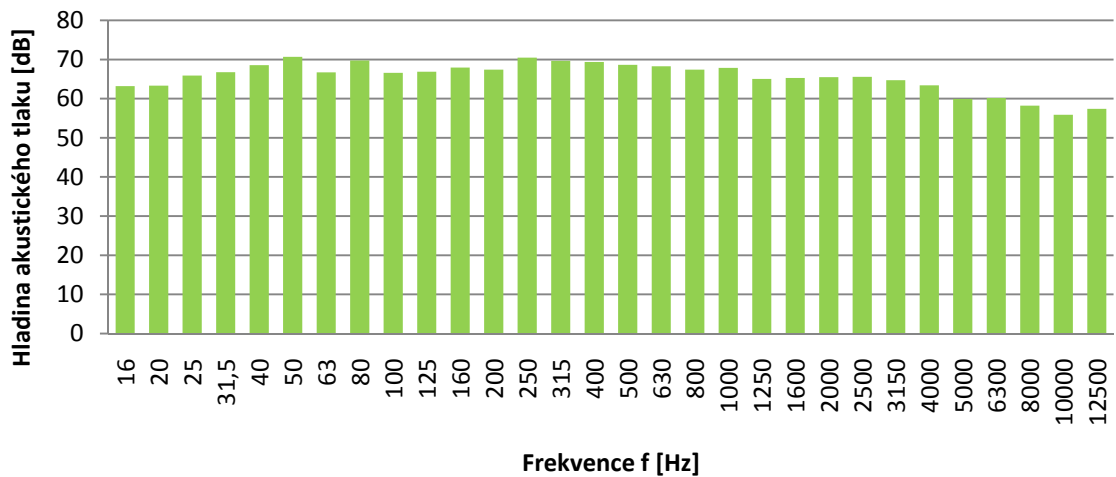


Graf C.1.24 Nákladní - 2 × Taurus E190; 32 vozů; v = 40 - 45 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

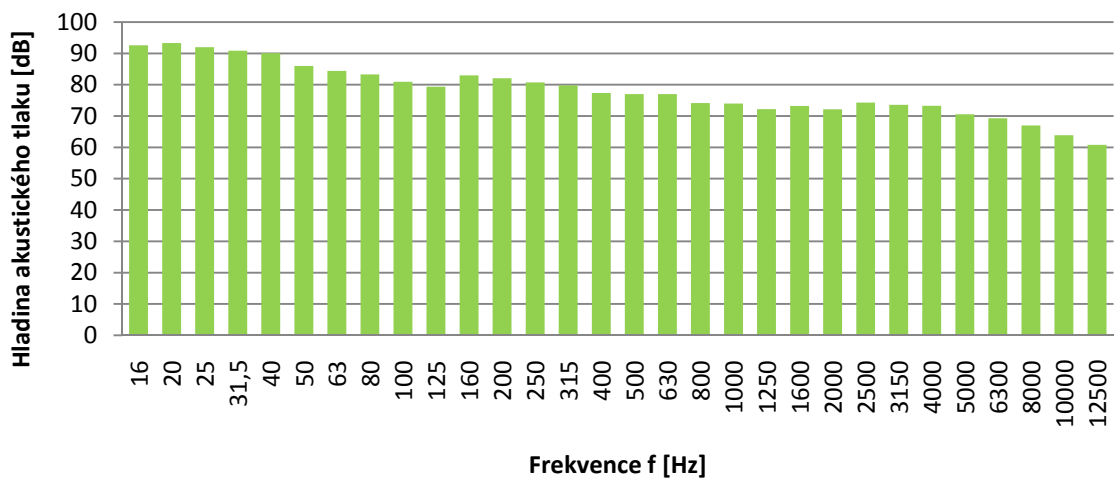
**Expres (Ex) - lokomotiva 151; 7 vozů; v = 103 km/h**



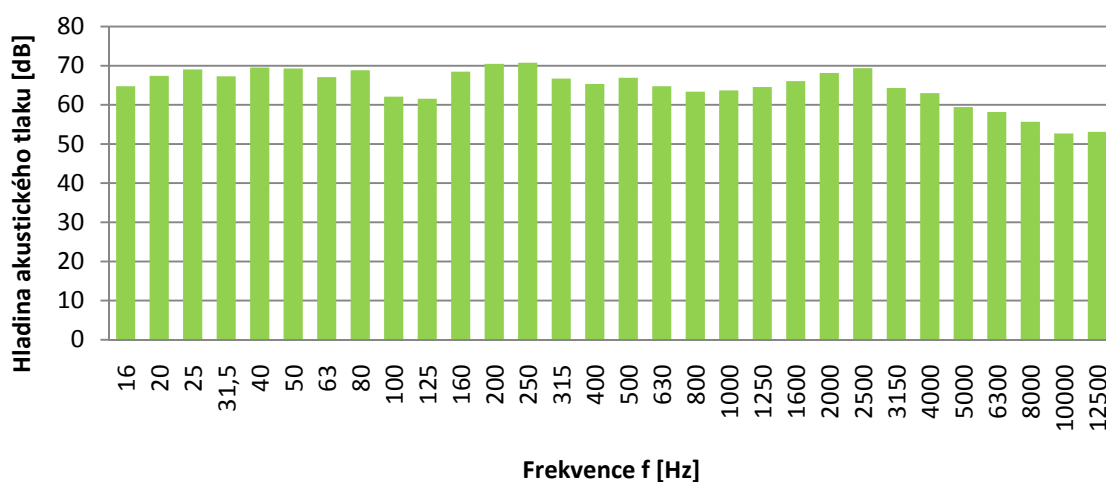
Graf C.1.25 Expres (Ex) - lokomotiva 151; 7 vozů; v = 103 km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.1.26 Expres (Ex) - lokomotiva 151; 7 vozů; v = 103 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

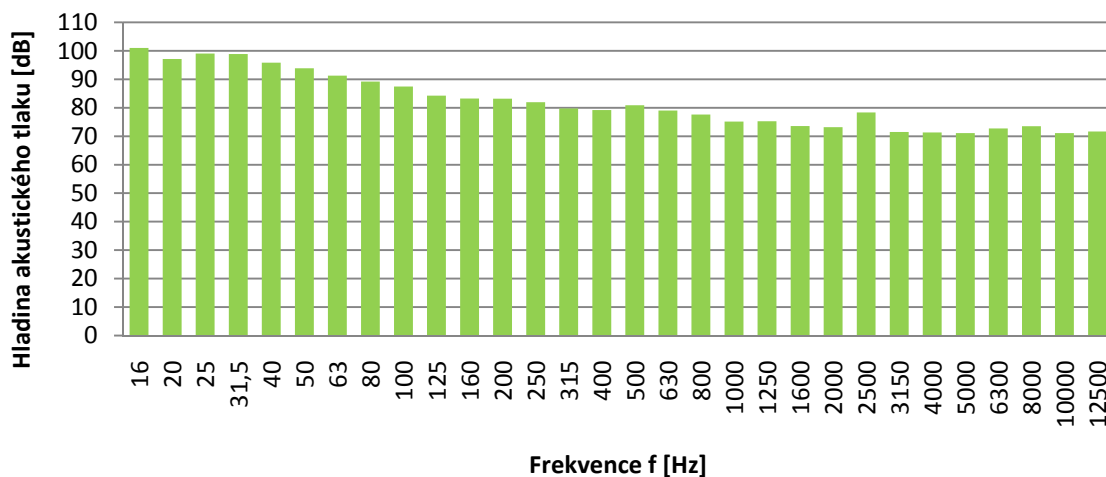


Graf C.1.27 Expres (Ex) - lokomotiva 151; 7 vozů; v = 103 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

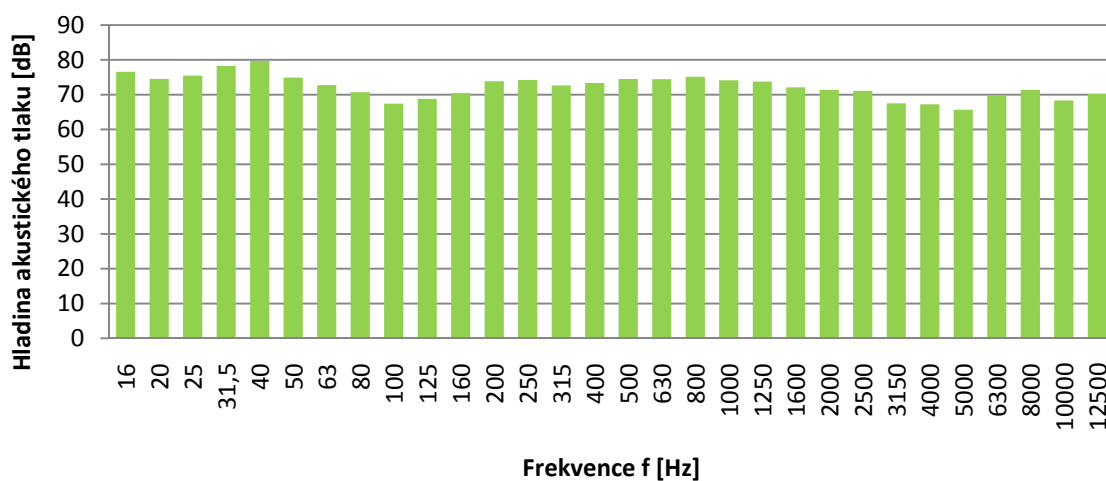


Graf C.1.28 Expres (Ex) - lokomotiva 151; 7 vozů; v = 103 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

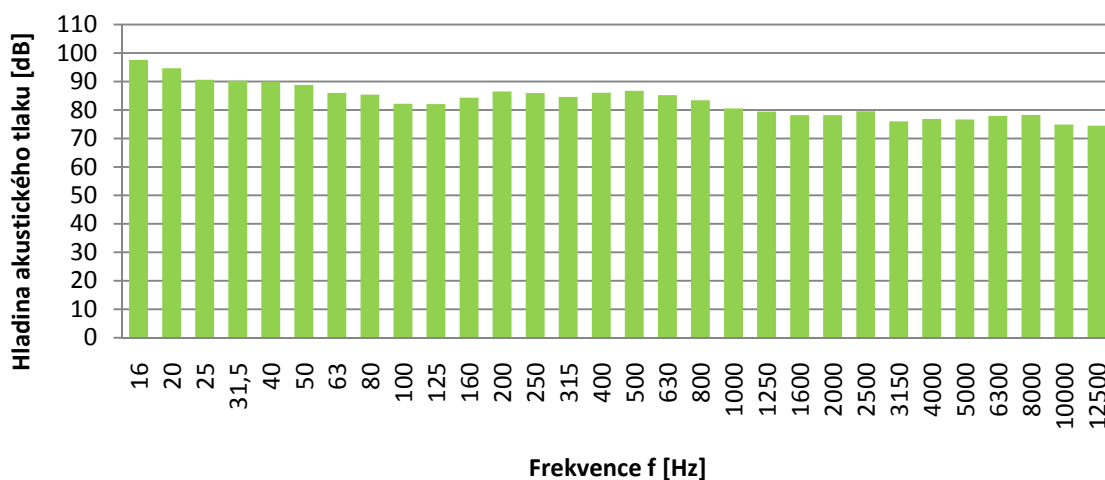
**LEO Express - lokomotiva Siemens; 5 vozů; v = 92 km/h**



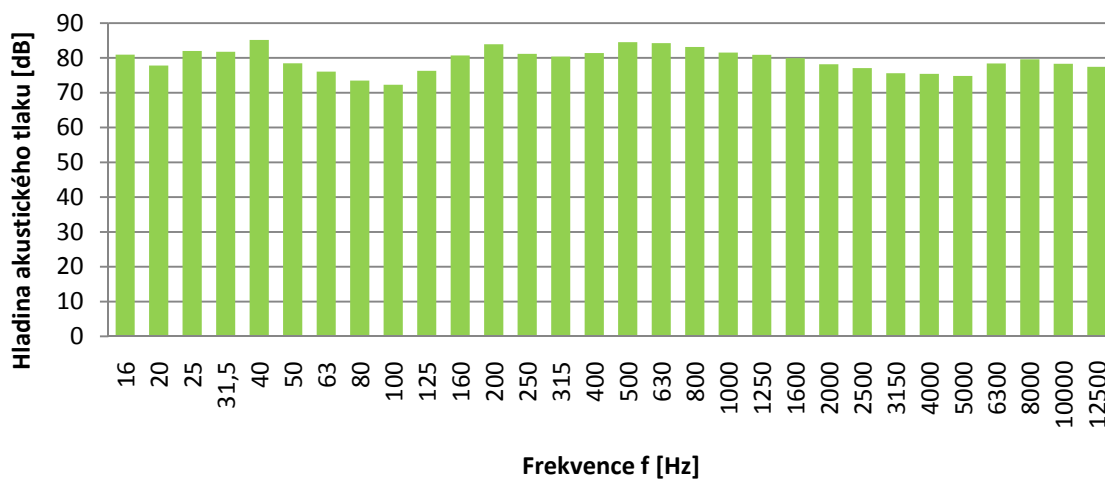
Graf C.1.29 LEO Express - lokom. Siemens; 5 vozů; v = 92 km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.1.30 LEO Express - lokom. Siemens; 5 vozů; v = 92 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

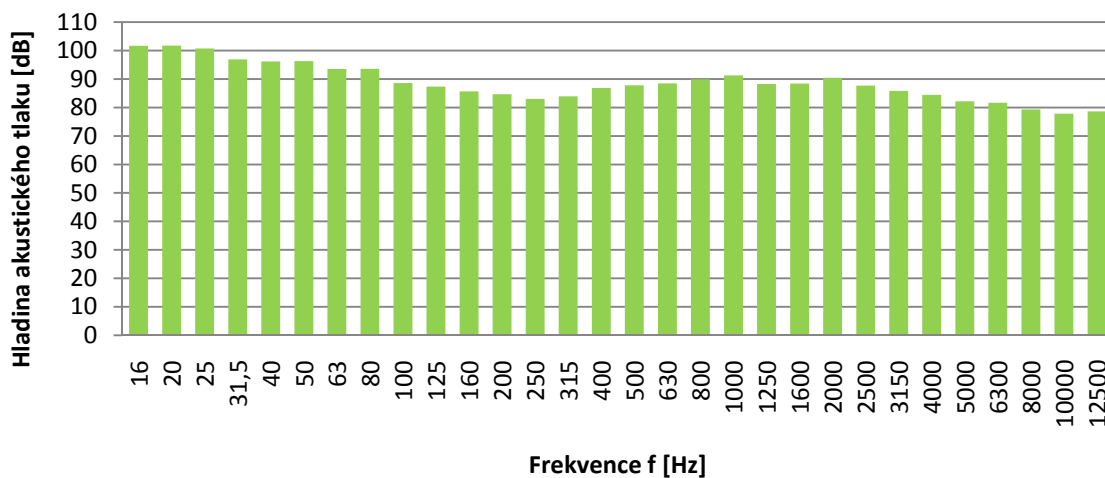


Graf C.1.31 LEO Express - lokom. Siemens; 5 vozů; v = 92 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

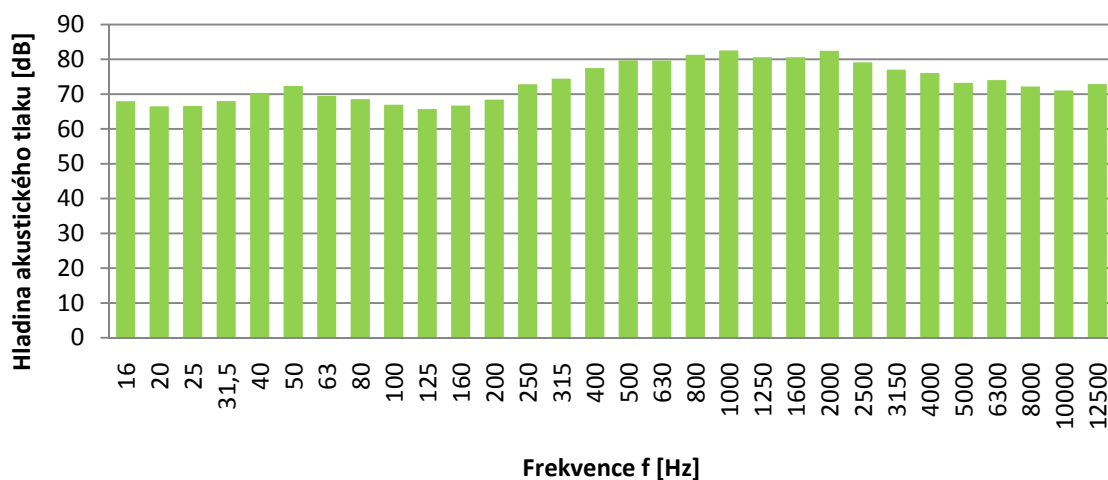


Graf C.1.32 LEO Express - lokom. Siemens; 5 vozů; v = 92 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

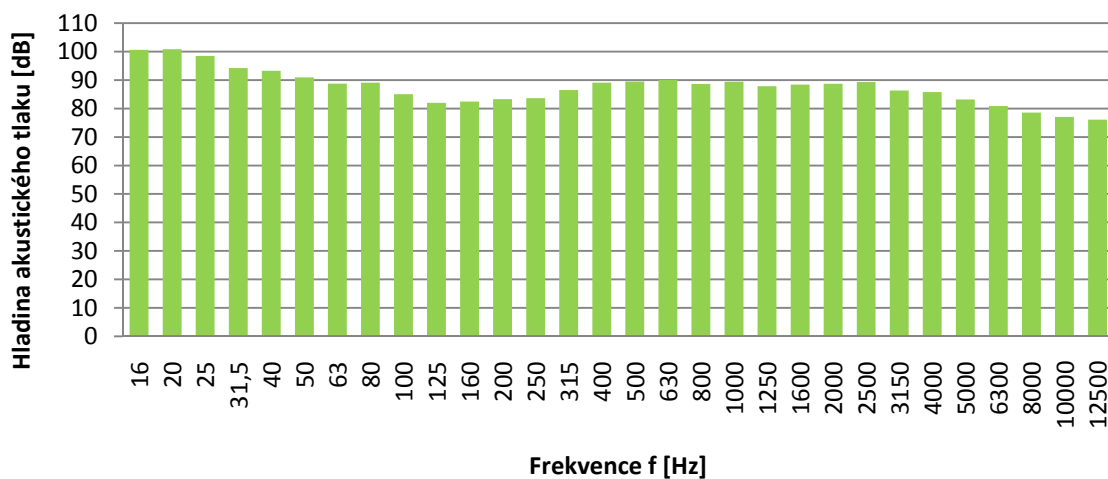
**Rychlík (R) - lokomotiva 362; 6 vozů; v = 107 km/h**



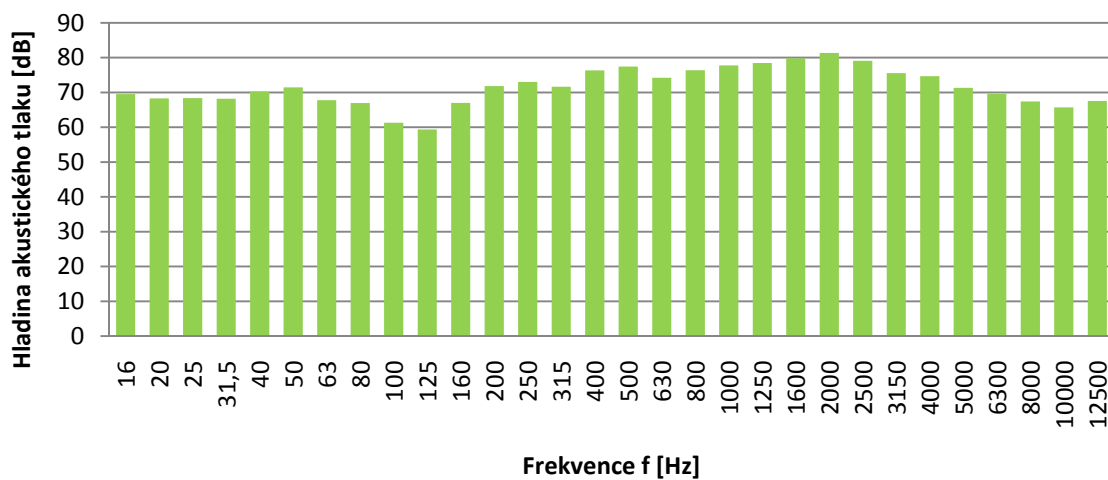
Graf C.1.33 Rychlík (R) - lokomotiva 362; 6 vozů; v = 107 km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.1.34 Rychlík (R) - lokomotiva 362; 6 vozů; v = 107 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

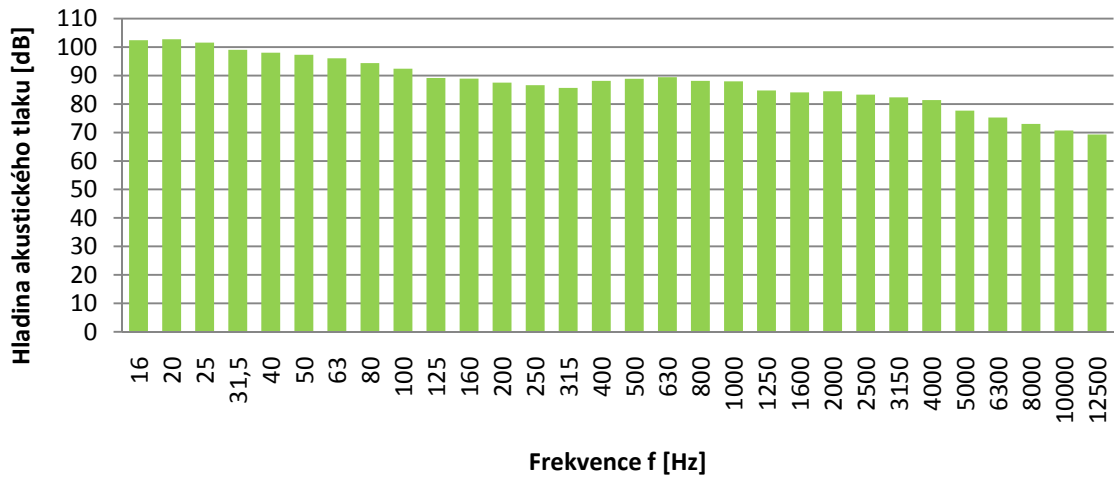


Graf C.1.35 Rychlík (R) - lokomotiva 362; 6 vozů; v = 107 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

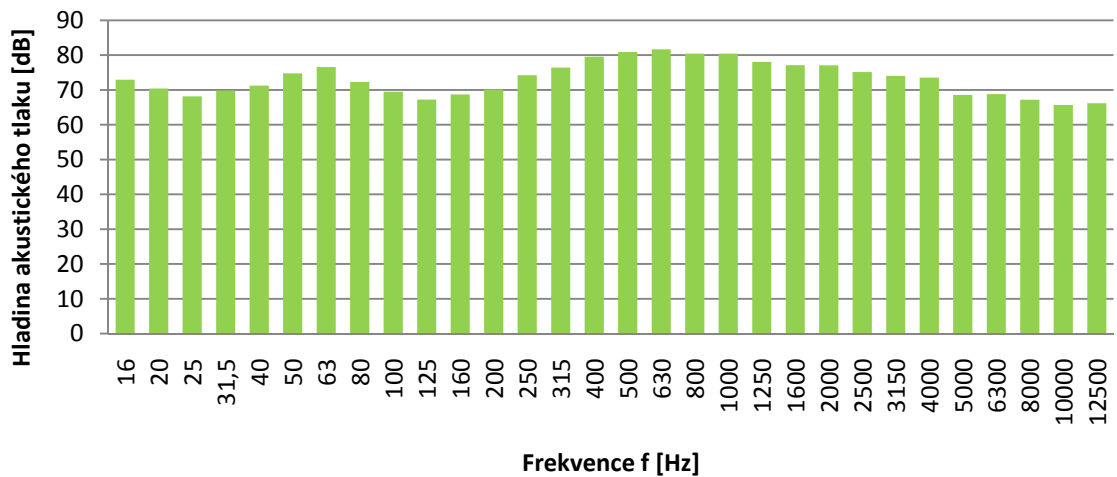


Graf C.1.36 Rychlík (R) - lokomotiva 362; 6 vozů; v = 107 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

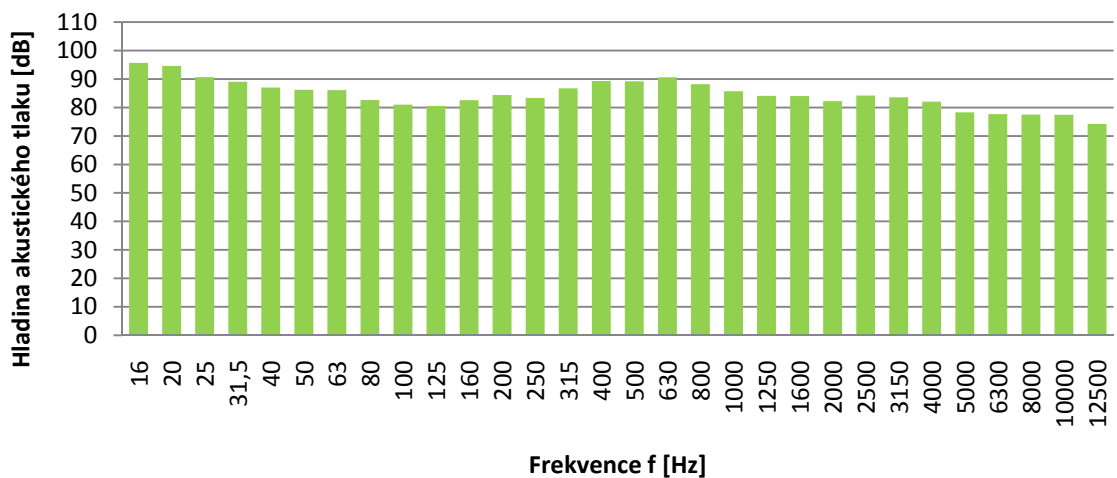
**Osobní vlak (Os) - lokomotiva 163; 3 vozy; v = 104 km/h**



Graf C.1.37 Osobní (Os) - lokomotiva 163; 3 vozy; v = 104 km/h; M8 (1,85 m; vnější)

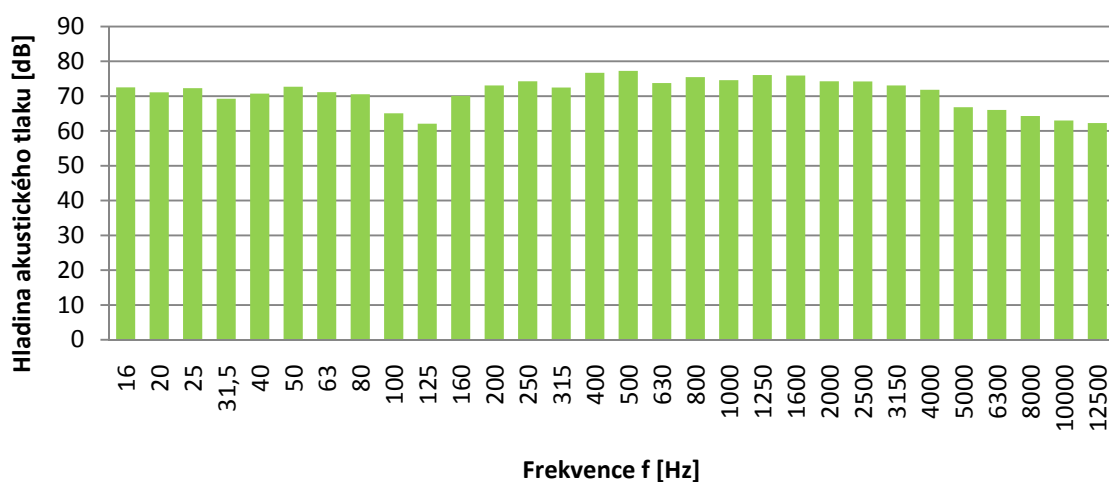


Graf C.1.38 Osobní (Os) - lokomotiva 163; 3 vozy; v = 104 km/h; M9 (7,5 m; vnější)



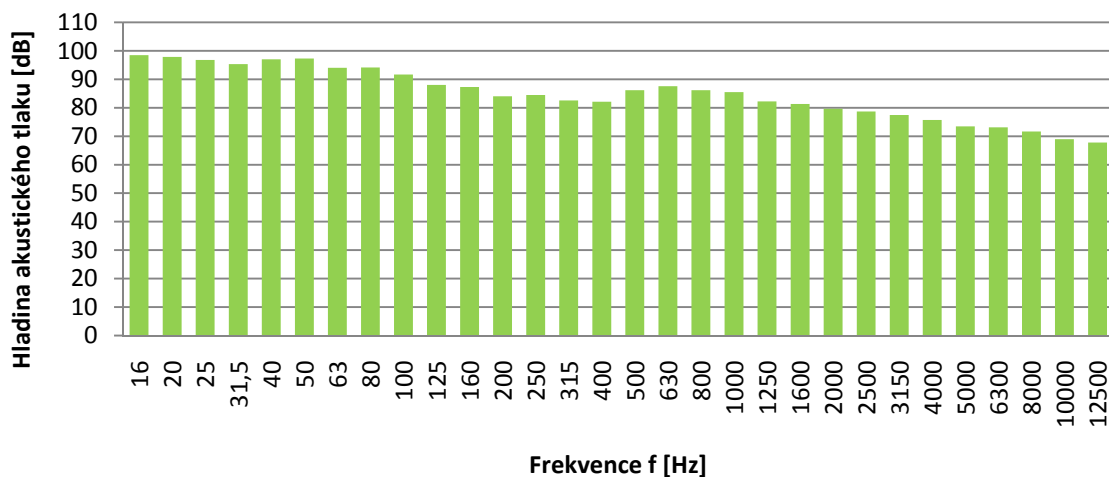
Graf C.1.39 Osobní (Os) - lokomotiva 163; 3 vozy; v = 104 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)



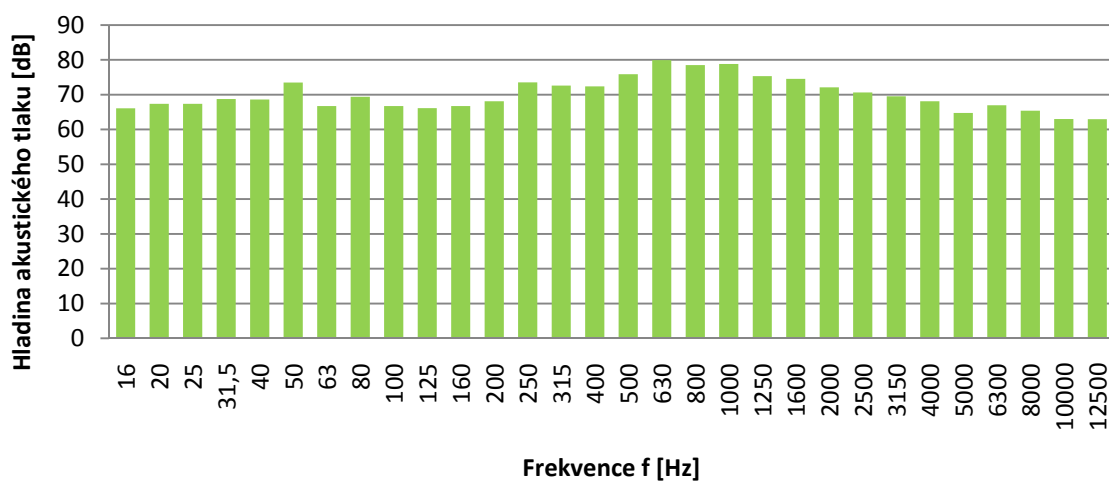


Graf C.1.40 Osobní (Os) - lokomotiva 163; 3 vozy; v = 104 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

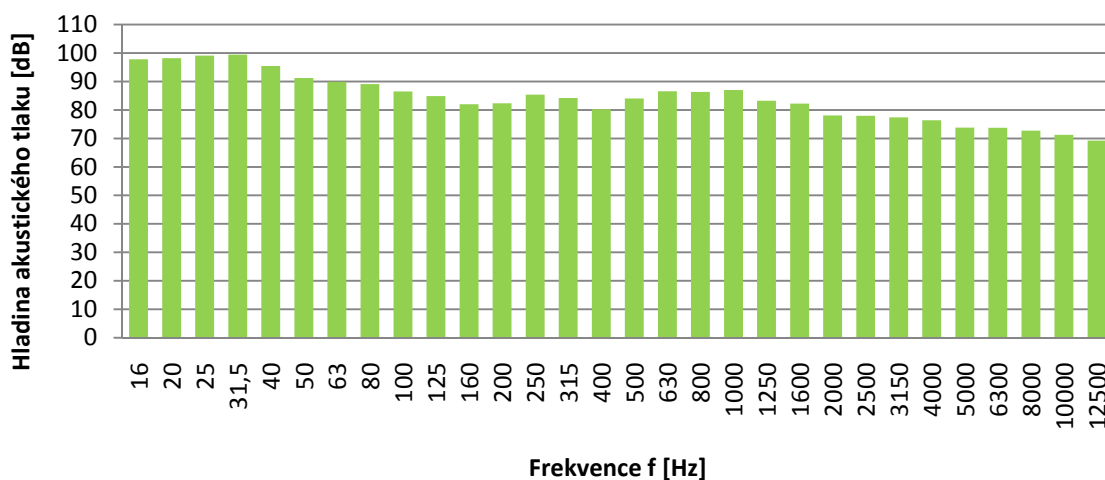
**EuroCity (EC) - lokomotiva 380; 6 vozů; v = 112 km/h**



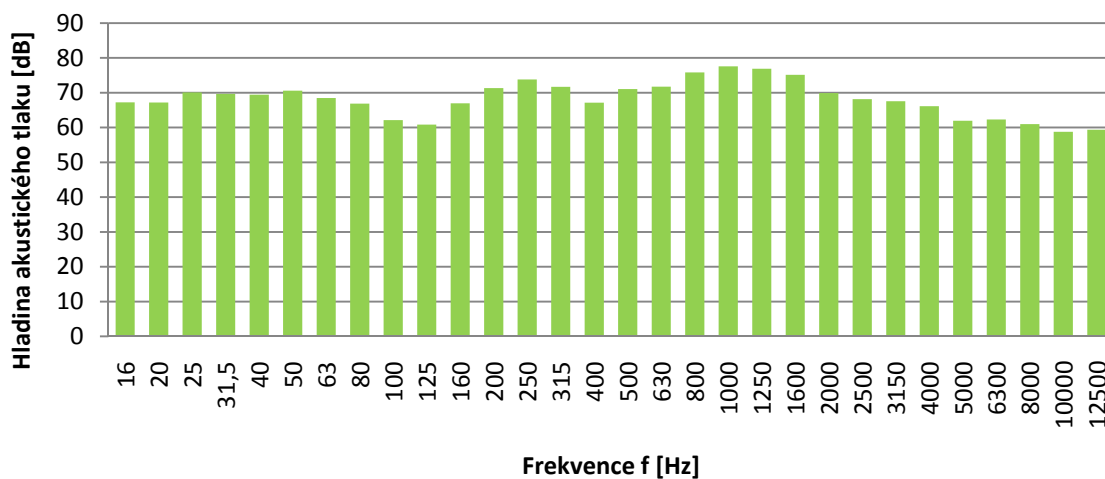
Graf C.1.41 EuroCity (EC) - lokomotiva 380; 6 vozů; v = 112 km/h; M8 (1,85 m; vnější)



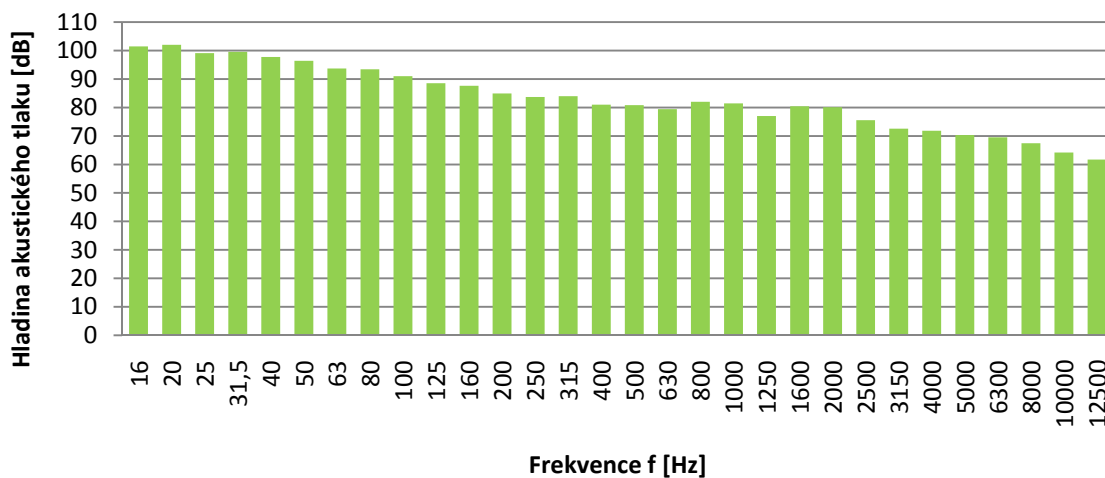
Graf C.1.42 EuroCity (EC) - lokomotiva 380; 6 vozů; v = 112 km/h; M9 (7,5 m; vnější)



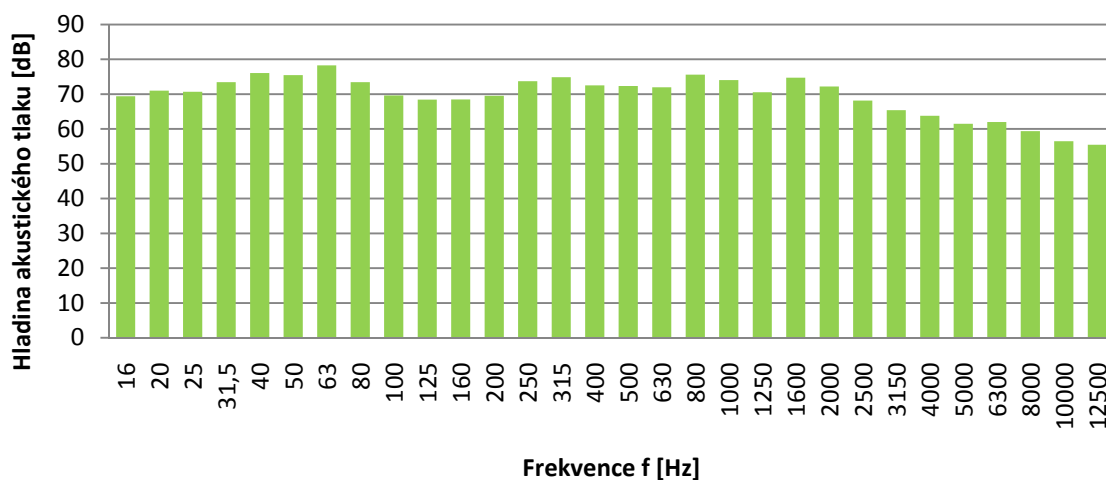
Graf C.1.43 EuroCity (EC) - lokomotiva 380; 6 vozů;  $v = 112$  km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)



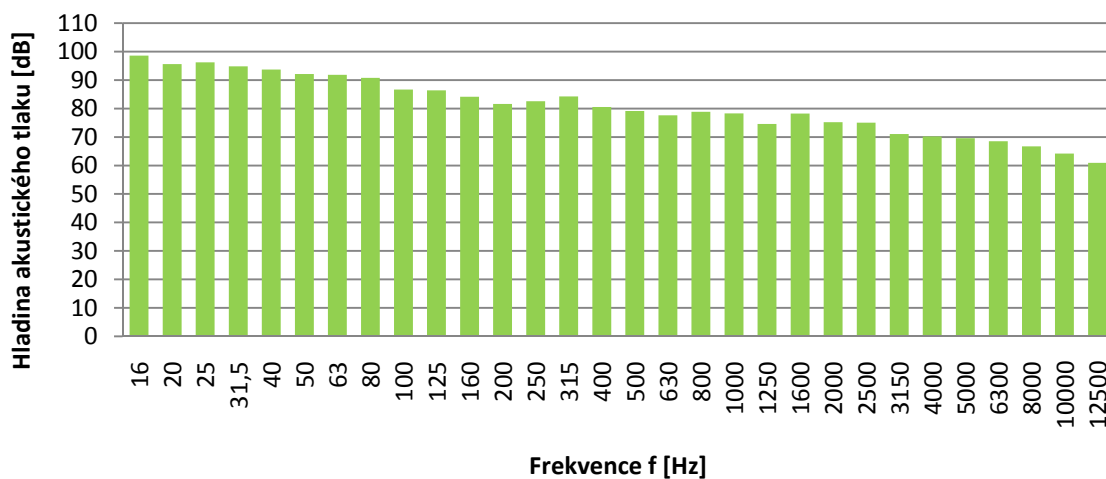
Graf C.1.44 EuroCity (EC) - lokomotiva 380; 6 vozů;  $v = 112$  km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)  
**SC Pendolino - lokomotiva 682; 7 vozů;  $v = 150$  km/h**



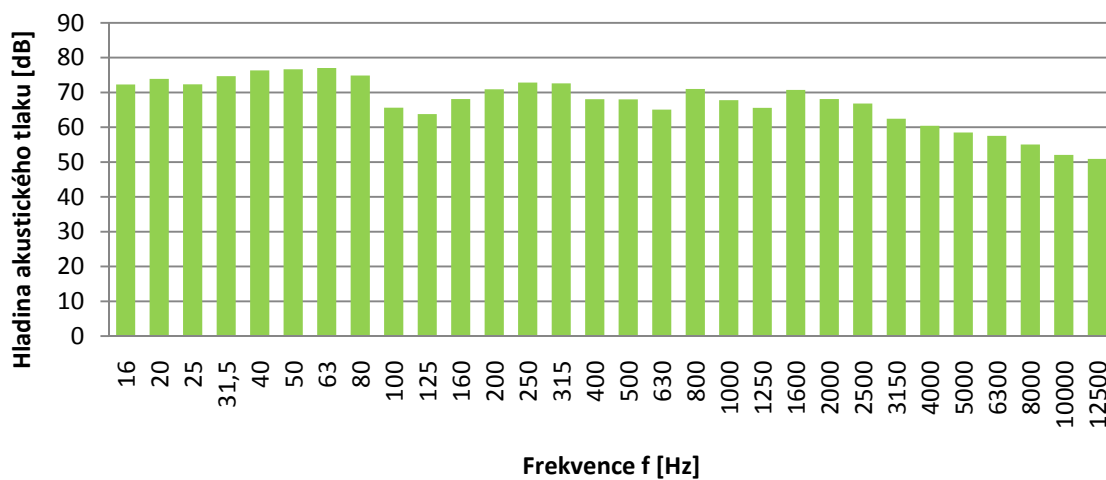
Graf C.1.45 SC Pendolino - lokomotiva 682; 7 vozů;  $v = 150$  km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.1.46 SC Pendolino - lokomotiva 682; 7 vozů; v = 150 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

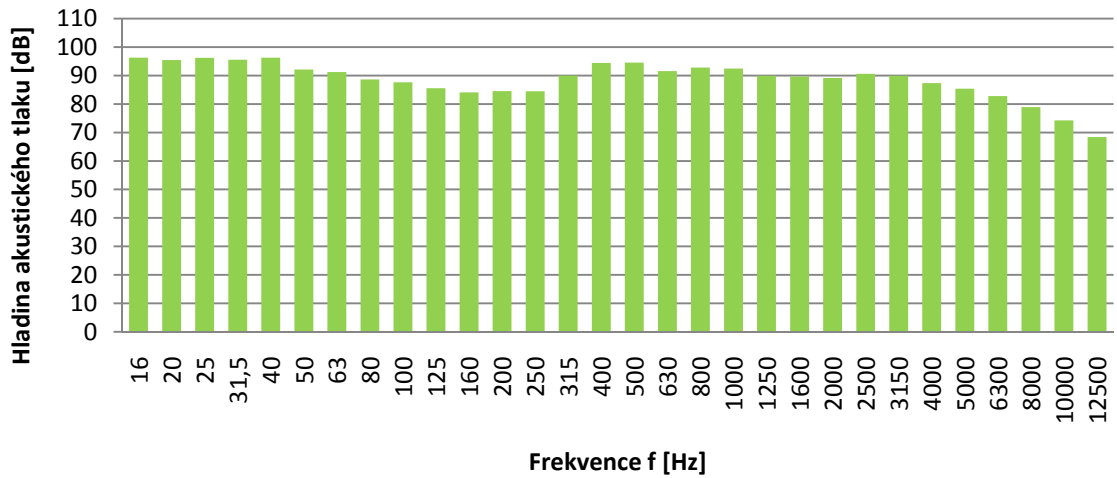


Graf C.1.47 SC Pendolino - lokomotiva 682; 7 vozů; v = 150 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

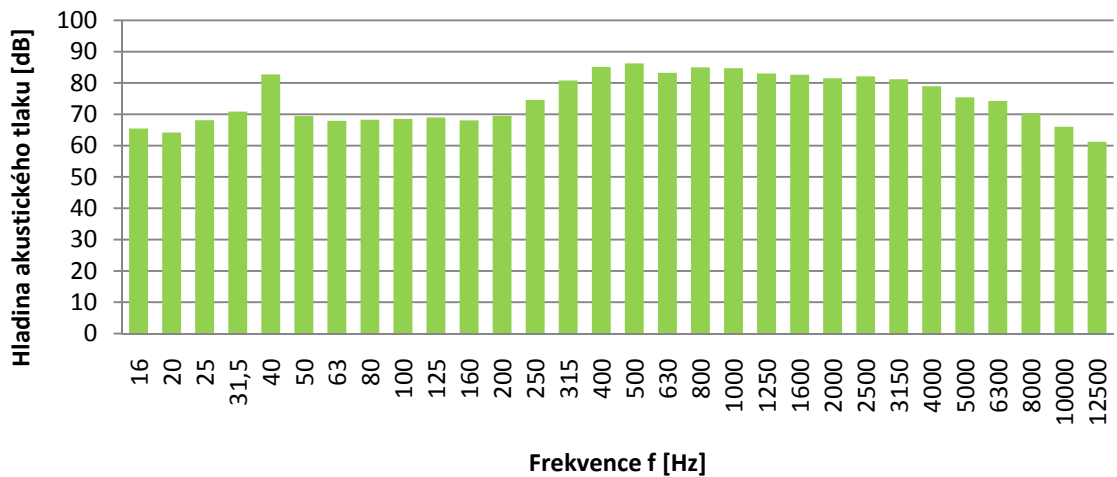


Graf C.1.48 SC Pendolino - lokomotiva 682; 7 vozů; v = 150 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

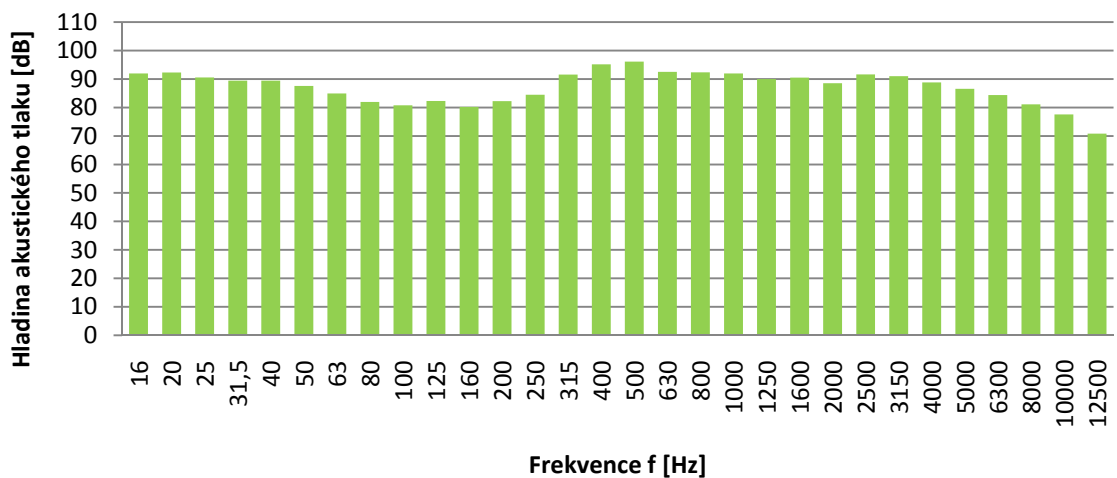
**Nákladní vlak - lokomotiva 363; 25 vozů; v = 86 km/h**



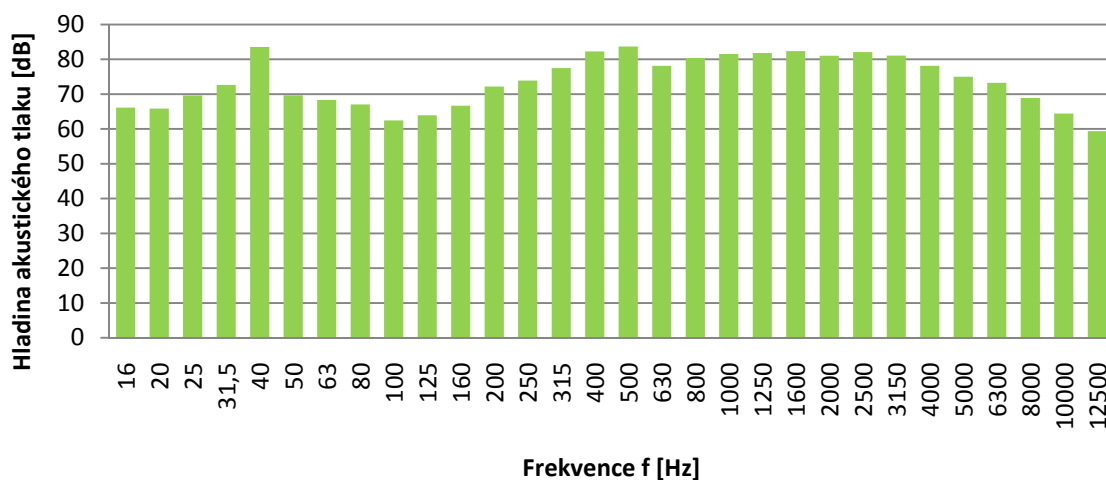
Graf C.1.49 Nákladní - lokomotiva 363; 25 vozů; v = 86 km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.1.50 Nákladní - lokomotiva 363; 25 vozů; v = 86 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

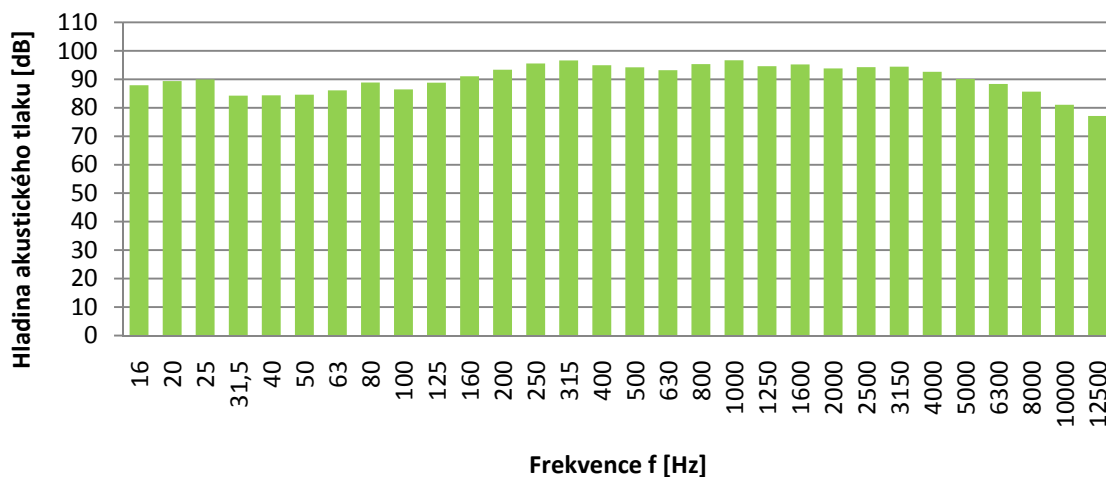


Graf C.1.51 Nákladní - lokomotiva 363; 25 vozů; v = 86 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

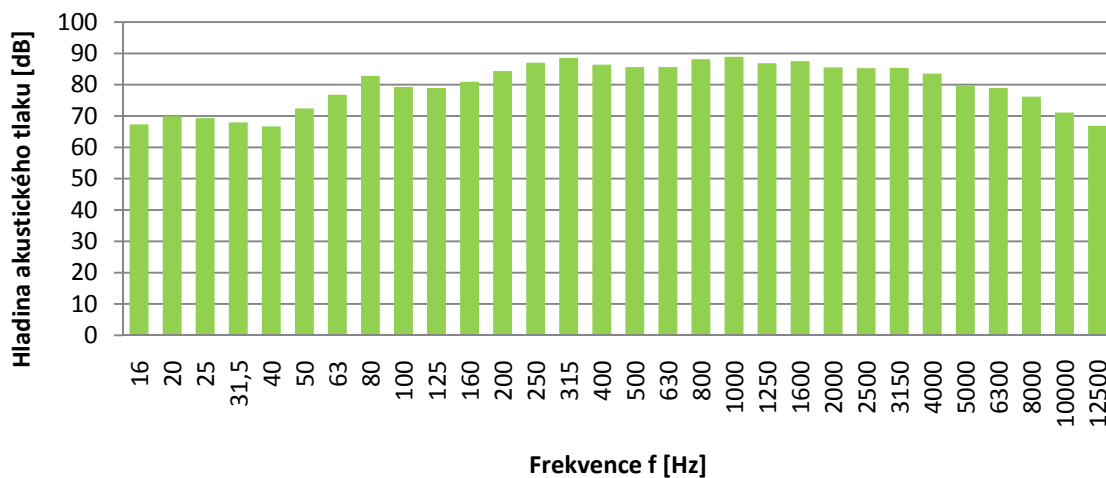


Graf C.1.52 Nákladní - lokomotiva 363; 25 vozů; v = 86 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

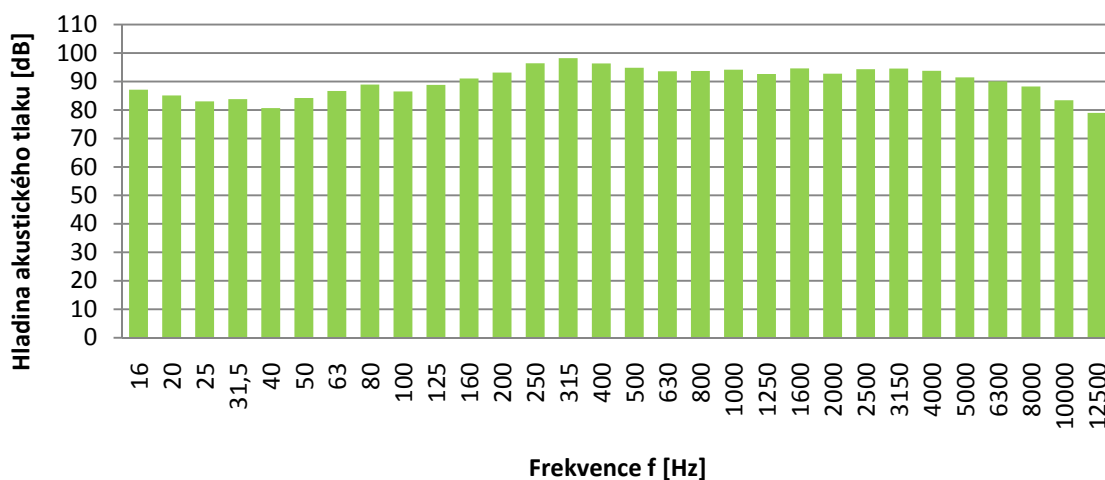
**Nákladní vlak - lokomotiva 363; 21 vozů; v = 60 - 50 km/h**



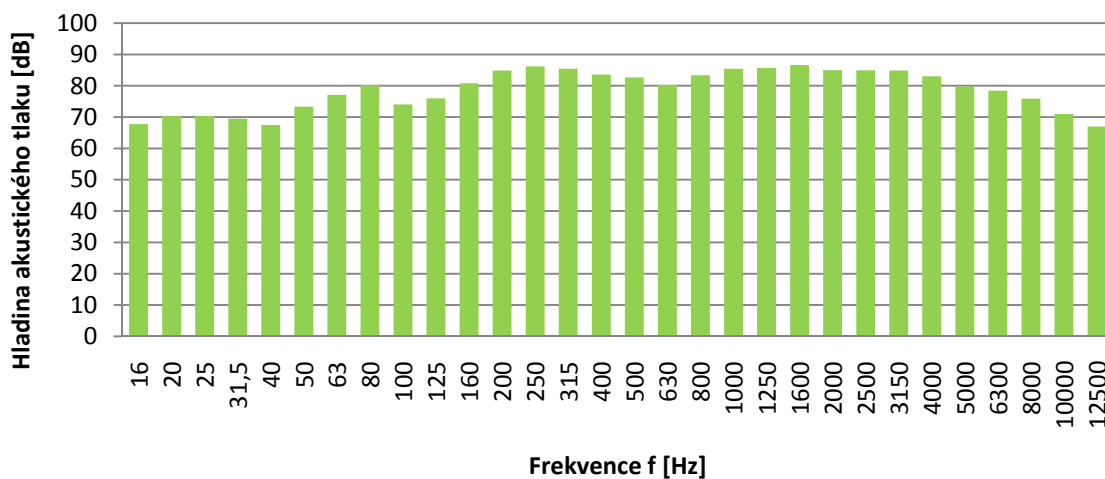
Graf C.1.53 Nákladní - lokomotiva 363; 21 vozů; v = 60 - 50 km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.1.54 Nákladní - lokomotiva 363; 21 vozů; v = 60 - 50 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

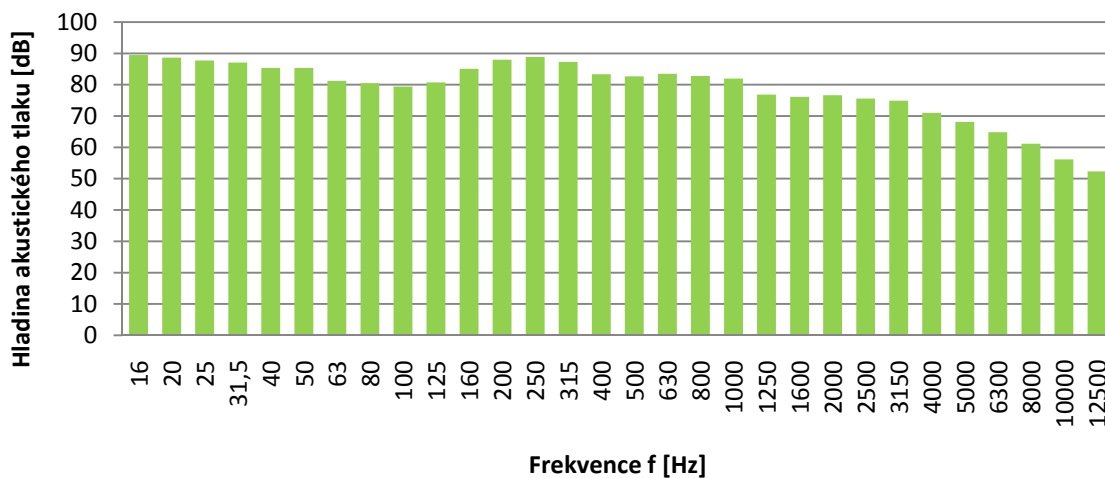


Graf C.1.55 Nákladní - lokomotiva 363; 21 vozů; v = 60 - 50 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

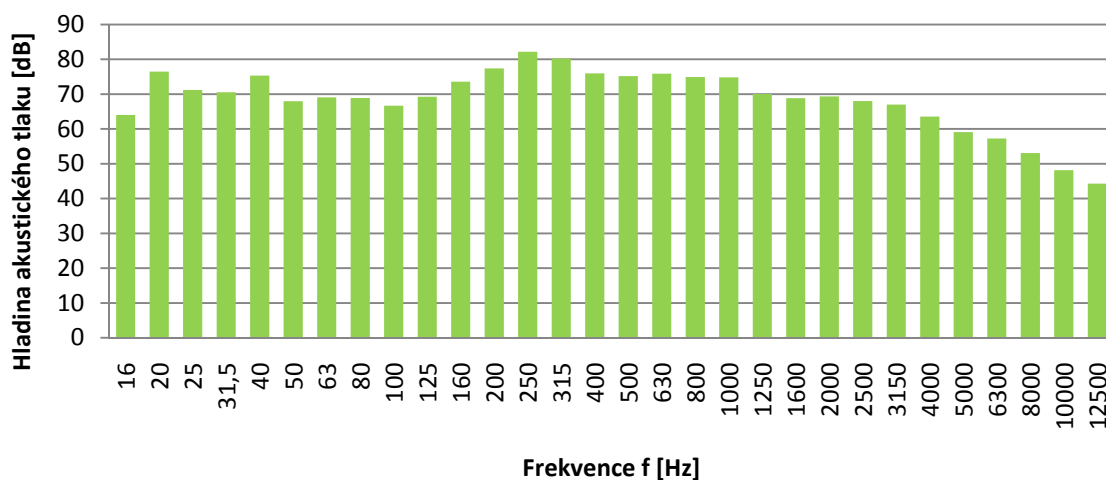


Graf C.1.56 Nákladní - lokomotiva 363; 21 vozů; v = 60 - 50 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

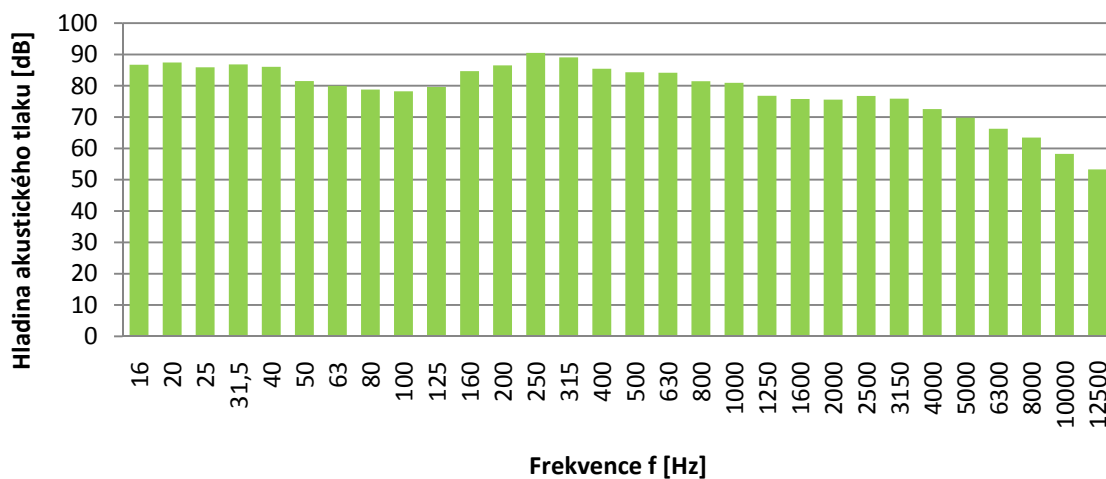
**Nákladní vlak - lokomotiva 740; 2 vozy; v = 64 km/h**



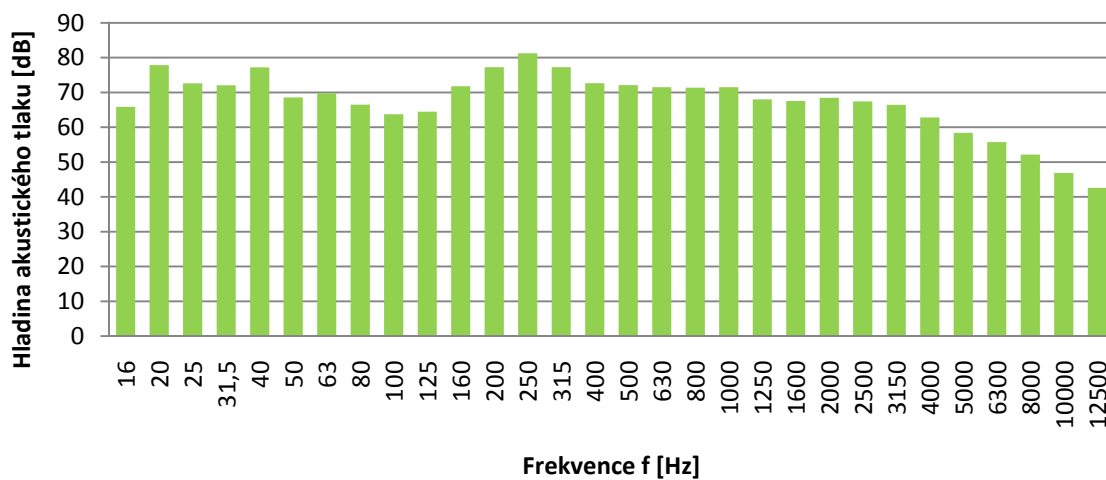
Graf C.1.57 Nákladní - lokomotiva 740; 2 vozy; v = 64 km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.1.58 Nákladní - lokomotiva 740; 2 vozy; v = 64 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

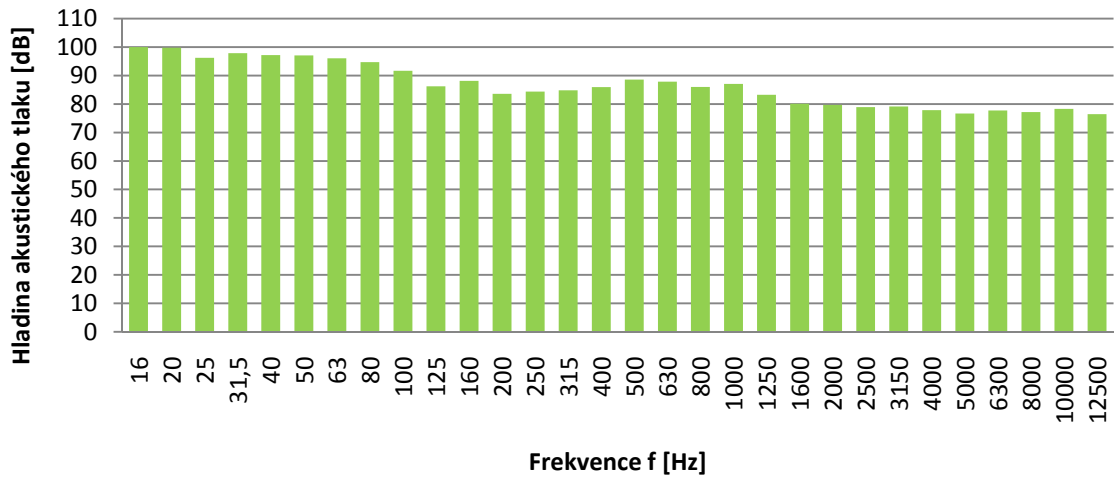


Graf C.1.59 Nákladní - lokomotiva 740; 2 vozy; v = 64 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

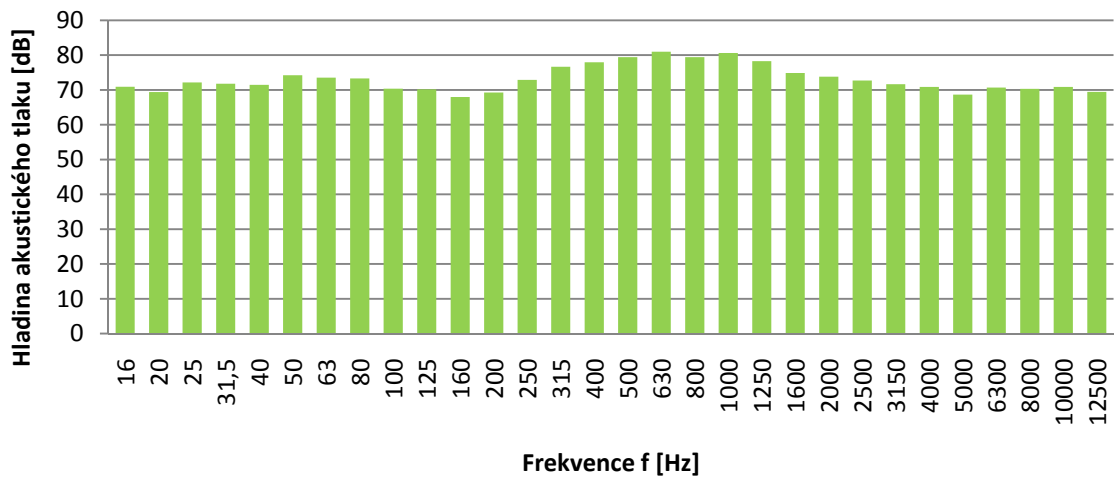


Graf C.1.60 Nákladní - lokomotiva 740; 2 vozy; v = 64 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

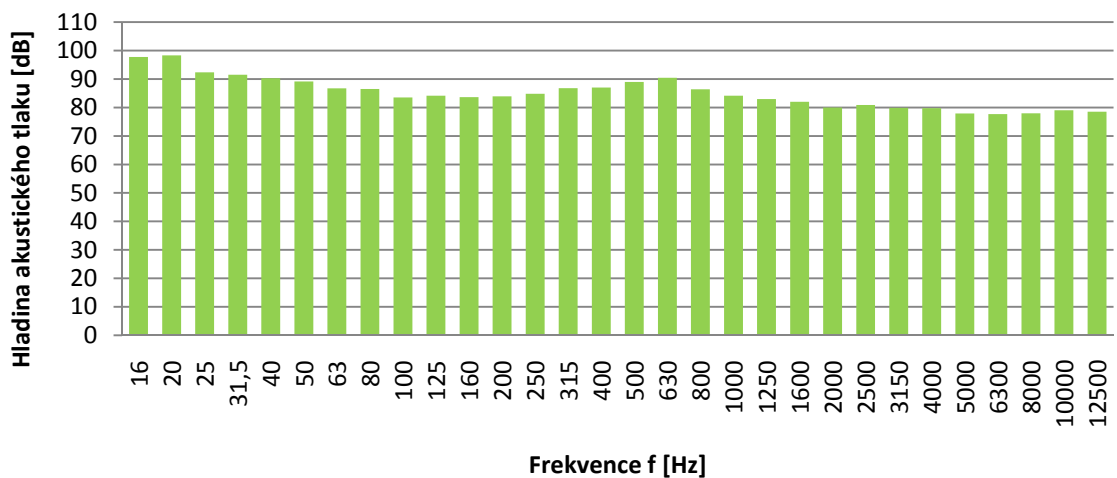
**IC RegioJet - lokomotiva 362; 5 vozů; v = 107 km/h**



Graf C.1.61 IC RegioJet - lokomotiva 362; 5 vozů; v = 107 km/h; M8 (1,85 m; vnější)

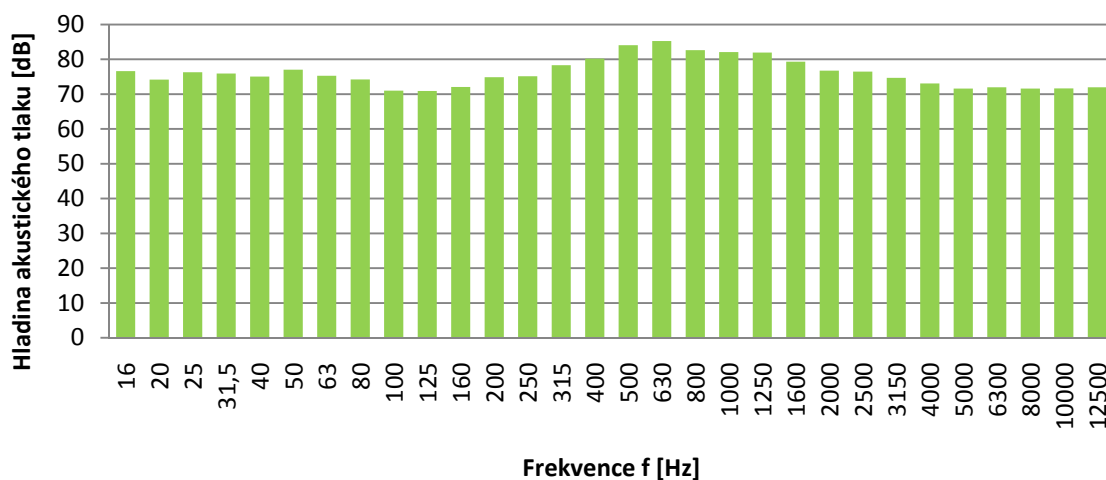


Graf C.1.62 IC RegioJet - lokomotiva 362; 5 vozů; v = 107 km/h; M9 (7,5 m; vnější)



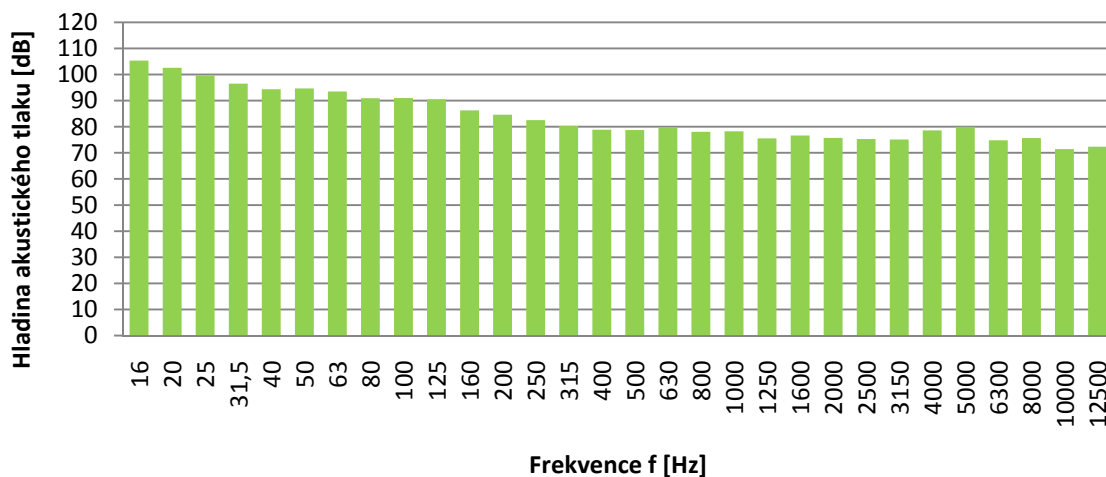
Graf C.1.63 IC RegioJet - lokomotiva 362; 5 vozů; v = 107 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)



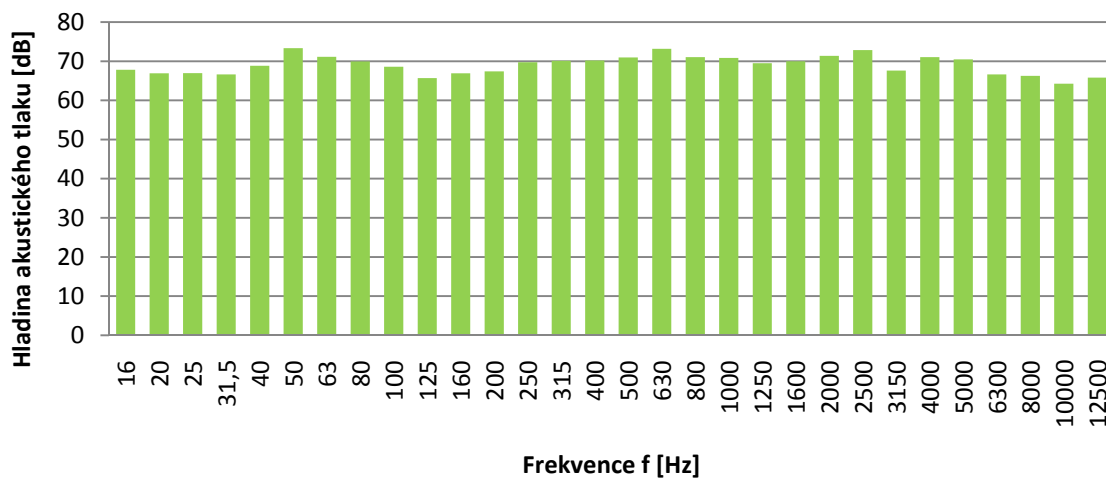


Graf C.1.64 IC RegioJet - lokomotiva 362; 5 vozů; v = 107 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

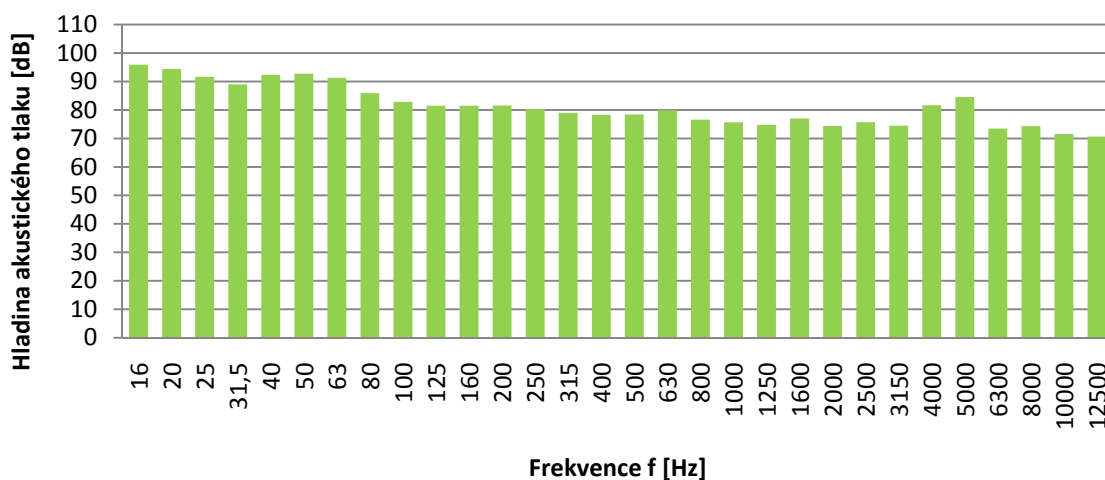
**Expres (Ex) - lokomotiva 151; 6 vozů; v = 114 km/h**



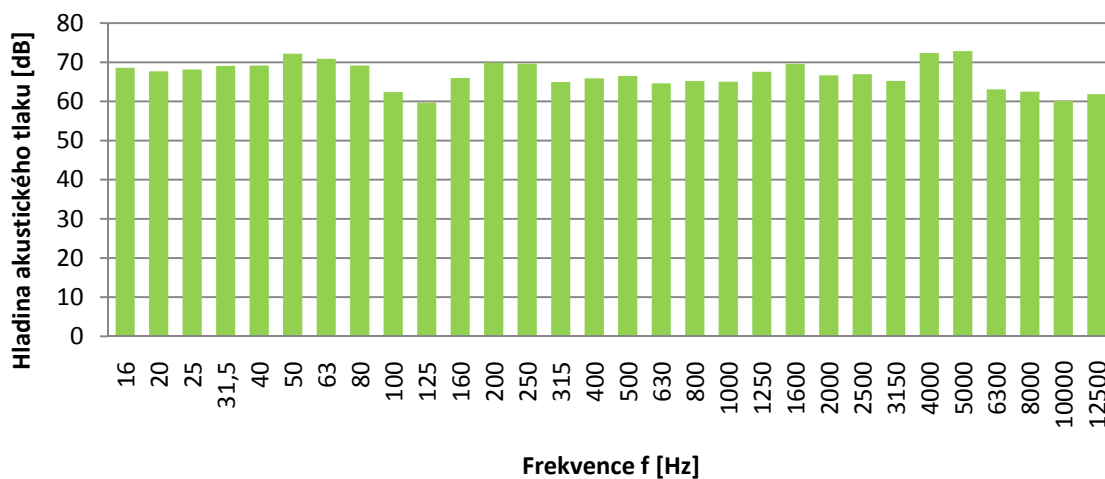
Graf C.1.65 Expres (Ex) - lokomotiva 151; 6 vozů; v = 114 km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.1.66 Expres (Ex) - lokomotiva 151; 6 vozů; v = 114 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

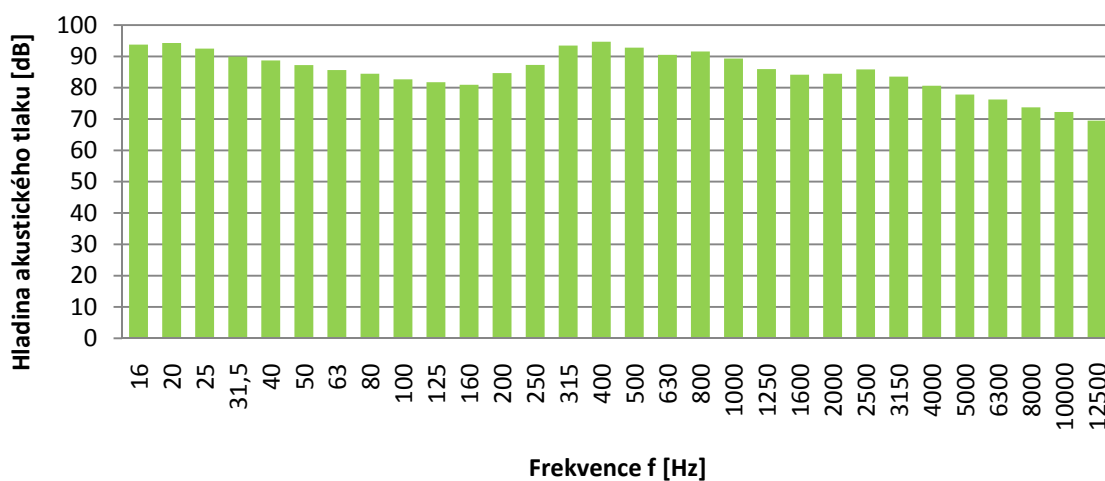


Graf C.1.67 Expres (Ex) - lokomotiva 151; 6 vozů; v = 114 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

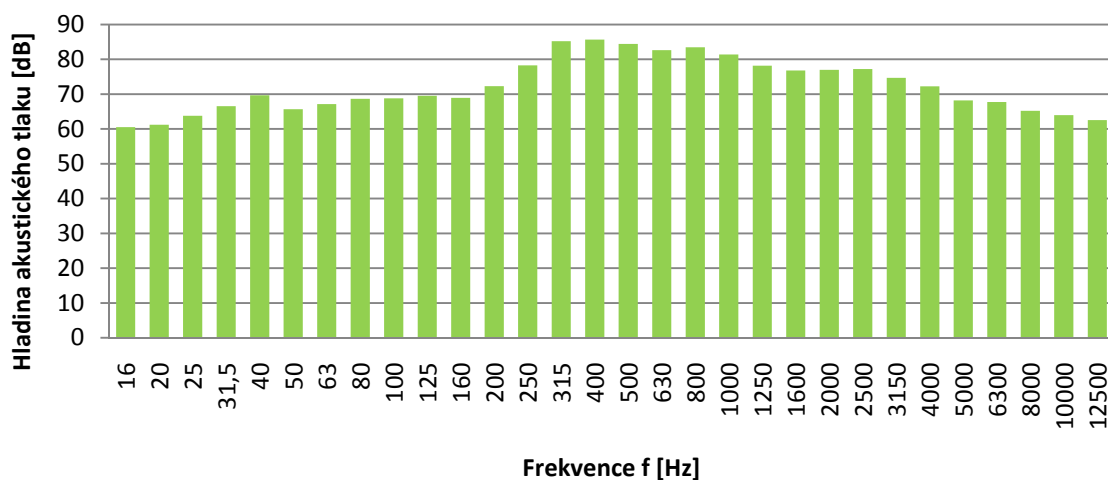


Graf C.1.68 Expres (Ex) - lokomotiva 151; 6 vozů; v = 114 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

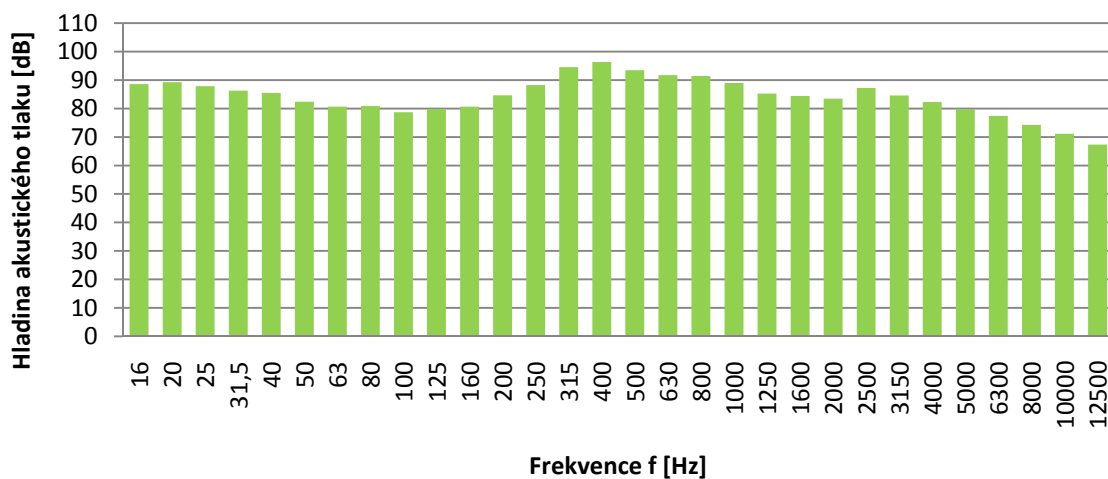
**Nákladní vlak - lokomotiva 363; 24 vozů; v = 77 km/h**



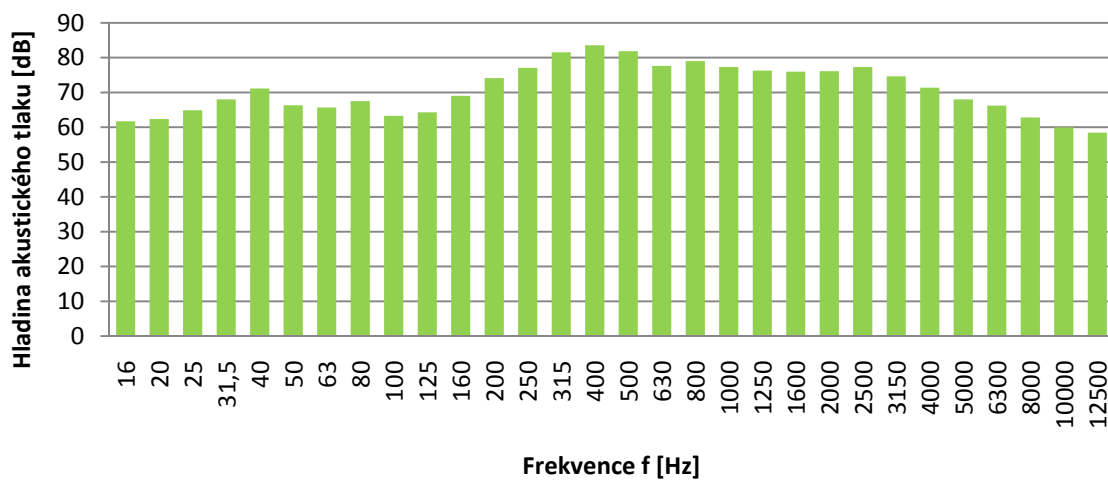
Graf C.1.69 Nákladní - lokomotiva 363; 24 vozů; v = 77 km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.1.70 Nákladní - lokomotiva 363; 24 vozů; v = 77 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

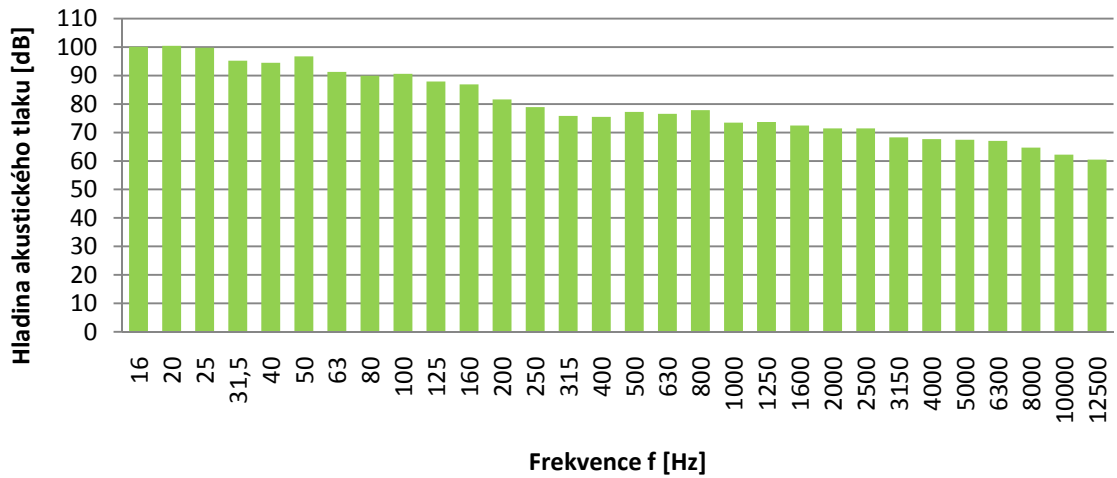


Graf C.1.71 Nákladní - lokomotiva 363; 24 vozů; v = 77 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

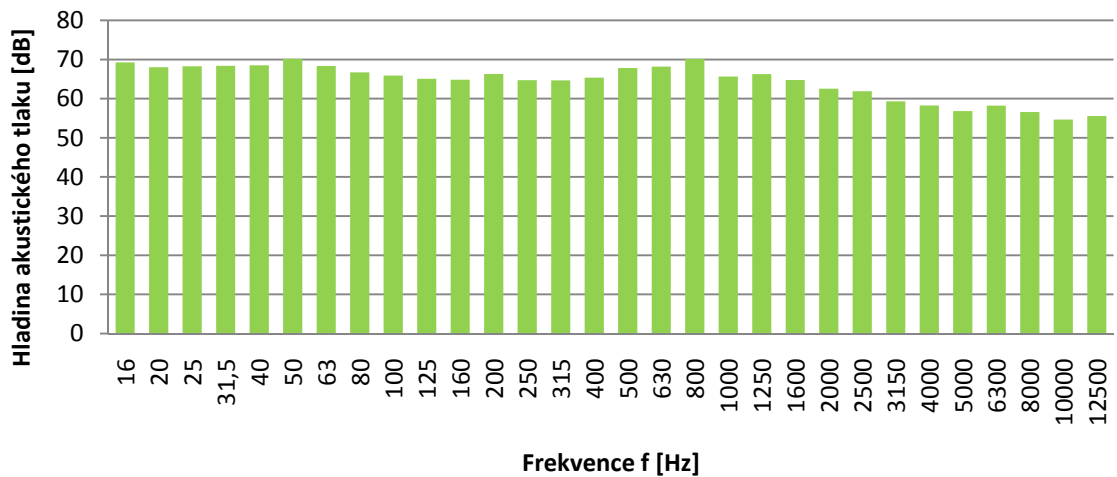


Graf C.1.72 Nákladní - lokomotiva 363; 24 vozů; v = 77 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

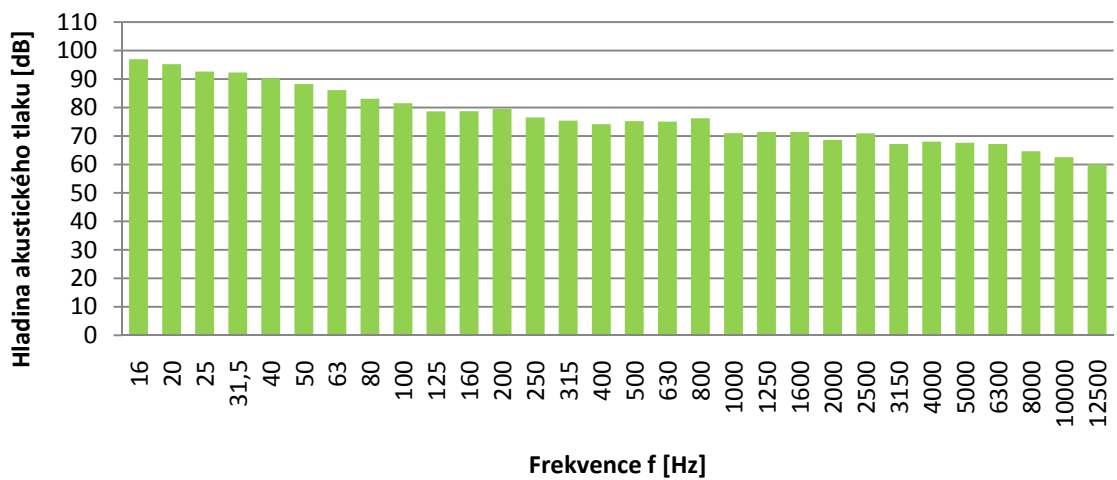
**LEO Express - lokomotiva Siemens; 5 vozů; v = 128 km/h**



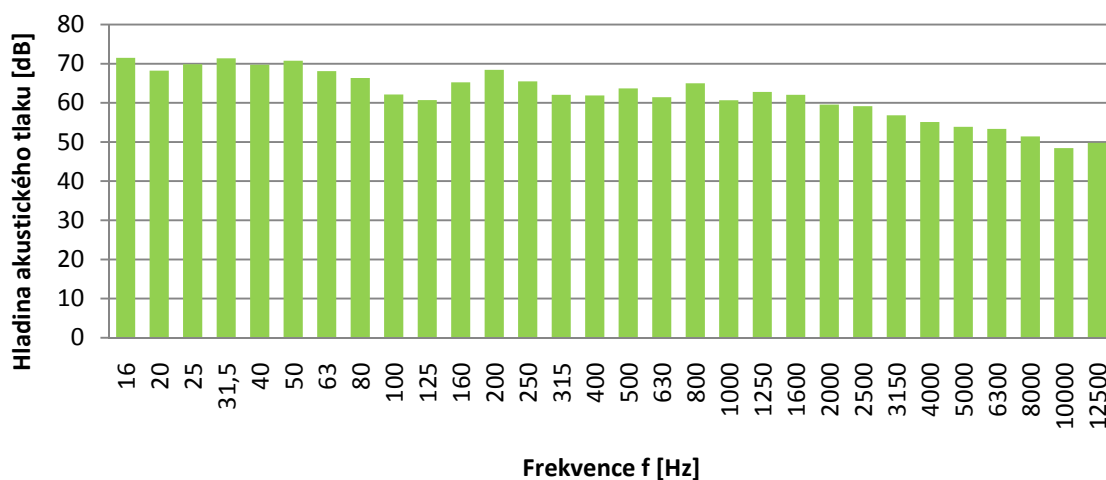
Graf C.1.73 LEO Express - lokom. Siemens; 5 vozů; v = 128 km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.1.74 LEO Express - lokom. Siemens; 5 vozů; v = 128 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

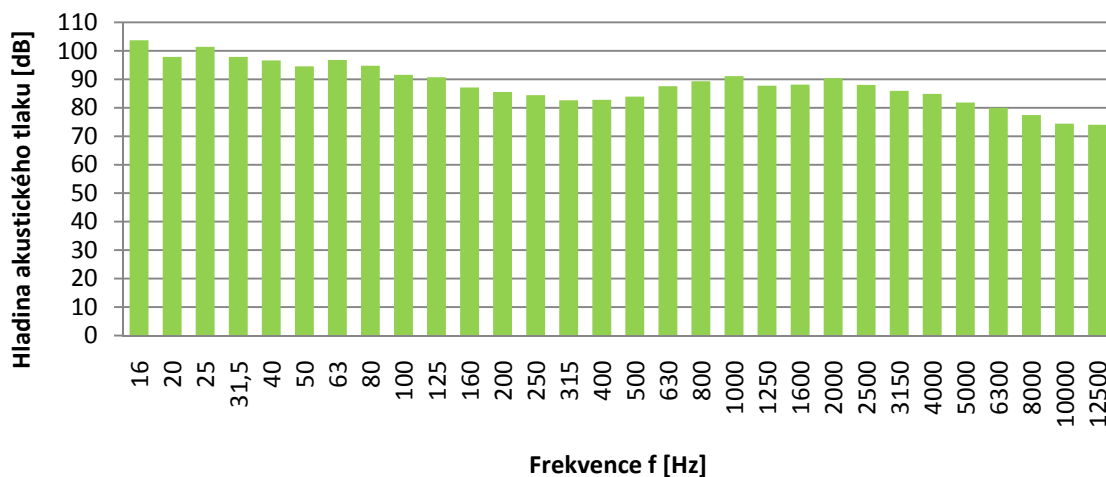


Graf C.1.75 LEO Express - lokom. Siemens; 5 vozů; v = 128 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

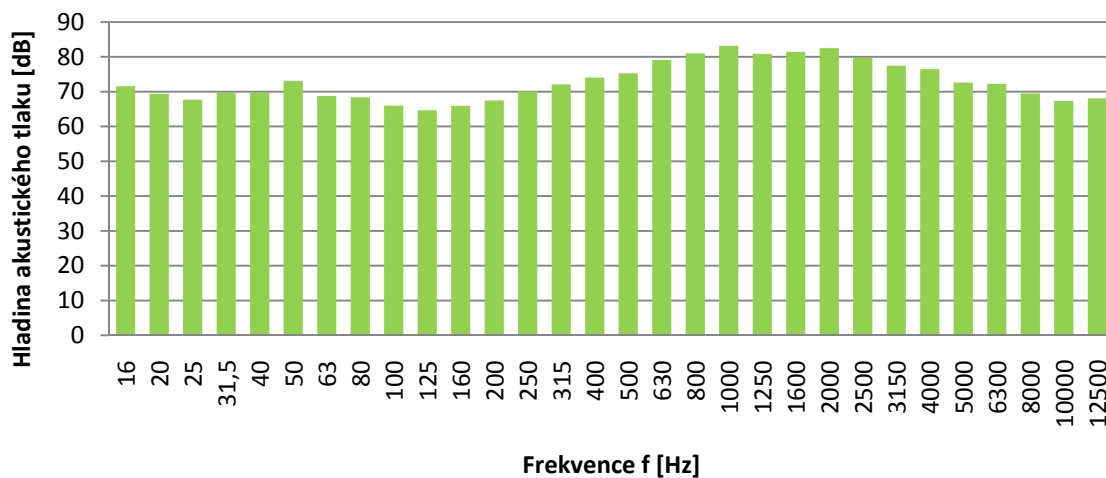


Graf C.1.76 LEO Express - lokom. Siemens; 5 vozů; v = 128 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

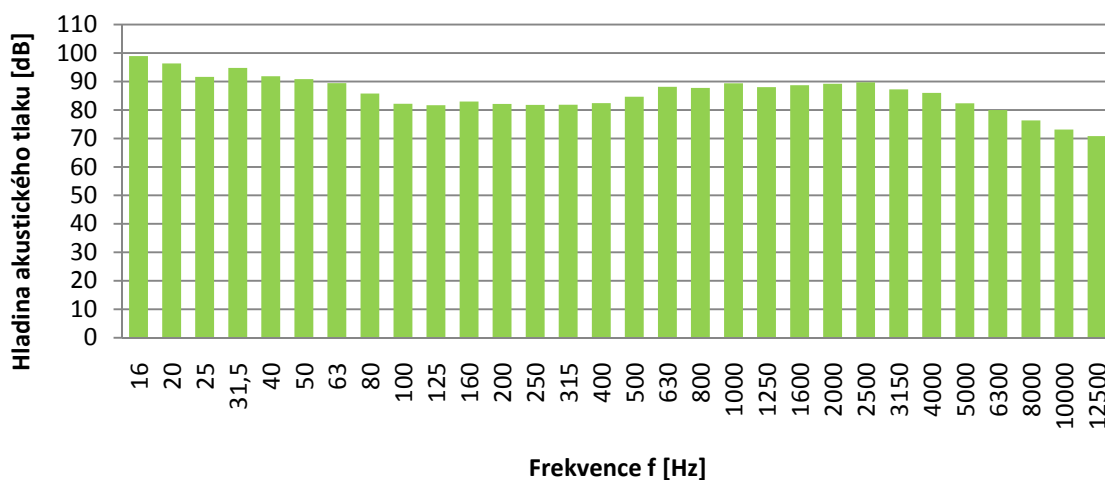
**Rychlík (R) - lokomotiva 362; 6 vozů; v = 110 km/h**



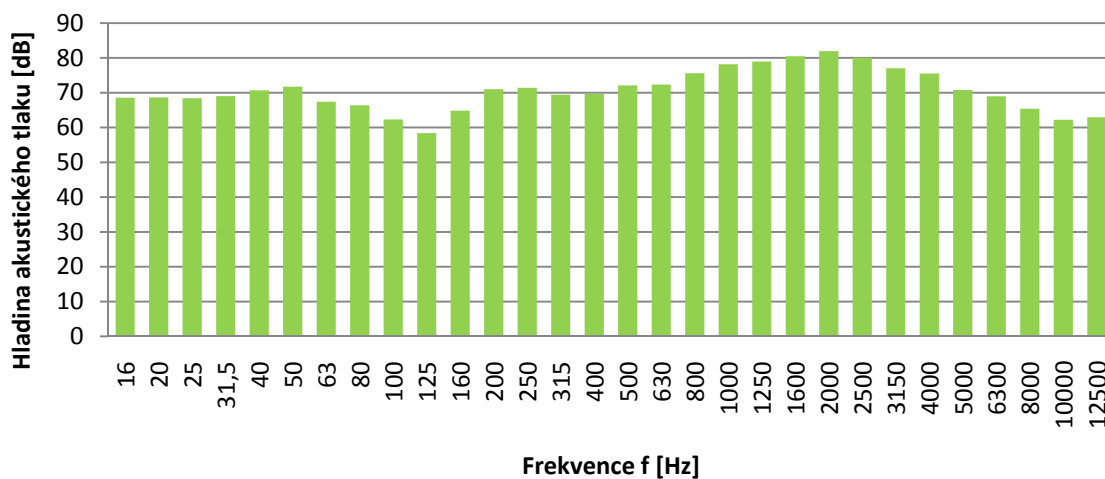
Graf C.1.77 Rychlík (R) - lokomotiva 362; 6 vozů; v = 110 km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.1.78 Rychlík (R) - lokomotiva 362; 6 vozů; v = 110 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

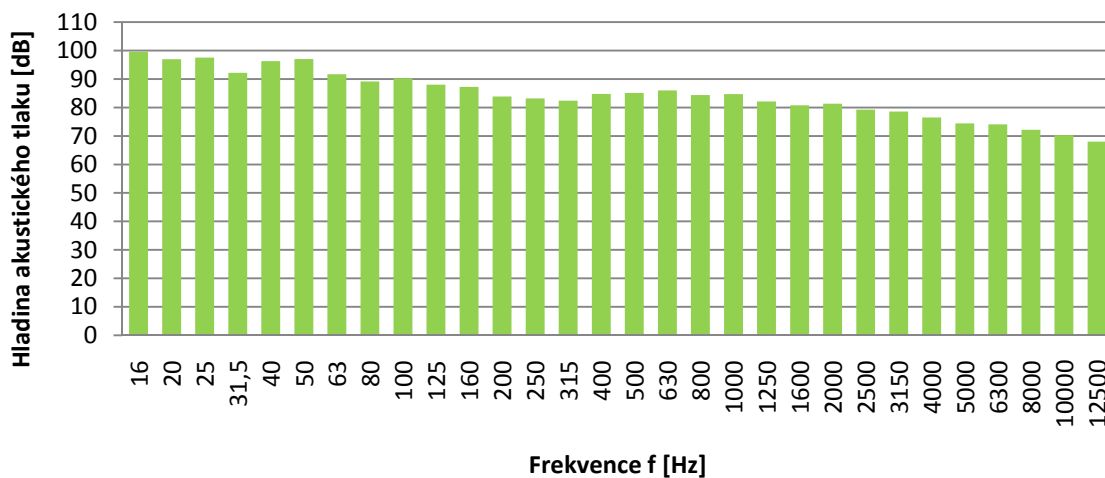


Graf C.1.79 Rychlík (R) - lokomotiva 362; 6 vozů; v = 110 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

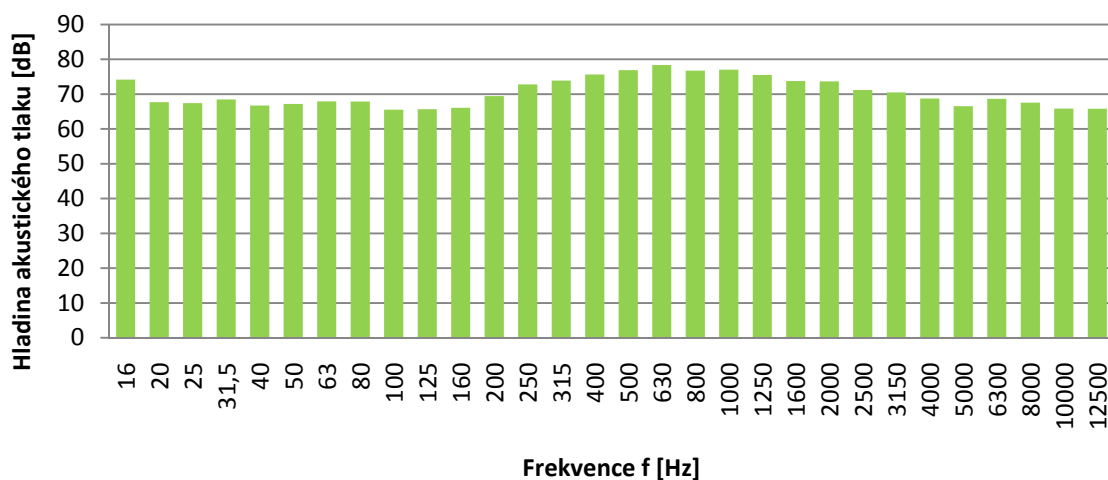


Graf C.1.80 Rychlík (R) - lokomotiva 362; 6 vozů; v = 110 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

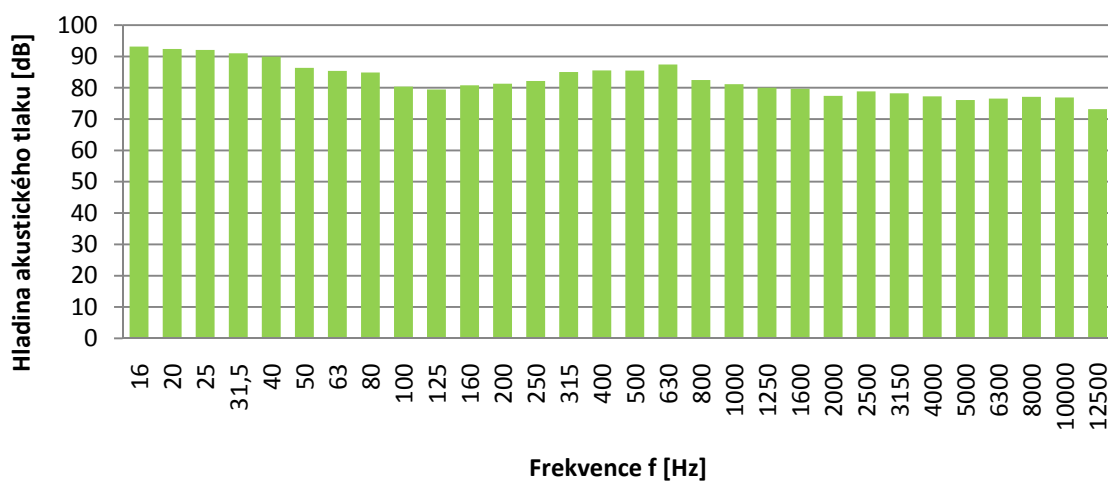
**Osobní vlak (Os) - lokomotiva 163; 3 vozy; v = 101 km/h**



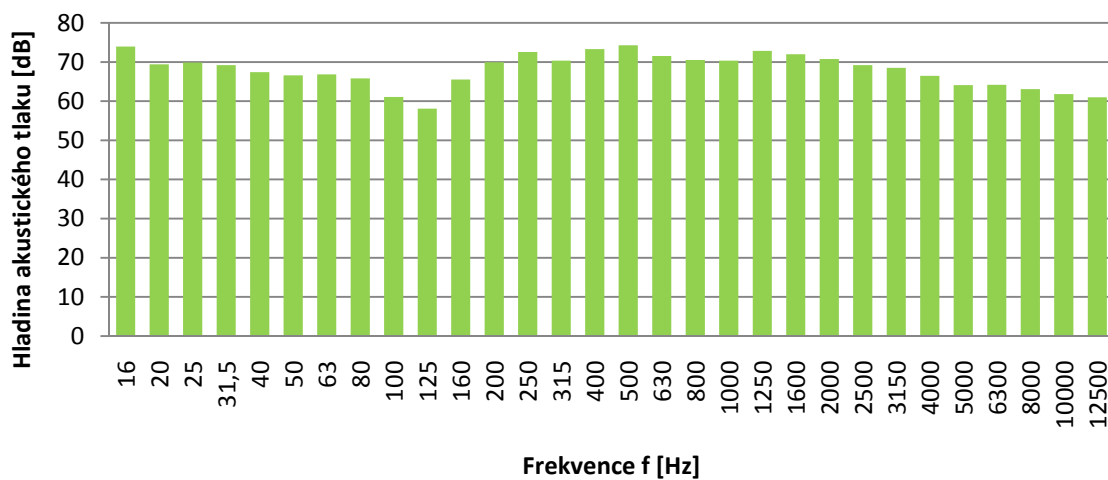
Graf C.1.81 Osobní (Os) - lokomotiva 163; 3 vozy; v = 101 km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.1.82 Osobní (Os) - lokomotiva 163; 3 vozy; v = 101 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

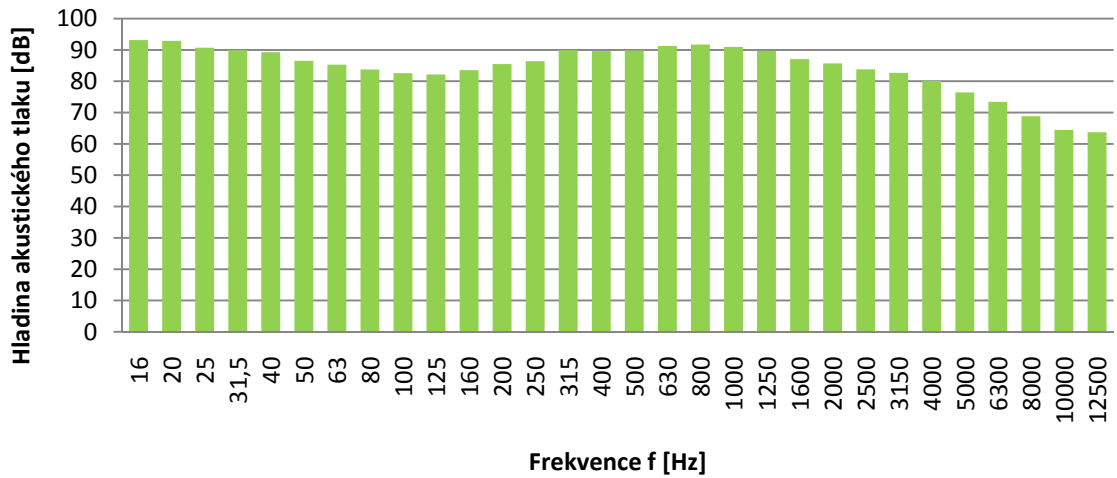


Graf C.1.83 Osobní (Os) - lokomotiva 163; 3 vozy; v = 101 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

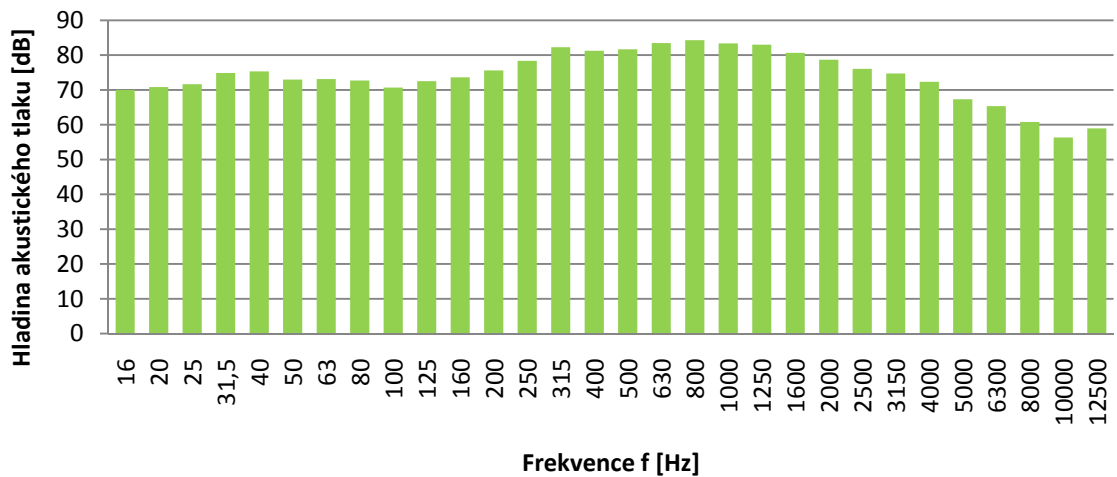


Graf C.1.84 Osobní (Os) - lokomotiva 163; 3 vozy; v = 101 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

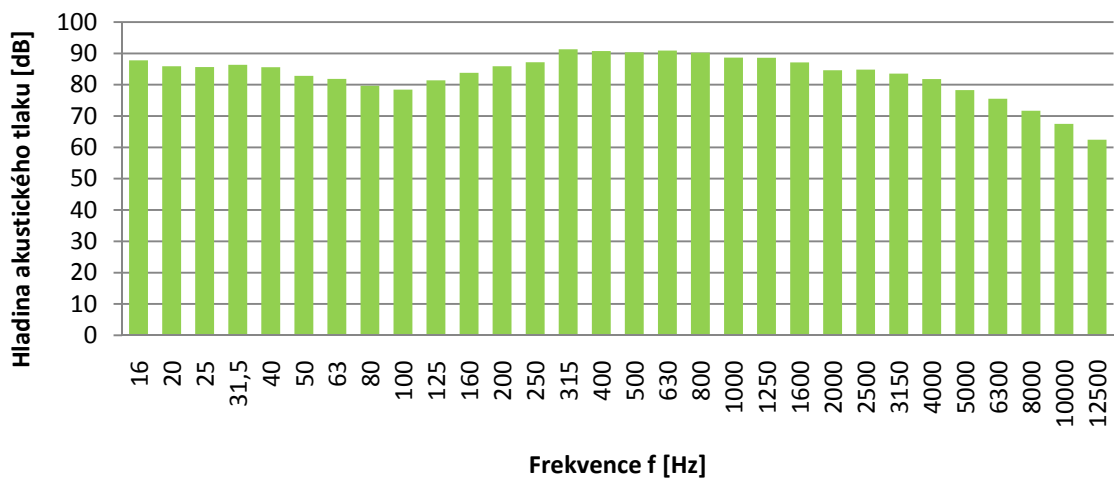
**Nákladní vlak - lokomotiva 130; 43 vozů; v = 78 km/h**



Graf C.1.85 Nákladní - lokomotiva 130; 43 vozů; v = 78 km/h; M8 (1,85 m; vnější)

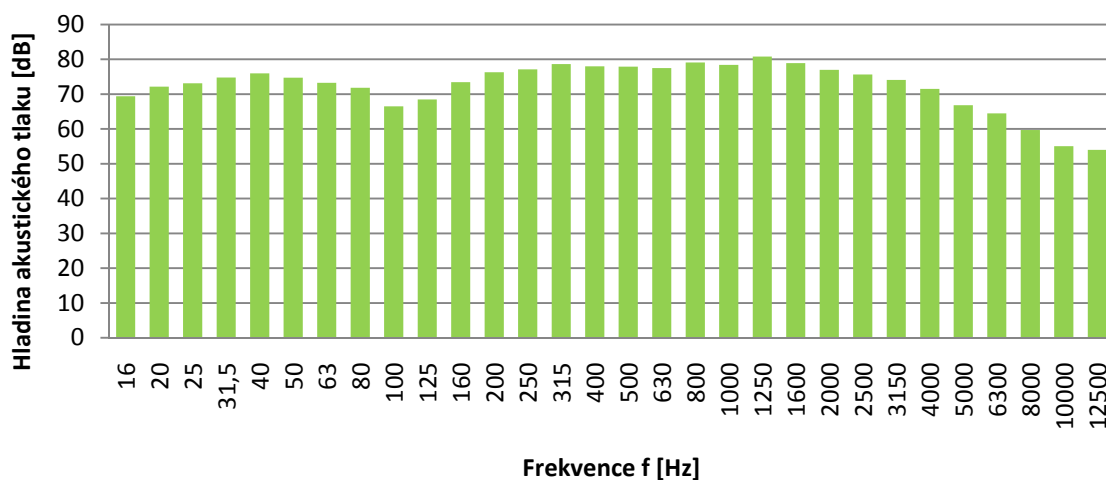


Graf C.1.86 Nákladní - lokomotiva 130; 43 vozů; v = 78 km/h; M9 (7,5 m; vnější)



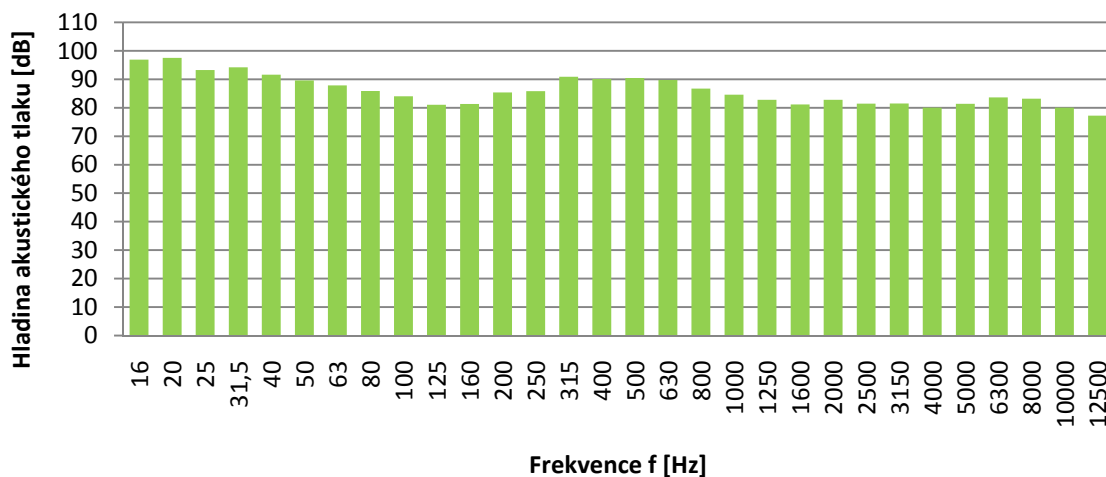
Graf C.1.87 Nákladní - lokomotiva 130; 43 vozů; v = 78 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)



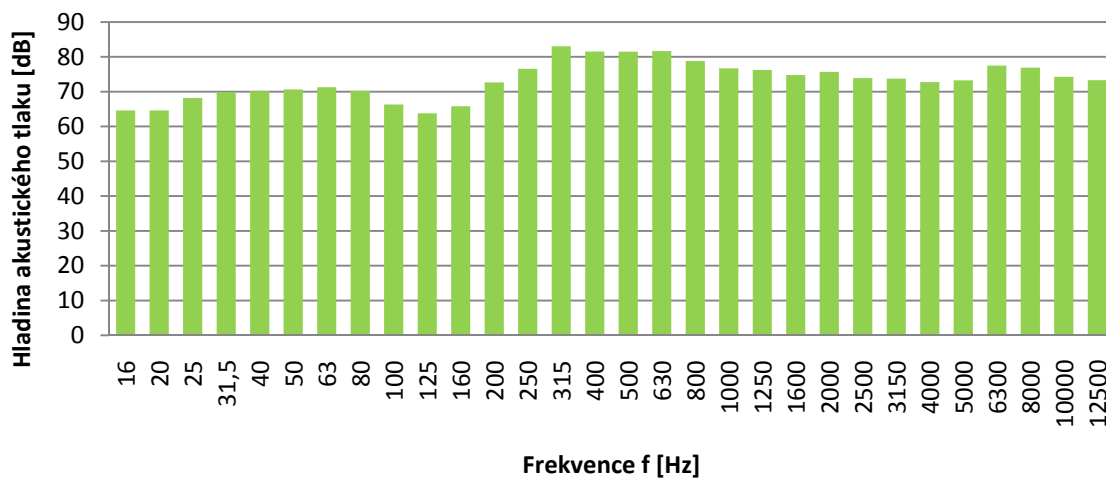


Graf C.1.88 Nákladní - lokomotiva 130; 43 vozů; v = 78 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

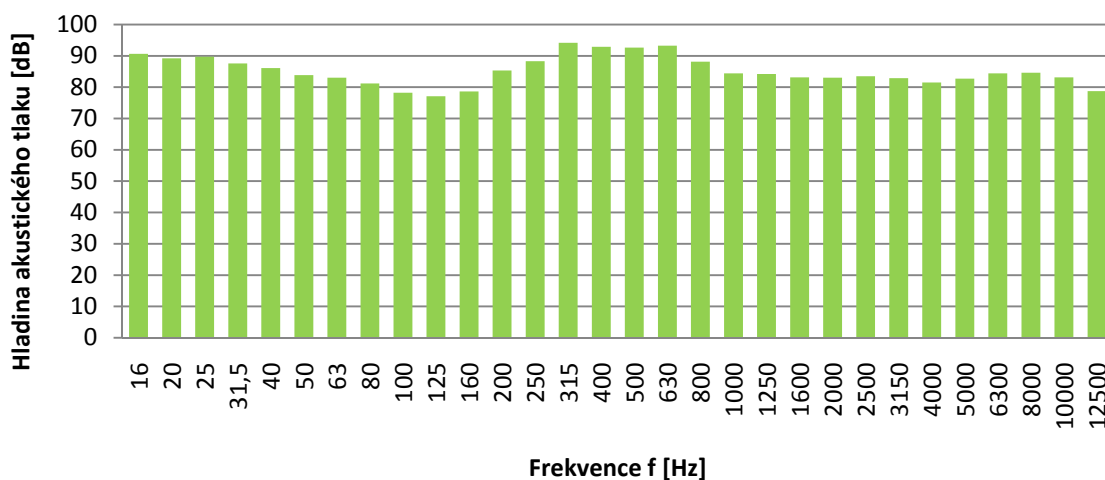
**Lokomotivní vlak (Lv) - lokomotivy 130, 121, 122; 3 vozy; v = 79 km/h**



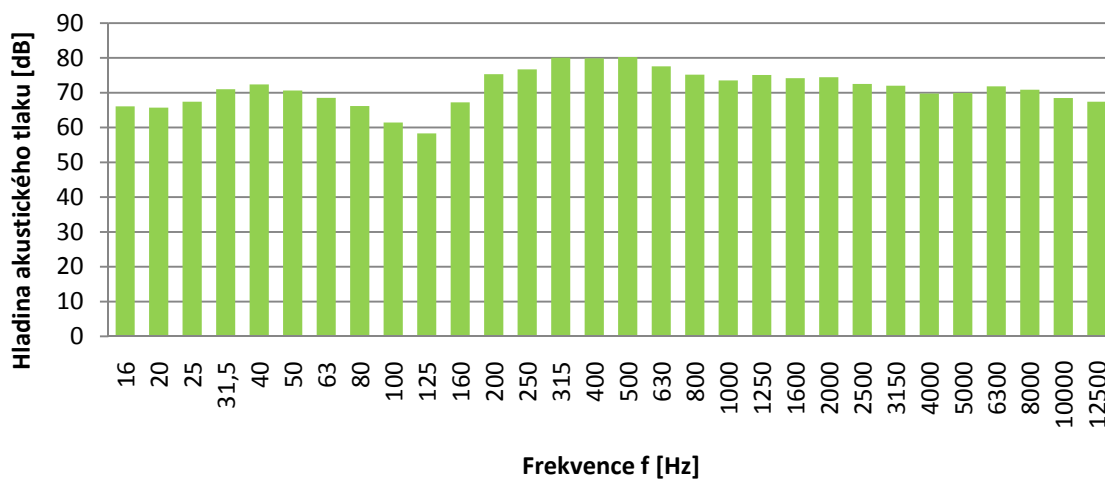
Graf C.1.89 Lokomotivní (Lv) - 130, 121, 122; 3 vozy; v = 79 km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.1.90 Lokomotivní (Lv) - 130, 121, 122; 3 vozy; v = 79 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

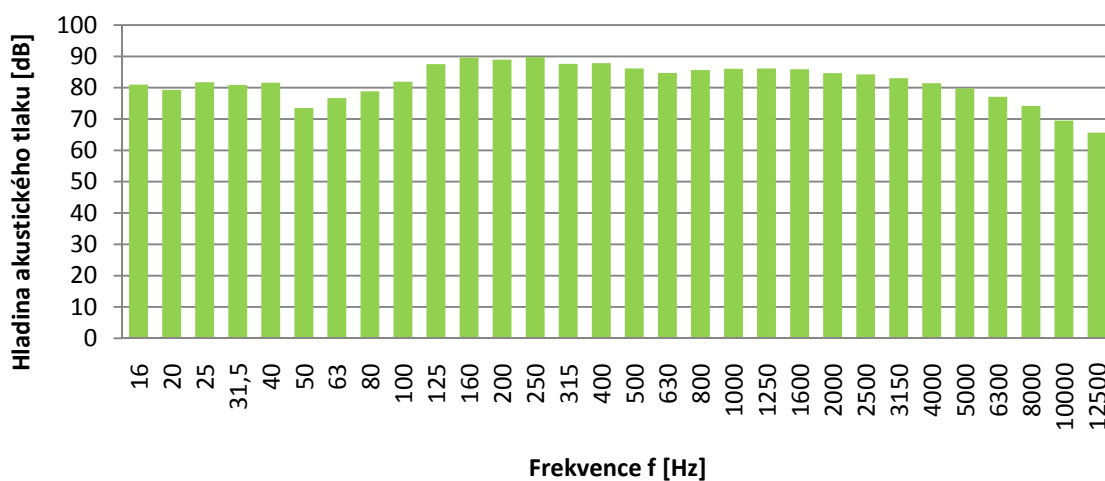


Graf C.1.91 Lokomotivní (Lv) - 130, 121, 122; 3 vozy; v = 79 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

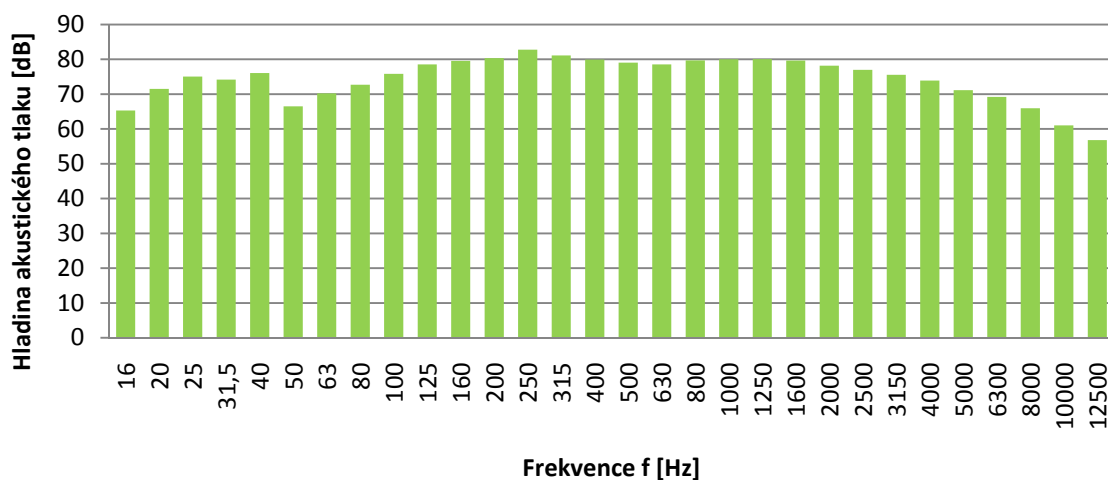


Graf C.1.92 Lokomotivní (Lv) - 130, 121, 122; 3 vozy; v = 79 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

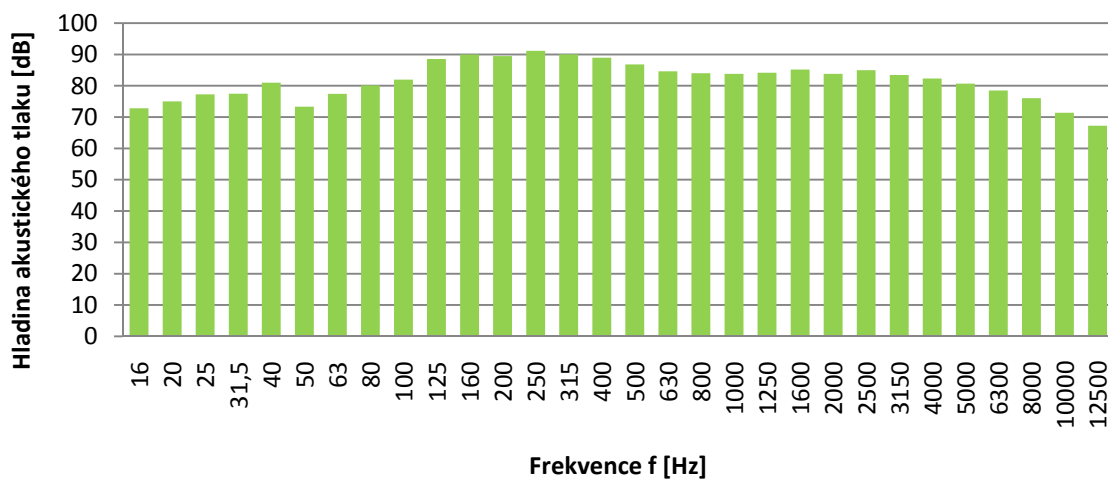
**Nákladní vlak - lokomotivy 3 × 742; 22 vozů; v = 50 - 28 km/h**



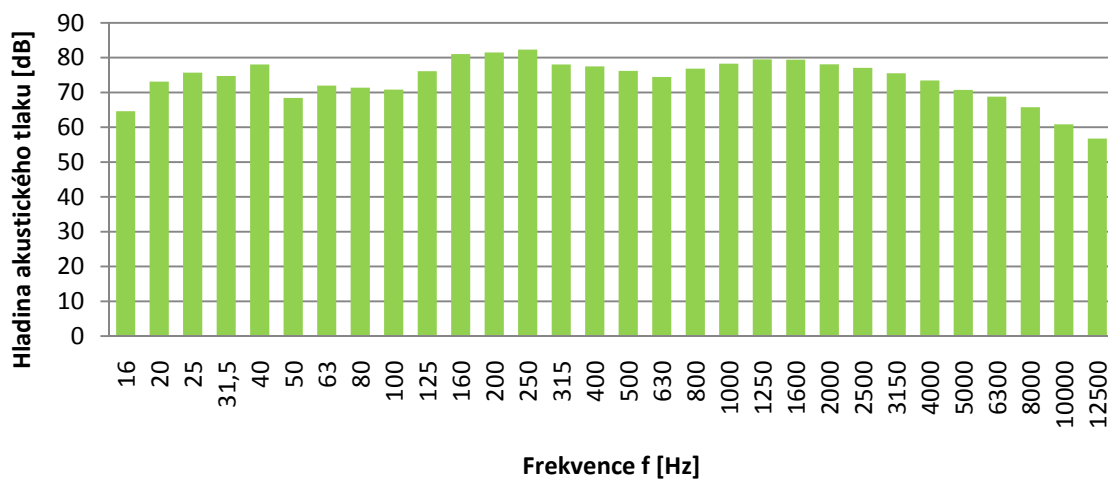
Graf C.1.93 Nákladní - 3 × 742; 22 vozů; v = 50 - 28 km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.1.94 Nákladní - 3 × 742; 22 vozů; v = 50 - 28 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

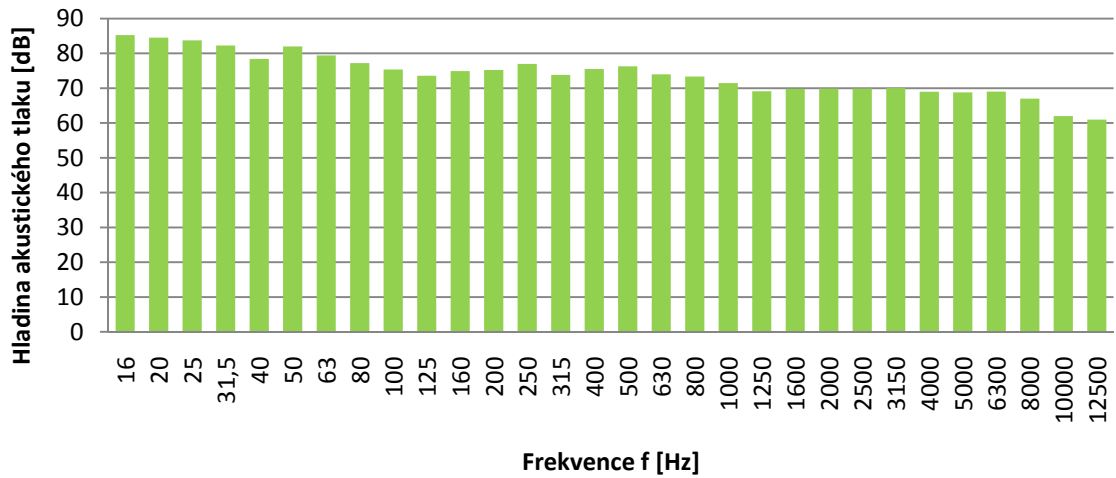


Graf C.1.95 Nákladní - 3 × 742; 22 vozů; v = 50 - 28 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

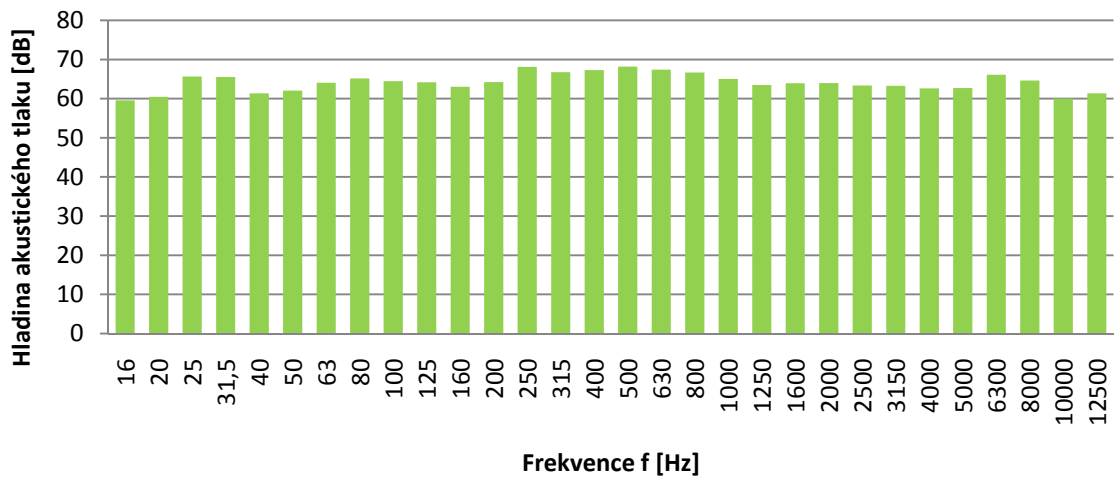


Graf C.1.96 Nákladní - 3 × 742; 22 vozů; v = 50 - 28 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

**Rychlík (R) - lokomotiva EP09; 6 vozů; v = 53 km/h**



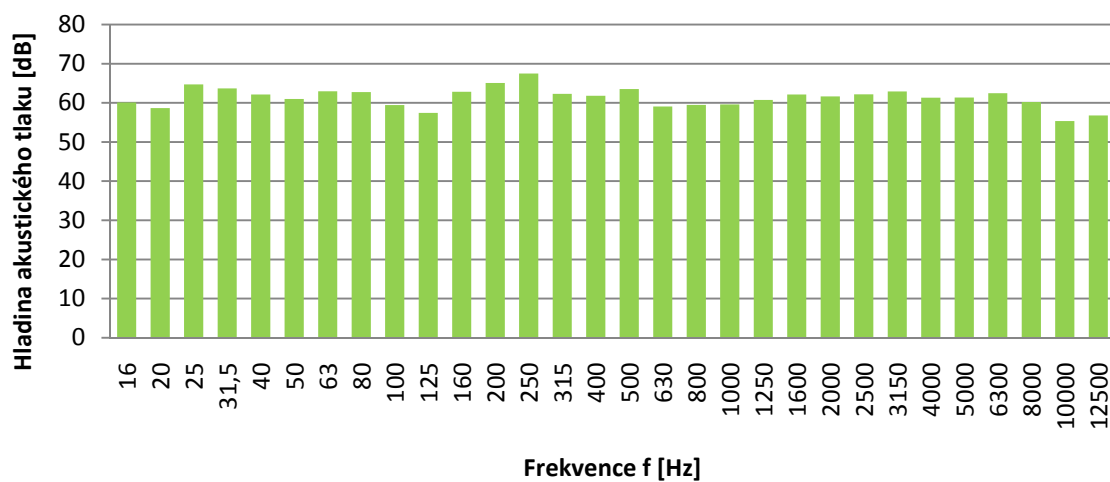
**Graf C.1.97 Rychlík (R) - lokomotiva EP09; 6 vozů; v = 53 km/h; M8 (1,85 m; vnější)**



**Graf C.1.98 Rychlík (R) - lokomotiva EP09; 6 vozů; v = 53 km/h; M9 (7,5 m; vnější)**



**Graf C.1.99 Rychlík (R) - lokomotiva EP09; 6 vozů; v = 53 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)**



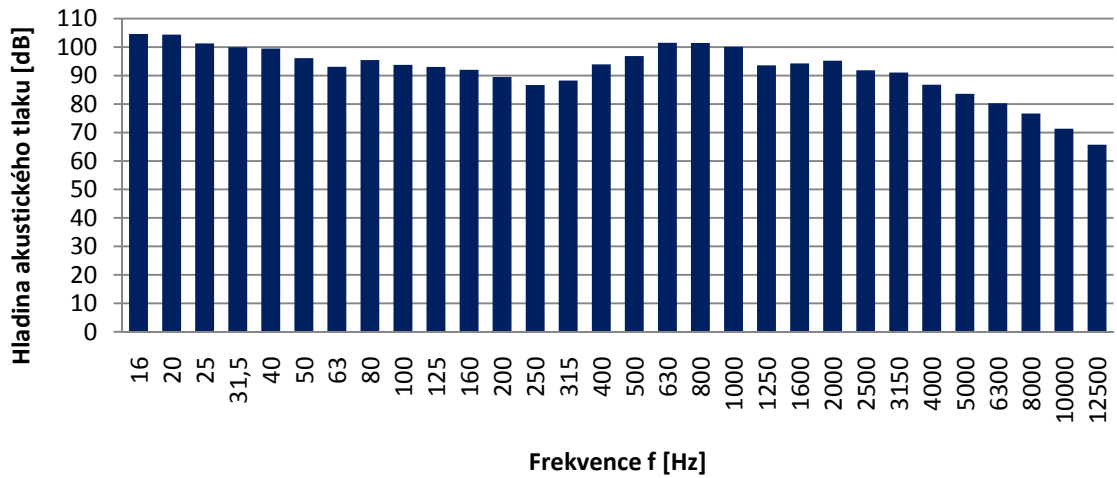
Graf C.1.100 Rychlík (R) - lokomotiva EP09; 6 vozů; v = 53 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

# **PŘÍLOHA C.2**

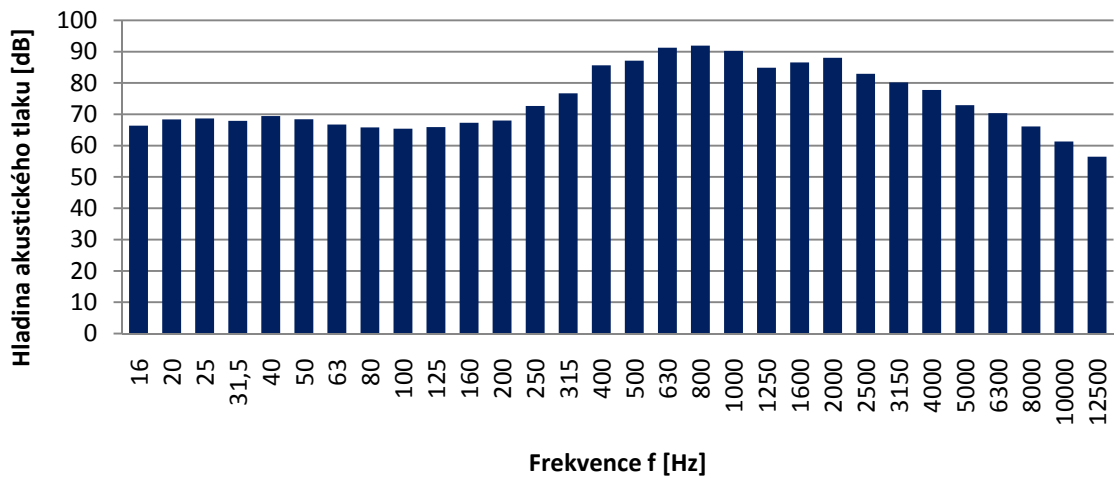
TŘETINOOKTÁVOVÁ ANALÝZA PRŮMĚRNÝCH HLADIN  
AKUSTICKÉHO TLAKU

Úsek s upevněním Pandrol FC I

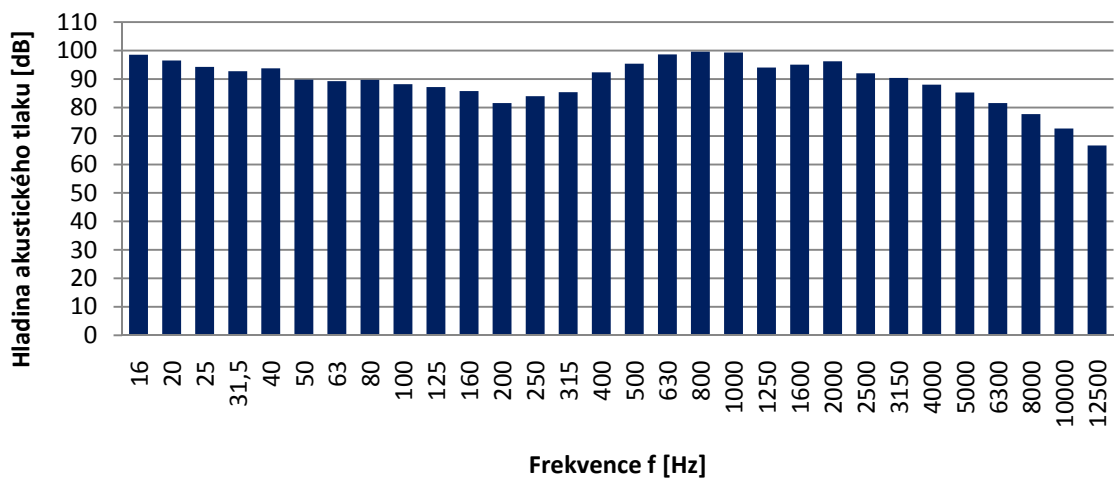
**Rychlík (R) - lokomotiva 150; 5 vozů; v = 116 km/h**



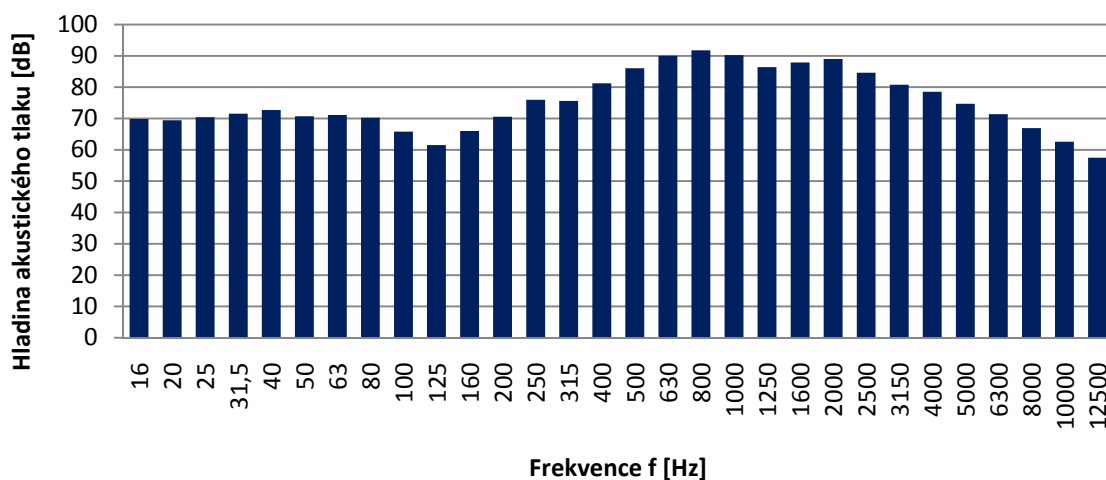
Graf C.2.1 Rychlík (R) - lokomotiva 150; 5 vozů; v = 116 km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.2.2 Rychlík (R) - lokomotiva 150; 5 vozů; v = 116 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

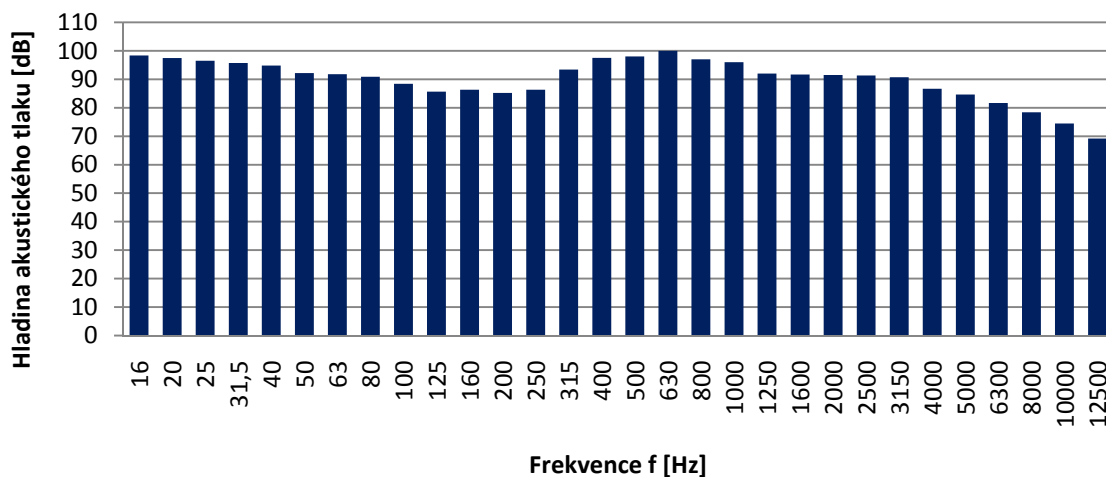


Graf C.2.3 Rychlík (R) - lokomotiva 150; 5 vozů; v = 116 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

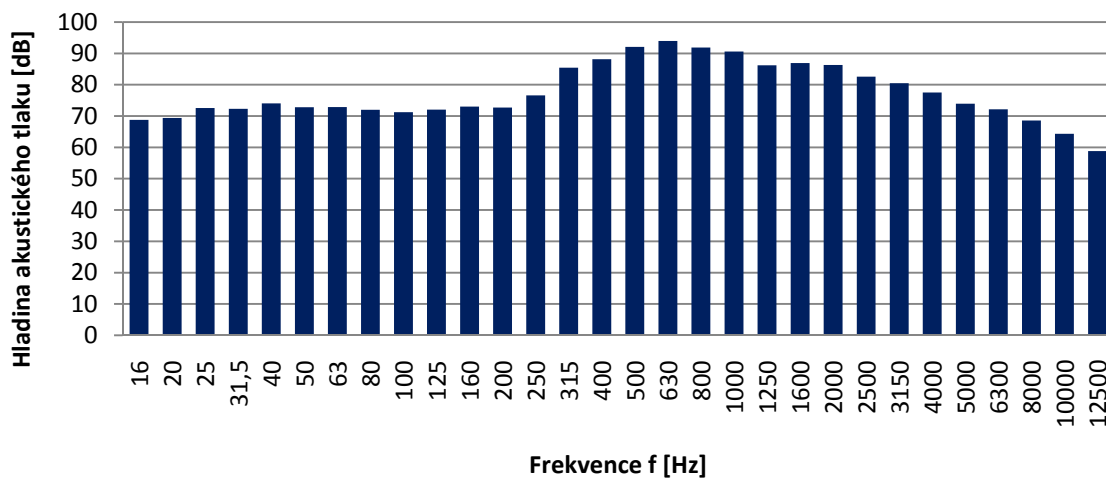


Graf C.2.4 Rychlík (R) - lokomotiva 150; 5 vozů;  $v = 116$  km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

Nákladní vlak - lokomotiva 363; 25 vozů;  $v = 83$  km/h

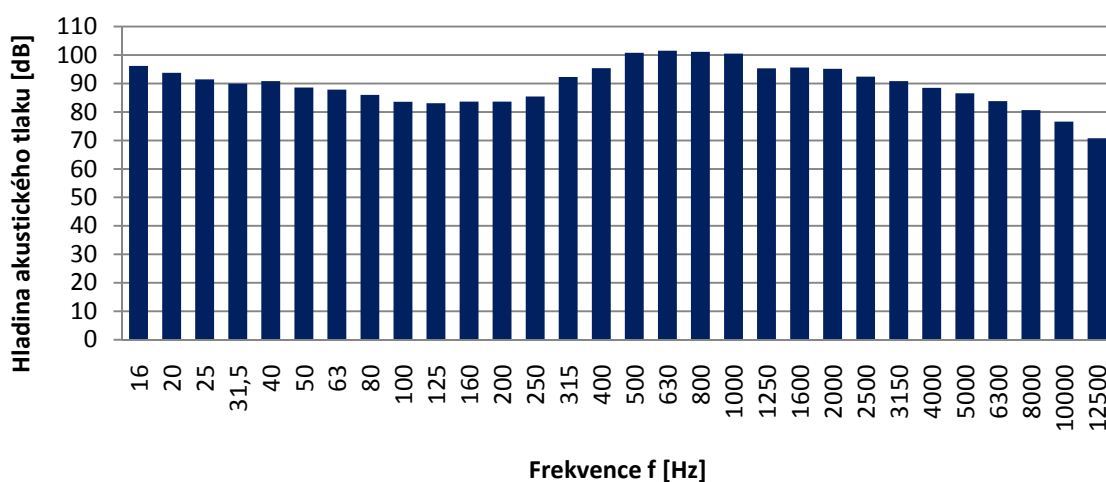


Graf C.2.5 Nákladní - lokomotiva 363; 25 vozů;  $v = 83$  km/h; M8 (1,85 m; vnější)

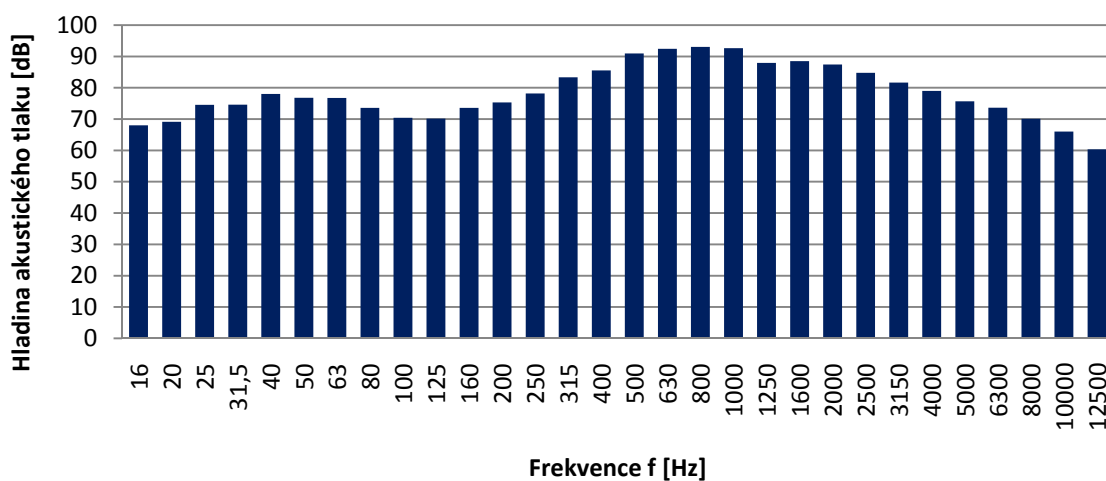


Graf C.2.6 Nákladní - lokomotiva 363; 25 vozů;  $v = 83$  km/h; M9 (7,5 m; vnější)



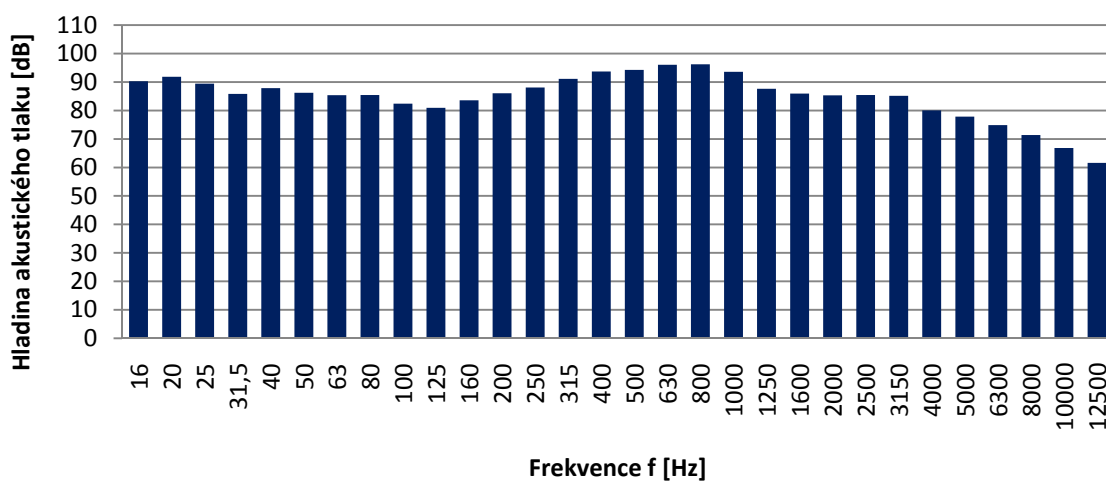


Graf C.2.7 Nákladní - lokomotiva 363; 25 vozů; v = 83 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

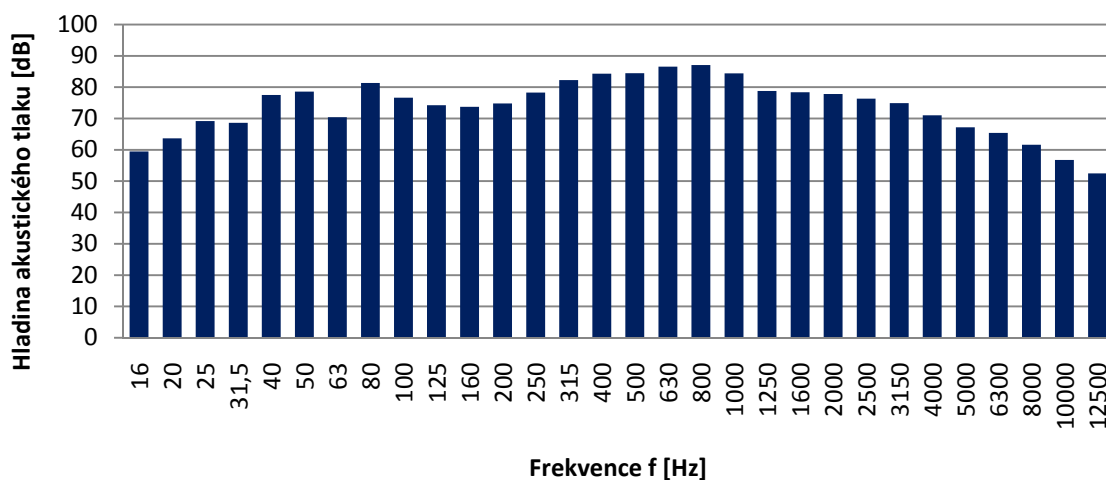


Graf C.2.8 Nákladní - lokomotiva 363; 25 vozů; v = 83 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

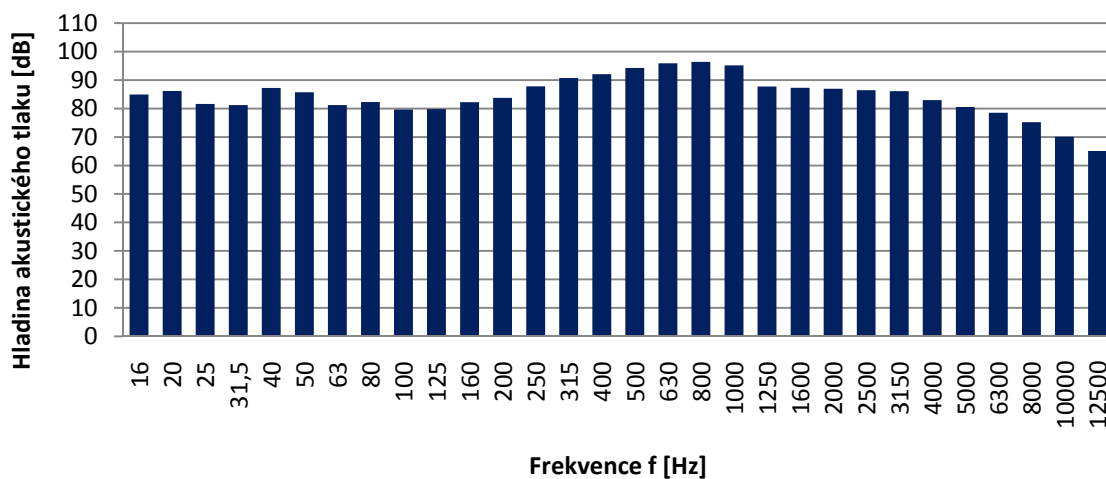
**Nákladní vlak - lokomotiva 742; 9 vozů; v = 54 - 59 km/h**



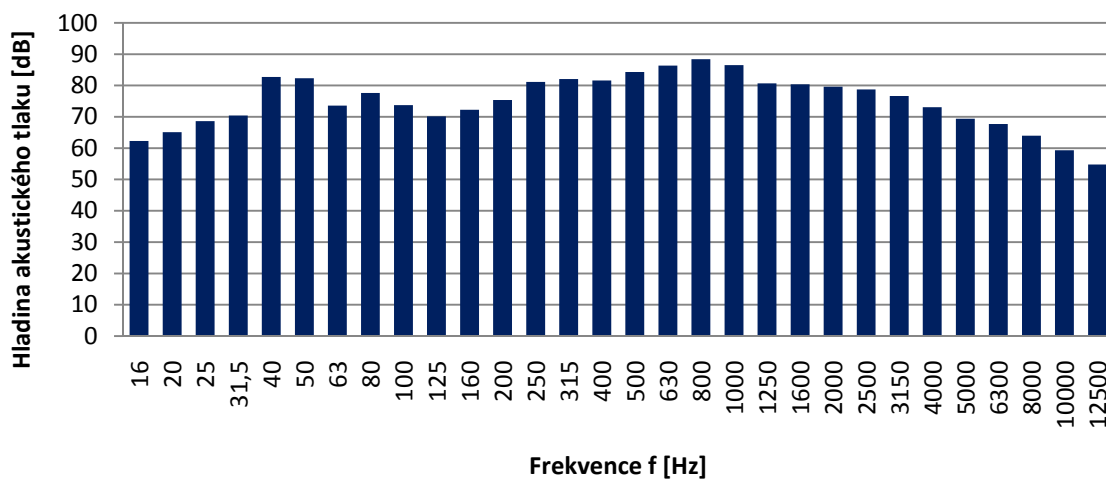
Graf C.2.9 Nákladní - lokomotiva 742; 9 vozů; v = 54 - 59 km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.2.10 Nákladní - lokomotiva 742; 9 vozů; v = 54 - 59 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

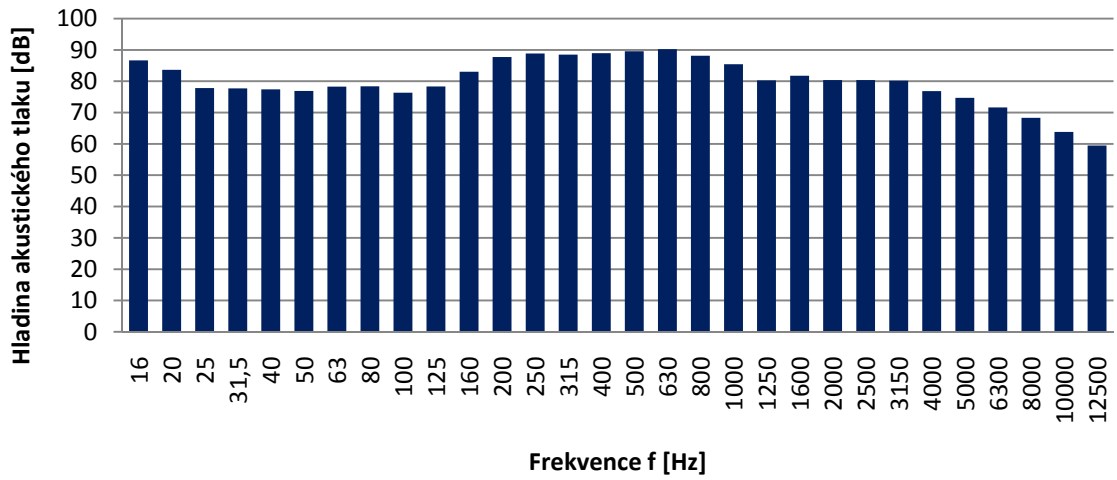


Graf C.2.11 Nákladní - lokomotiva 742; 9 vozů; v = 54 - 59 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

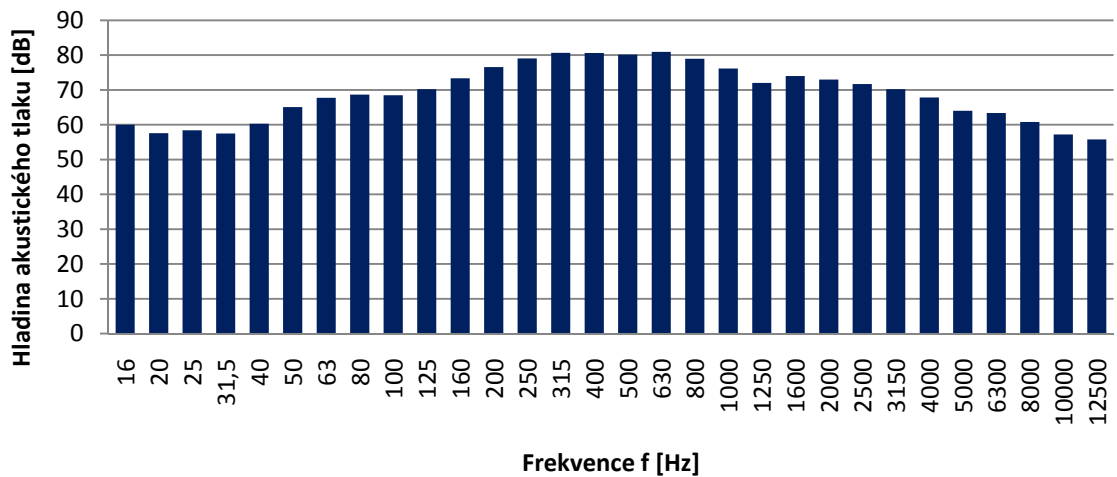


Graf C.2.12 Nákladní - lokomotiva 742; 9 vozů; v = 54 - 59 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

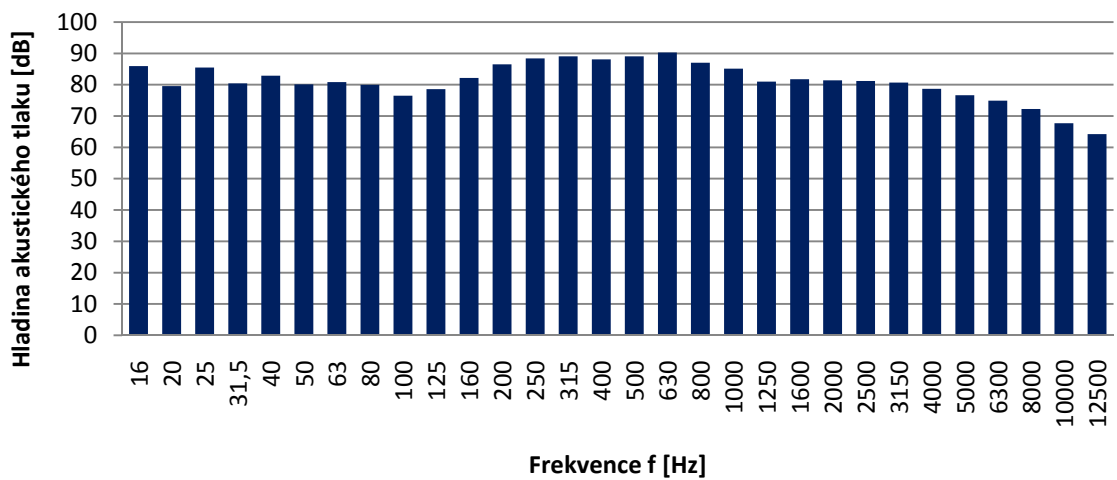
**Nákladní vlak - lokomotiva 363; 9 vozů; v = 45 km/h**



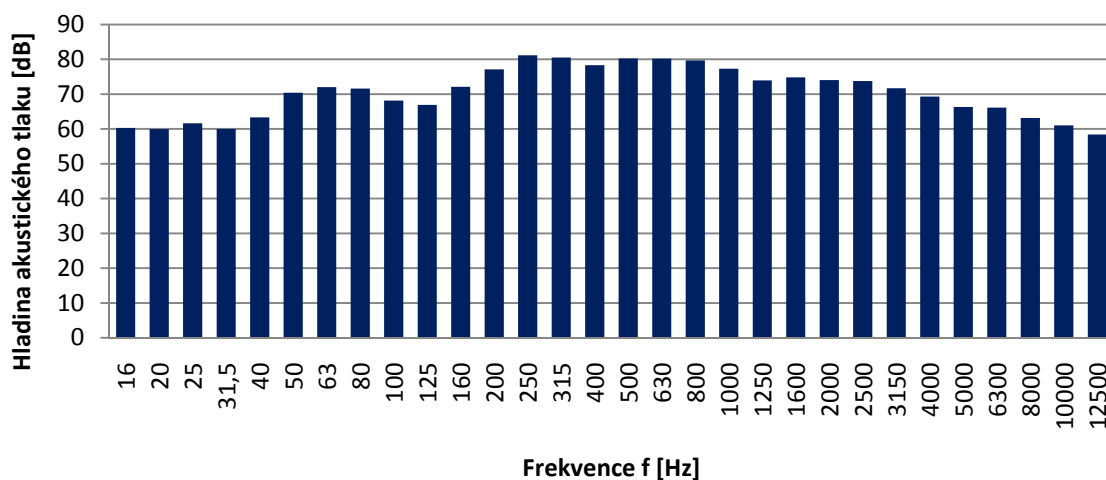
Graf C.2.13 Nákladní - lokomotiva 363; 9 vozů; v = 45 km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.2.14 Nákladní - lokomotiva 363; 9 vozů; v = 45 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

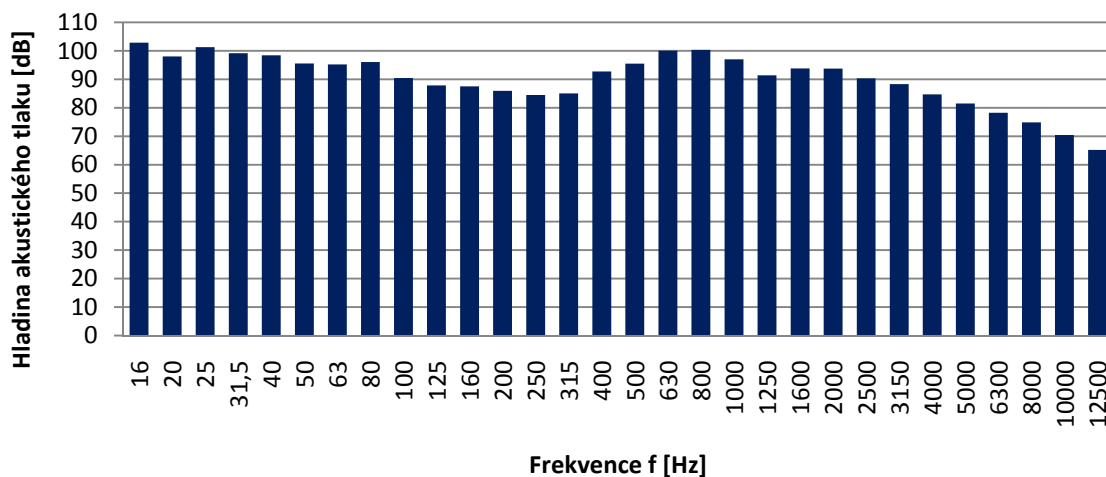


Graf C.2.15 Nákladní - lokomotiva 363; 9 vozů; v = 45 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

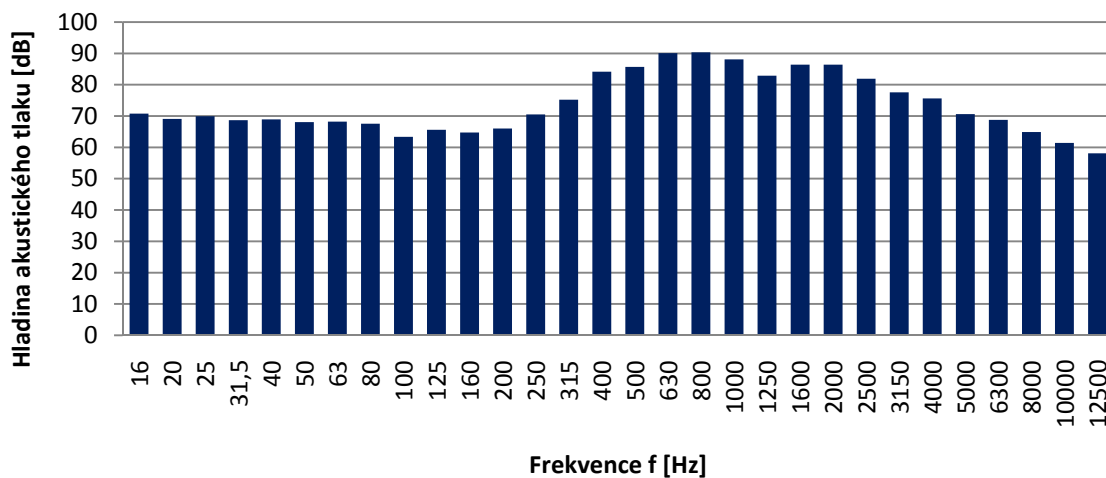


Graf C.2.16 Nákladní - lokomotiva 363; 9 vozů; v = 45 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

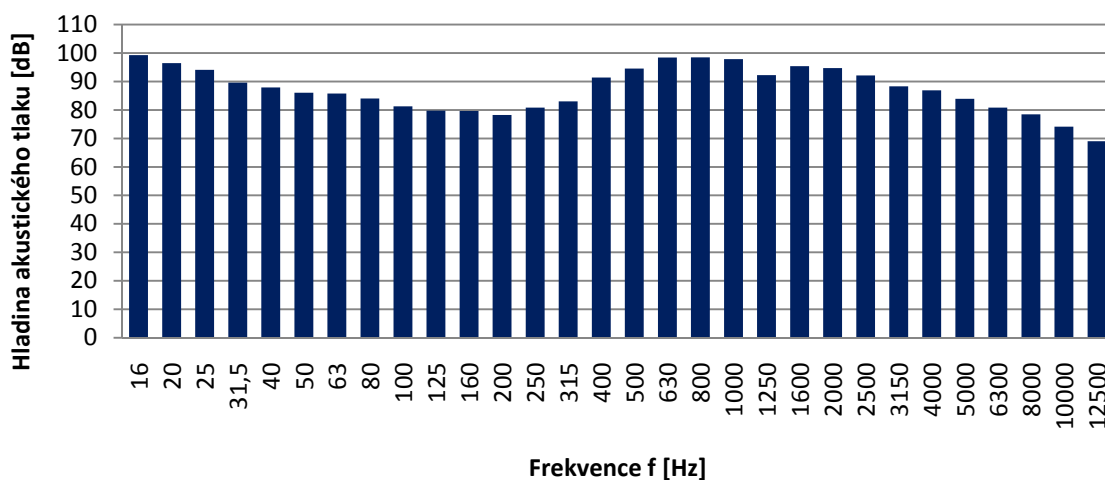
**Rychlík (R) - lokomotiva 150; 5 vozů; v = 108 km/h**



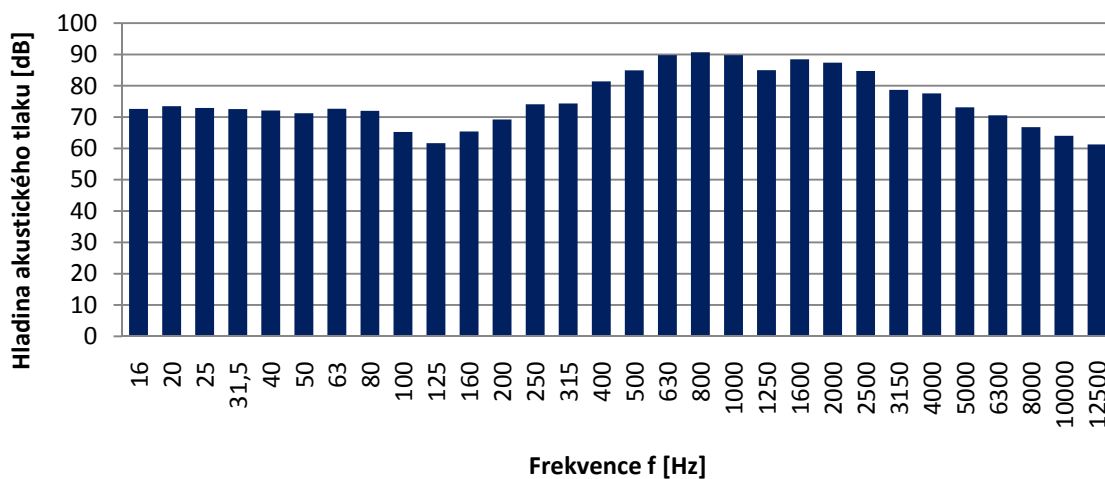
Graf C.2.17 Rychlík (R) - lokomotiva 150; 5 vozů; v = 108 km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.2.18 Rychlík (R) - lokomotiva 150; 5 vozů; v = 108 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

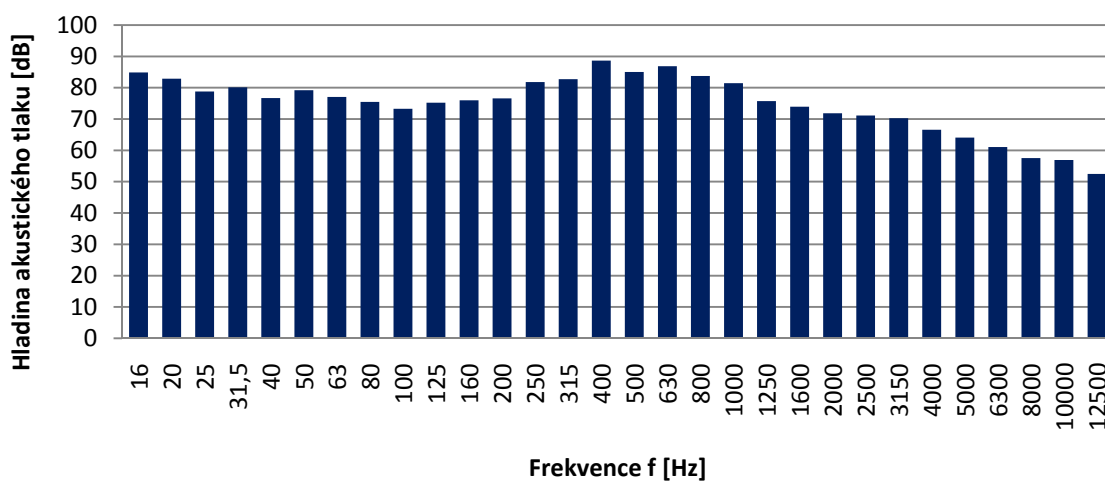


Graf C.2.19 Rychlík (R) - lokomotiva 150; 5 vozů; v = 108 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

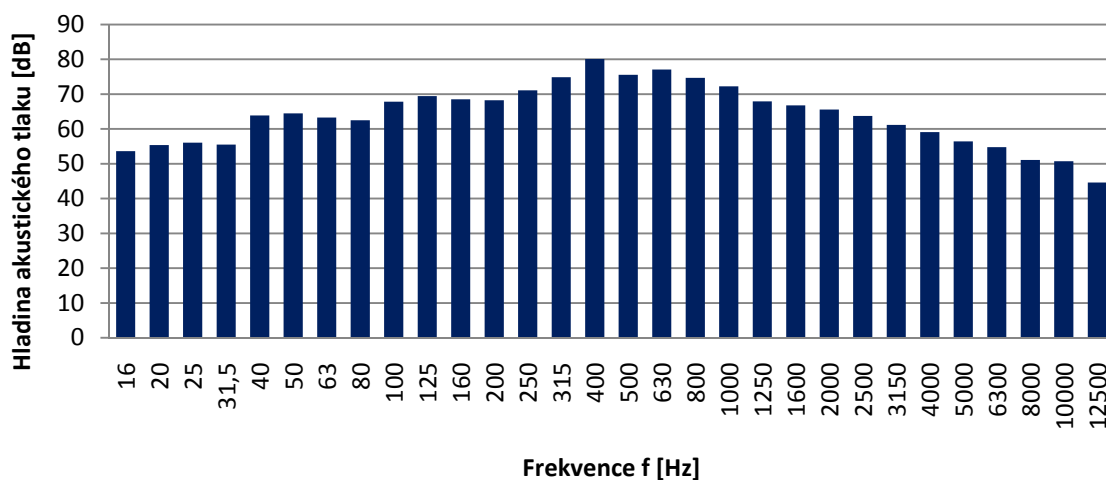


Graf C.2.20 Rychlík (R) - lokomotiva 150; 5 vozů; v = 108 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

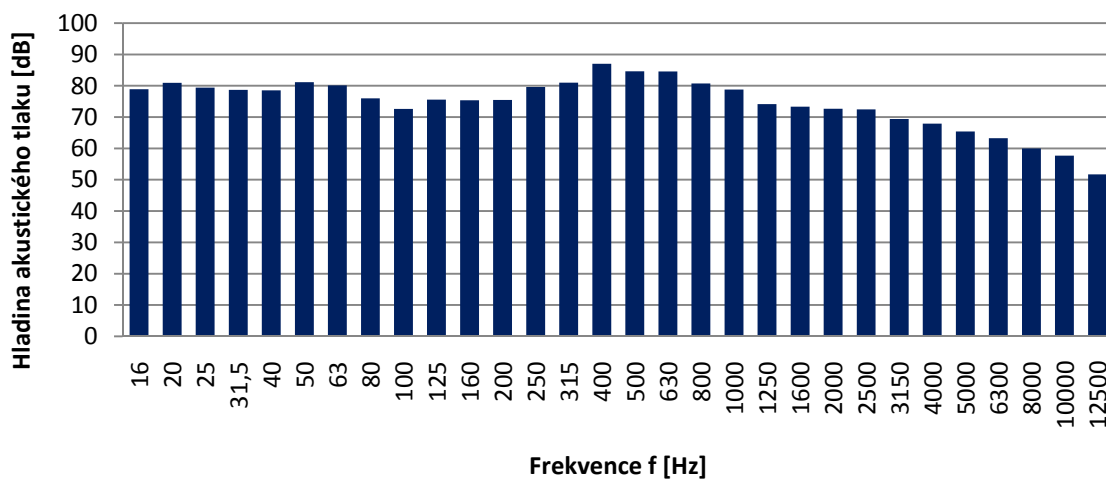
Lokomotivní vlak (Lv) - lokomotiva ASP; 1 vůz; v = 55 km/h



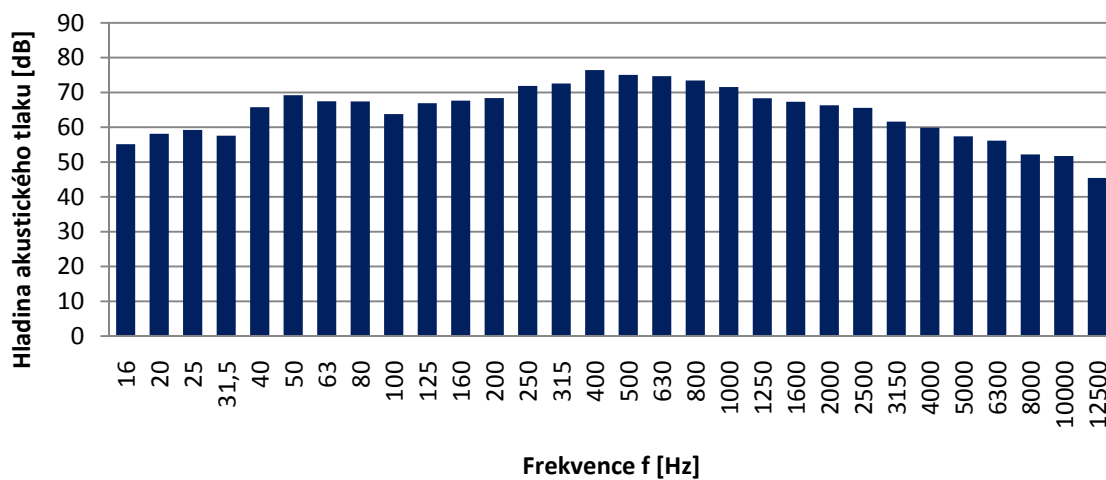
Graf C.2.21 Lokomotivní (Lv) - ASP; 1 vůz; v = 55 km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.2.22 Lokomotivní (Lv) - ASP; 1 vůz; v = 55 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

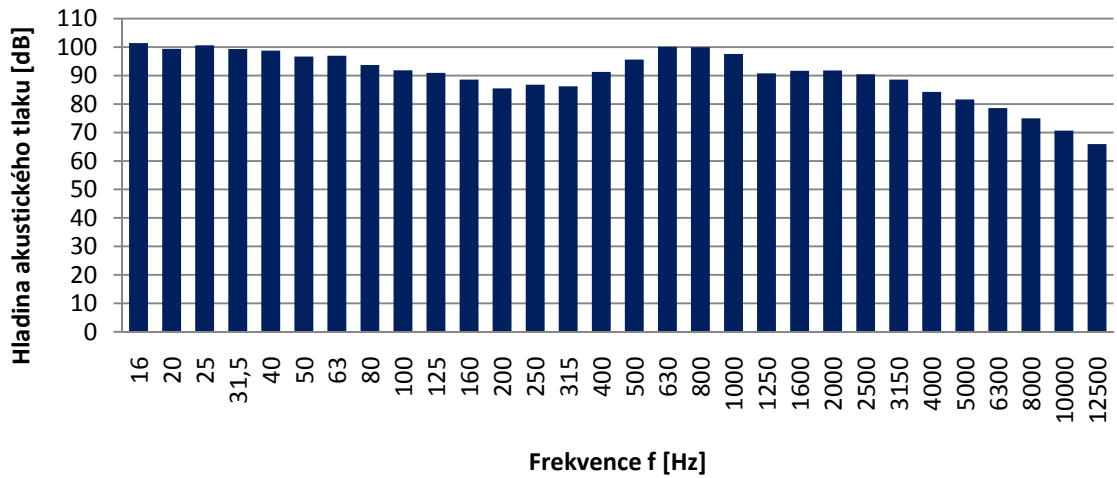


Graf C.2.23 Lokomotivní (Lv) - ASP; 1 vůz; v = 55 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

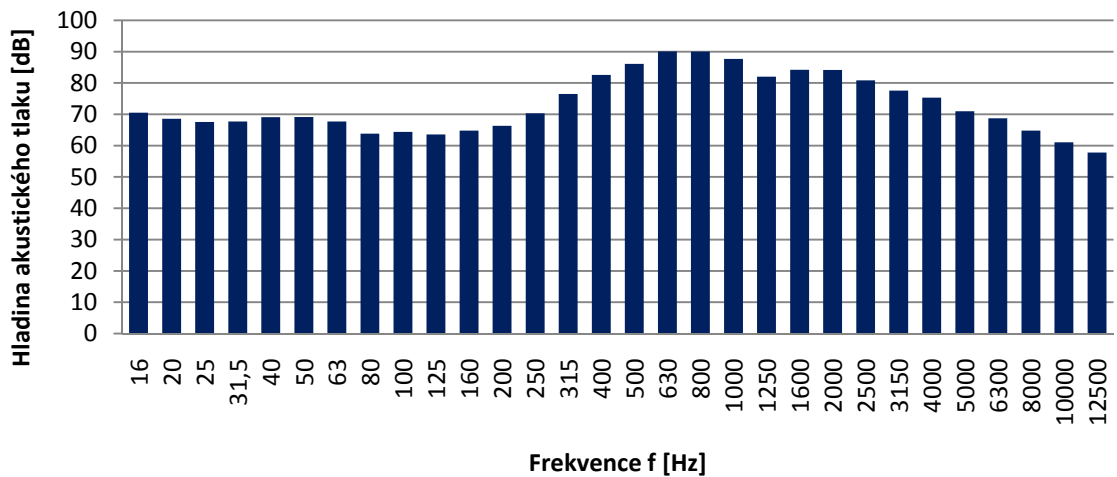


Graf C.2.24 Lokomotivní (Lv) - ASP; 1 vůz; v = 55 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

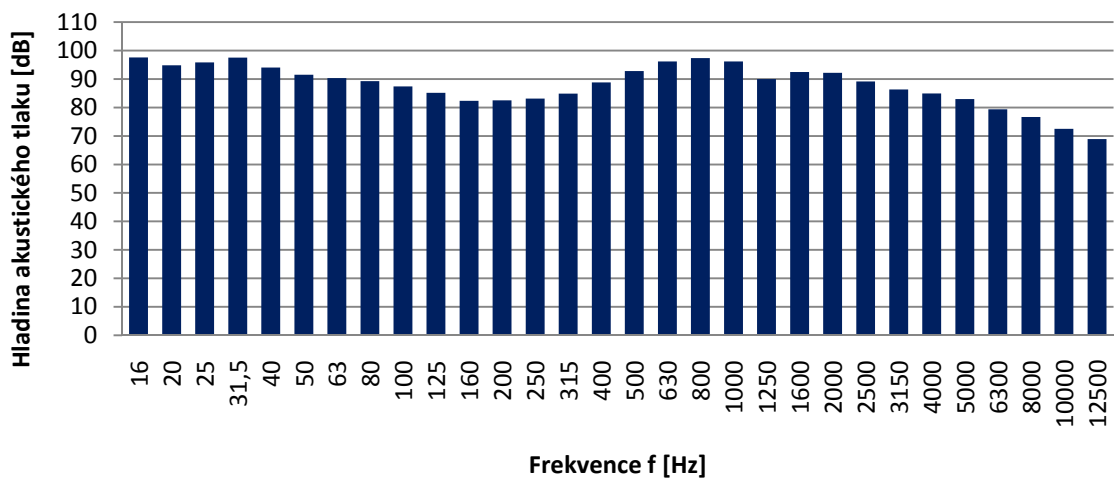
**Rychlík (R) - lokomotiva 362; 5 vozů; v = 100 km/h**



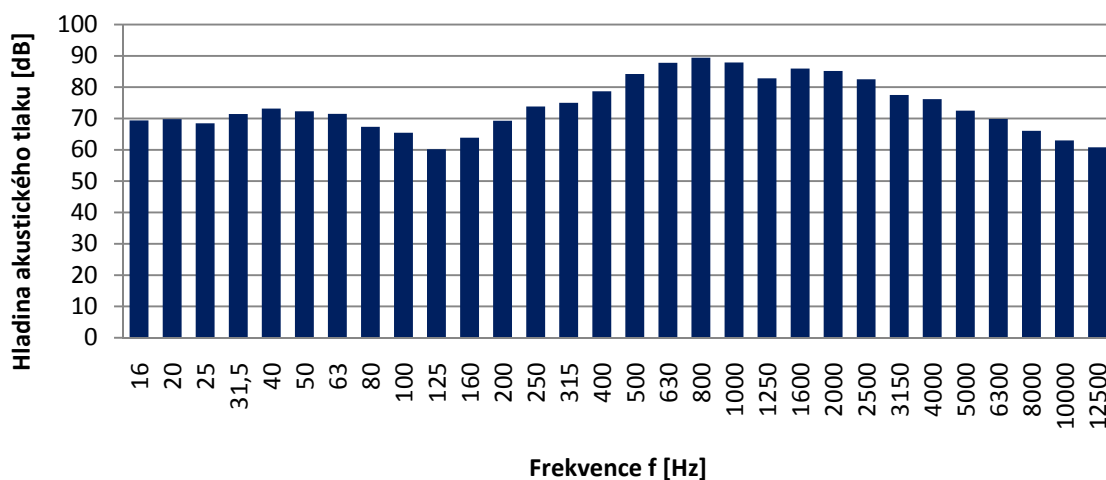
Graf C.2.25 Rychlík (R) - lokomotiva 362; 5 vozů; v = 100 km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.2.26 Rychlík (R) - lokomotiva 362; 5 vozů; v = 100 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

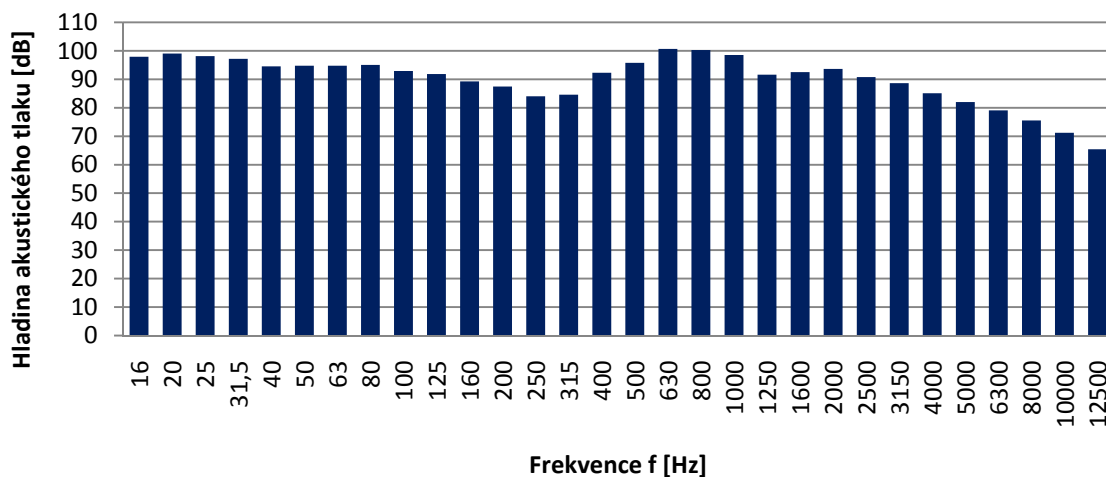


Graf C.2.27 Rychlík (R) - lokomotiva 362; 5 vozů; v = 100 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

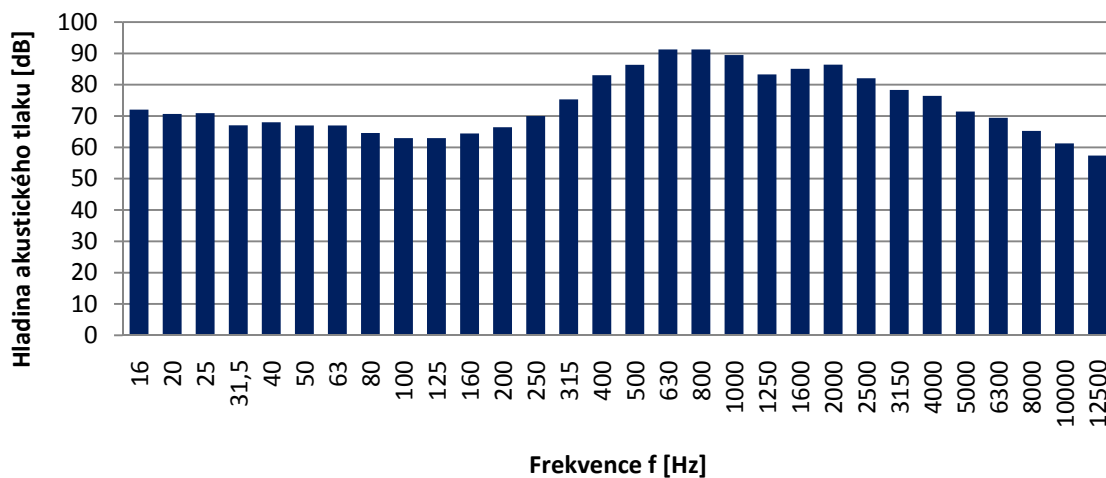


Graf C.2.28 Rychlík (R) - lokomotiva 362; 5 vozů; v = 100 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

**Rychlík (R) - lokomotiva 150; 5 vozů; v = 96 km/h**

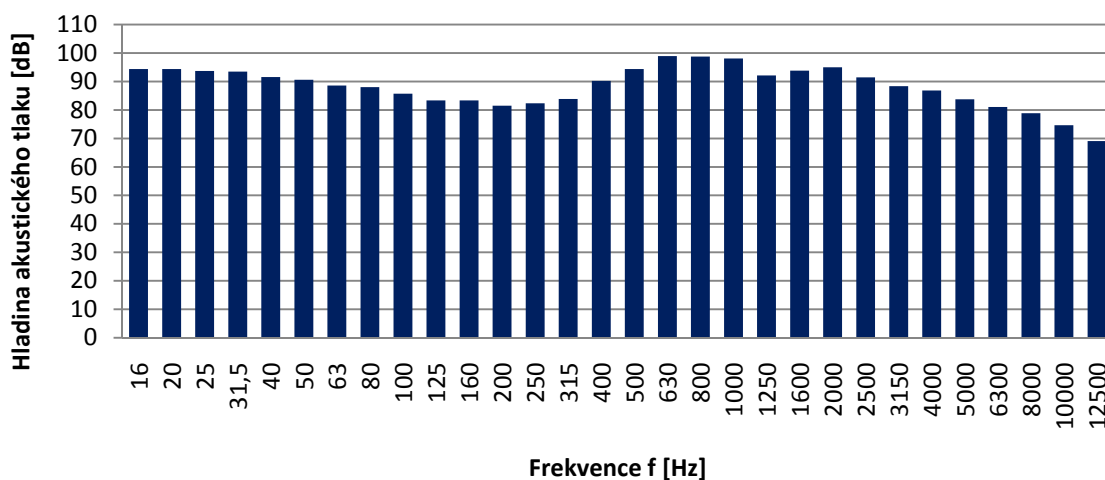


Graf C.2.29 Rychlík (R) - lokomotiva 150; 5 vozů; v = 96 km/h; M8 (1,85 m; vnější)

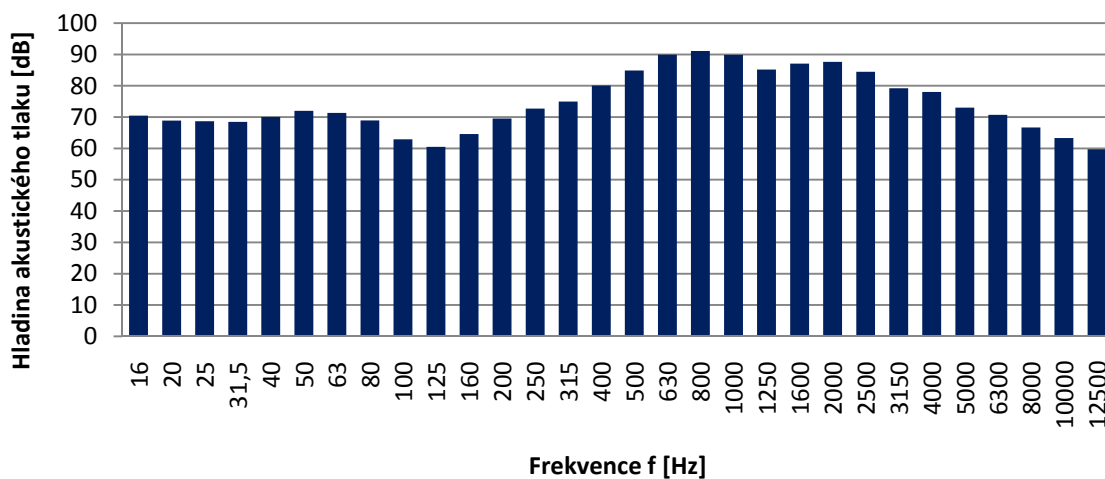


Graf C.2.30 Rychlík (R) - lokomotiva 150; 5 vozů; v = 96 km/h; M9 (7,5 m; vnější)



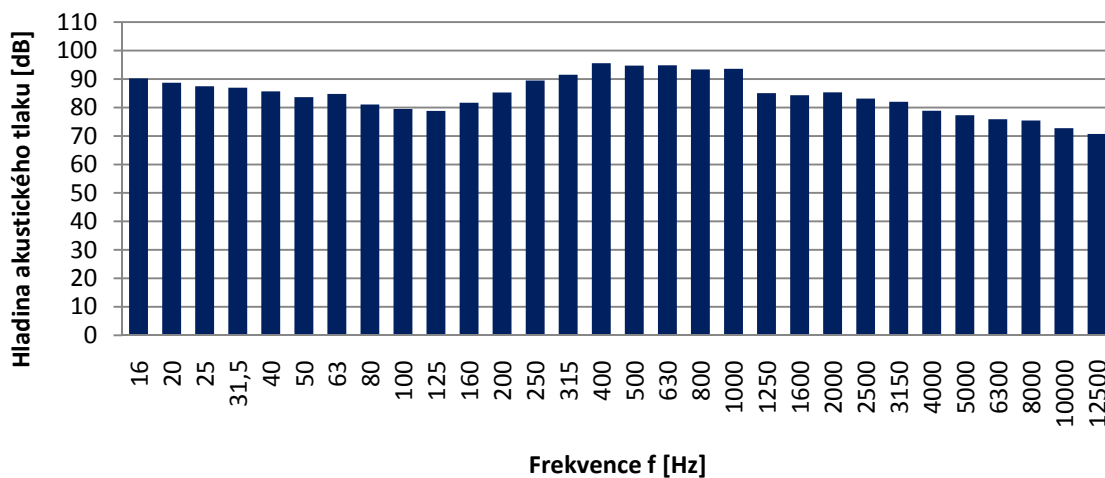


Graf C.2.31 Rychlík (R) - lokomotiva 150; 5 vozů; v = 96 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

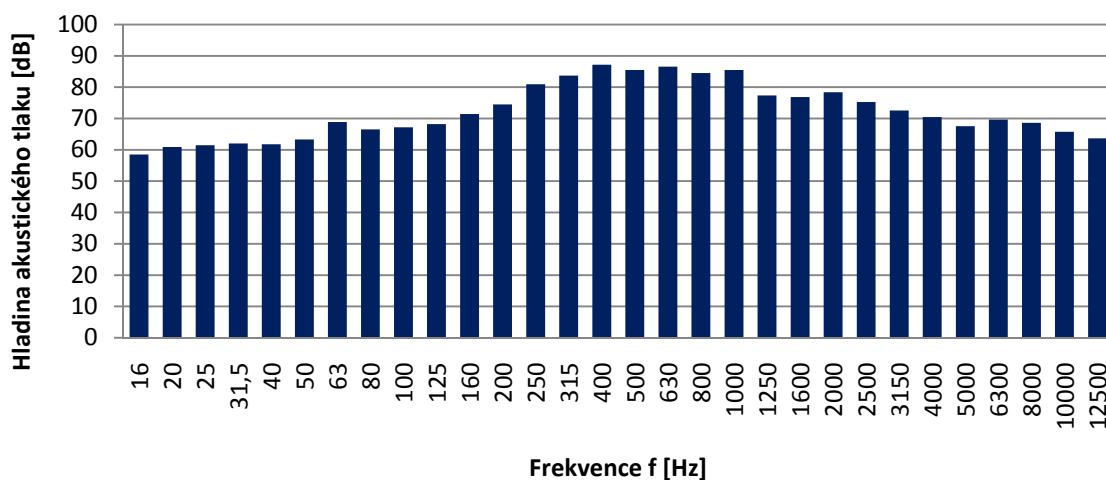


Graf C.2.32 Rychlík (R) - lokomotiva 150; 5 vozů; v = 96 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

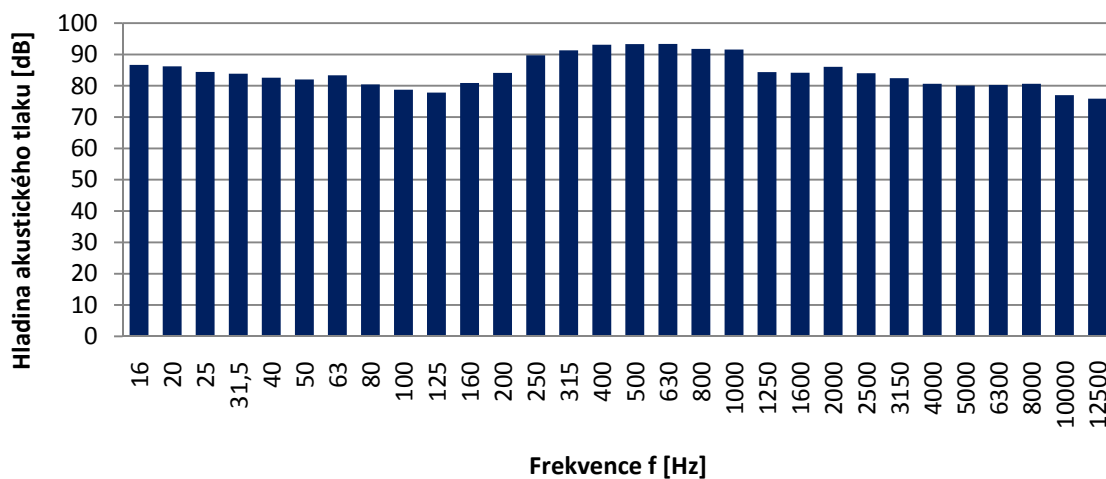
Nákladní vlak - lokomotivy 189, 742, 742; 27 vozů; v = 46 km/h



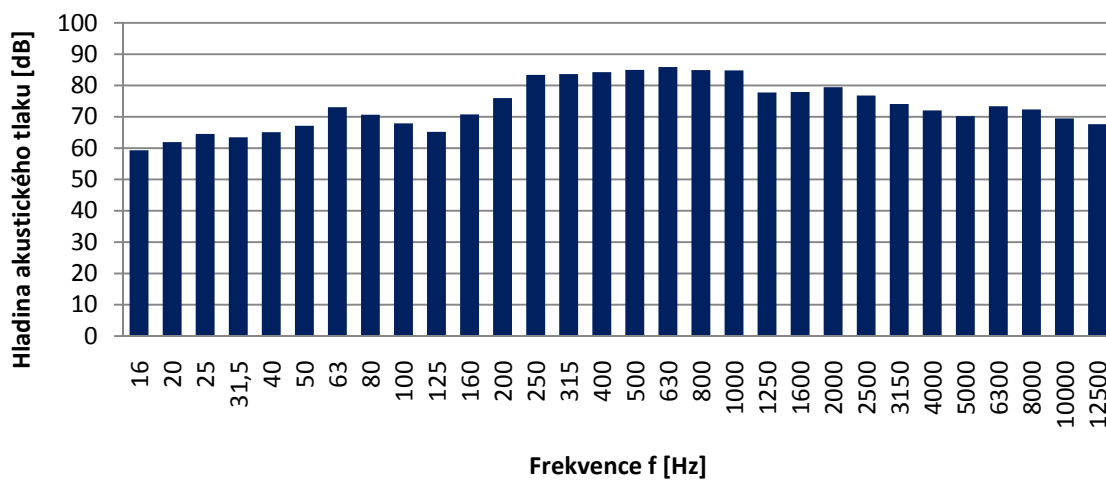
Graf C.2.33 Nákladní - 189, 742, 742; 27 vozů; v = 46 km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.2.34 Nákladní - 189, 742, 742; 27 vozů; v = 46 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

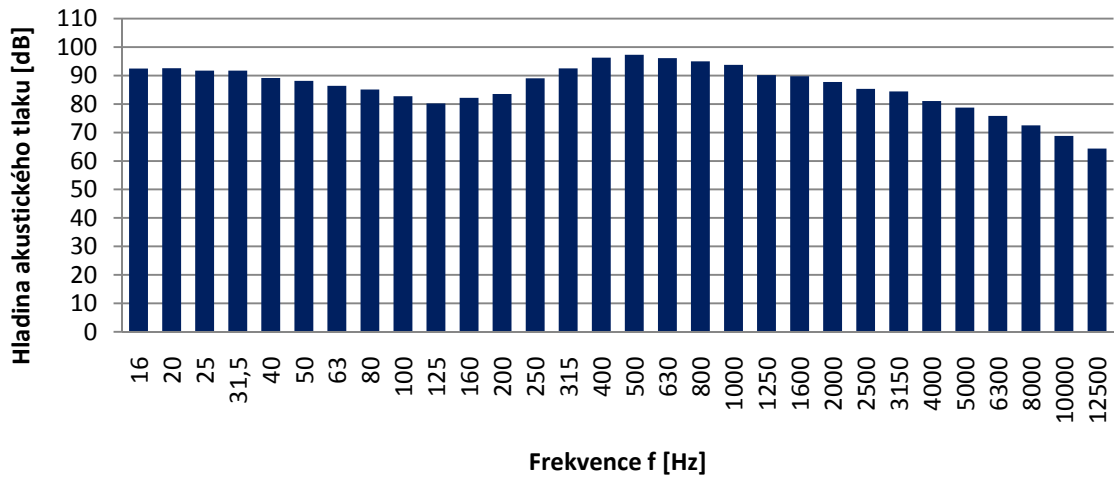


Graf C.2.35 Nákladní - 189, 742, 742; 27 vozů; v = 46 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

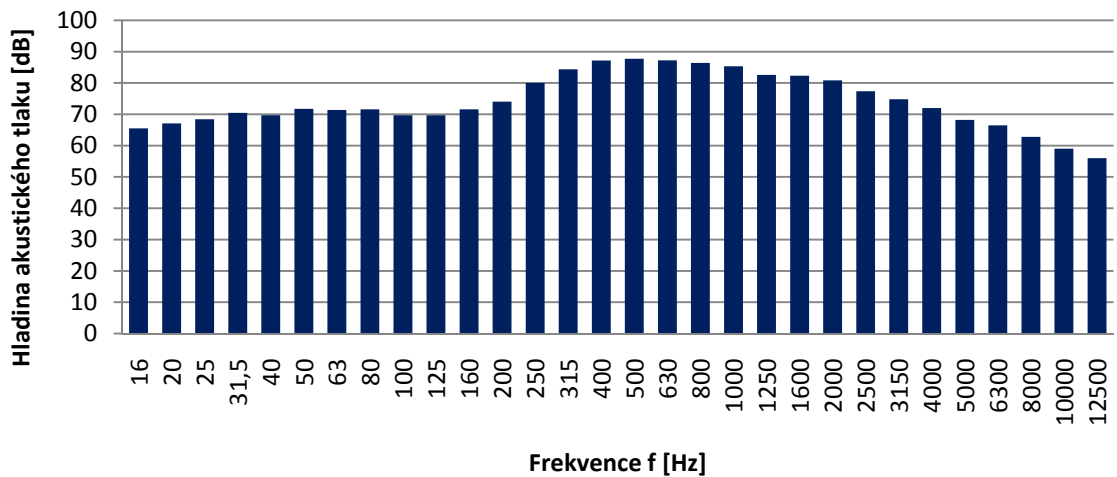


Graf C.2.36 Nákladní - 189, 742, 742; 27 vozů; v = 46 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

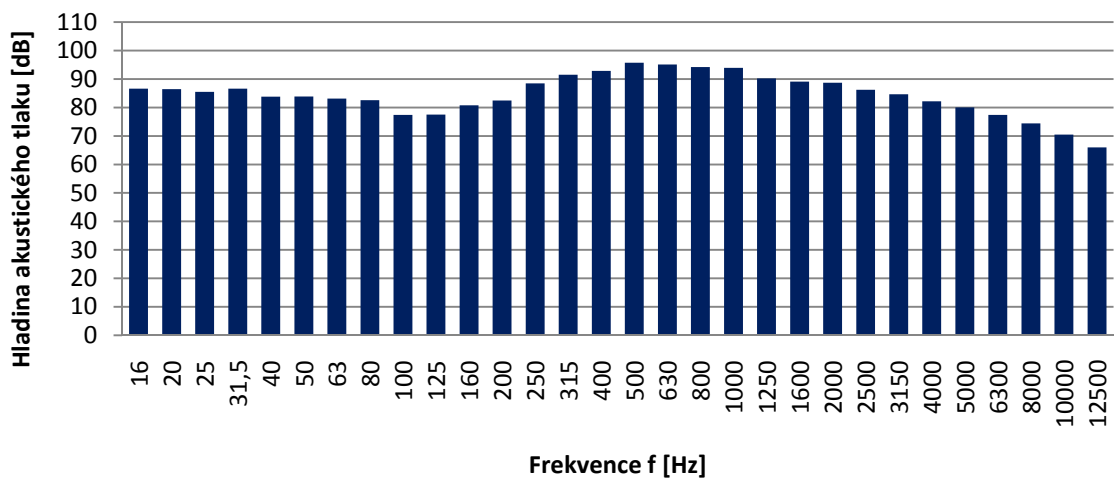
**Nákladní vlak - lokomotiva 363; 32 vozů; v = 58 km/h**



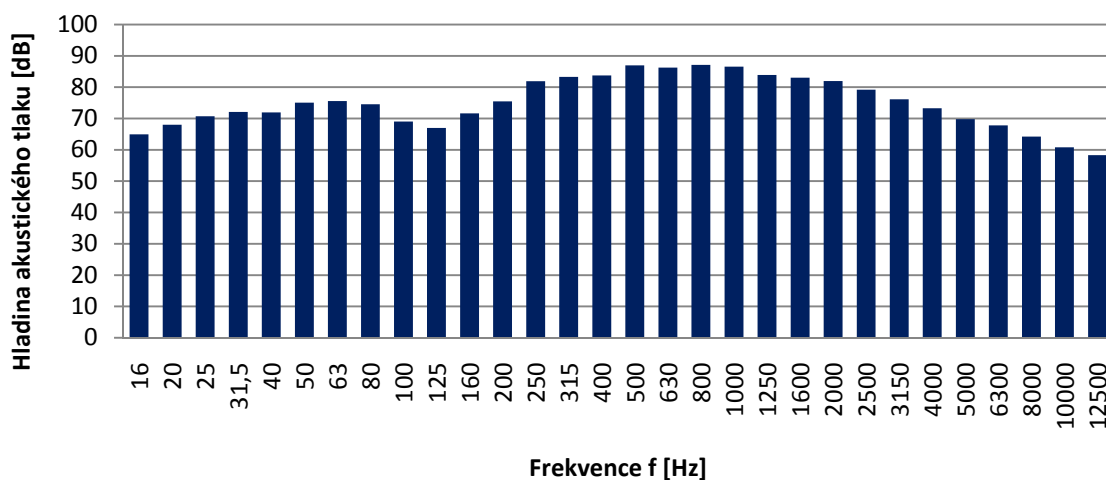
Graf C.2.37 Nákladní - lokomotiva 363; 32 vozů; v = 58 km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.2.38 Nákladní - lokomotiva 363; 32 vozů; v = 58 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

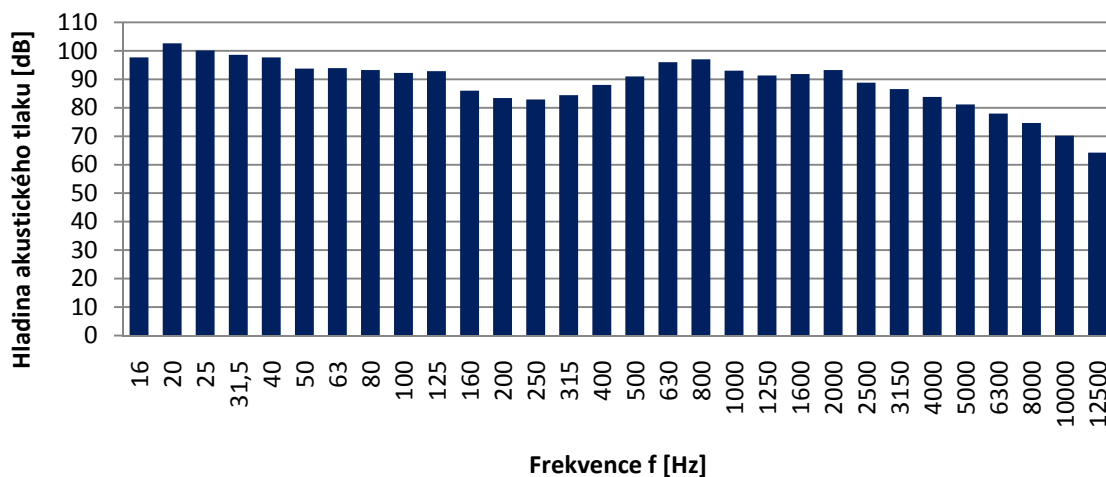


Graf C.2.39 Nákladní - lokomotiva 363; 32 vozů; v = 58 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

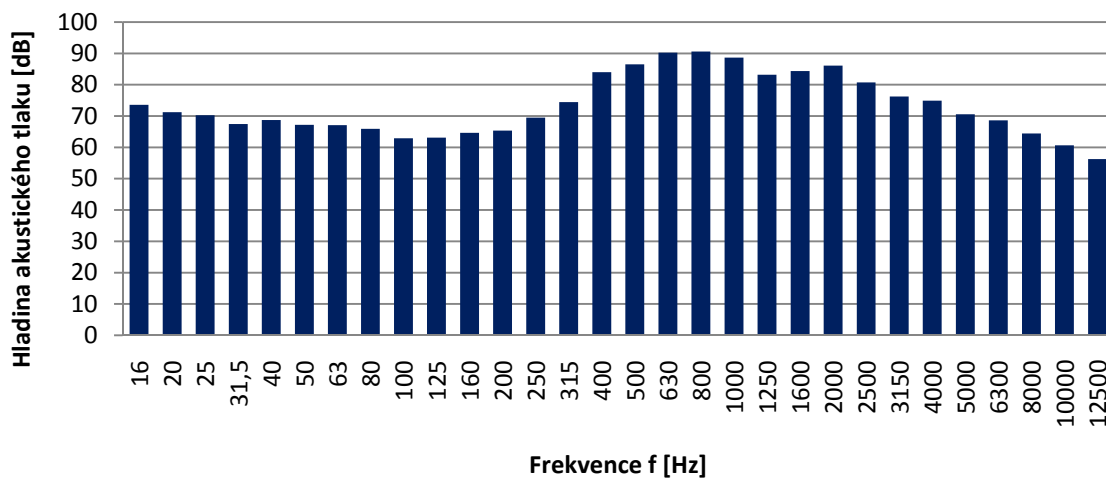


Graf C.2.40 Nákladní - lokomotiva 363; 32 vozů; v = 58 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

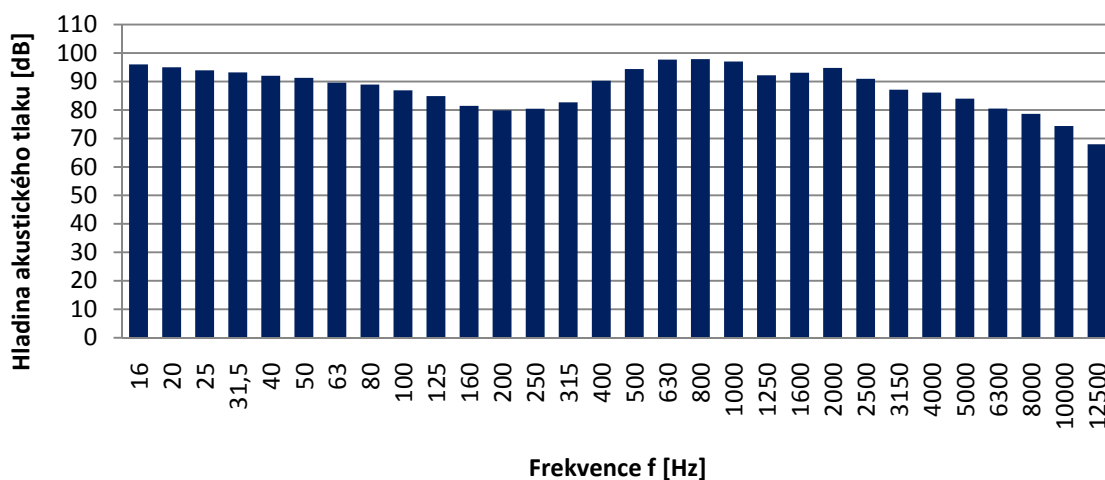
Rychlík (R) - lokomotiva 150; 5 vozů; v = 108 km/h



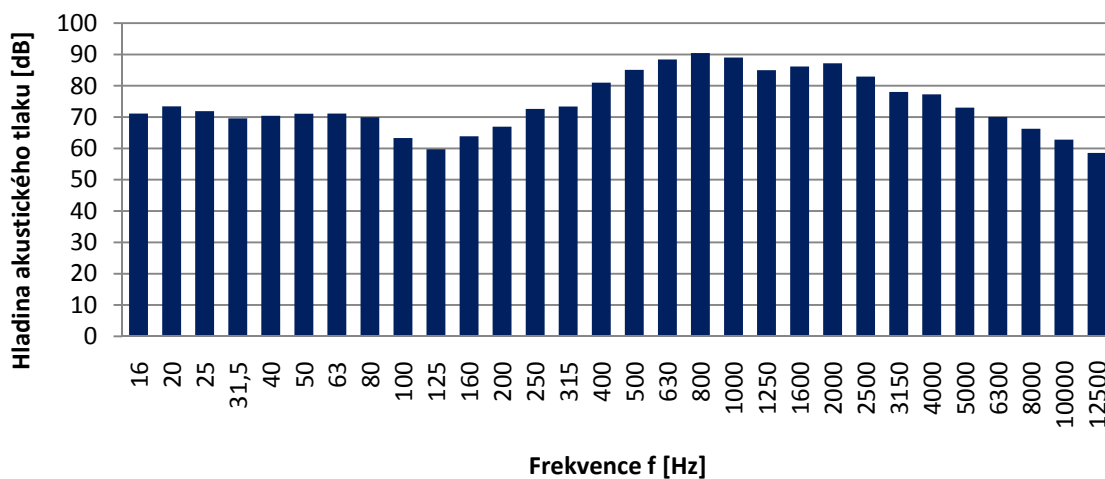
Graf C.2.41 Rychlík (R) - lokomotiva 150; 5 vozů; v = 108 km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.2.42 Rychlík (R) - lokomotiva 150; 5 vozů; v = 108 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

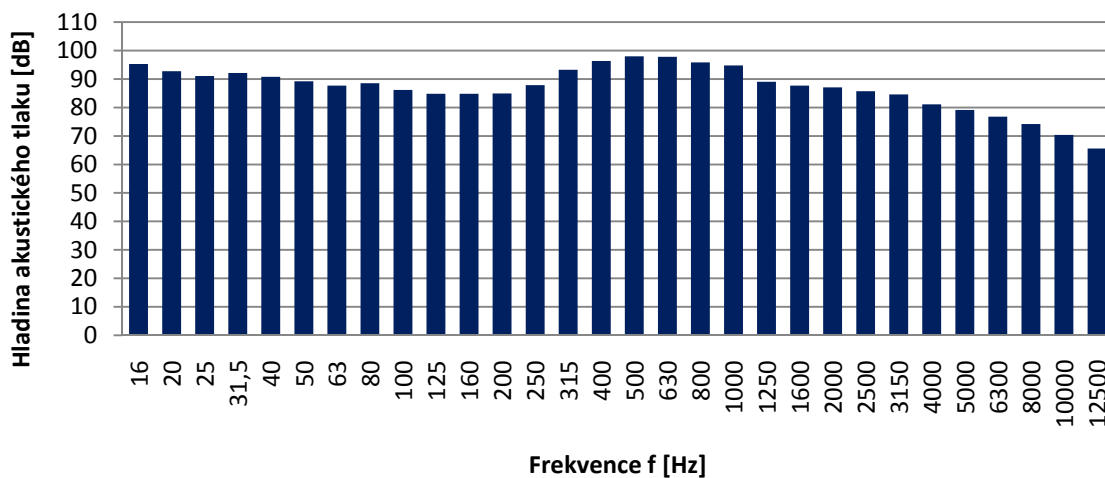


Graf C.2.43 Rychlík (R) - lokomotiva 150; 5 vozů; v = 108 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

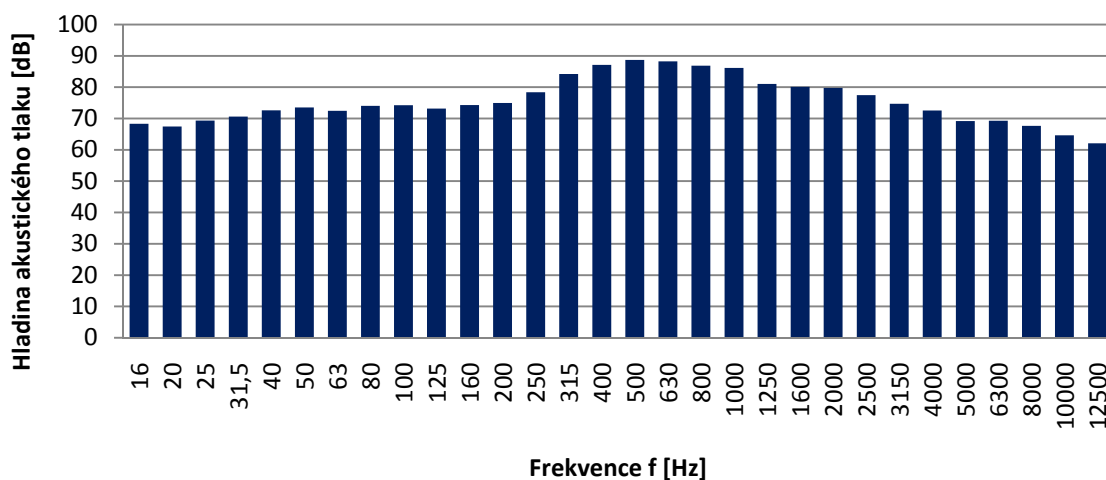


Graf C.2.44 Rychlík (R) - lokomotiva 150; 5 vozů; v = 108 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

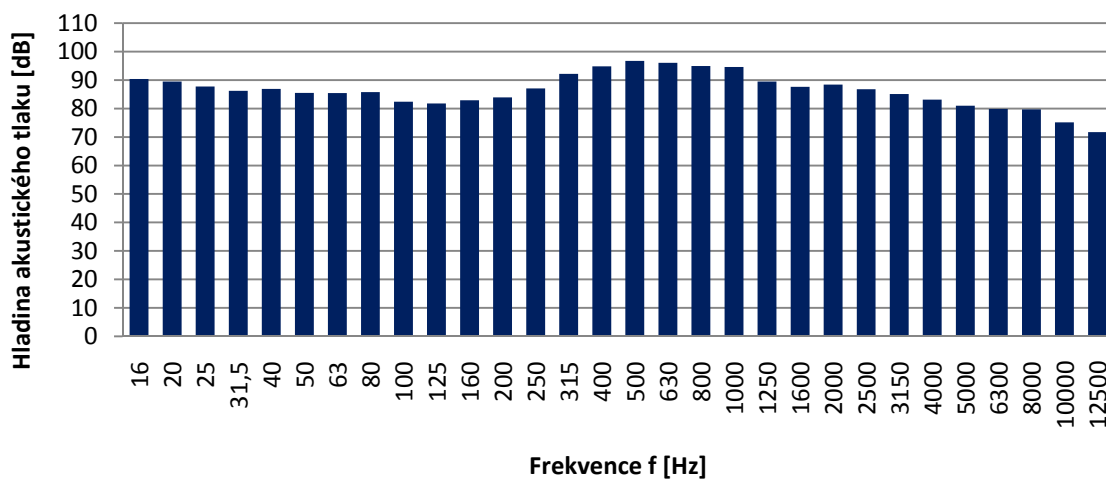
**Nákladní vlak - lokomotiva 363; 18 vozů; v = 65 km/h**



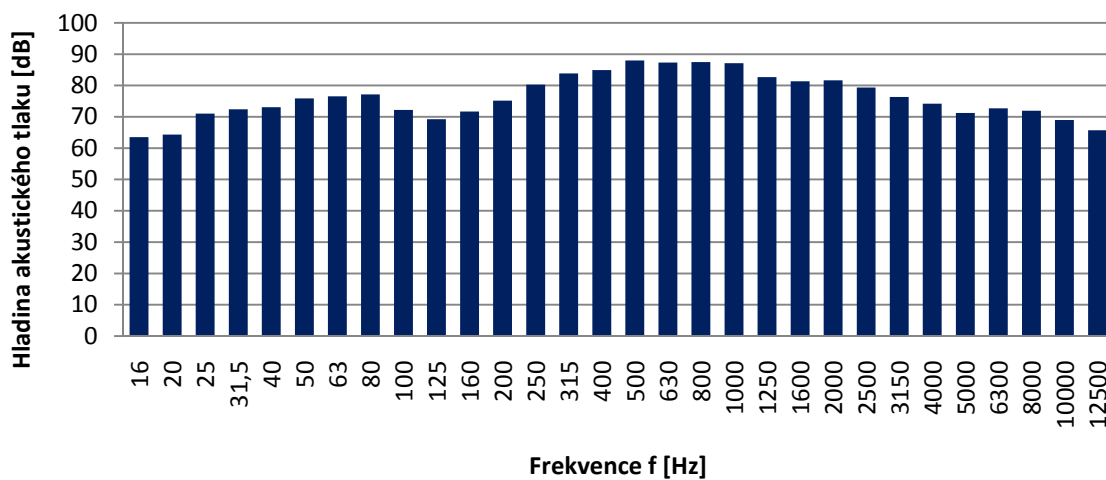
Graf C.2.45 Nákladní - lokomotiva 363; 18 vozů; v = 65 km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.2.46 Nákladní - lokomotiva 363; 18 vozů; v = 65 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

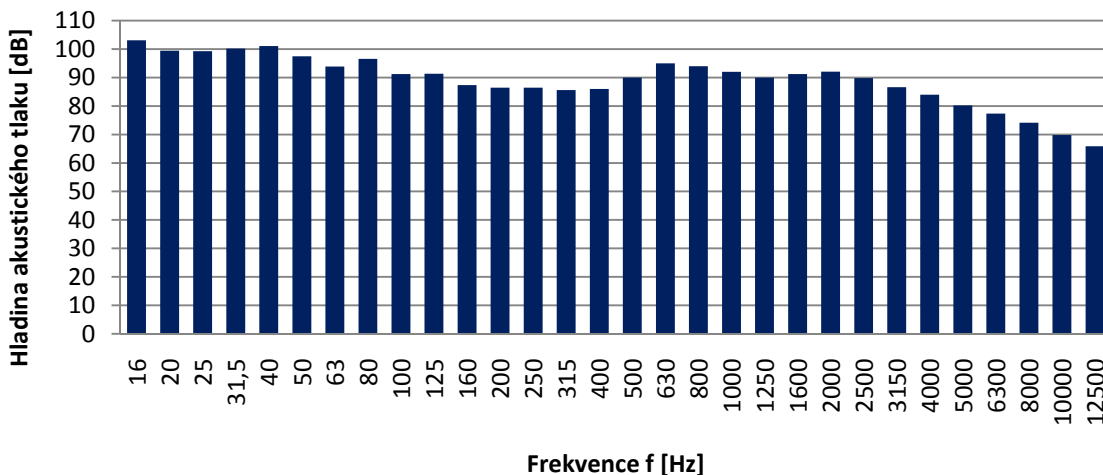


Graf C.2.47 Nákladní - lokomotiva 363; 18 vozů; v = 65 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

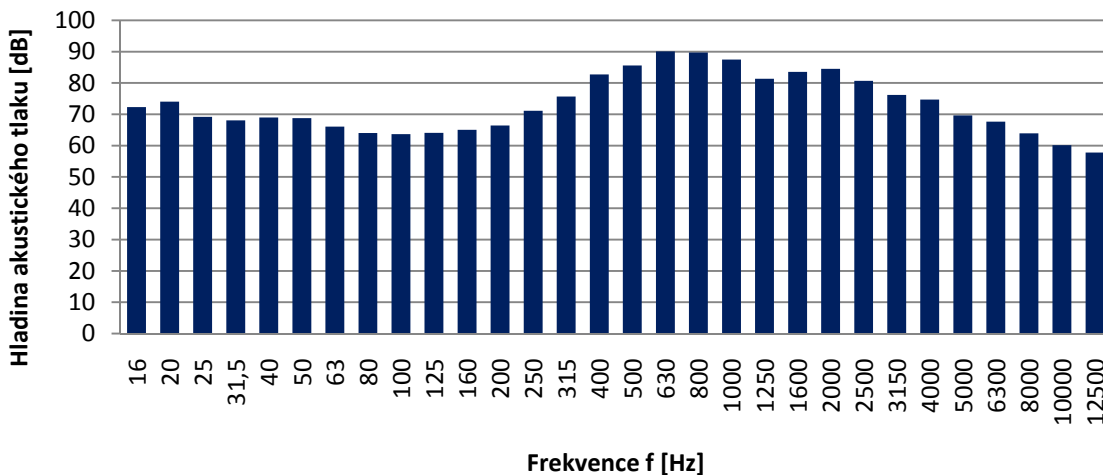


Graf C.2.48 Nákladní - lokomotiva 363; 18 vozů; v = 65 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

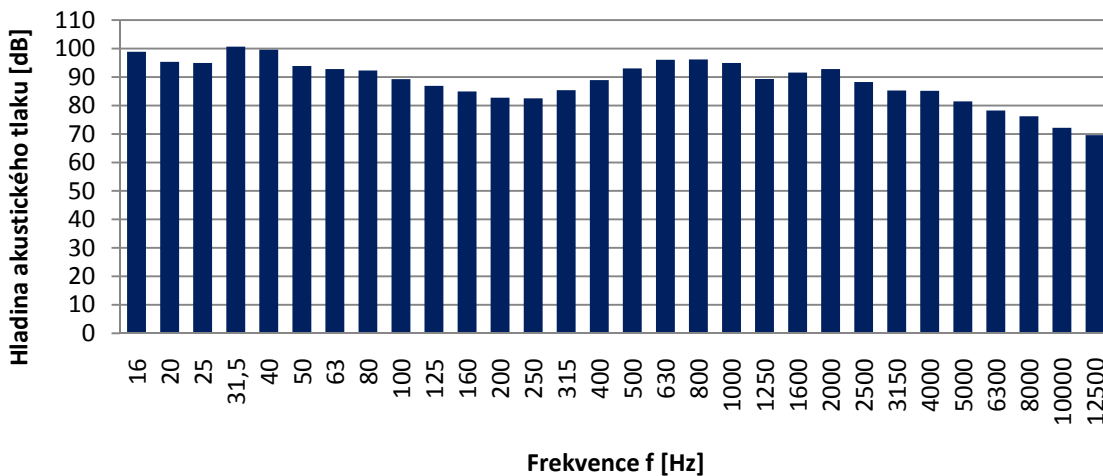
**Rychlík (R) - lokomotiva 362; 5 vozů; v = 110 km/h**



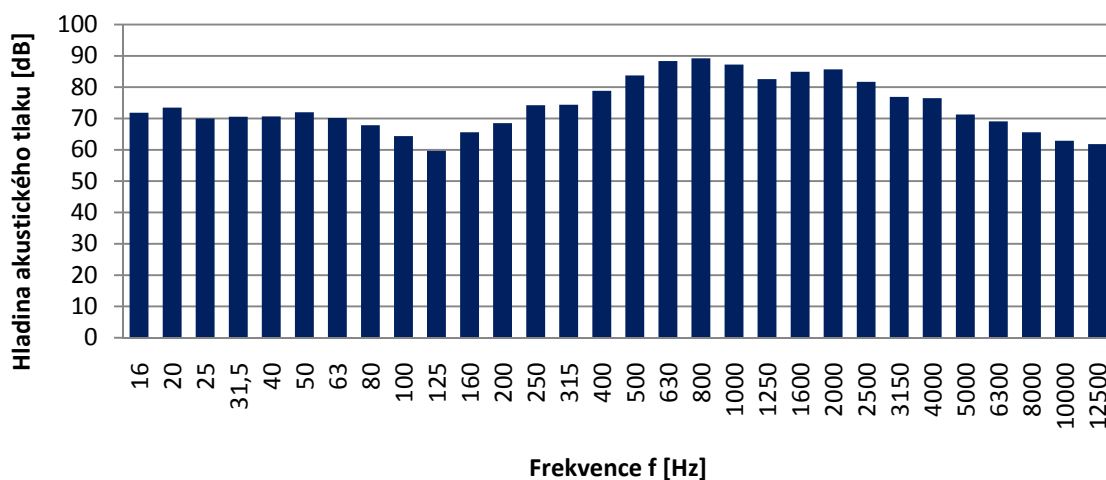
Graf C.2.49 Rychlík (R) - lokomotiva 362; 5 vozů; v = 110 km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.2.50 Rychlík (R) - lokomotiva 362; 5 vozů; v = 110 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

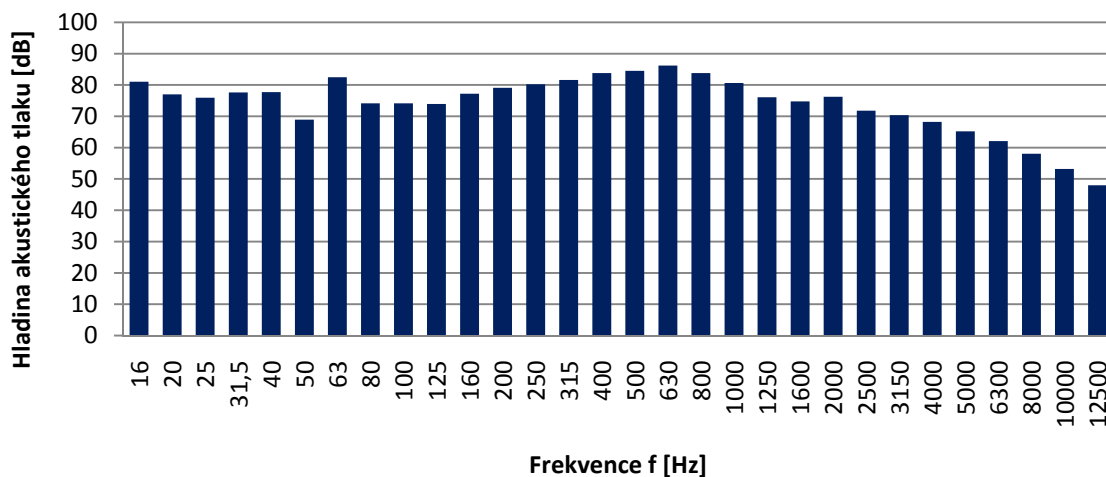


Graf C.2.51 Rychlík (R) - lokomotiva 362; 5 vozů; v = 110 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

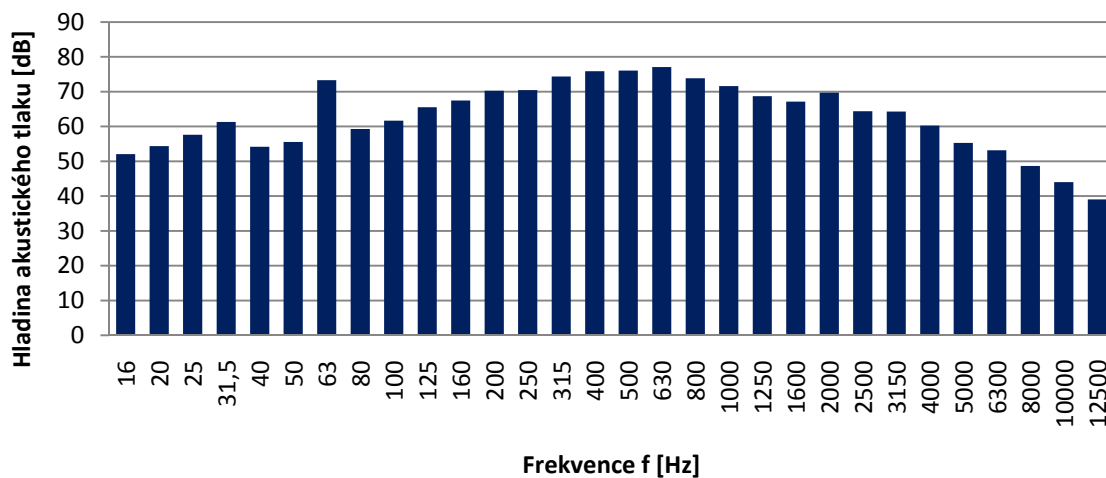


Graf C.2.52 Rychlík (R) - lokomotiva 362; 5 vozů; v = 110 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

MUV 77 - v = 57 km/h

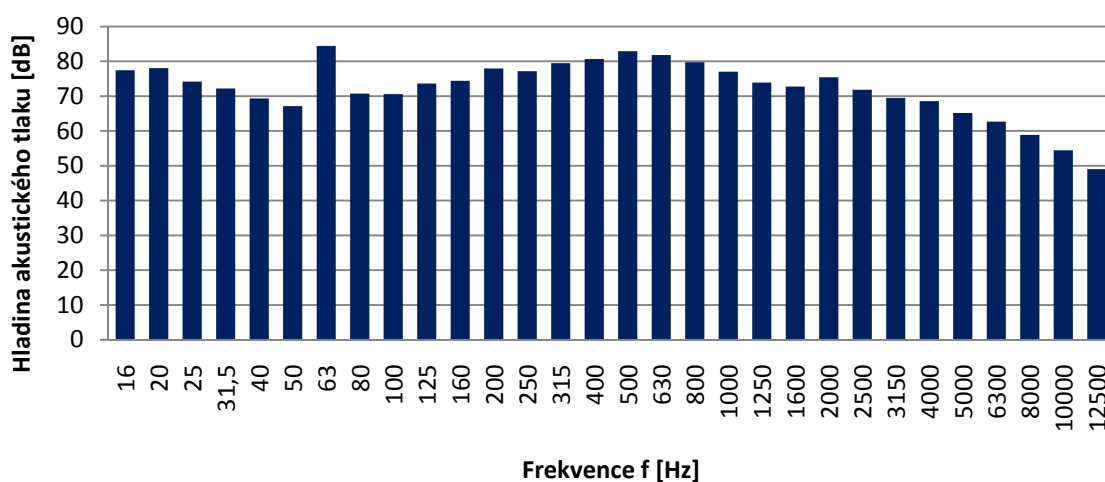


Graf C.2.53 MUV 77 - v = 57 km/h; M8 (1,85 m; vnější)

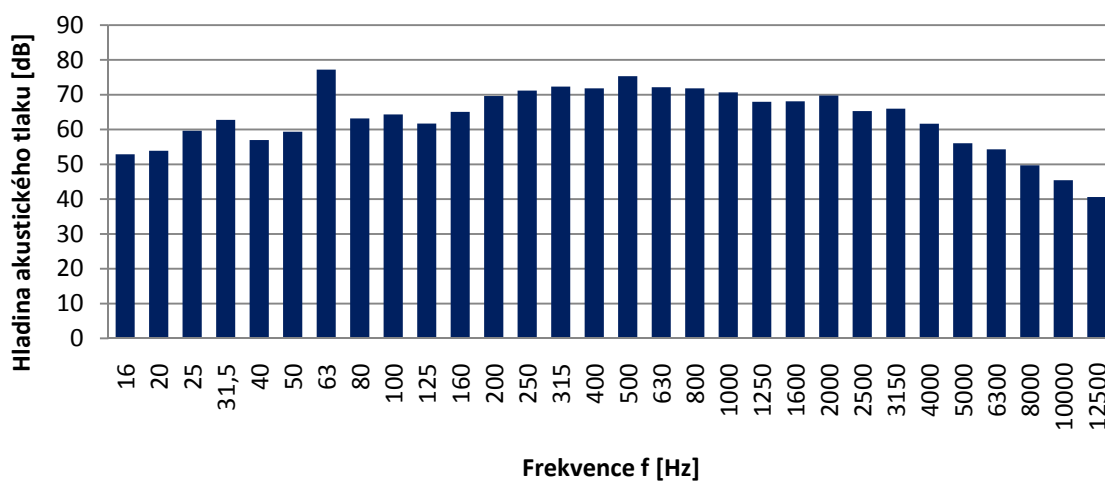


Graf C.2.54 MUV 77 - v = 57 km/h; M9 (7,5 m; vnější)



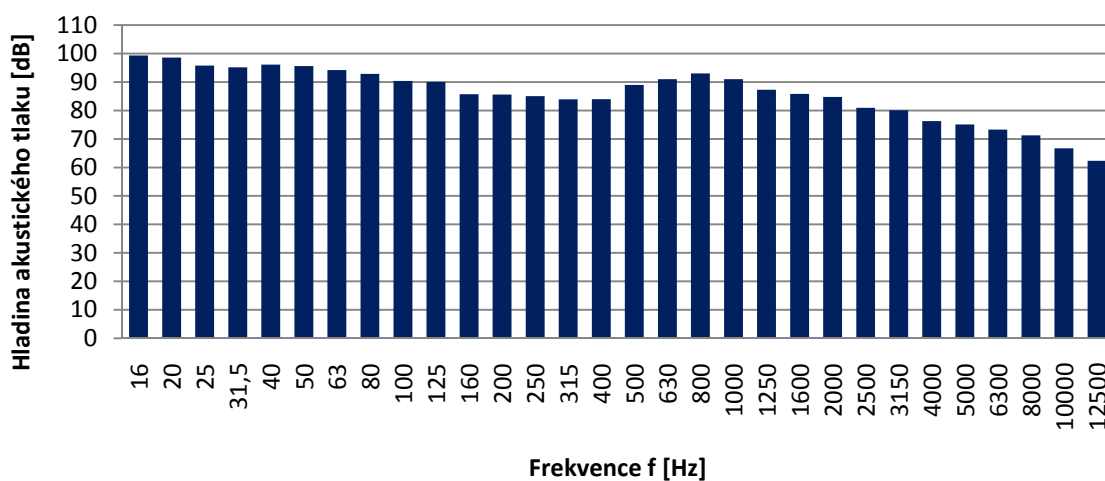


Graf C.2.55 MUV 77 - v = 57 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

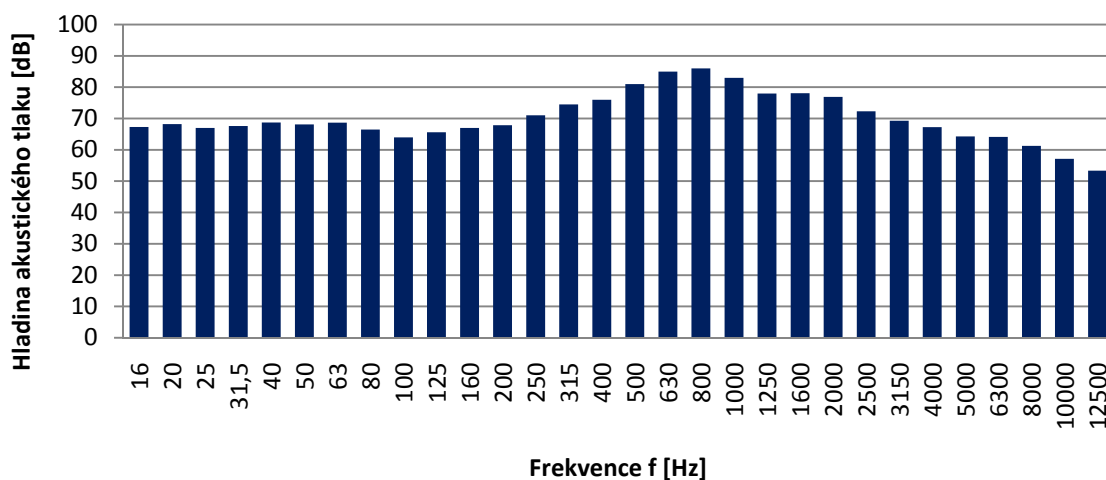


Graf C.2.56 MUV 77 - v = 57 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

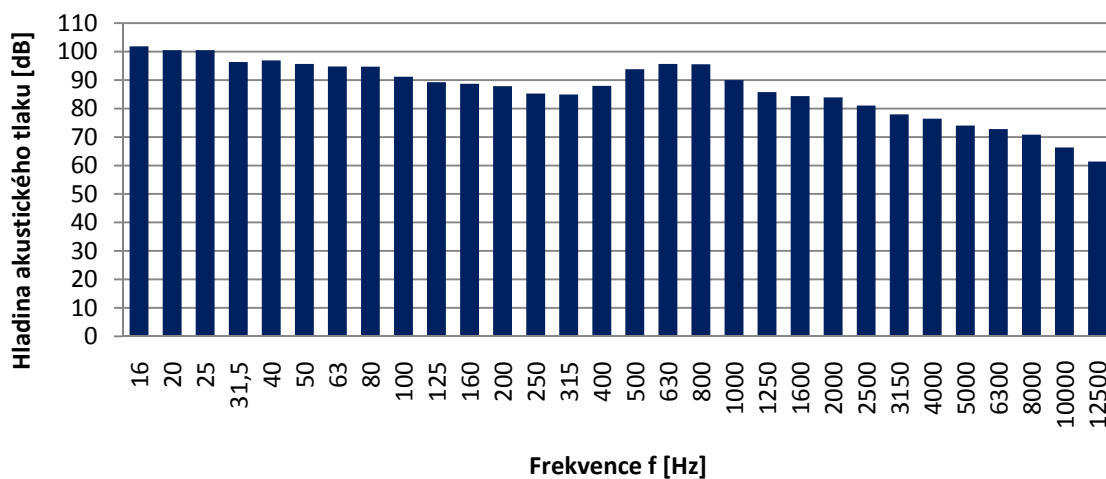
**EuroCity (EC) - lokomotiva 380; 6 vozů; v = 114 km/h**



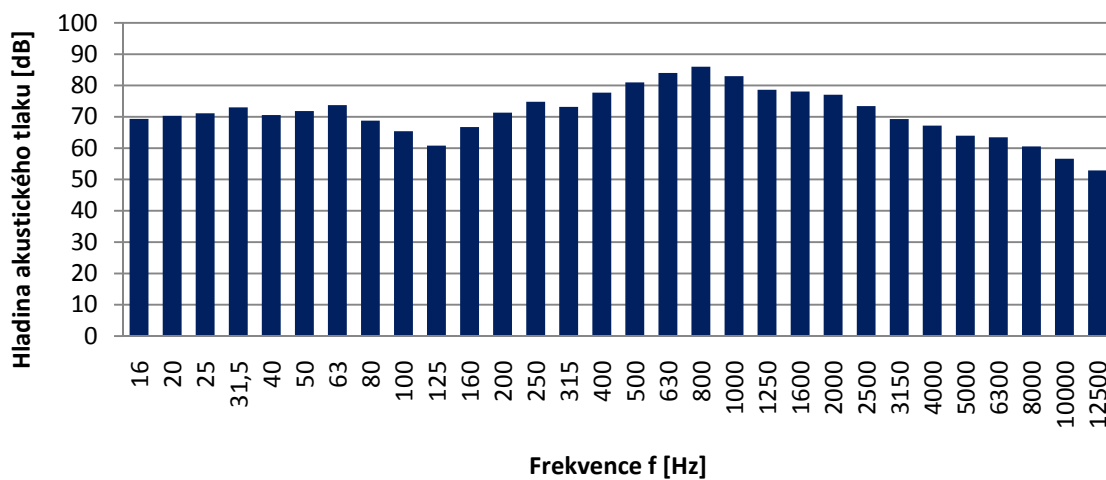
Graf C.2.57 EuroCity (EC) - lokomotiva 380; 6 vozů; v = 114 km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.2.58 EuroCity (EC) - lokomotiva 380; 6 vozů; v = 114 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

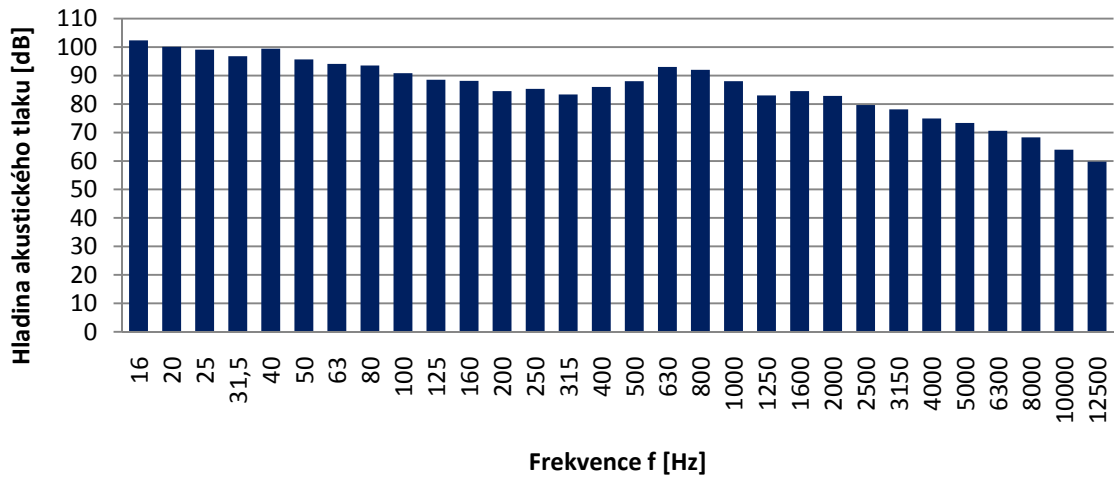


Graf C.2.59 EuroCity (EC) - lokomotiva 380; 6 vozů; v = 114 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

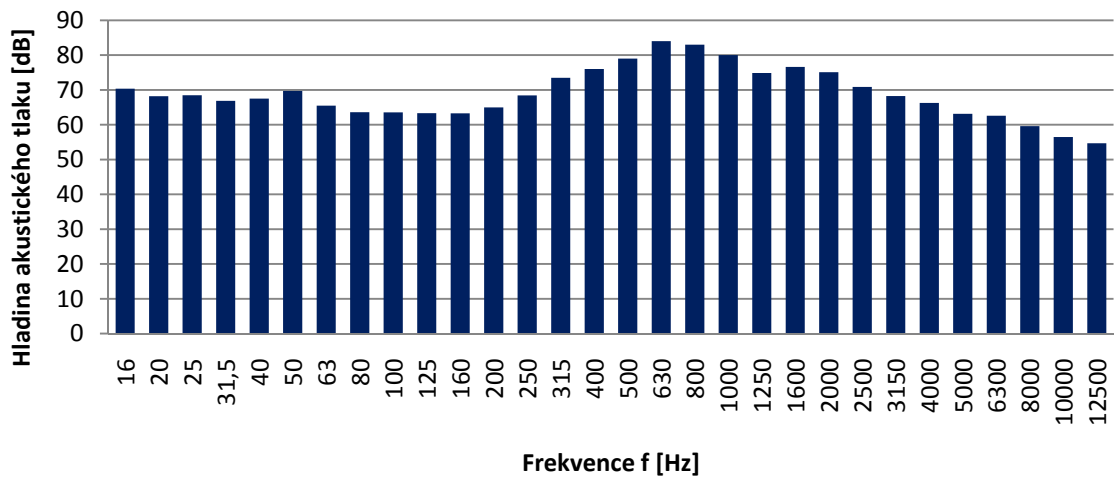


Graf C.2.60 EuroCity (EC) - lokomotiva 380; 6 vozů; v = 114 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

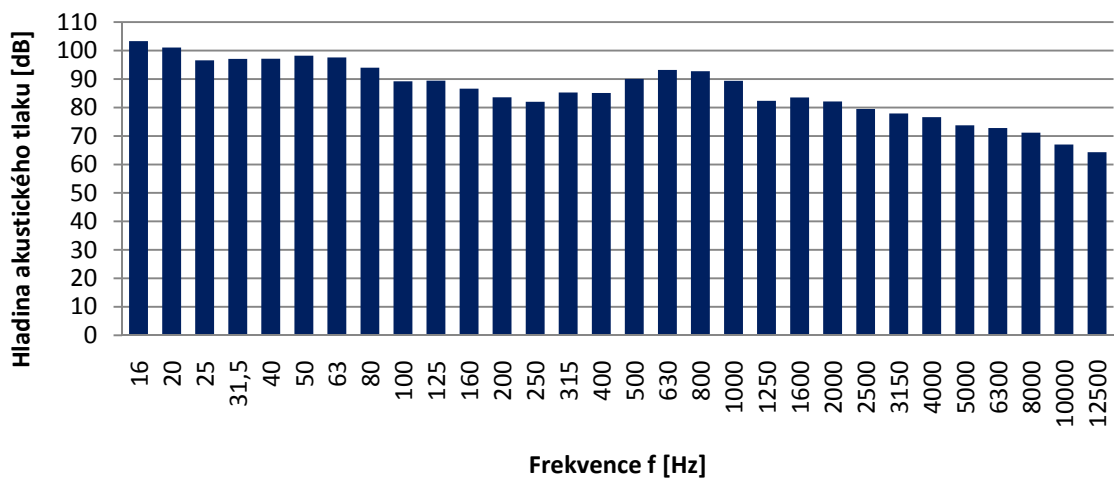
**Osobní vlak (Os) - lokomotiva 362; 3 vozy; v = 101 km/h**



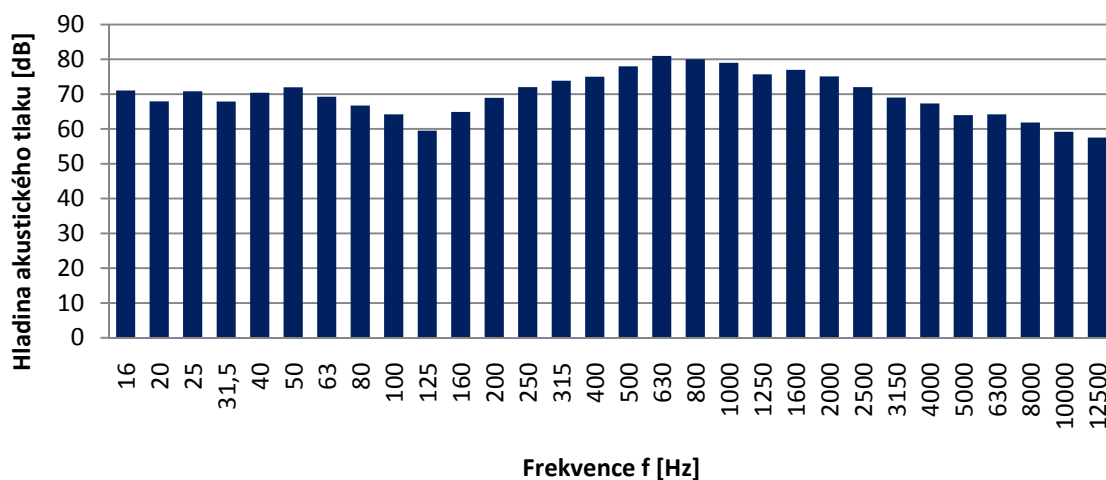
Graf C.2.61 Osobní (Os) - lokomotiva 362; 3 vozy; v = 101 km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.2.62 Osobní (Os) - lokomotiva 362; 3 vozy; v = 101 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

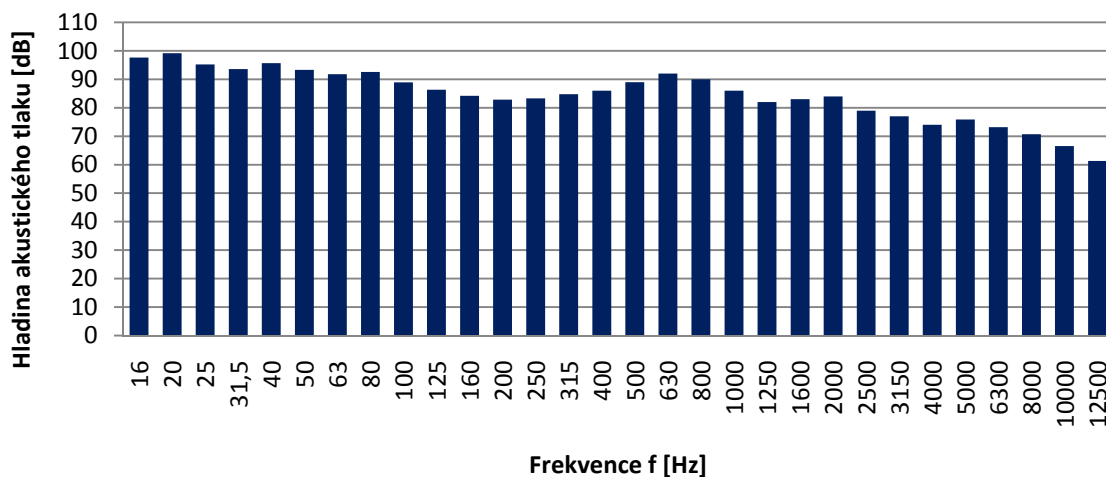


Graf C.2.63 Osobní (Os) - lokomotiva 362; 3 vozy; v = 101 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

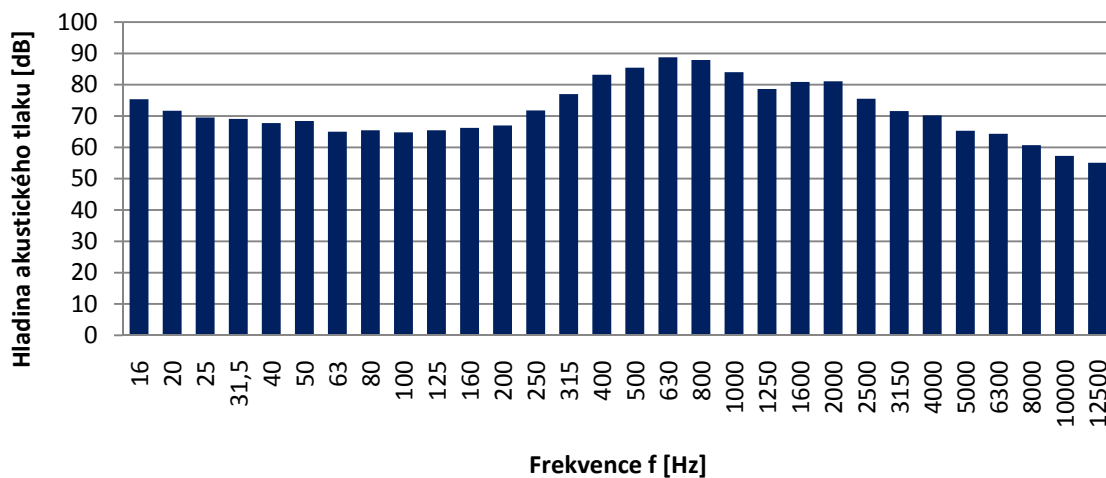


Graf C.2.64 Osobní (Os) - lokomotiva 362; 3 vozy; v = 101 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

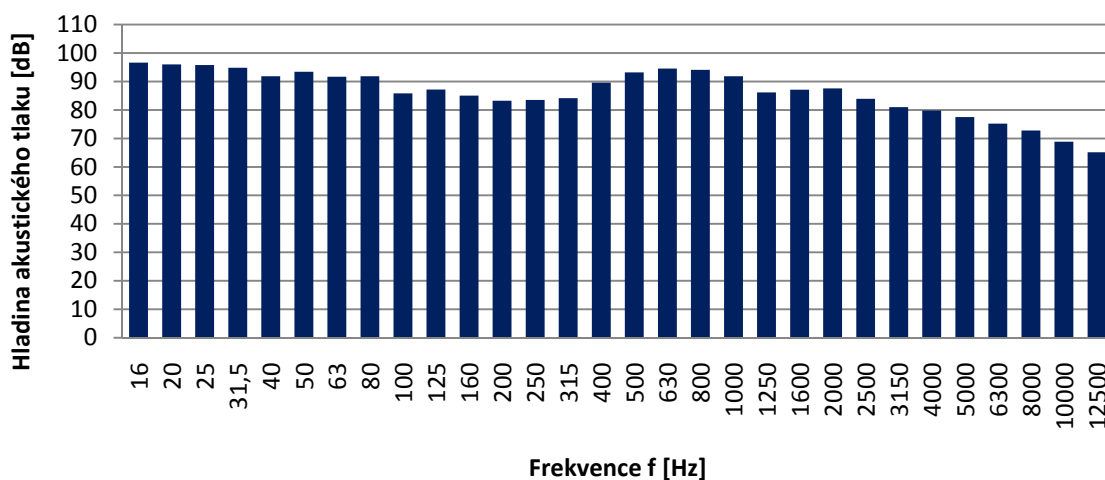
**Osobní vlak (Os) - lokomotiva 163; 3 vozy; v = 110 km/h**



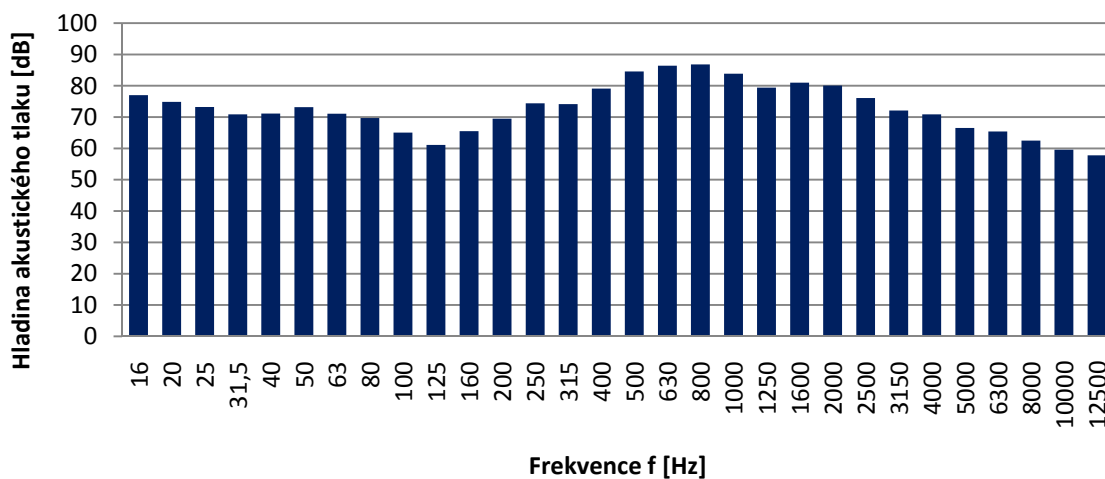
Graf C.2.65 Osobní (Os) - lokomotiva 163; 3 vozy; v = 110 km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.2.66 Osobní (Os) - lokomotiva 163; 3 vozy; v = 110 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

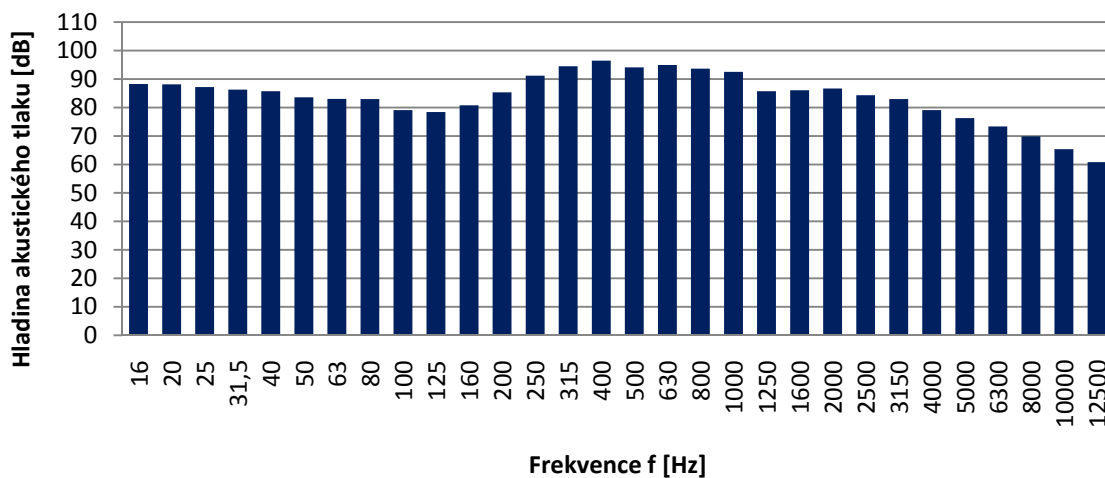


Graf C.2.67 Osobní (Os) - lokomotiva 163; 3 vozy; v = 110 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

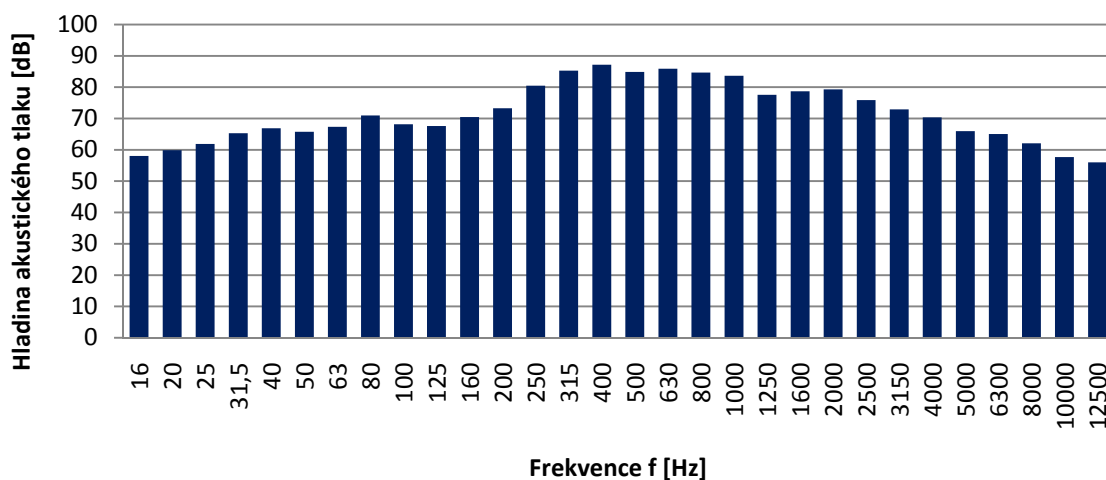


Graf C.2.68 Osobní (Os) - lokomotiva 163; 3 vozy; v = 110 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

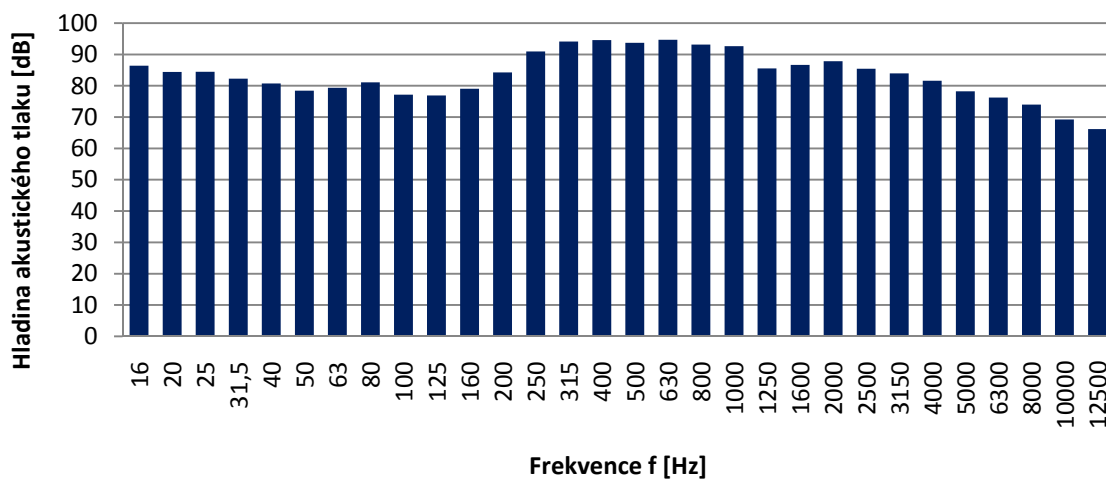
**Nákladní vlak - lokomotiva 363; 25 vozů; v = 60 km/h**



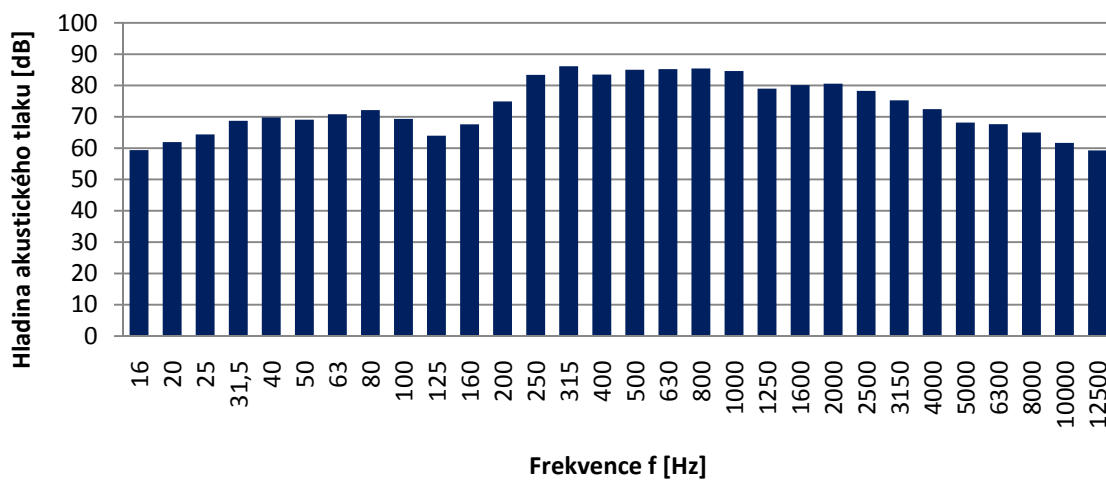
Graf C.2.69 Nákladní - lokomotiva 363; 25 vozů; v = 60 km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.2.70 Nákladní - lokomotiva 363; 25 vozů; v = 60 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

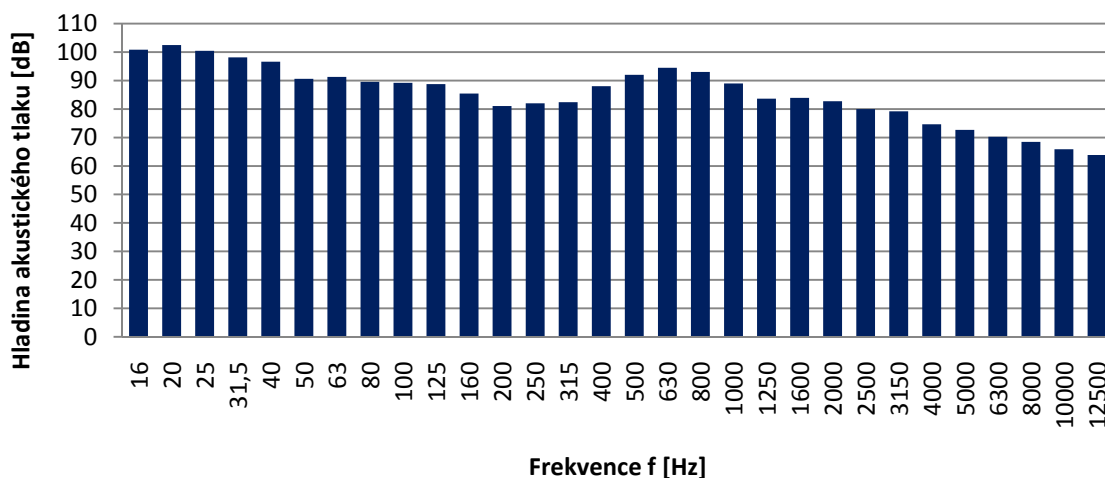


Graf C.2.71 Nákladní - lokomotiva 363; 25 vozů; v = 60 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

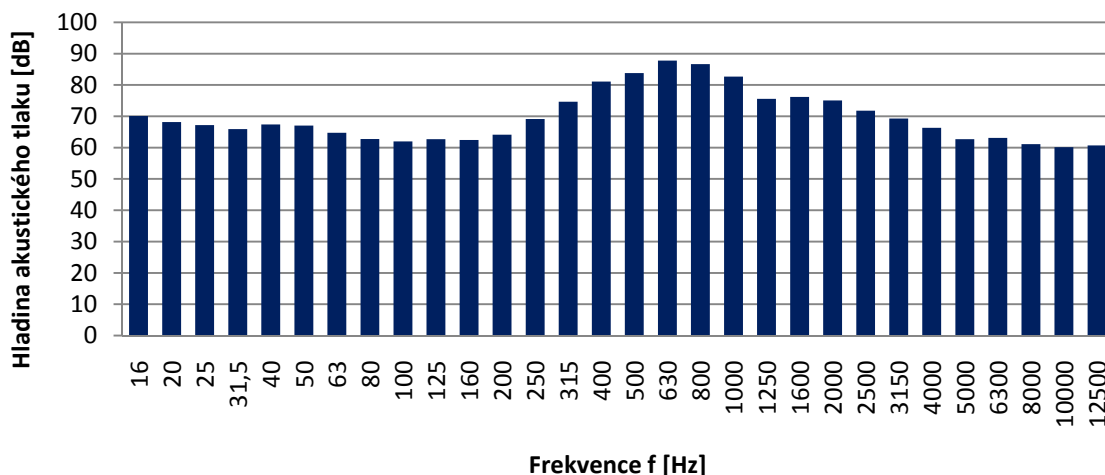


Graf C.2.72 Nákladní - lokomotiva 363; 25 vozů; v = 60 km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

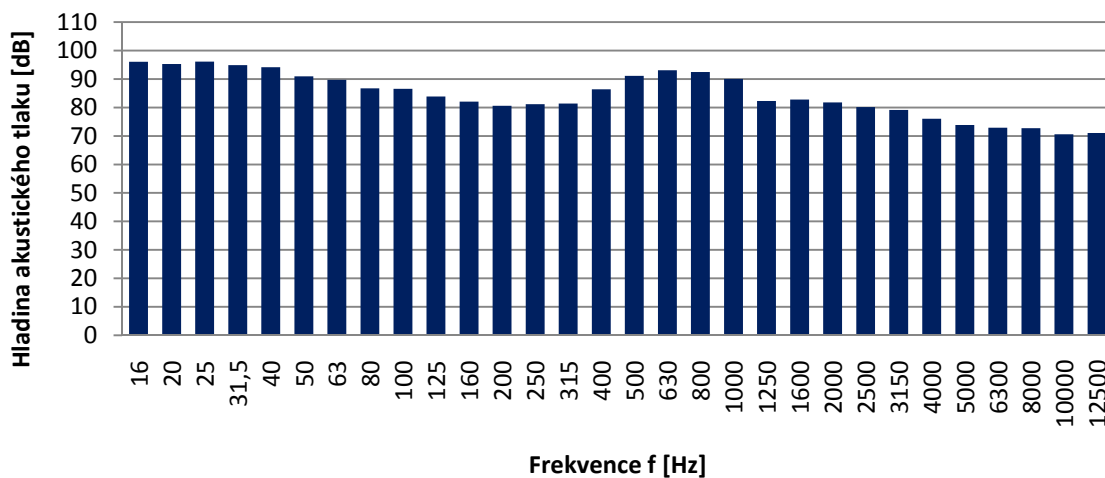
**Osobní vlak (Os) - lokomotiva 362; 3 vozy; v = 115 km/h**



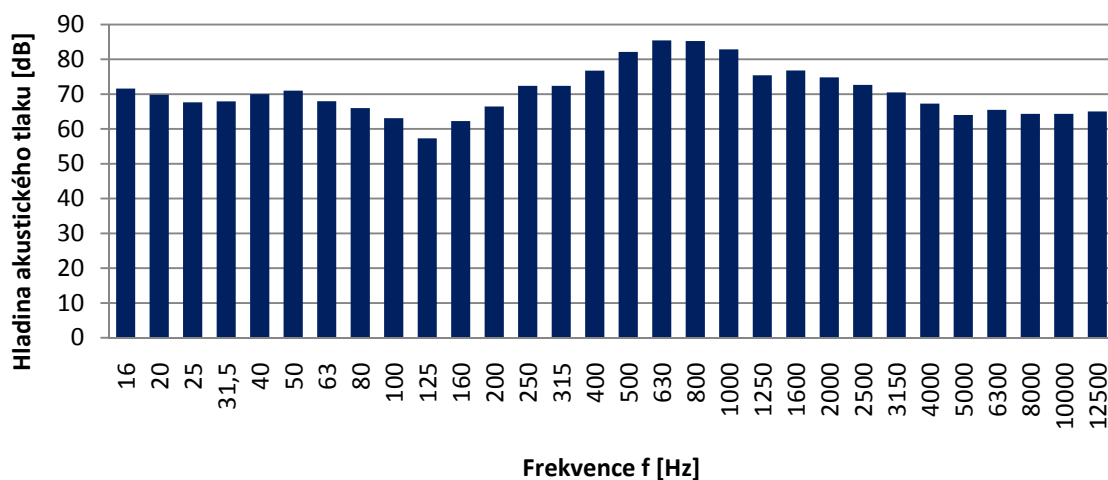
Graf C.2.73 Osobní (Os) - lokomotiva 362; 3 vozy; v = 115 km/h; M8 (1,85 m; vnější)



Graf C.2.74 Osobní (Os) - lokomotiva 362; 3 vozy; v = 115 km/h; M9 (7,5 m; vnější)

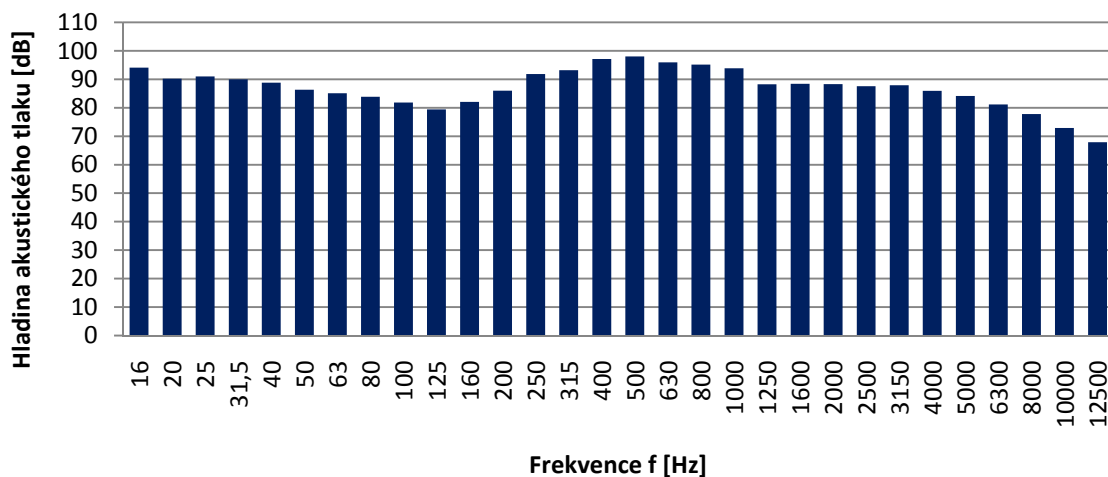


Graf C.2.75 Osobní (Os) - lokomotiva 362; 3 vozy; v = 115 km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)

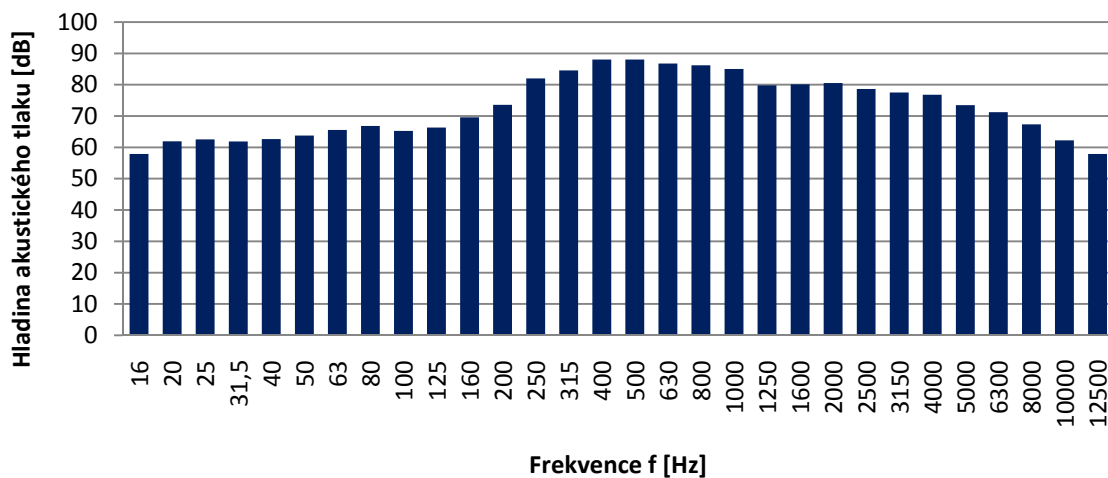


Graf C.2.76 Osobní (Os) - lokomotiva 362; 3 vozy;  $v = 115$  km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

Nákladní vlak - lokomotiva Siemens; 31 vozů;  $v = 79 - 50$  km/h

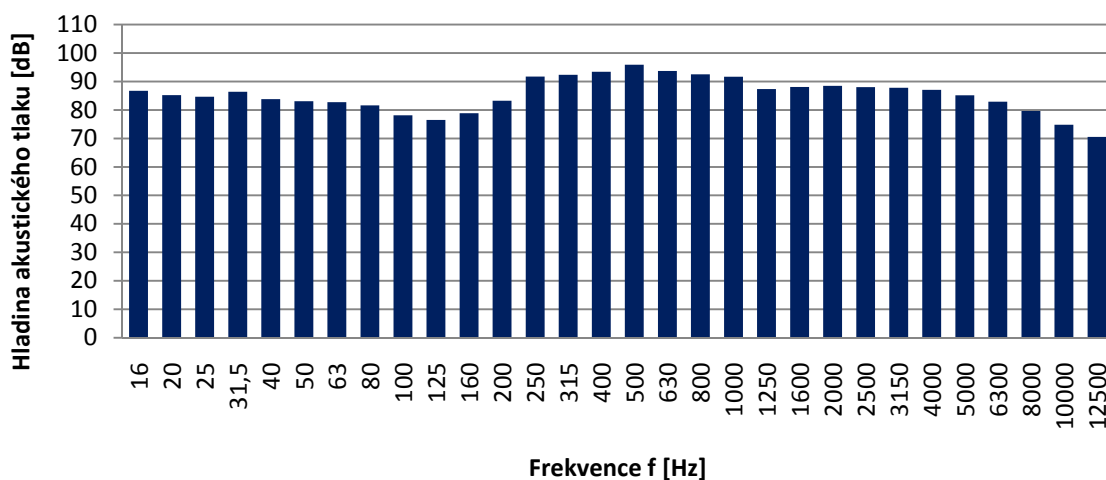


Graf C.2.77 Nákladní - lokom. Siemens; 31 vozů;  $v = 79 - 50$  km/h; M8 (1,85 m; vnější)

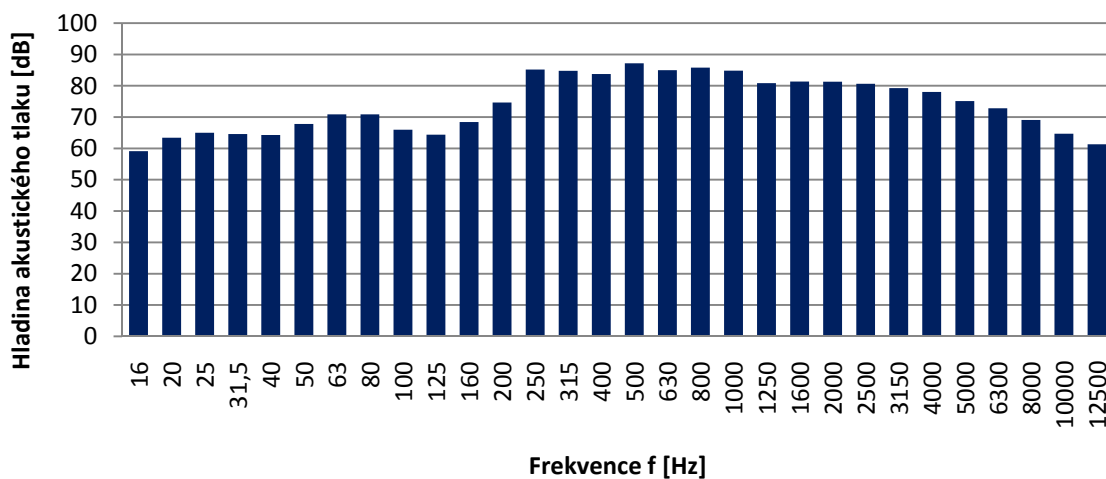


Graf C.2.78 Nákladní - lokom. Siemens; 31 vozů;  $v = 79 - 50$  km/h; M9 (7,5 m; vnější)





Graf C.2.79 Nákladní - lokom. Siemens; 31 vozů;  $v = 79 - 50$  km/h; M0 (1,85 m; vnitřní)



Graf C.2.80 Nákladní - lokom. Siemens; 31 vozů;  $v = 79 - 50$  km/h; M1 (7,5 m; vnitřní)

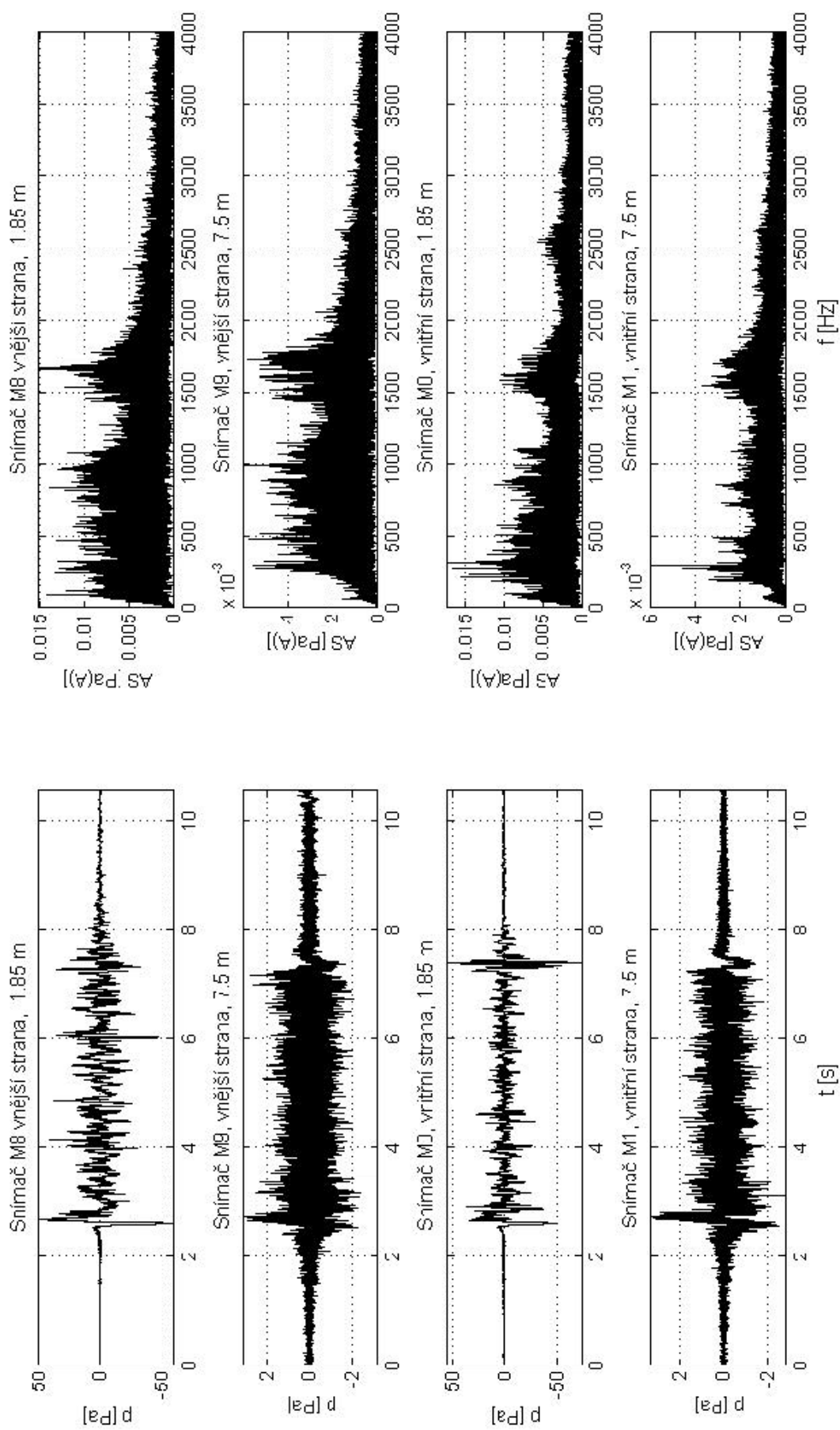
# PŘÍLOHA D

GRAFY AKUSTICKÉ ODEZVY

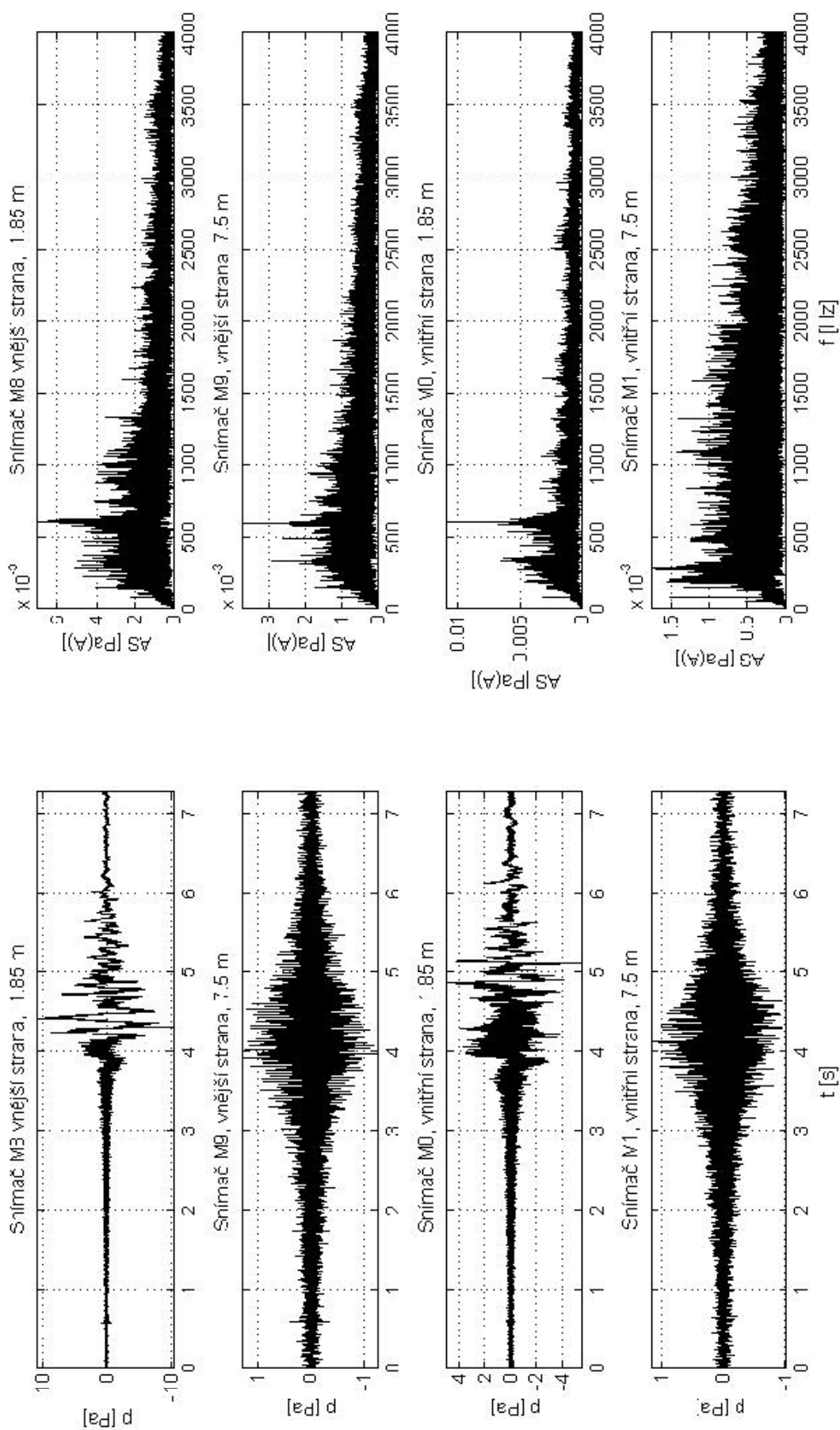
# **PŘÍLOHA D.1**

GRAFY AKUSTICKÉ ODEZVY

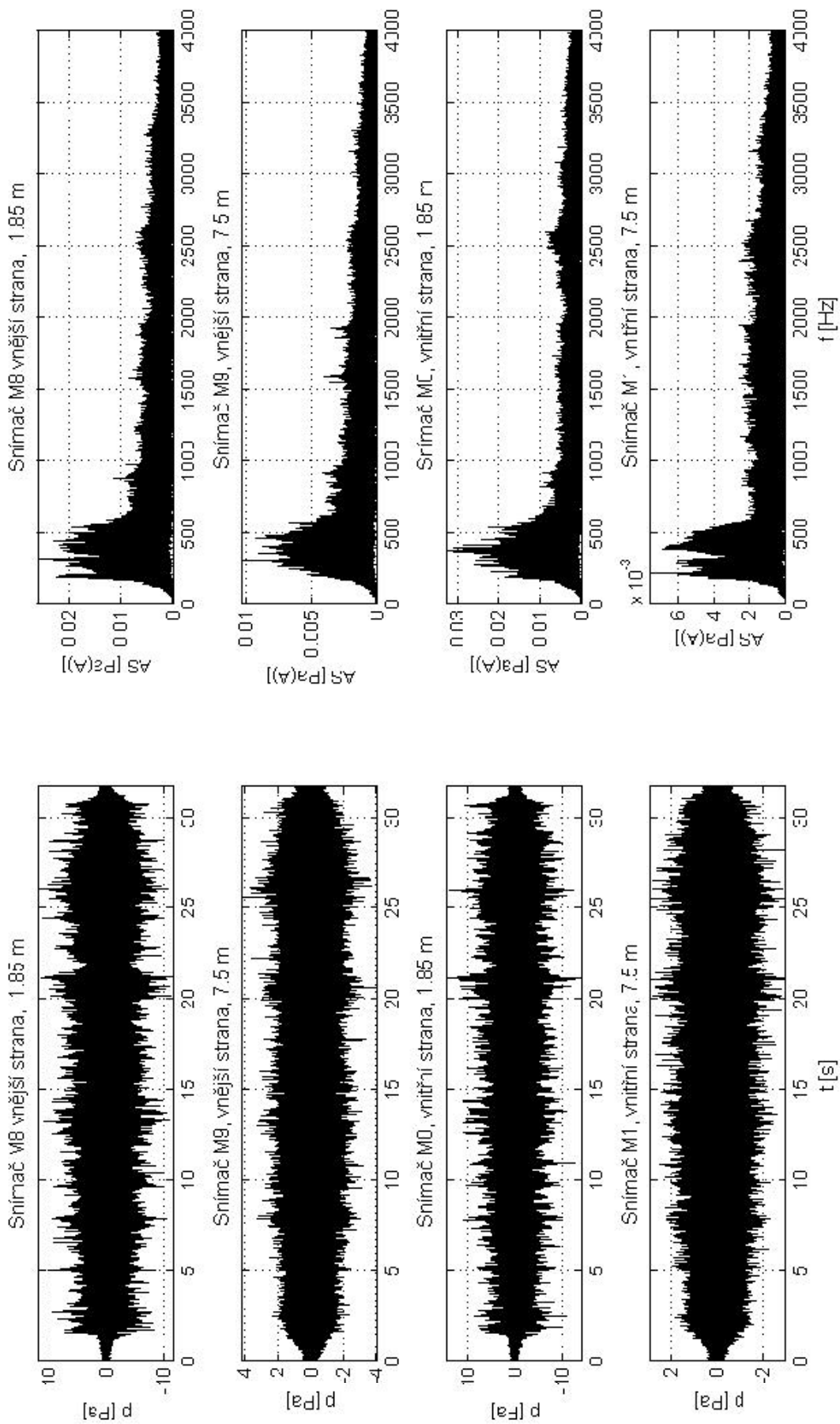
Úsek s upevněním Vossloh W14



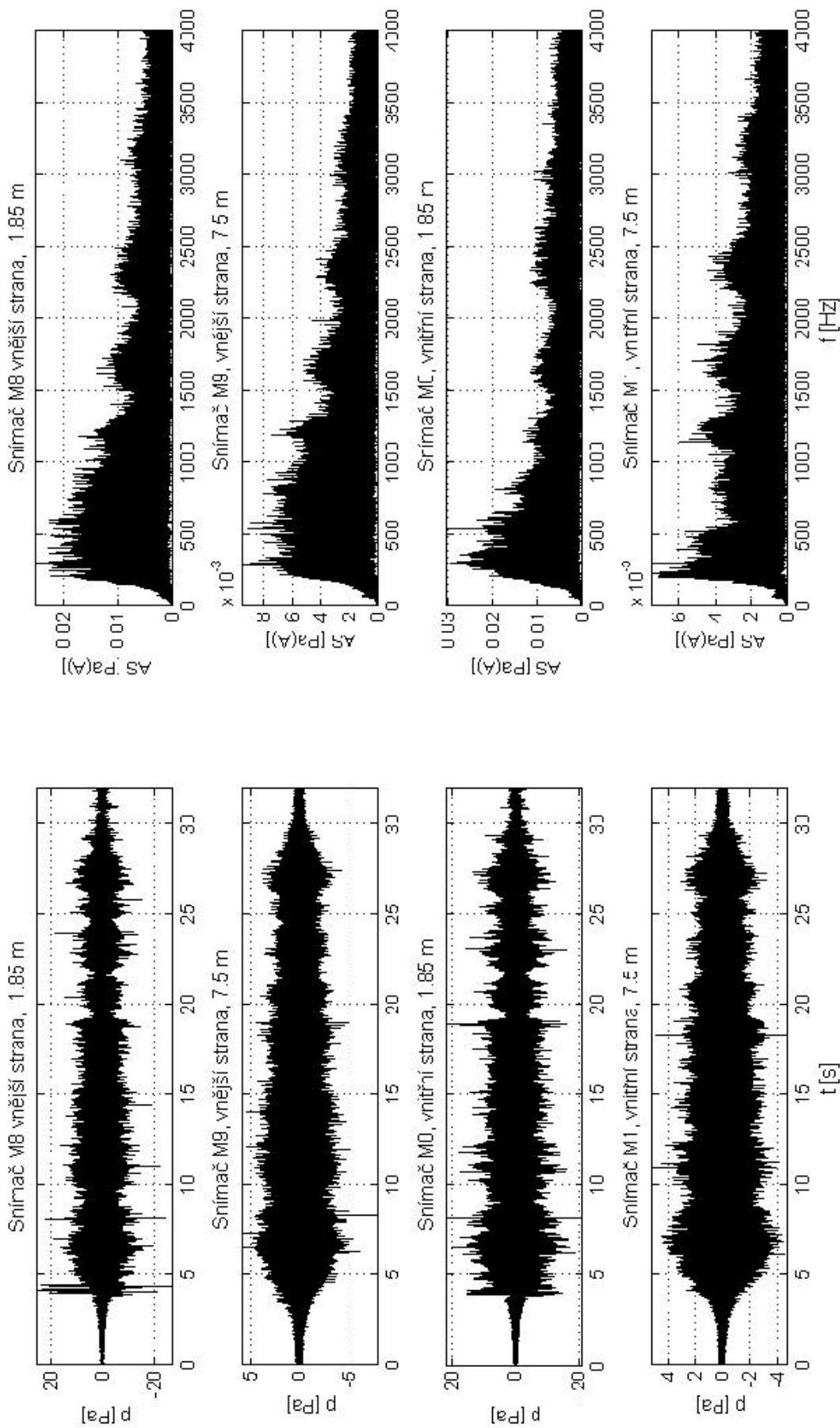
Obr. D.1.1.1 SC Pendolino - lokomotiva 682; 7 vozů;  $v = 144$  km/h



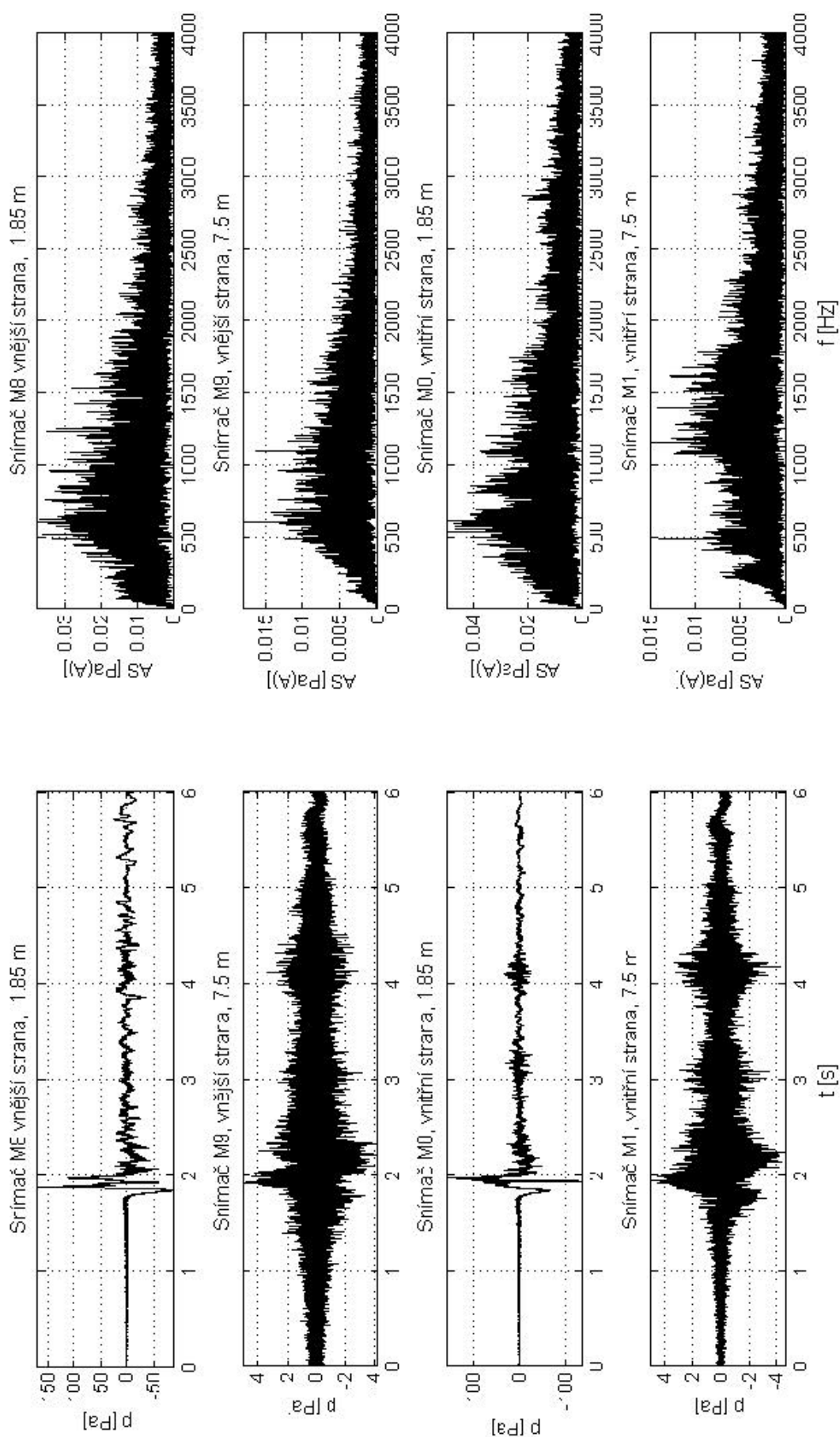
Obr. D.1.2 Pracovní vlak -  $v = 56 - 44$  km/h



Obr. D.1.3 Nákladní vlak - lokomotiva 363; 24 vozů;  $v = 40 - 45$  km/h

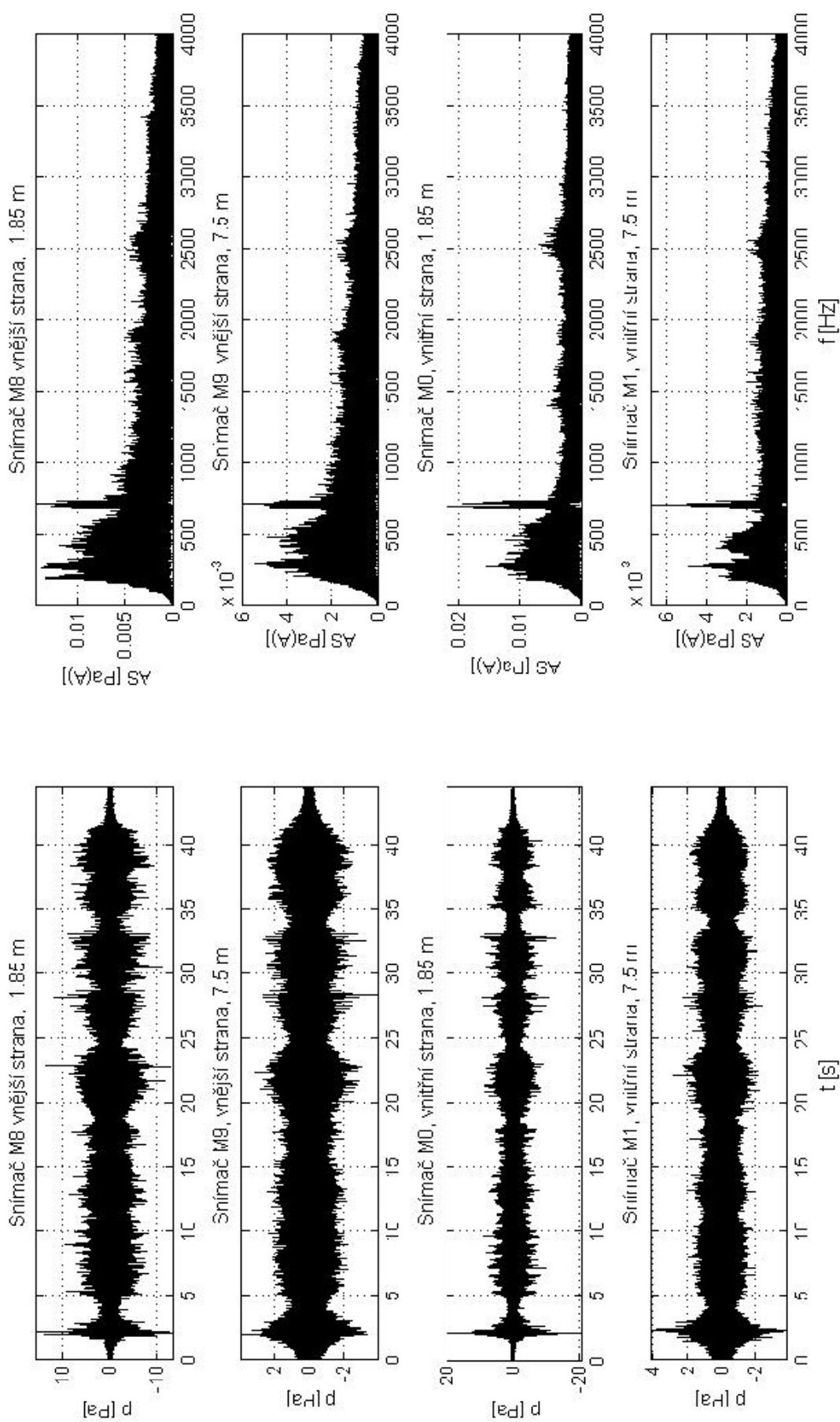


Obr. D.1.4 Nákladní vlak - lokomotiva 363; 34 vozů;  $v = 56$  km/h

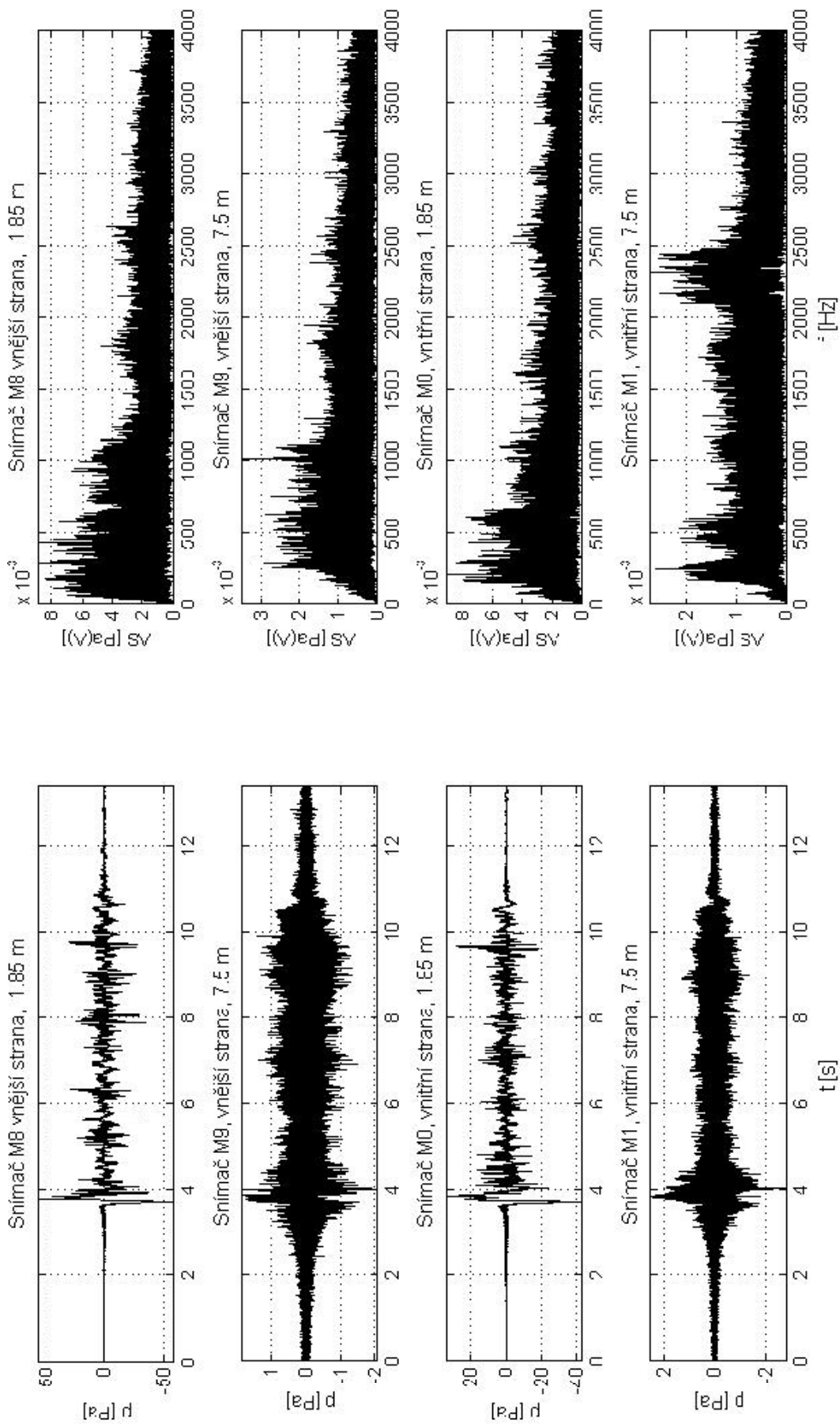


Obr. D.1.5 IC RegioJet - lokomotiva 362; 5 vozů;  $v = 116$  km/h

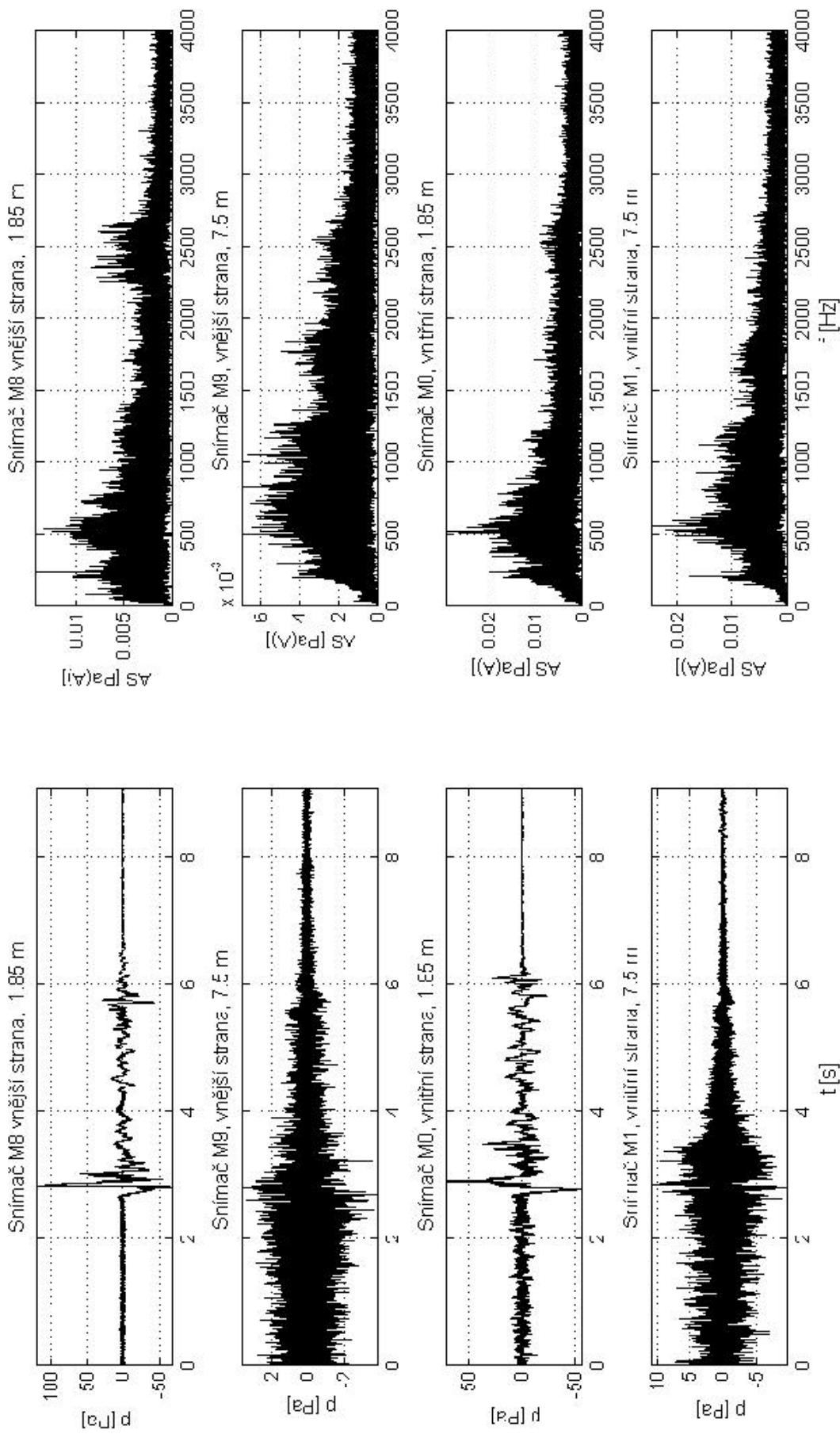




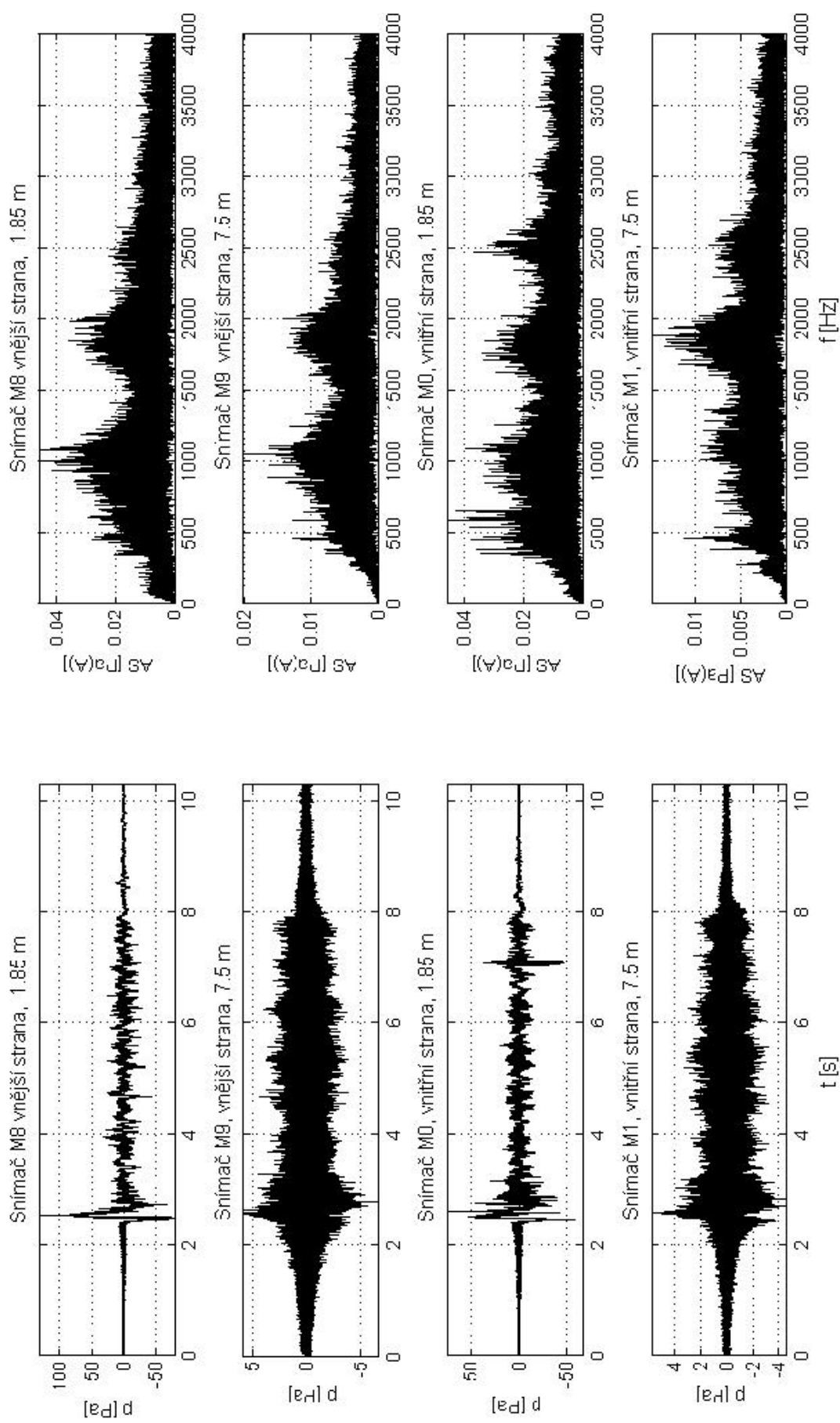
Obr. D.1.6 Nákladní vlak - lokomotivy  $2 \times$  Taurus E190; 32 vozů;  $v = 40 - 45$  km/h



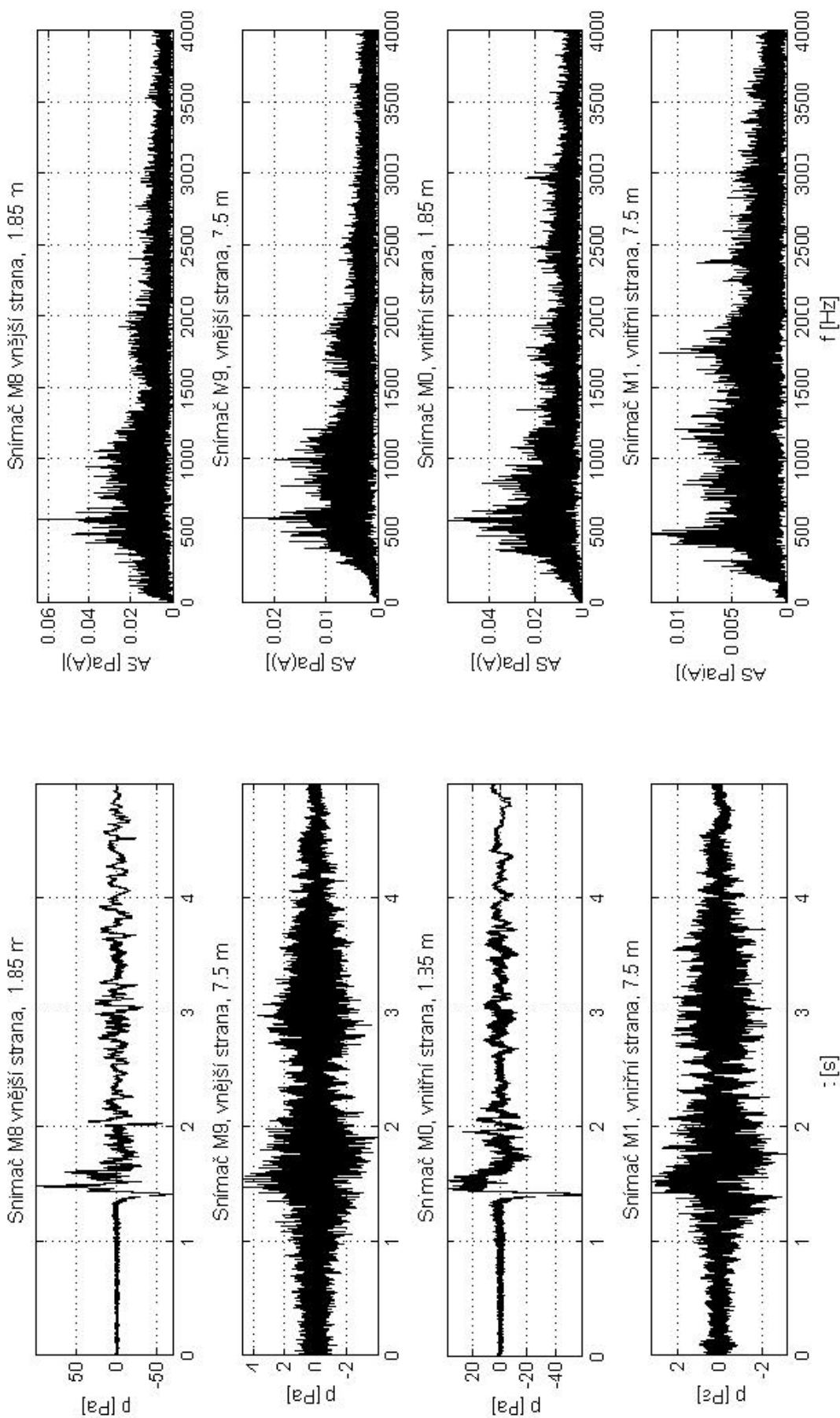
Obr. D.1.7 Expres (Ex) - lokomotiva 151; 7 vozů;  $v = 103 \text{ km/h}$



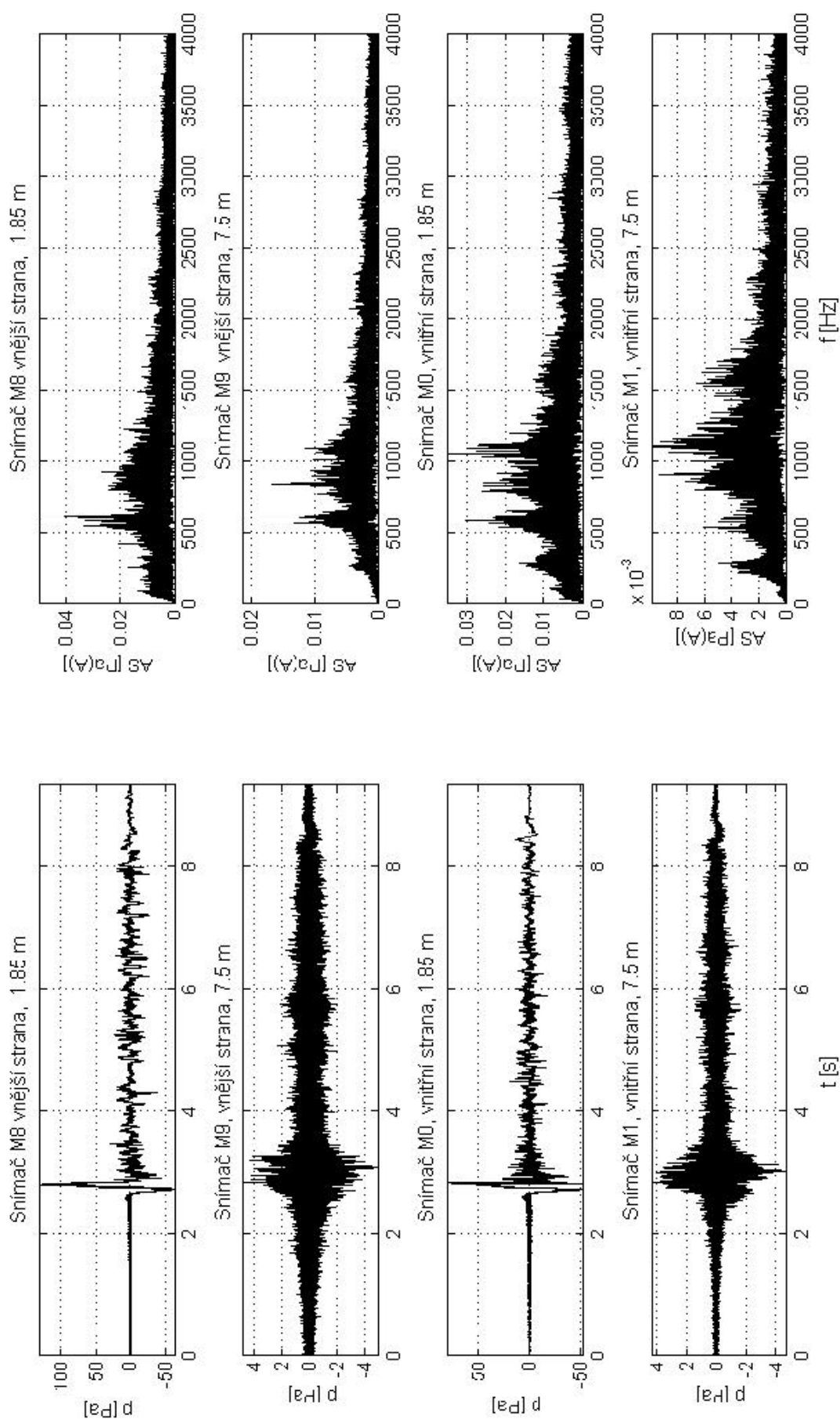
Obr. D.1.8 LEO Express - lokomotiva Siemens; 5 vozů;  $v = 92$  km/h



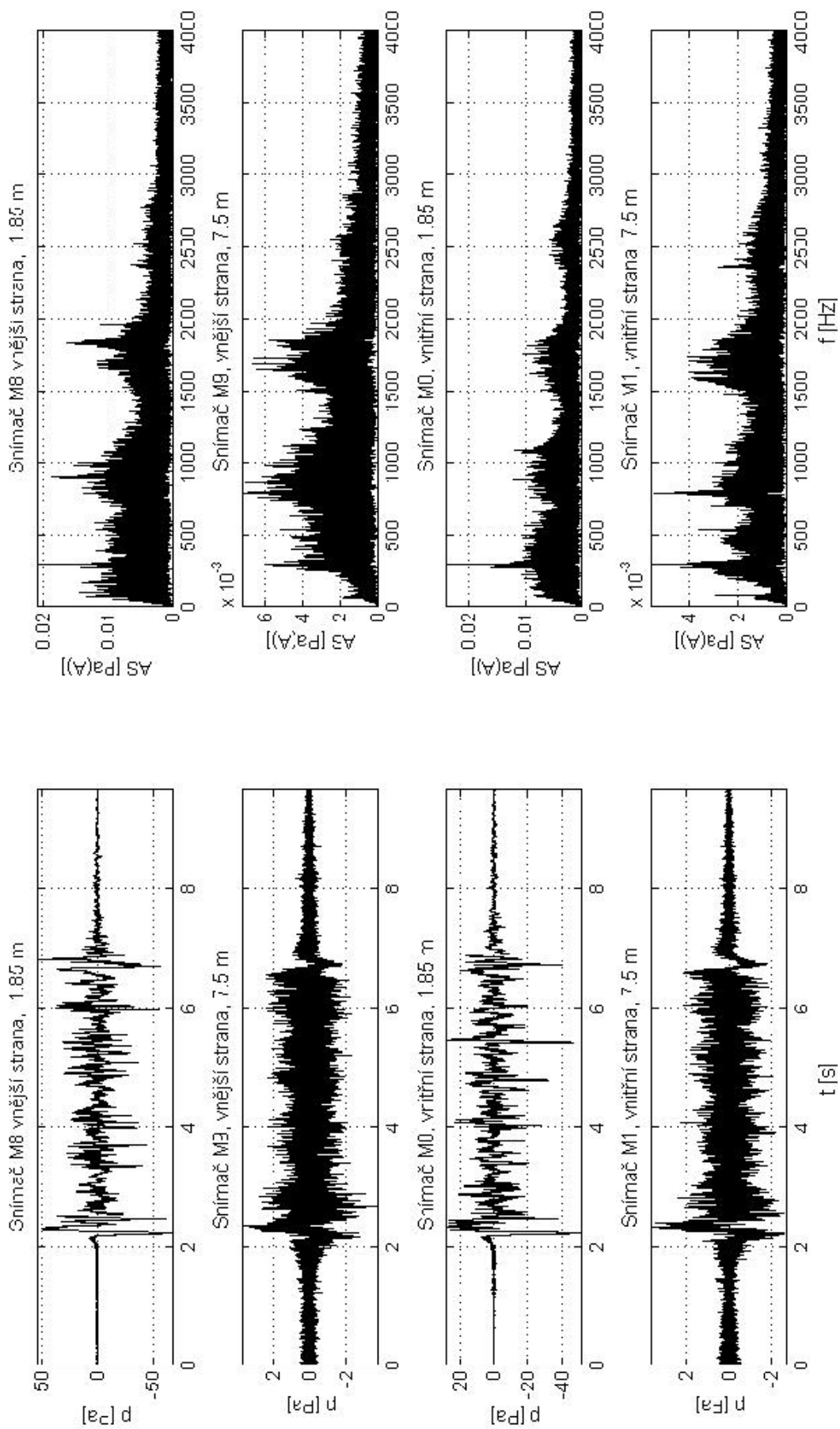
Obr. D.1.9 Rychlík (R) - lokomotiva 362; 6 vozů;  $v = 107$  km/h



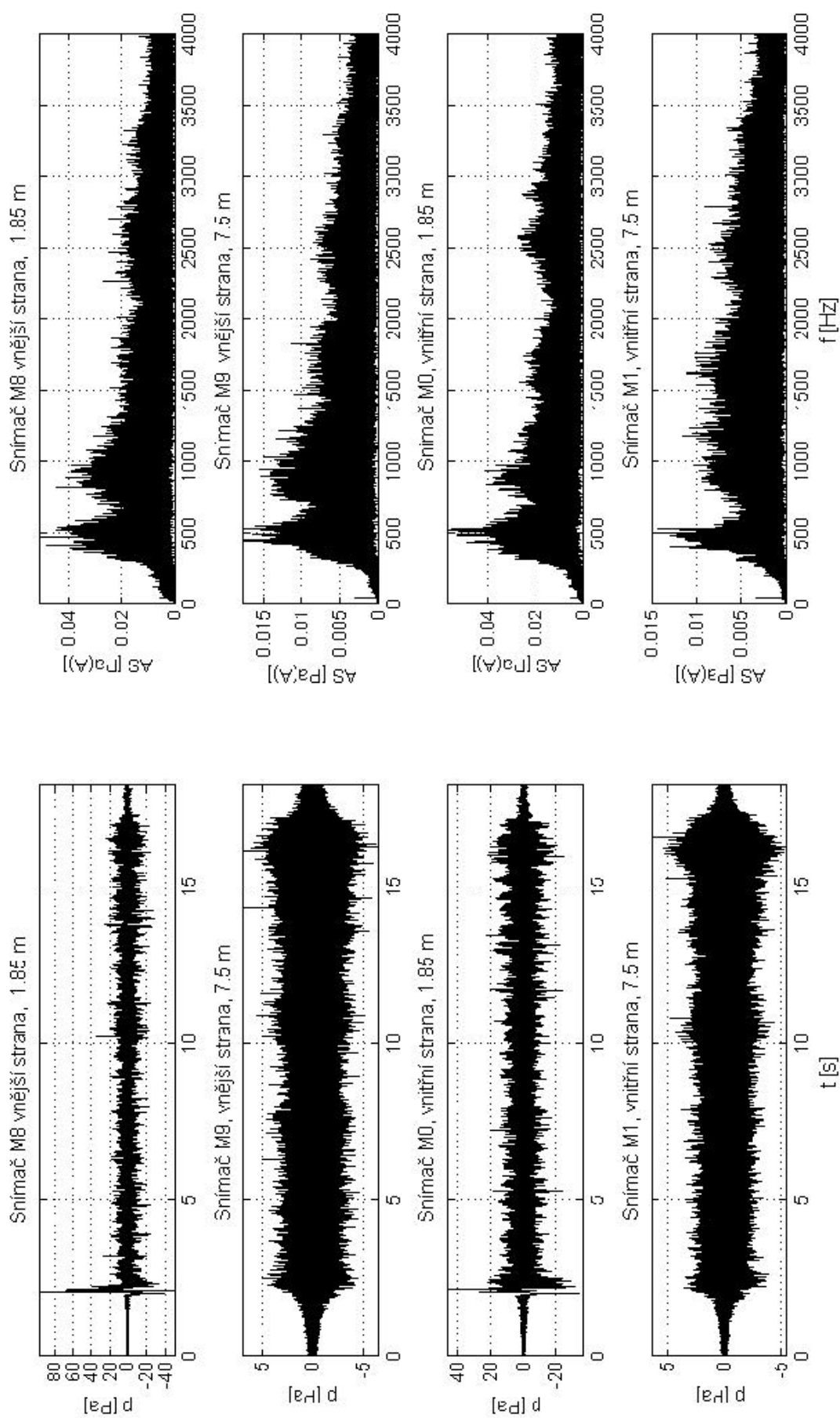
Obr. D.1.10 Osobní vlak (Os) - lokomotiva 163; 3 vozy;  $v = 104$  km/h



Obr. D.1.11 EuroCity (EC) - lokomotiva 380; 6 vozů;  $v = 112$  km/h

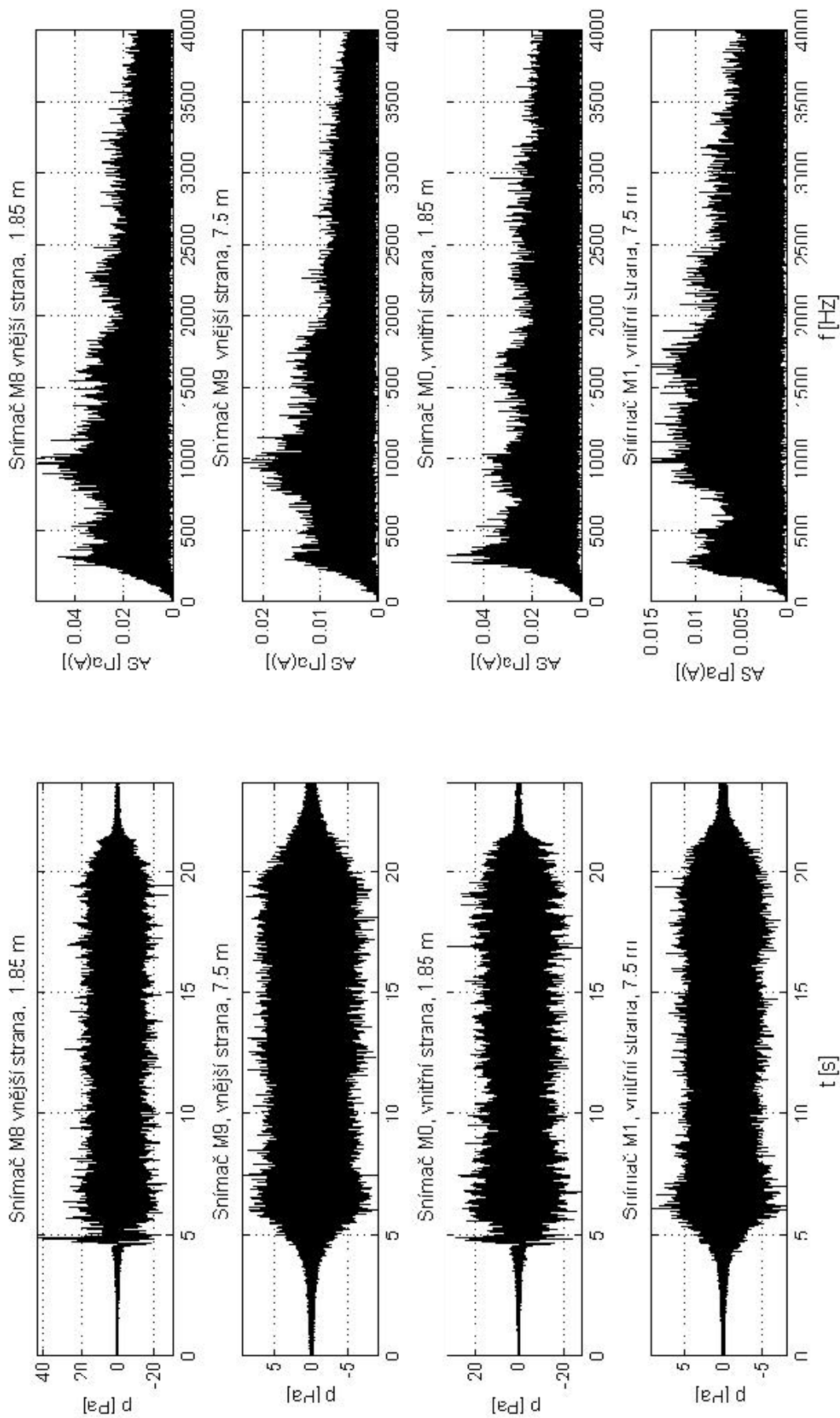


Obr. D.1.12 SC Pendolino - lokomotiva 682; 7 vozů;  $v = 150$  km/h

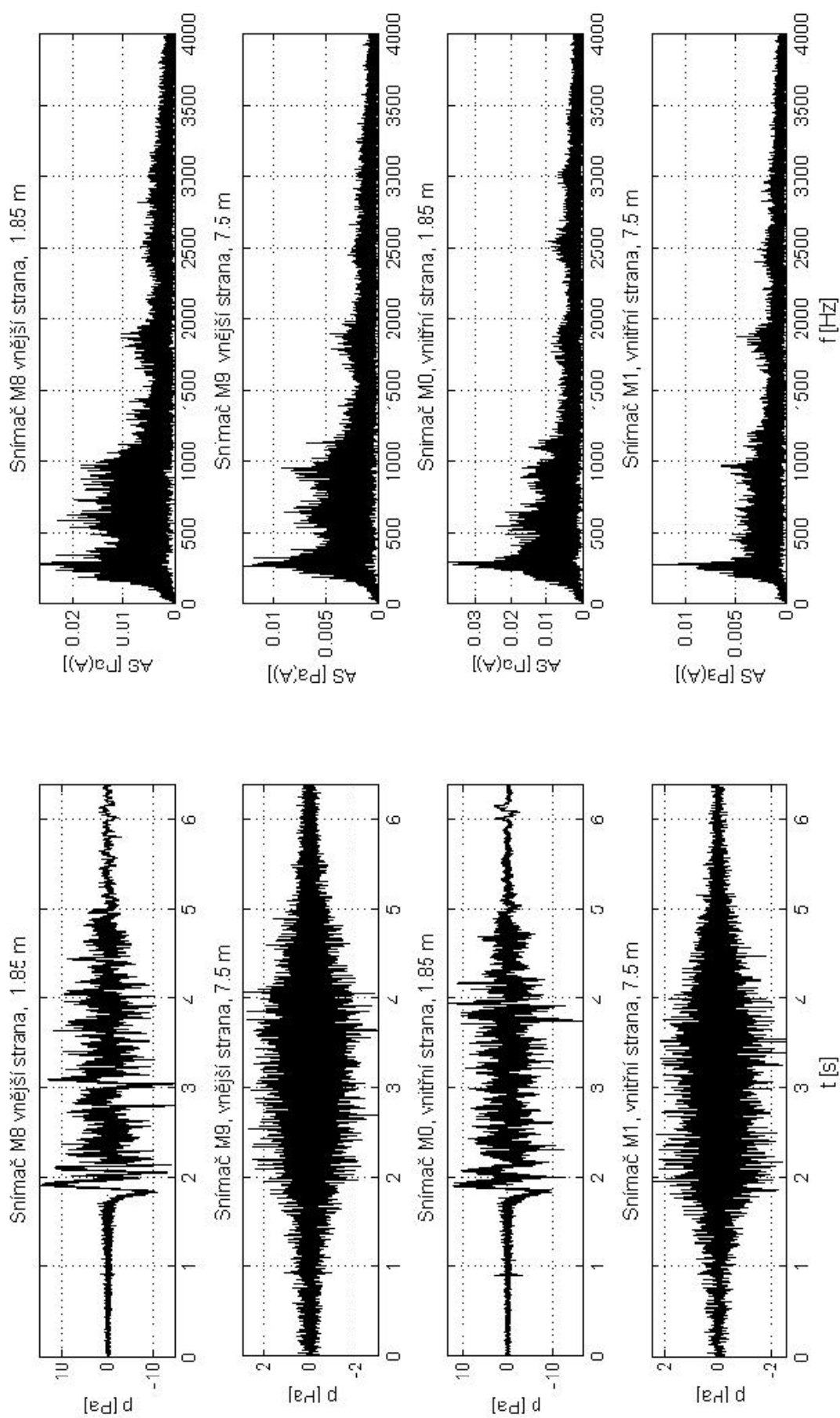


Obr. D.1.13 Nákladní vlak - lokomotiva 363; 25 vozů;  $v = 86$  km/h

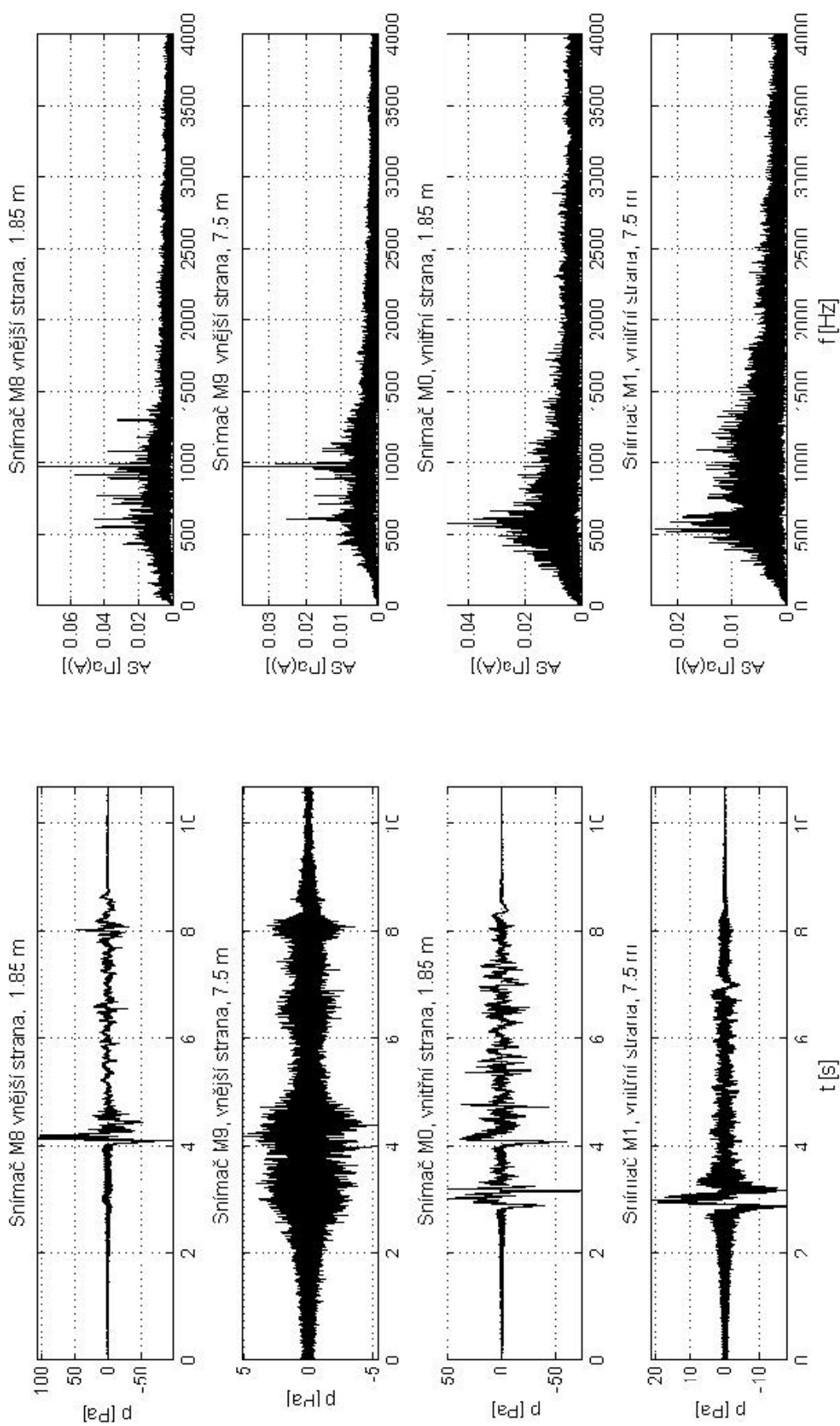




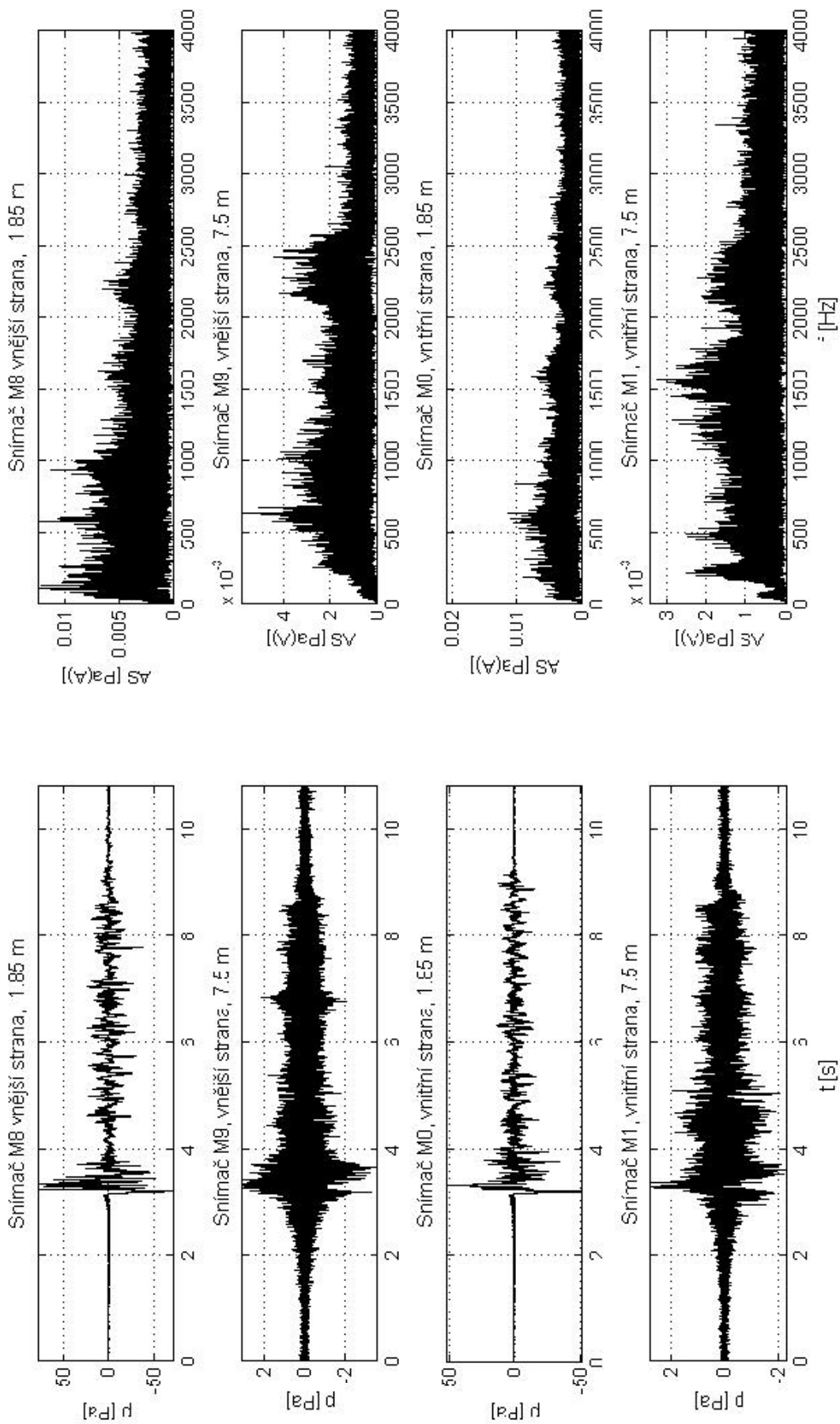
Obr. D.1.14 Nákladní vlak - lokomotiva 363; 21 vozů;  $v = 60 - 50$  km/h



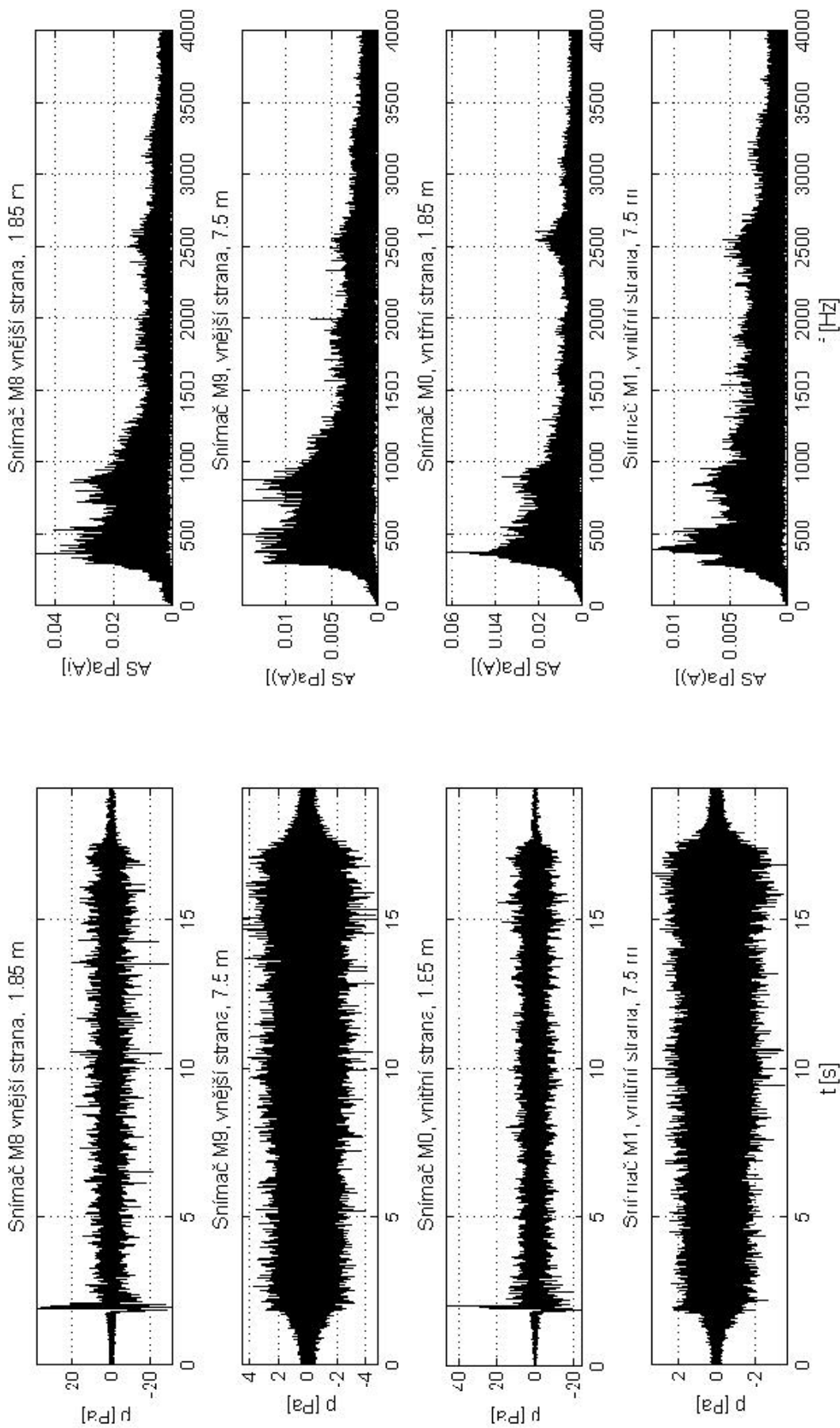
Obr. D.1.15 Nákladní vlak - lokomotiva 740; 2 vozy;  $v = 64$  km/h



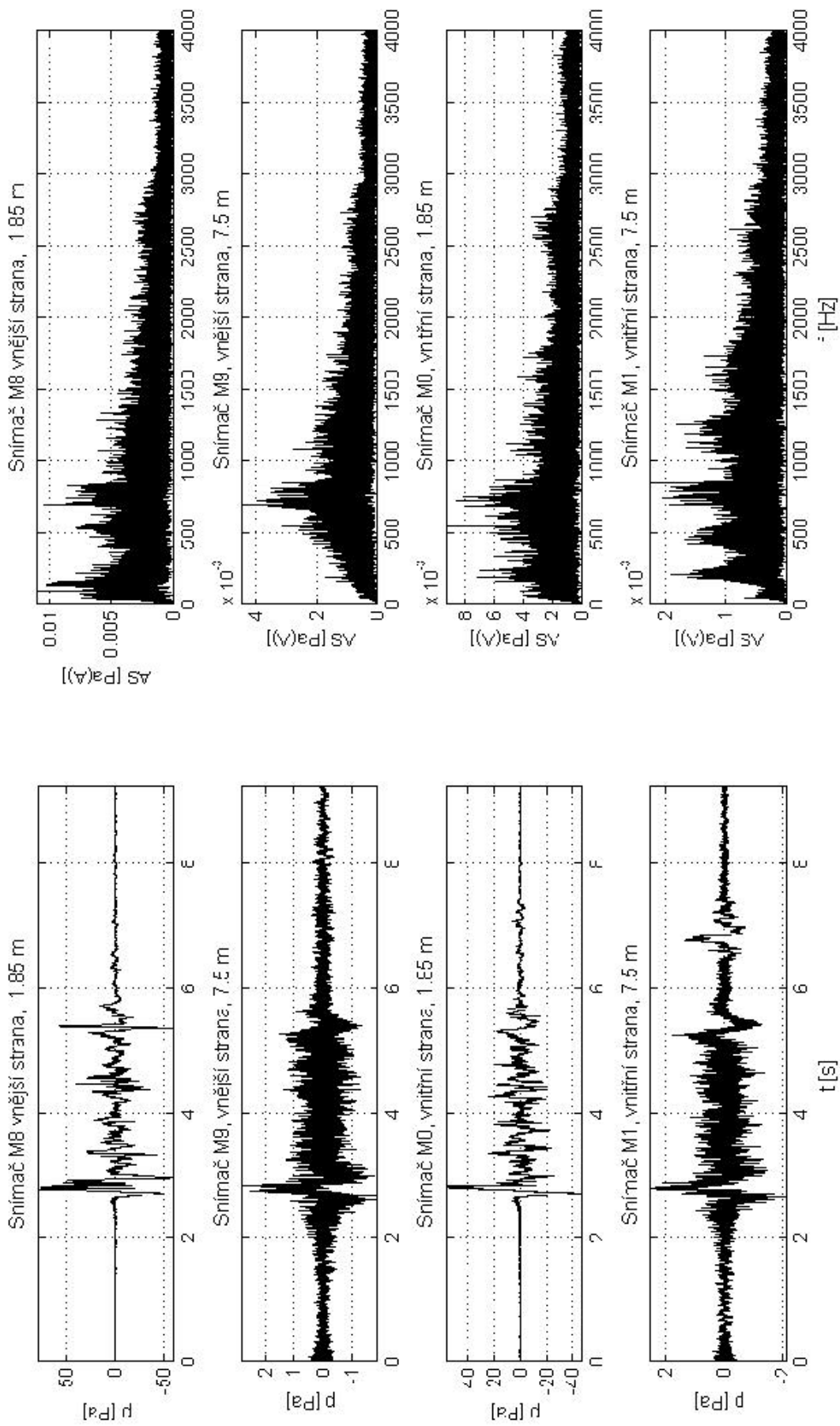
Obr. D.1.16 IC RegioJet - lokomotiva 362; 5 vozů;  $v = 107$  km/h



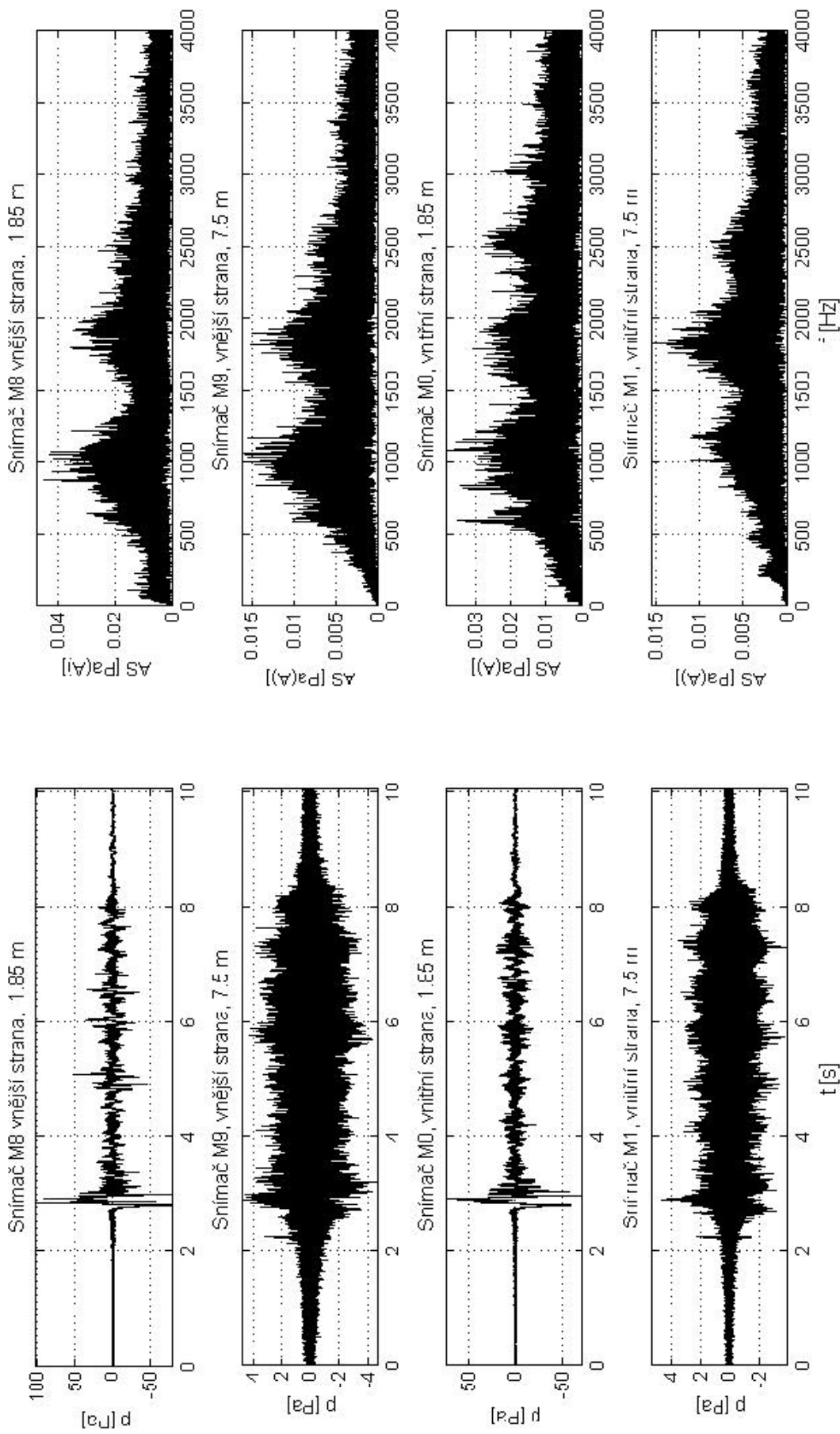
Obr. D.1.17 Expres (Ex) - lokomotiva 151; 6 vozů;  $v = 114$  km/h



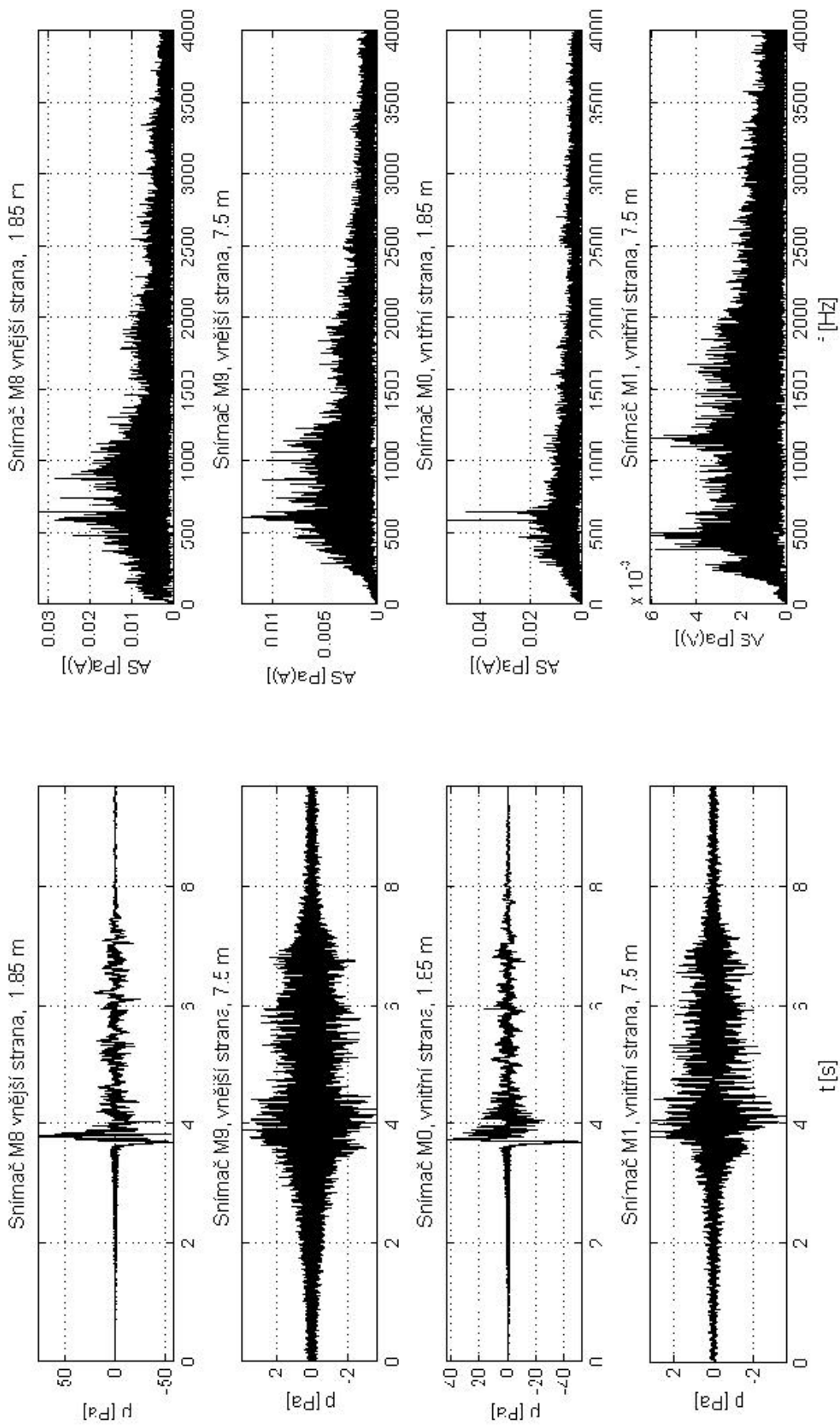
Obr. D.1.18 Nákladní vlak - lokomotiva 363; 24 vozů;  $v = 77$  km/h



Obr. D.1.19 LEO Express - lokomotiva Siemens; 5 vozů;  $v = 128 \text{ km/h}$

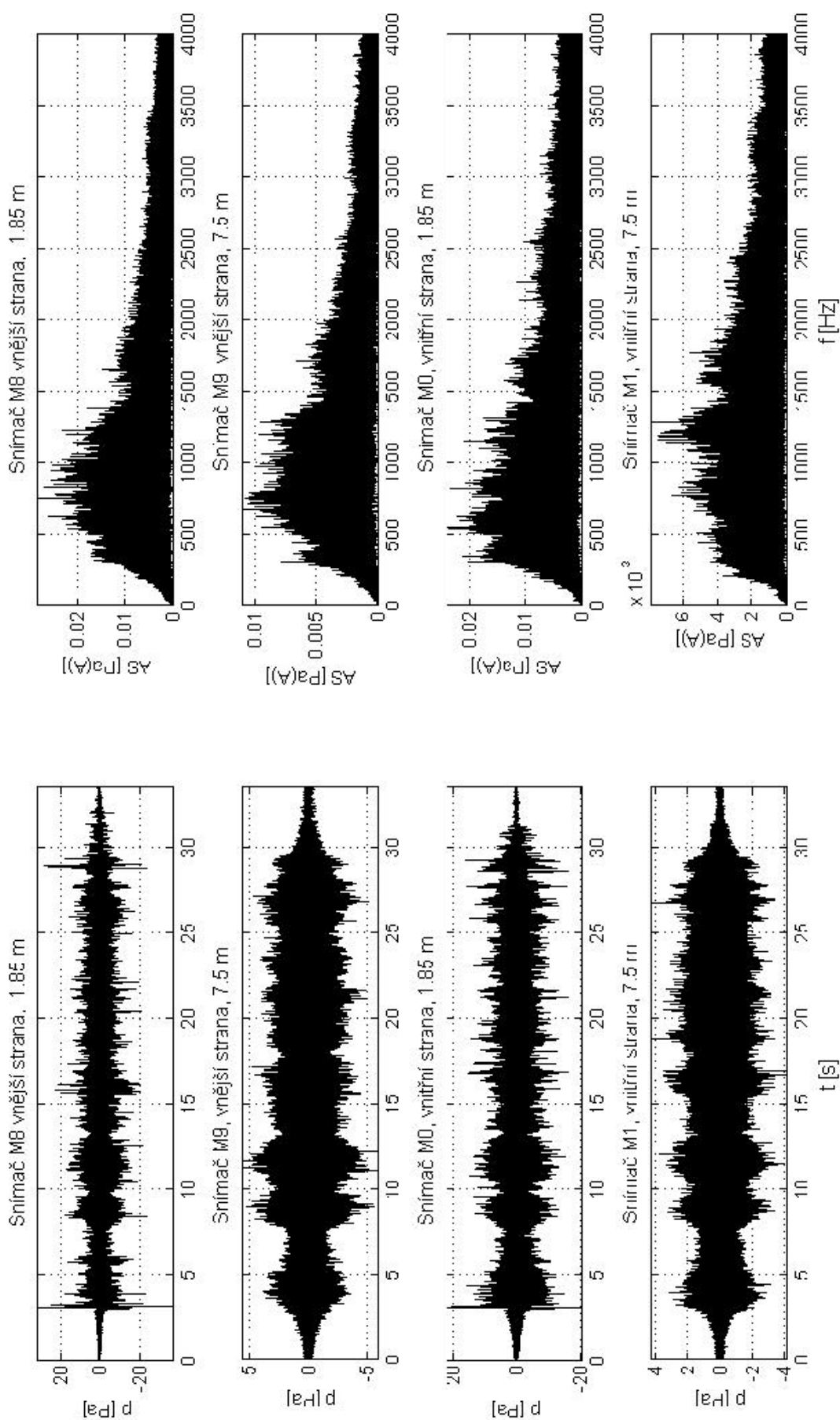


Obr. D.1.20 Rychlík (R) - lokomotiva 362; 6 vozů;  $v = 110$  km/h

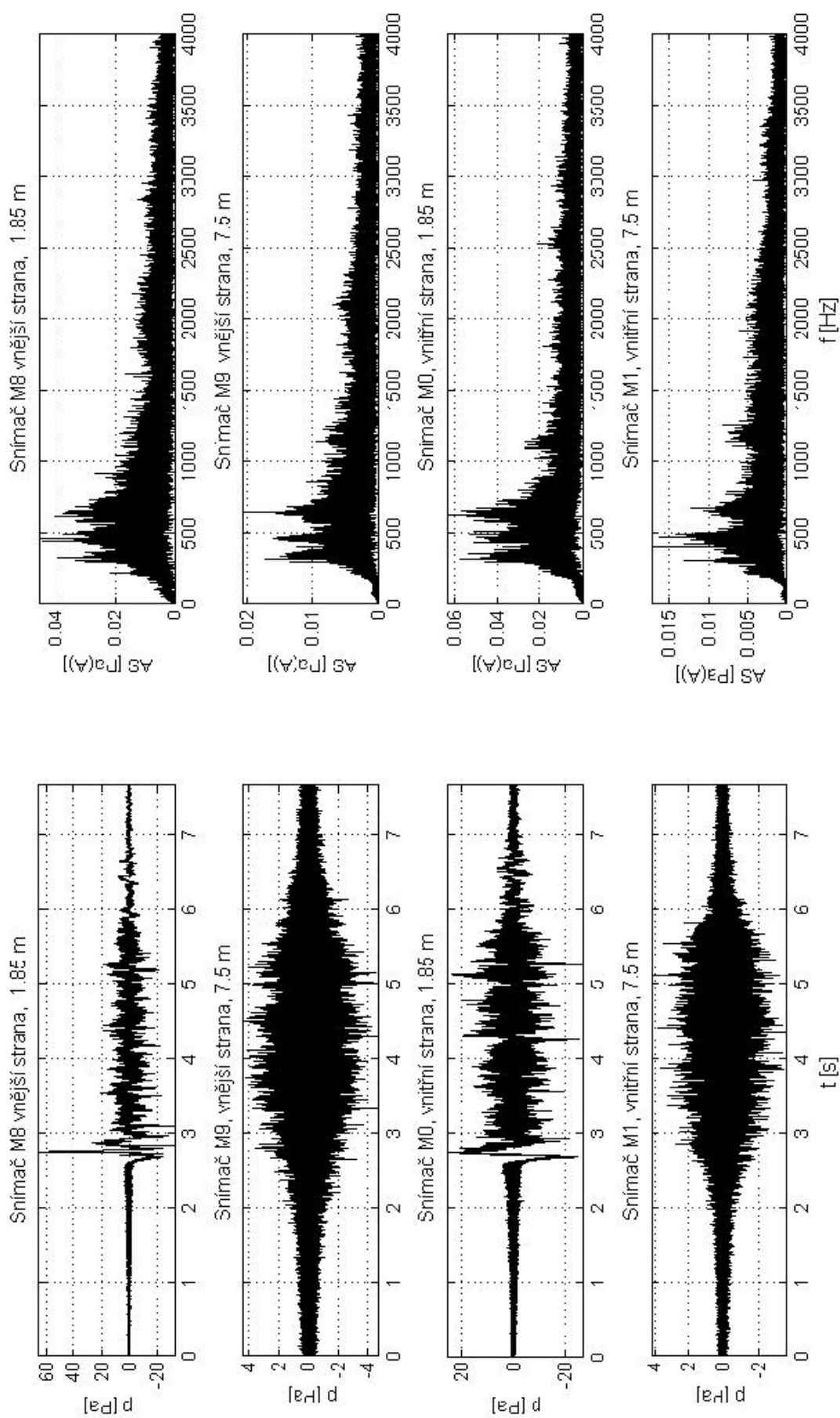


Obr. D.1.21 Osobní vlak (Os) - lokomotiva 163; 3 vozy;  $v = 101$  km/h

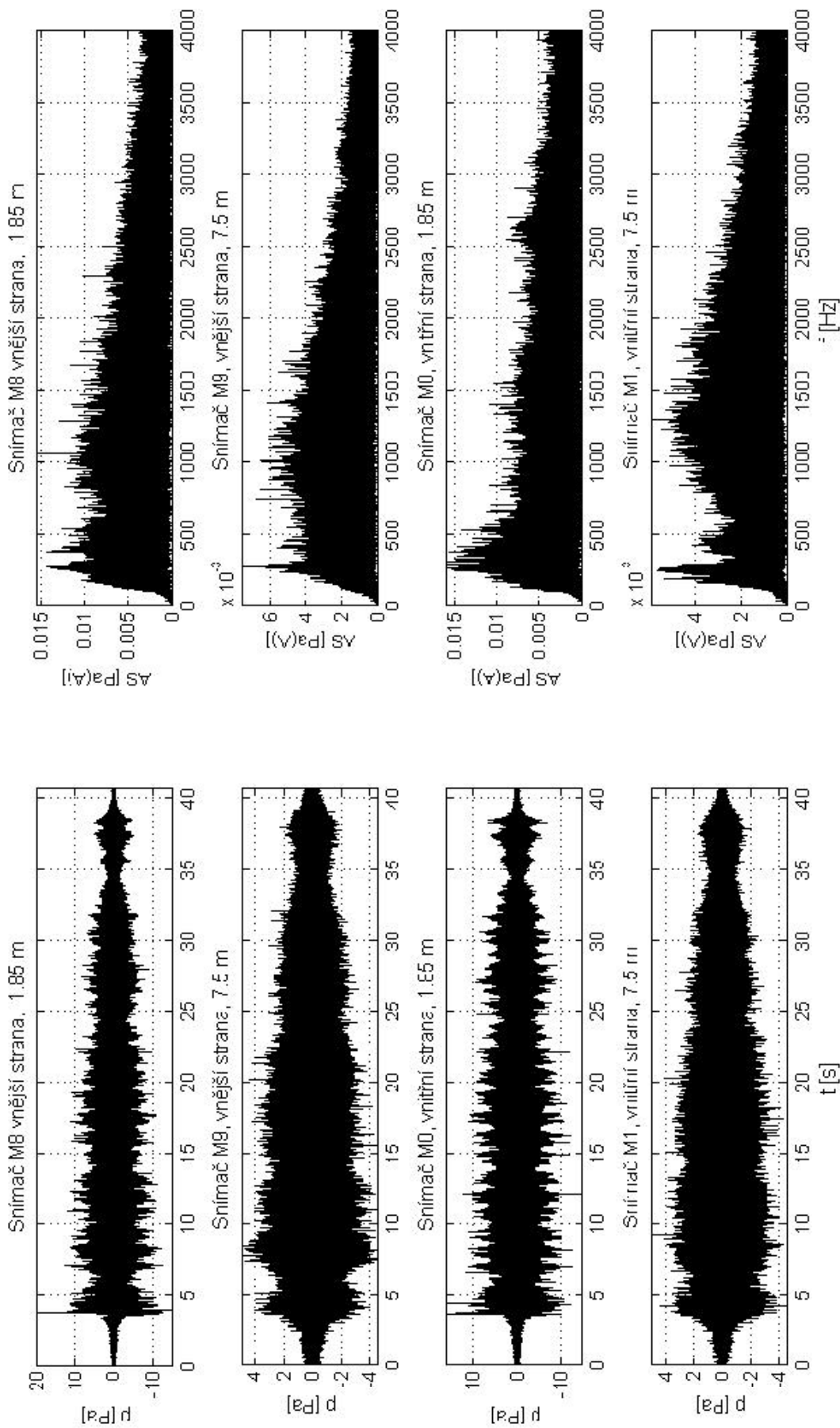




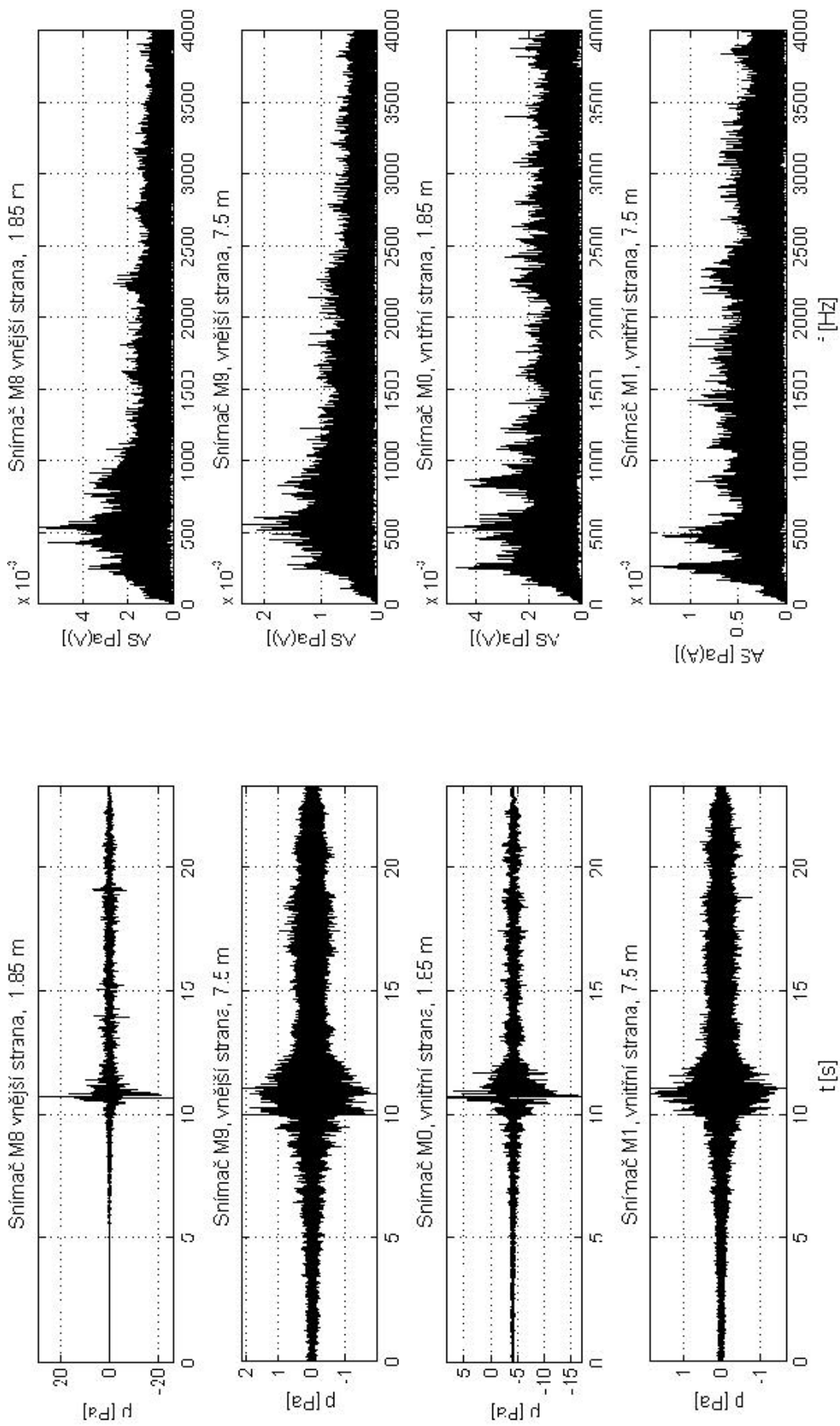
Obr. D.1.22 Nákladní vlak - lokomotiva 130; 43 vozů;  $v = 78$  km/h



Obr. D.1.23 Lokomotivní vlak (Lv) - lokomotivy 130, 121, 122; 3 vozy;  $v = 79$  km/h



Obr. D.1.24 Nákladní vlak - lokomotivy  $3 \times 742$ ; 22 vozů;  $v = 50 - 28$  km/h

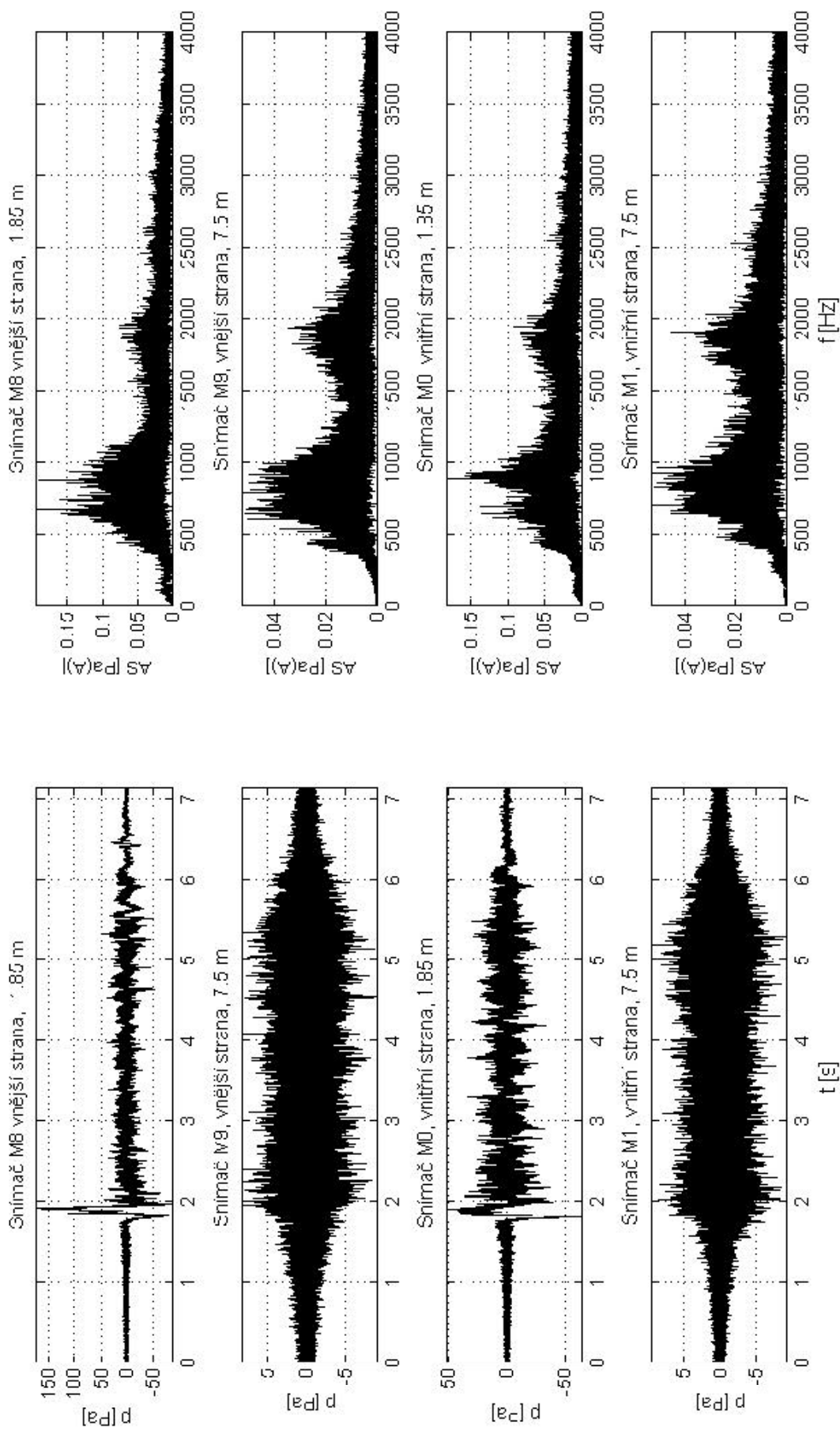


Obr. D.1.25 Rychlík (R) - lokomotiva EP09; 6 vozů; v = 53 km/h

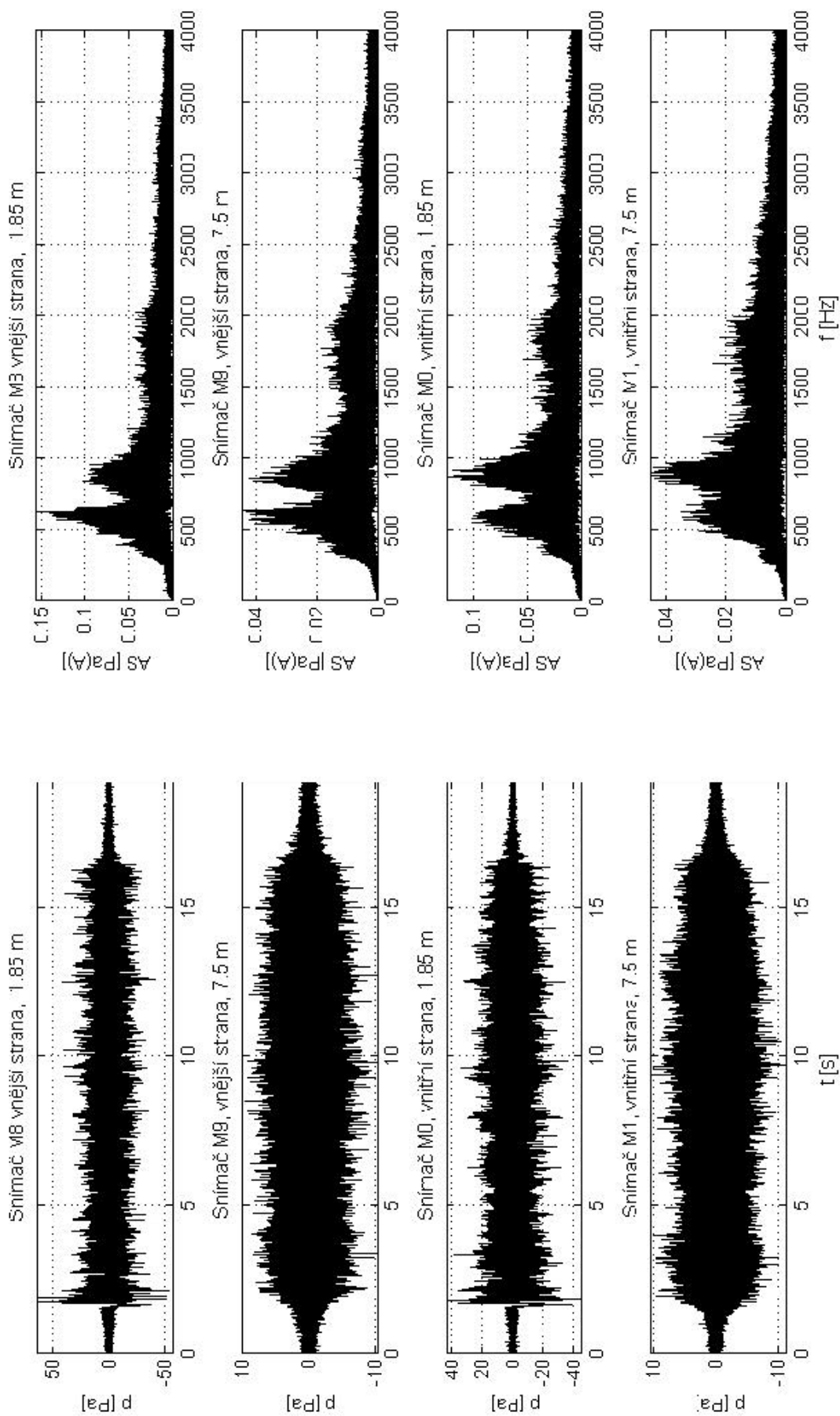
# **PŘÍLOHA D.2**

GRAFY AKUSTICKÉ ODEZVY

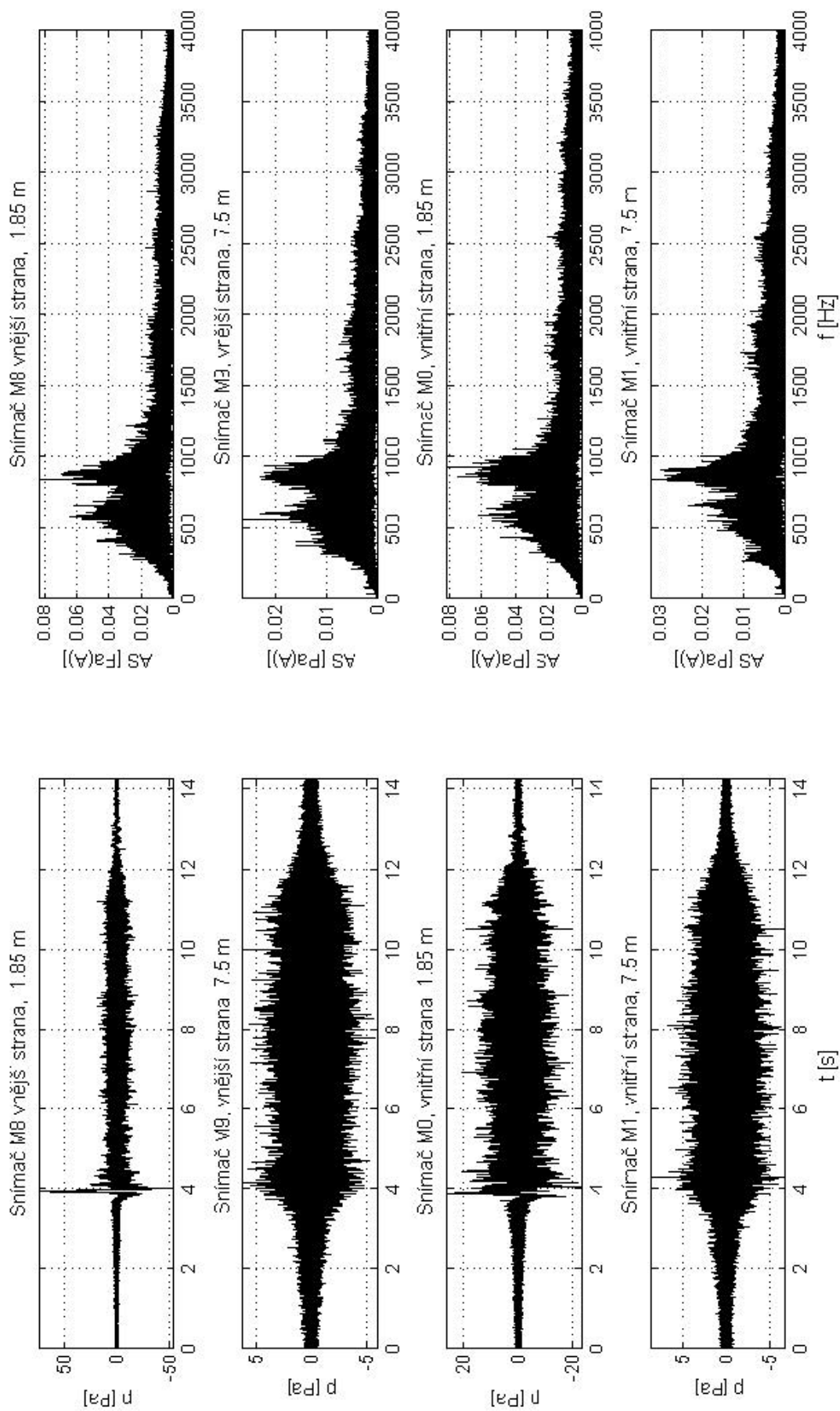
Úsek s upevněním Pandrol FC I



Obr. D.2.1 Rychlík (R) - lokomotiva 150; 5 vozů;  $v = 116$  km/h

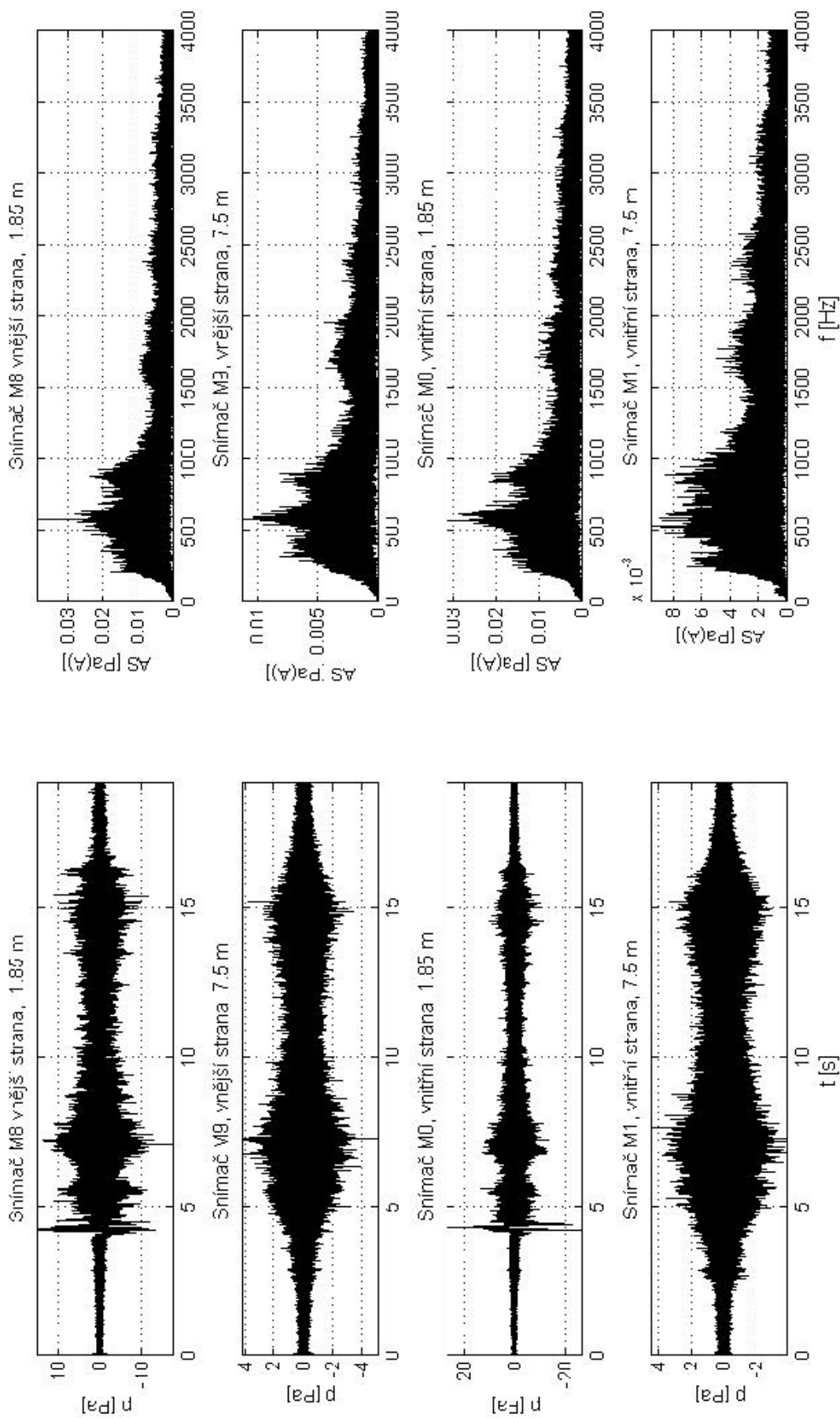


Obr. D.2.2 Nákladní vlak - lokomotiva 363; 25 vozů;  $v = 83$  km/h

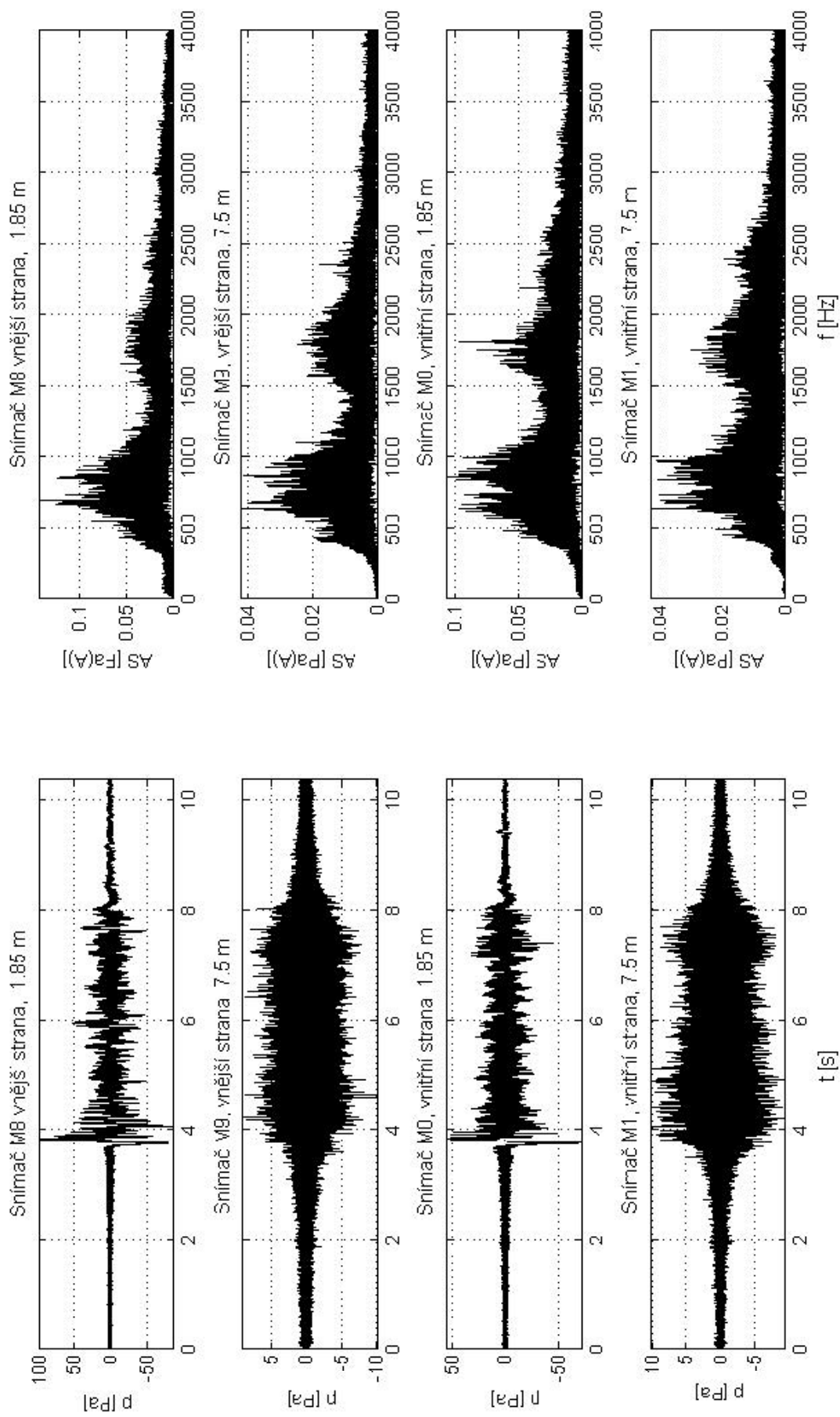


Obr. D.2.3 Nákladní vlak - lokomotiva 742; 9 vozů;  $v = 54 - 59$  km/h

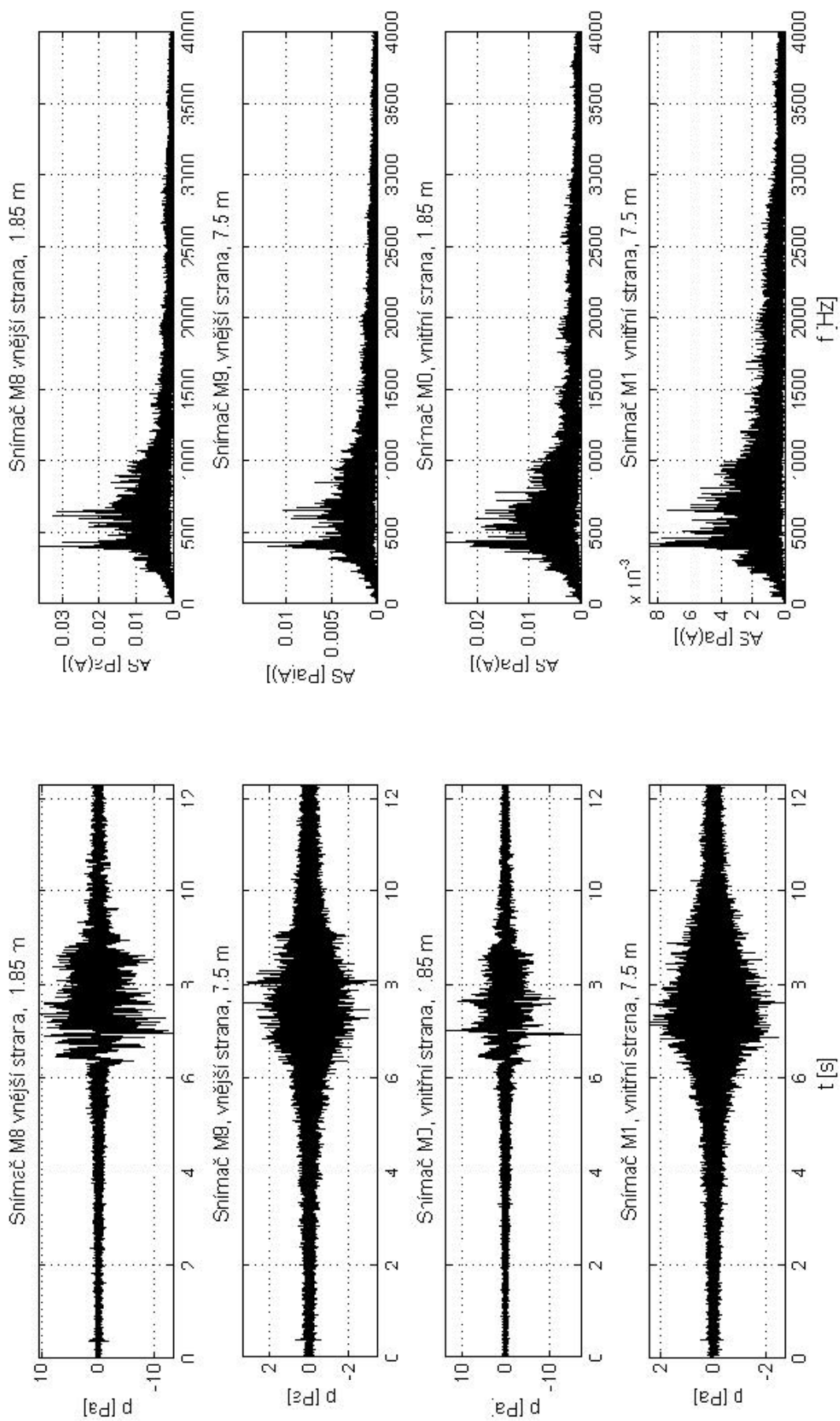




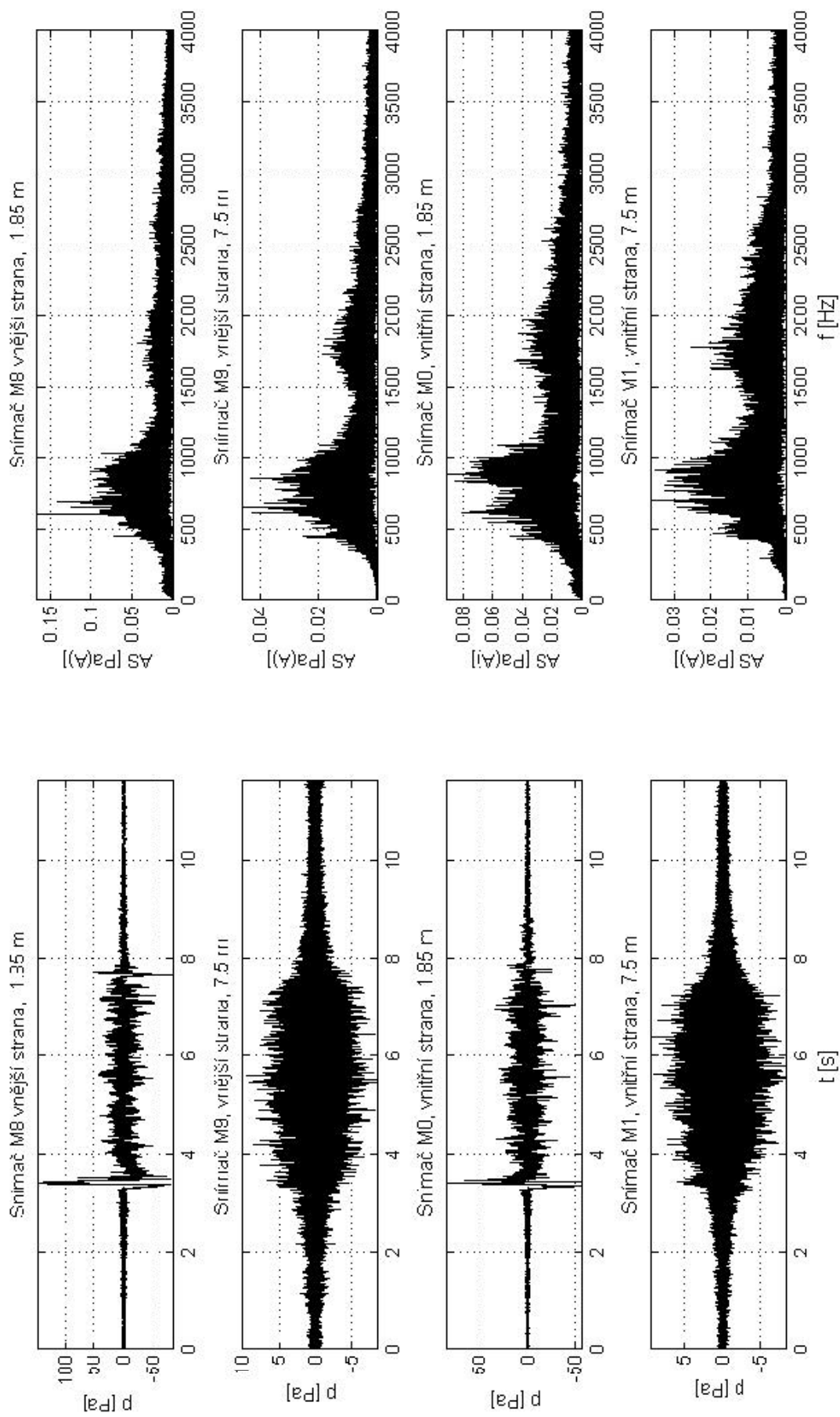
Obr. D.2.4 Nákladní vlak - lokomotiva 363; 9 vozů;  $v = 45$  km/h



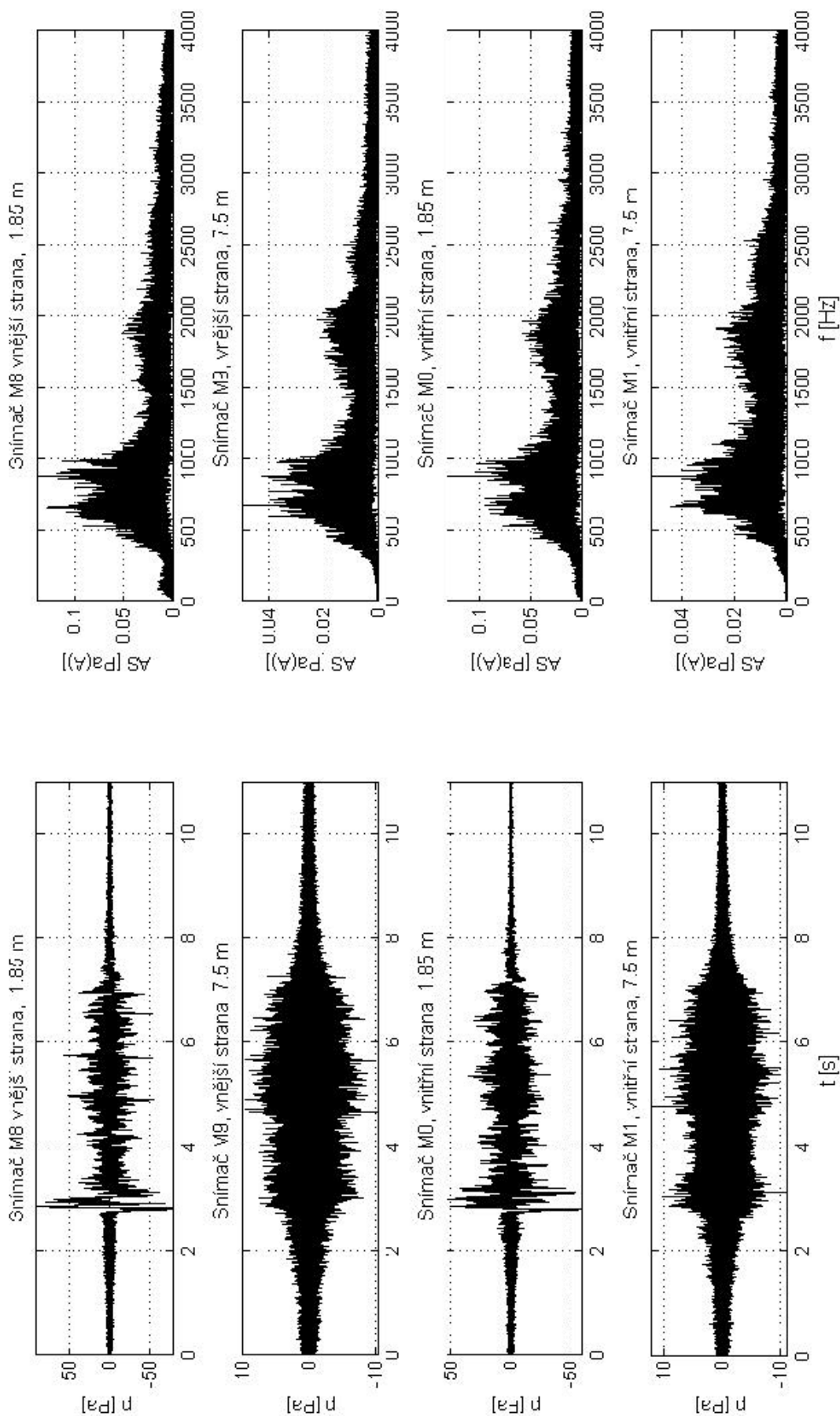
Obr. D.2.5 Rychlík (R) - lokomotiva 150; 5 vozů;  $v = 108$  km/h



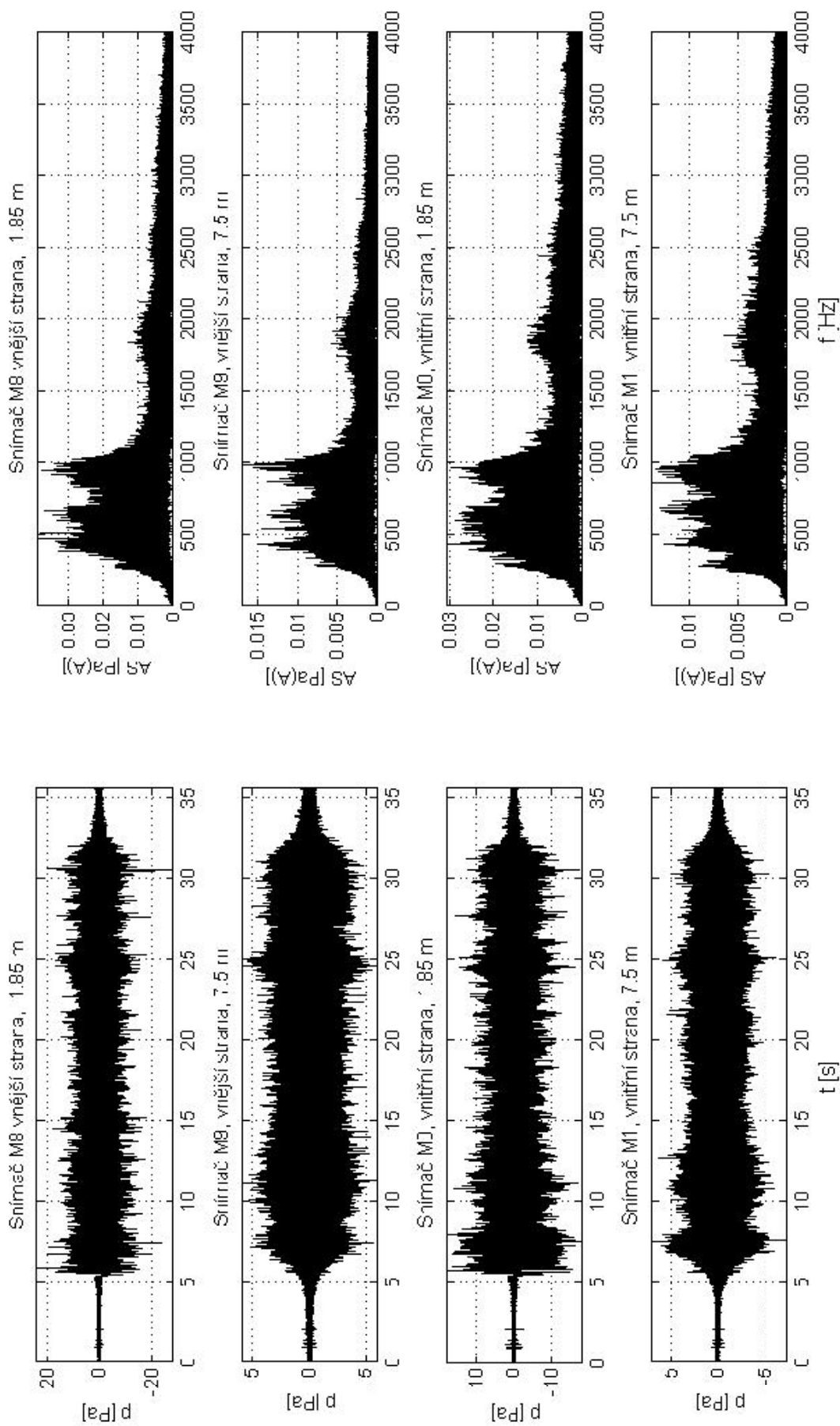
Obr. D.2.6 Lokomotivní vlak (Lv) - lokomotiva ASP; 1 vůz;  $v = 55$  km/h



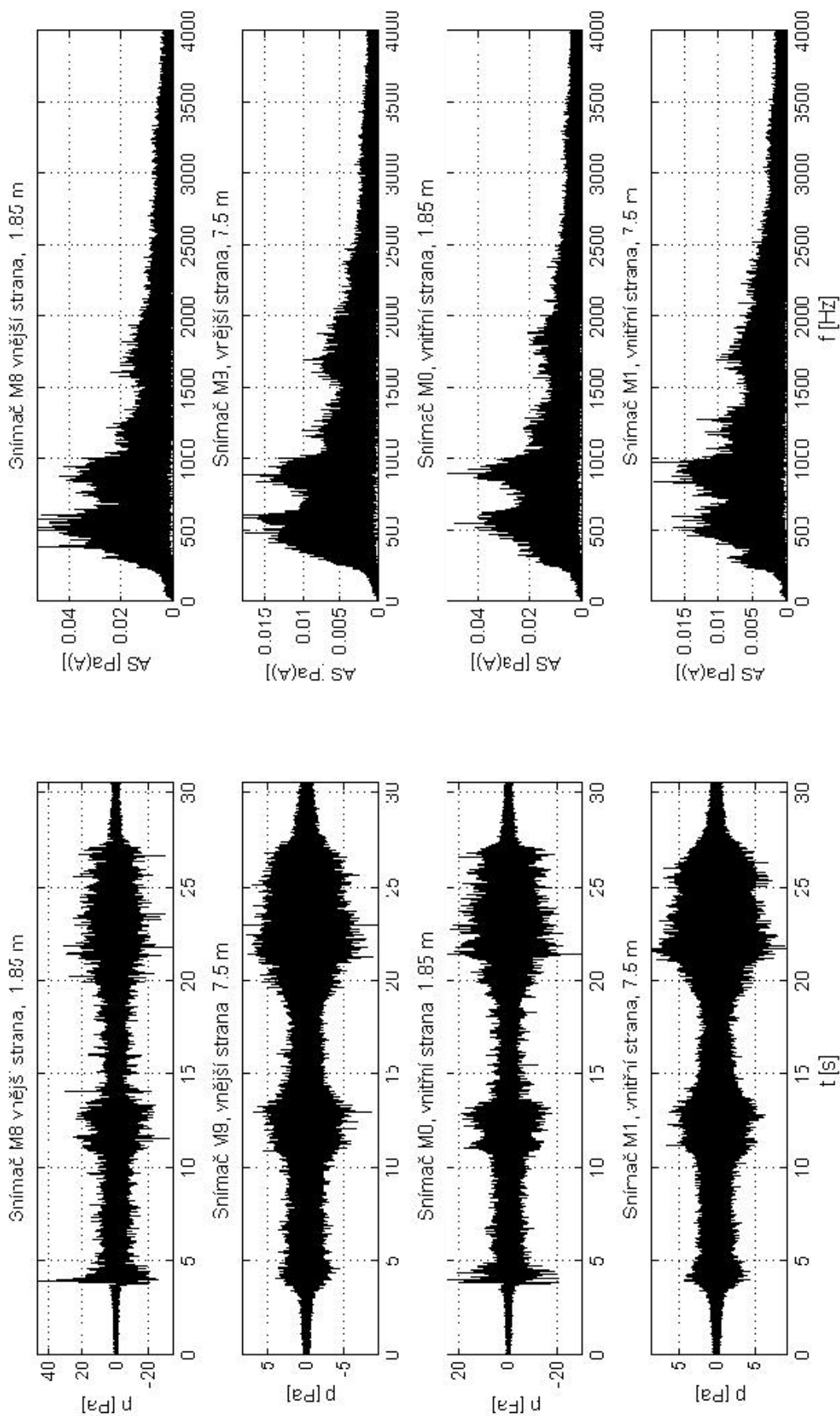
Obr. D.2.7 Rychlík (R) - lokomotiva 362; 5 vozů;  $v = 100$  km/h



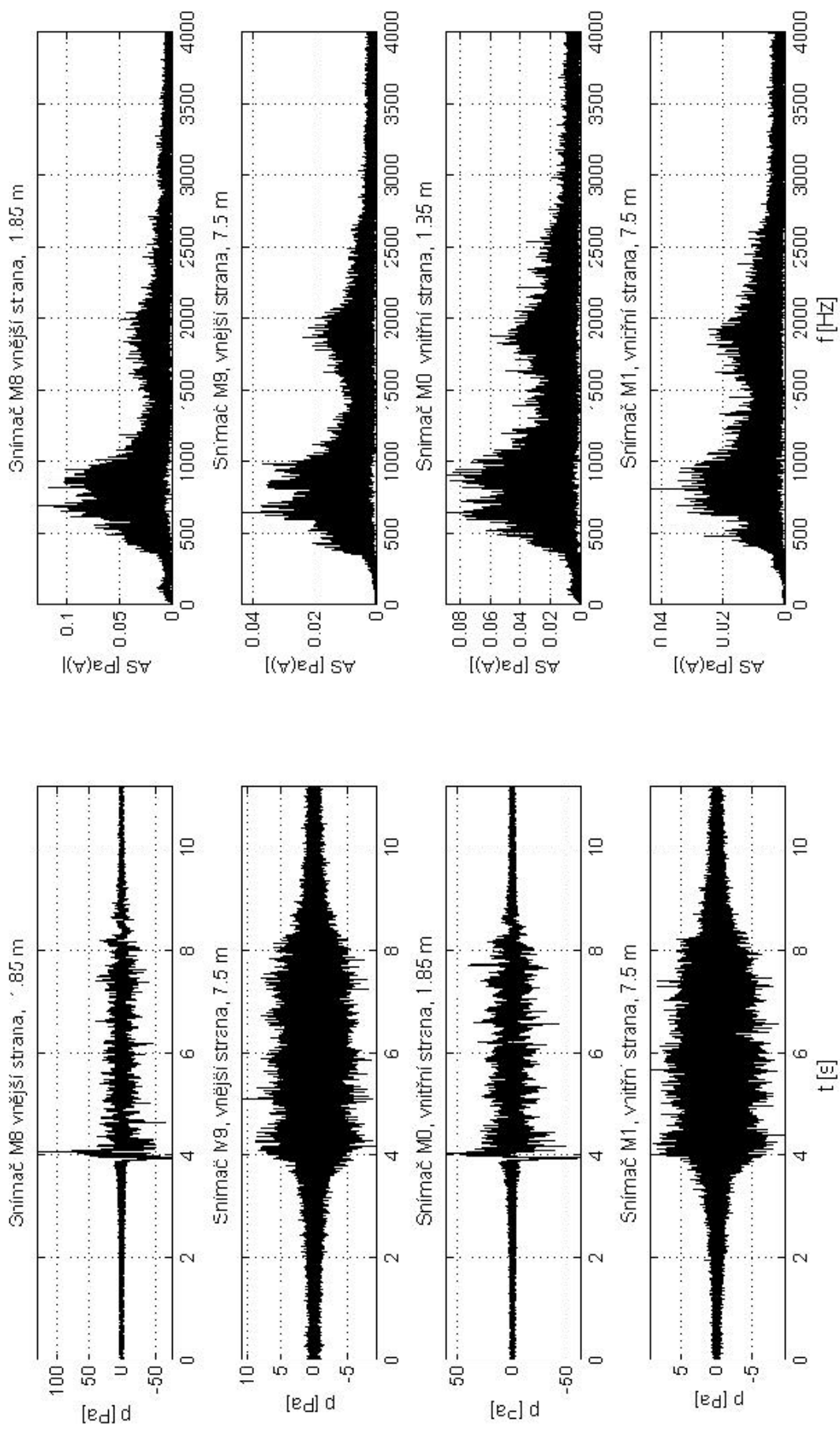
Obr. D.2.8 Rychlík (R) - lokomotiva 150; 5 vozů;  $v = 96$  km/h



Obr. D.2.9 Nákladní vlak - lokomotivy 189, 742, 742; 27 vozů;  $v = 46$  km/h

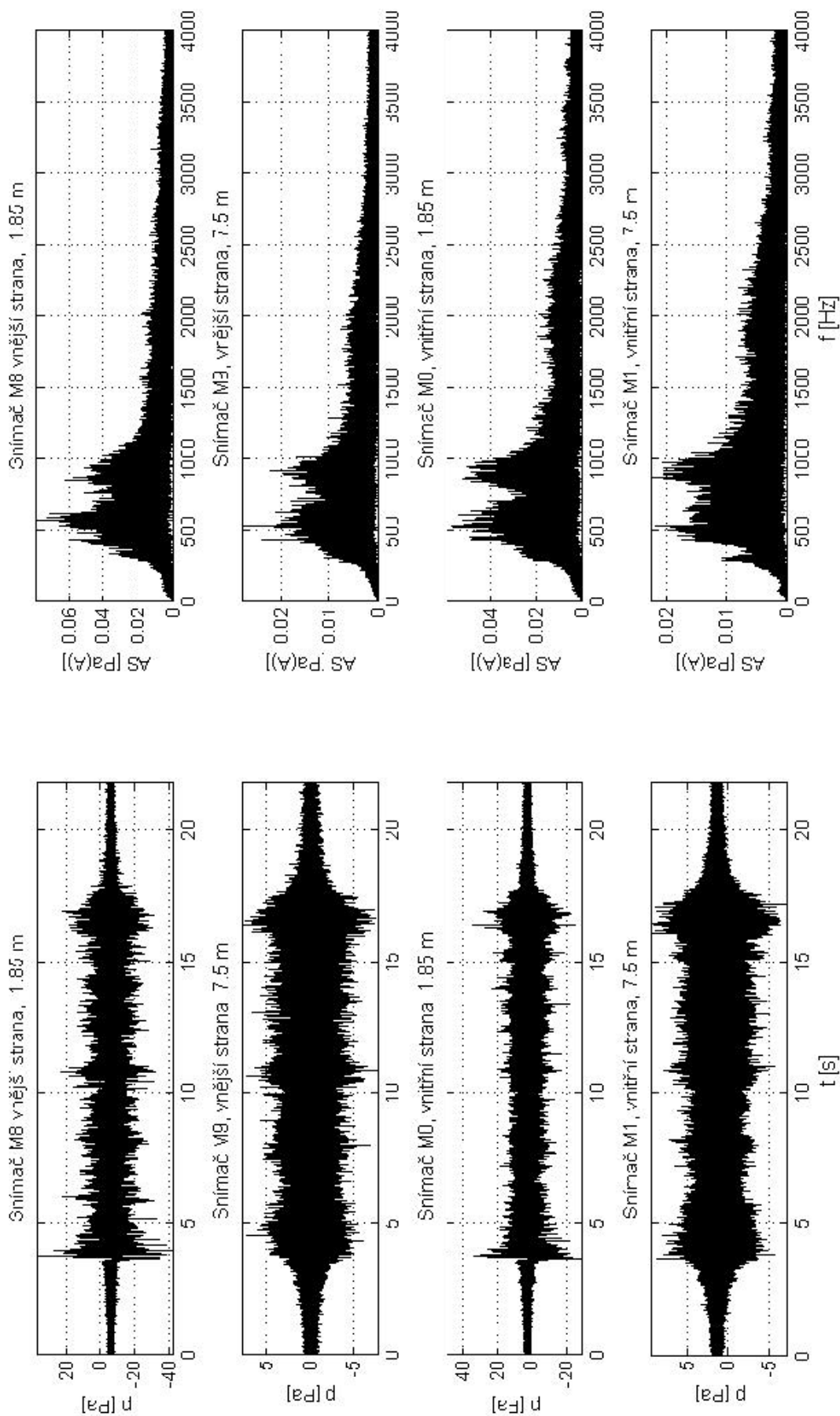


Obr. D.2.10 Nákladní vlak - lokomotiva 363; 32 vozů;  $v = 58$  km/h

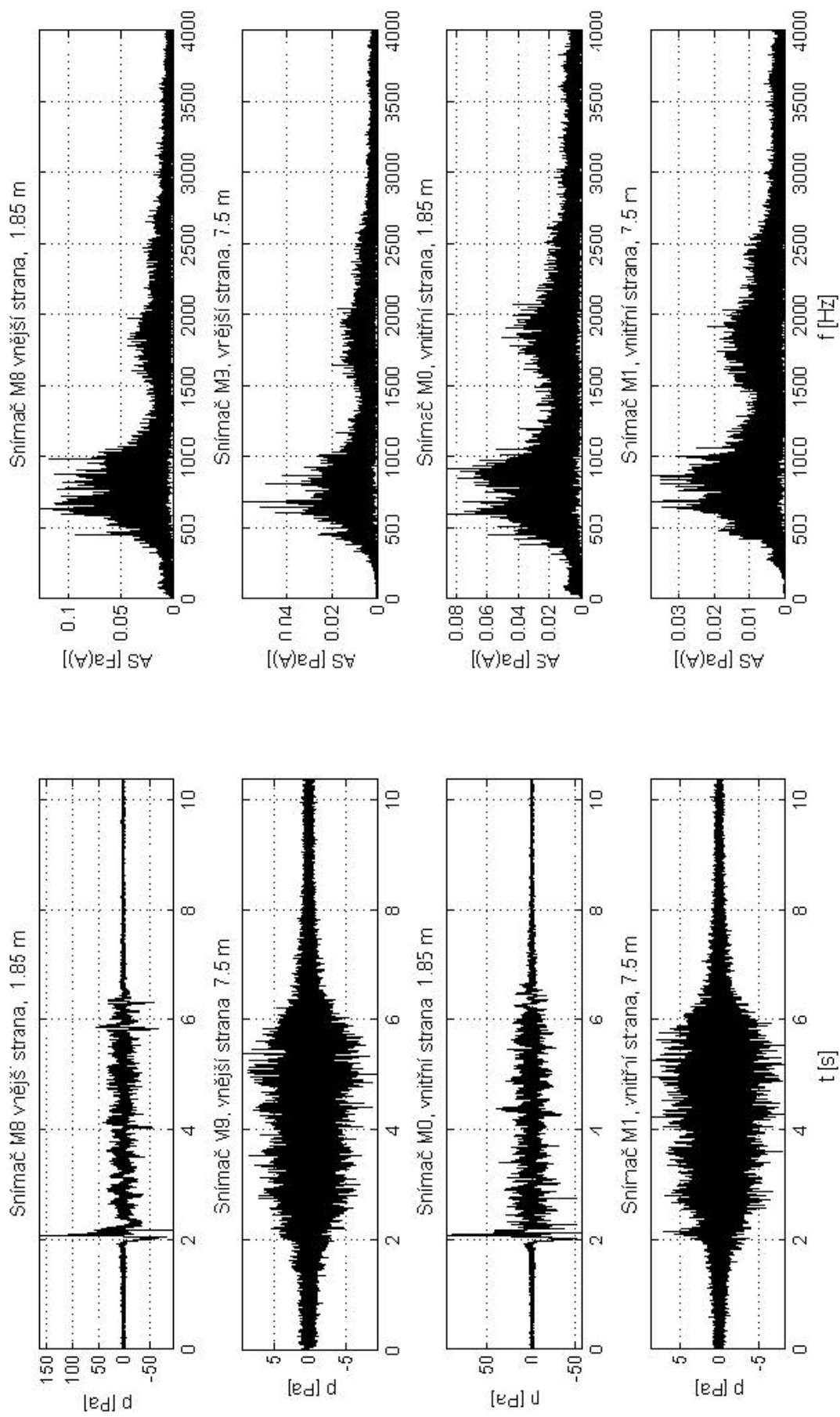


Obr. D.2.11 Rychlík (R) - lokomotiva 150; 5 vozů;  $v = 108$  km/h

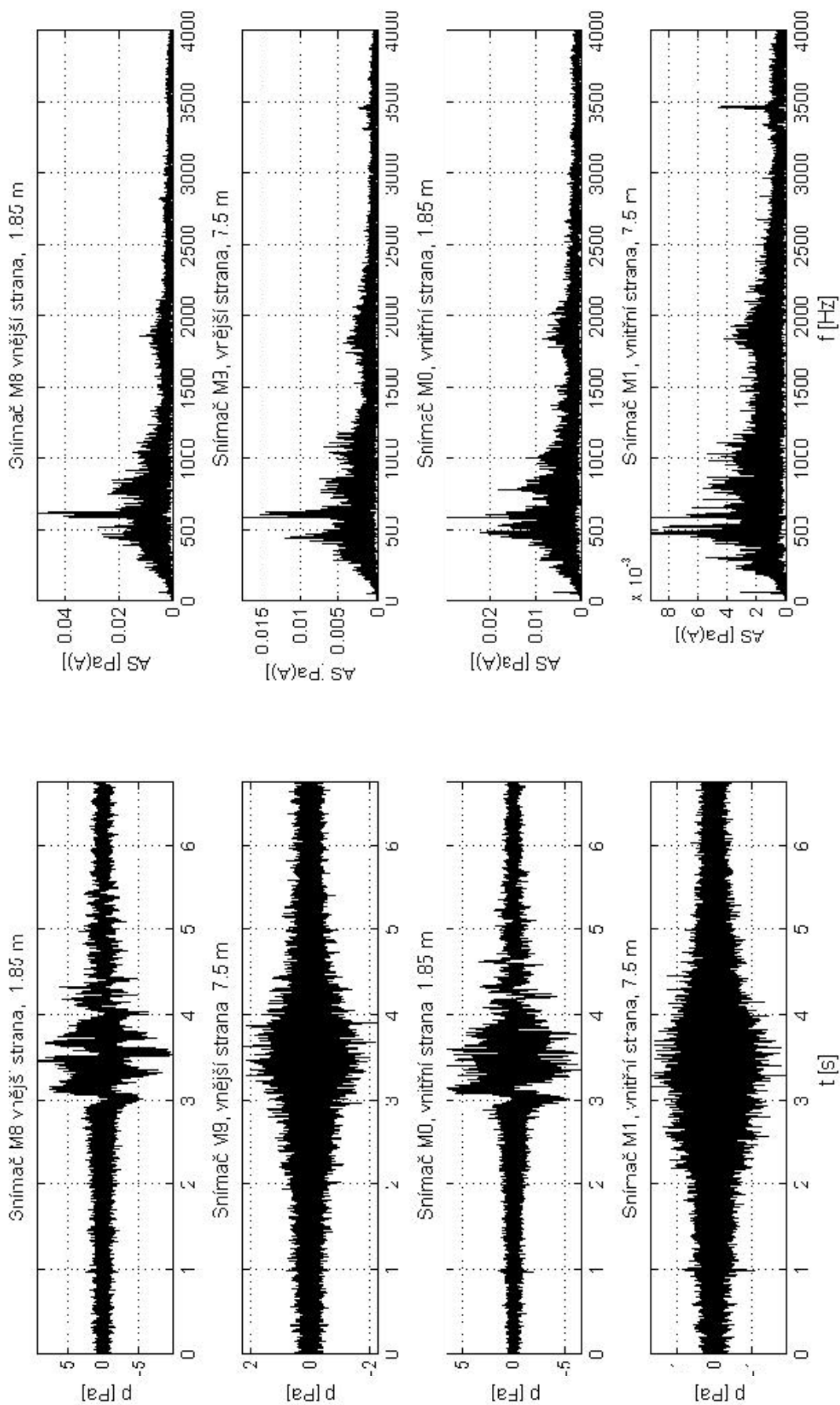




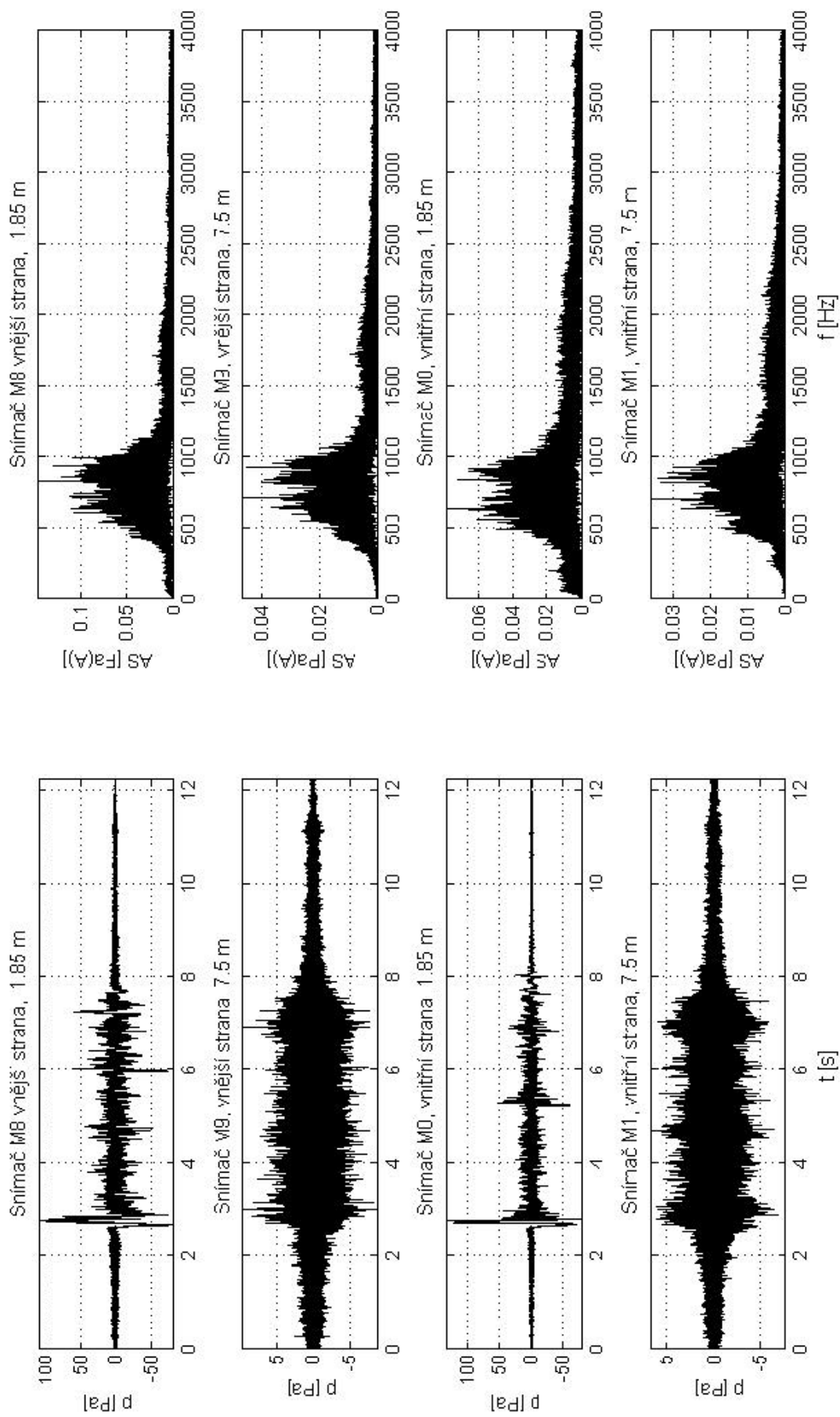
Obr. D.2.12 Nákladní vlak - lokomotiva 363; 18 vozů;  $v = 65$  km/h



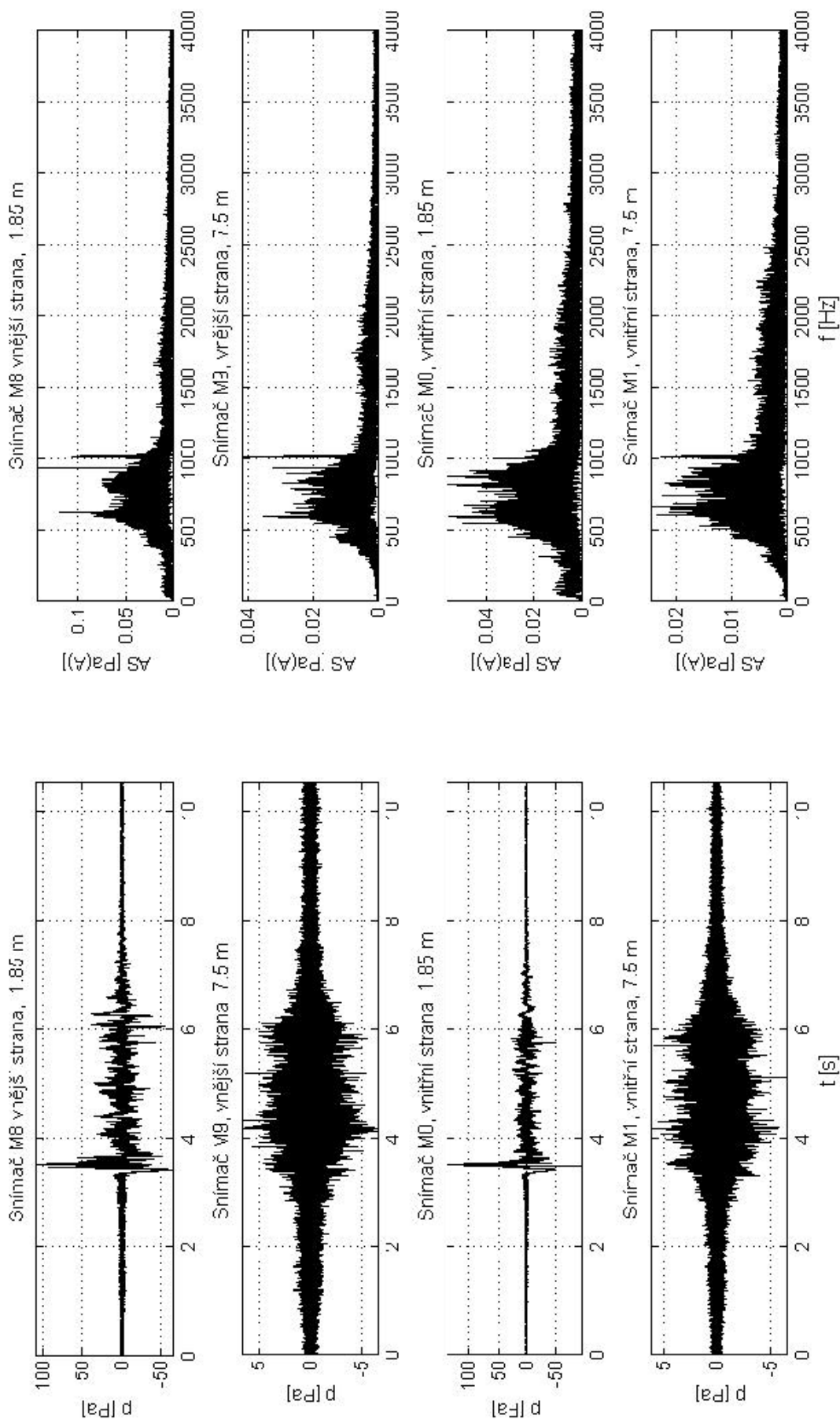
Obr. D.2.13 Rychlík (R) - lokomotiva 362; 5 vozů;  $v = 110$  km/h



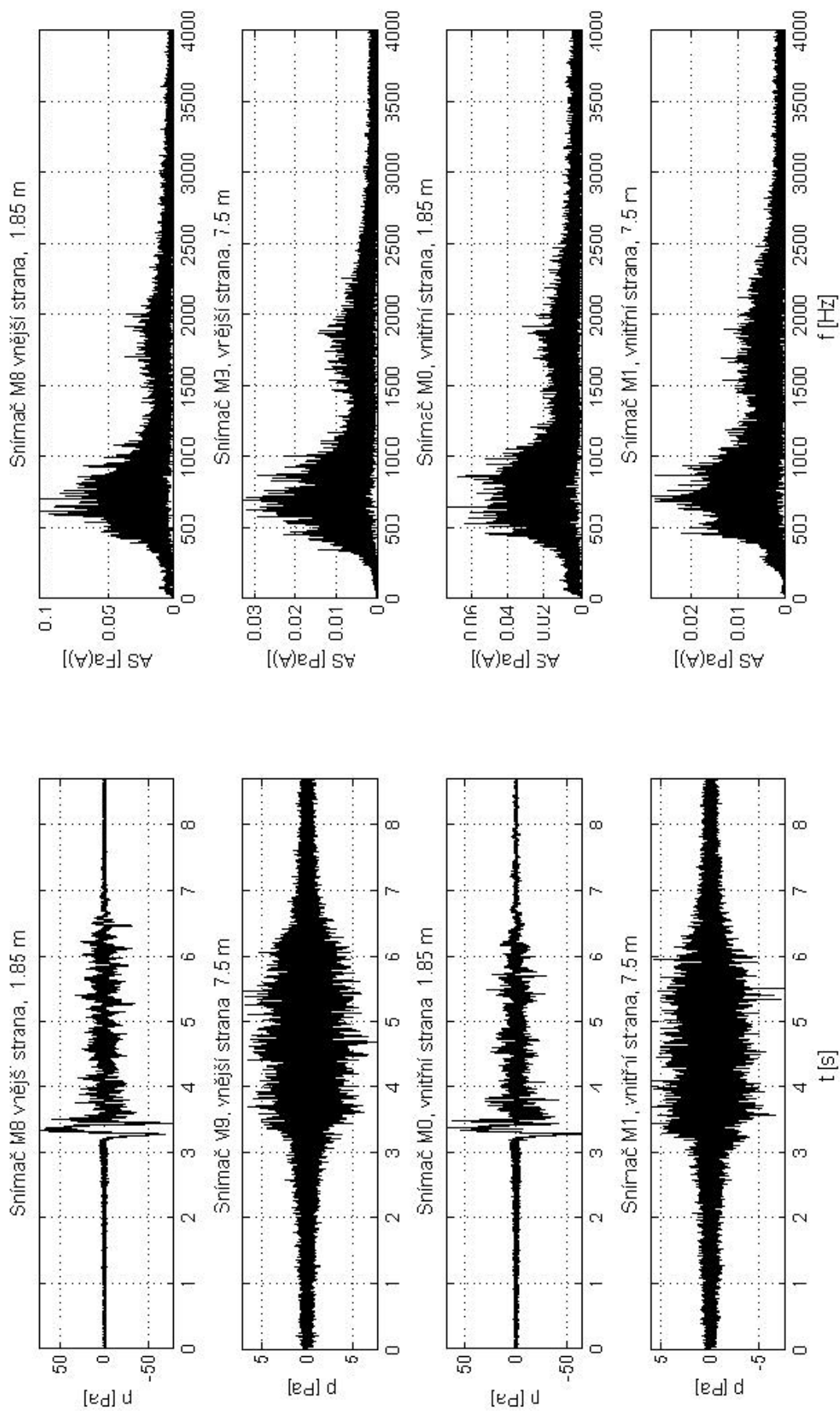
Obr. D.2.14 MUV 77 -  $v = 57$  km/h



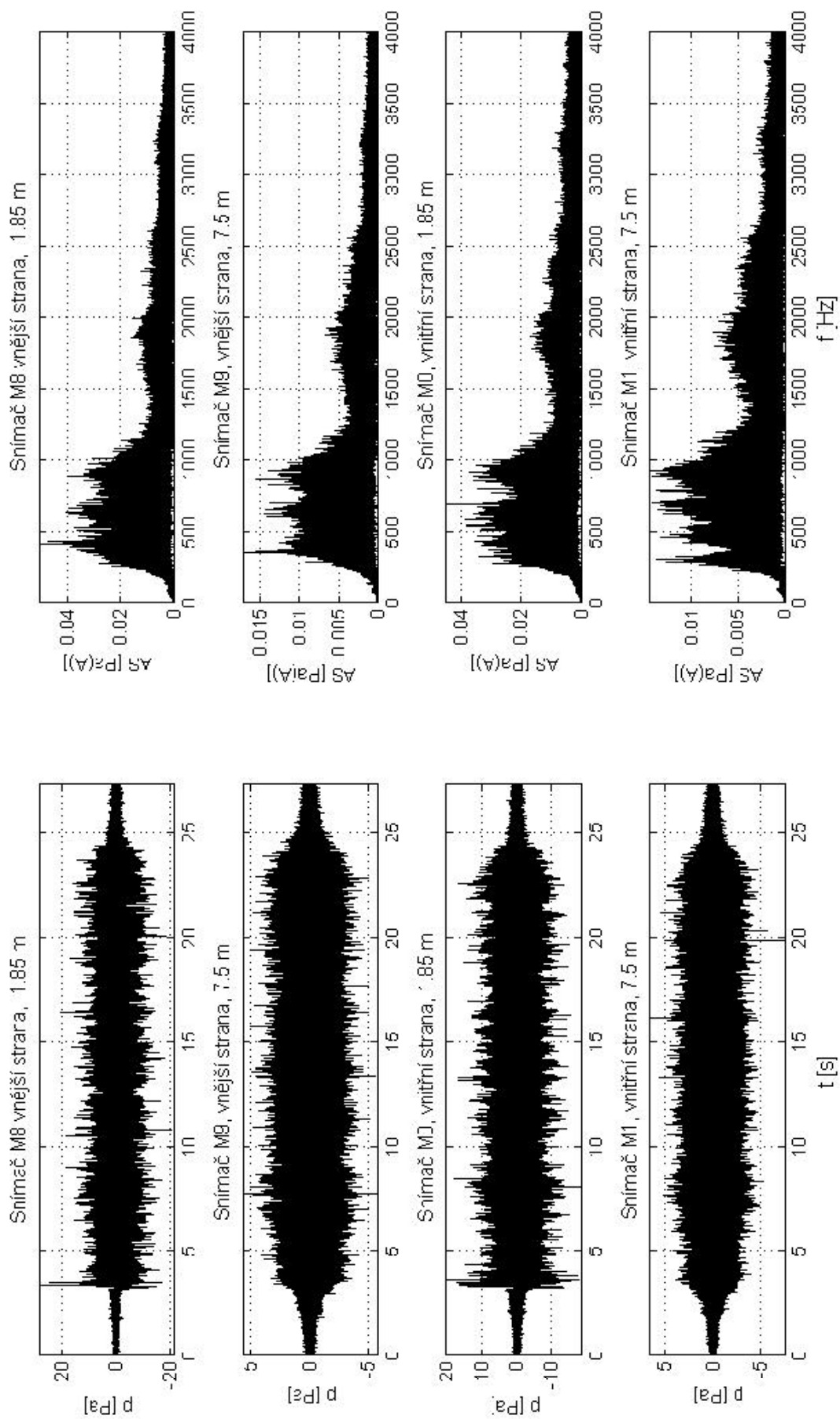
Obr. D.2.15 EuroCity (EC) - lokomotiva 380; 6 vozů;  $v = 114$  km/h



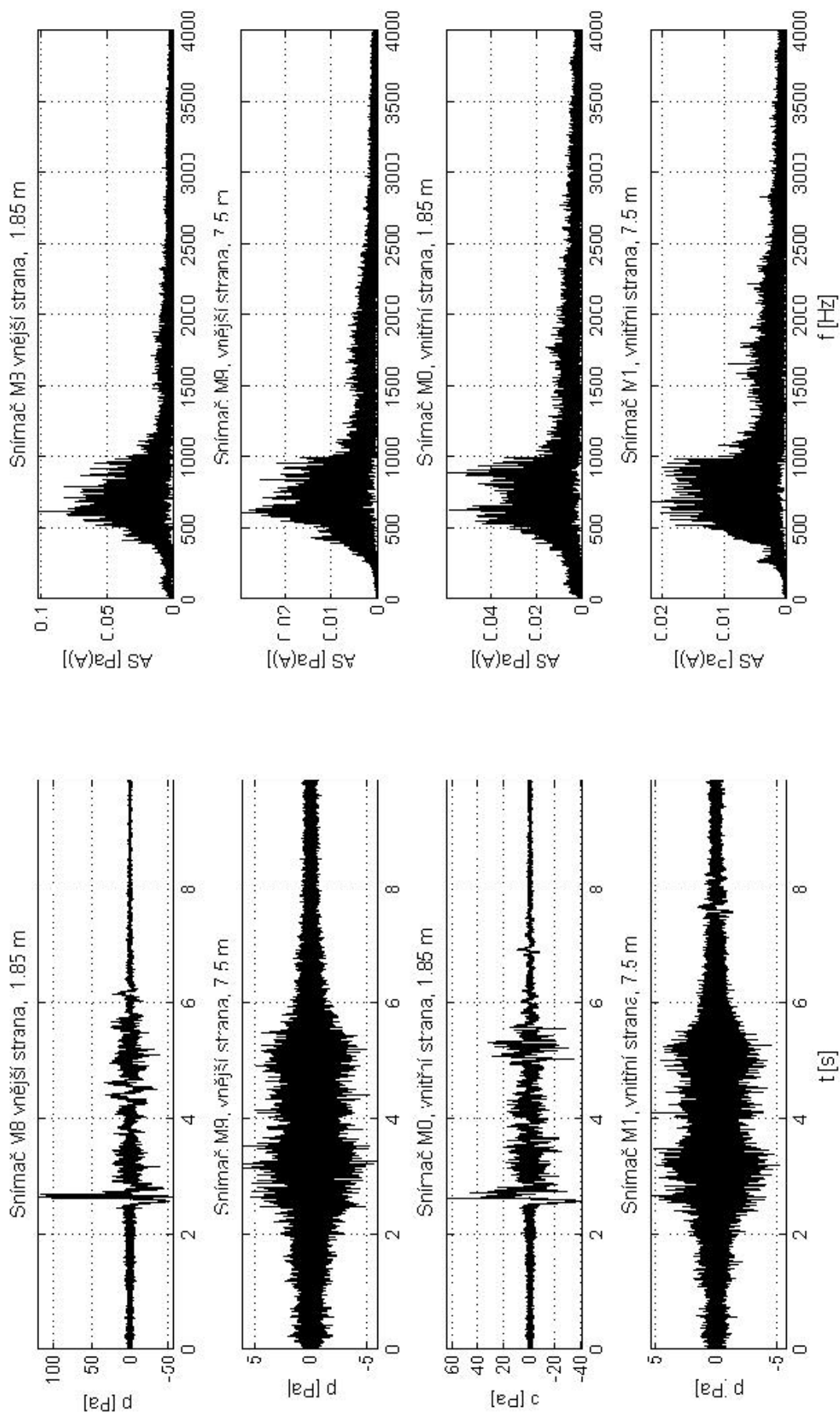
Obr. D.2.16 Osobní vlak (Os) - lokomotiva 362; 3 vozy;  $v = 101$  km/h



Obr. D.2.17 Osobní vlak (Os) - lokomotiva 163; 3 vozy;  $v = 110$  km/h

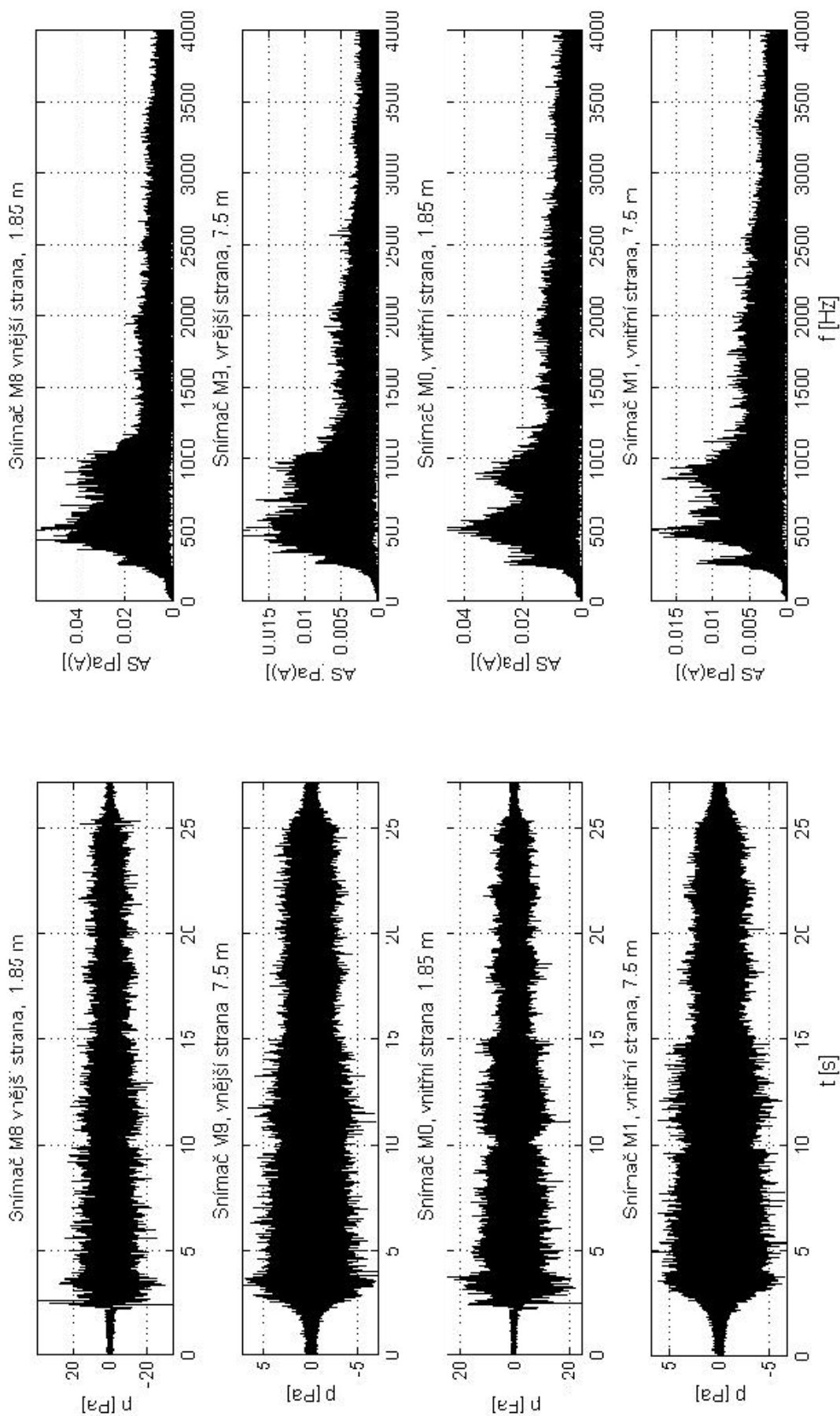


Obr. D.2.18 Nákladní vlak - lokomotiva 363; 25 vozů;  $v = 60$  km/h



Obr. D.2.19 Osobní vlak (Os) - lokomotiva 362; 3 vozy;  $v = 115$  km/h





Obr. D.2.20 Nákladní vlak - lokomotiva Siemens; 31 vozů;  $v = 79 - 50$  km/h

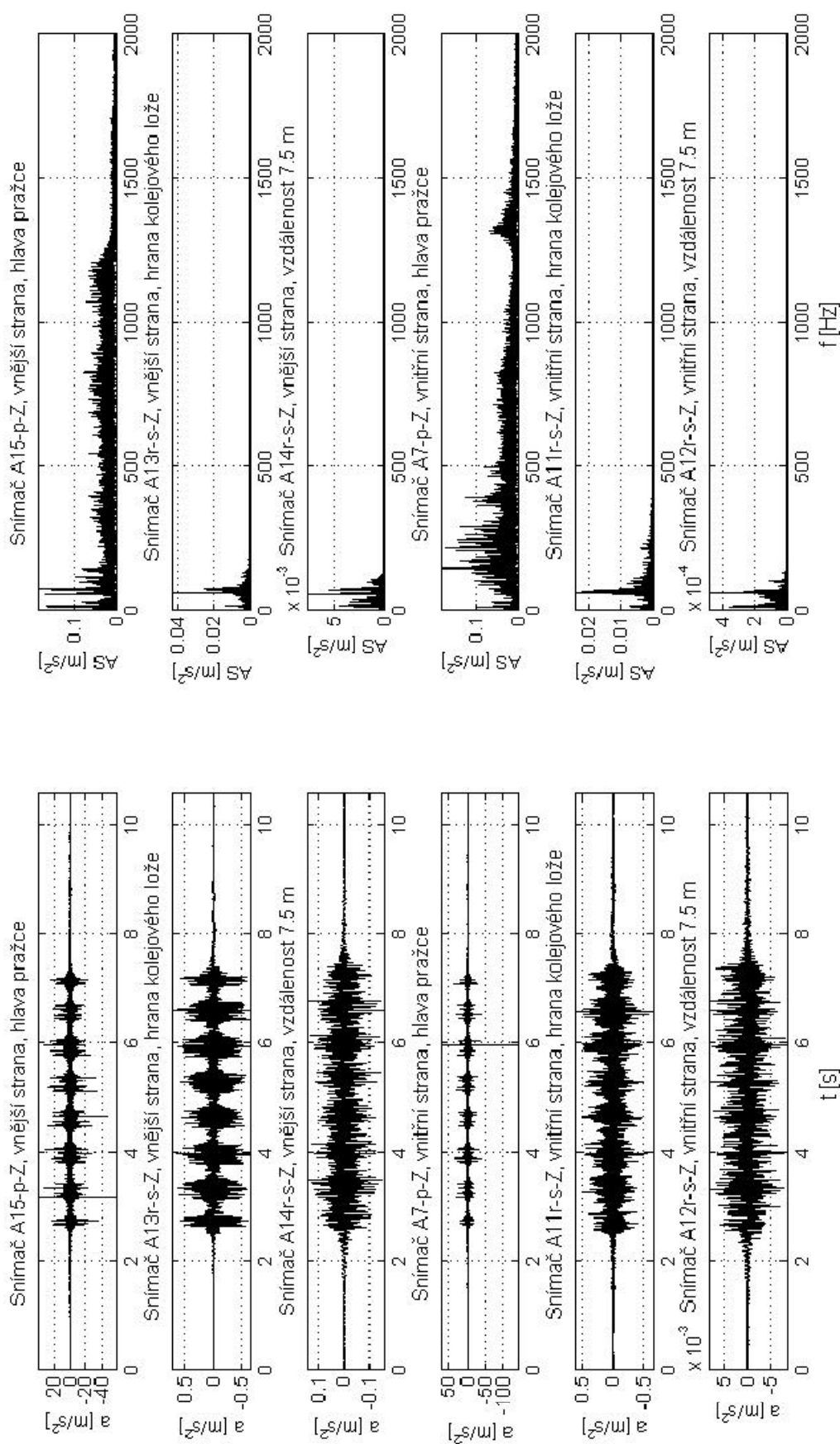
# **PŘÍLOHA E**

GRAFY DYNAMICKÉ ODEZVY - VIBRACE

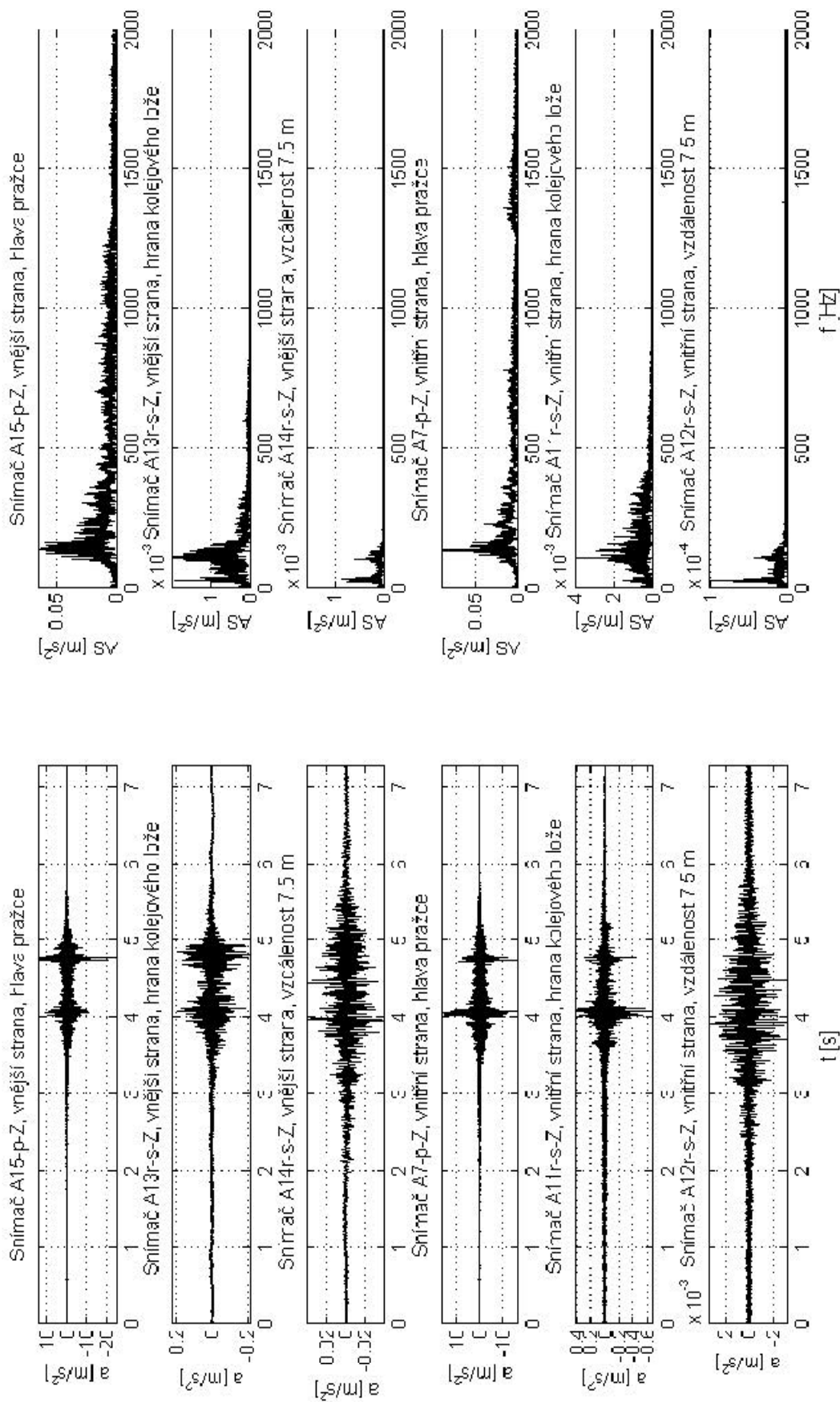
# **PŘÍLOHA E.1**

GRAFY DYNAMICKÉ ODEZVY - VIBRACE

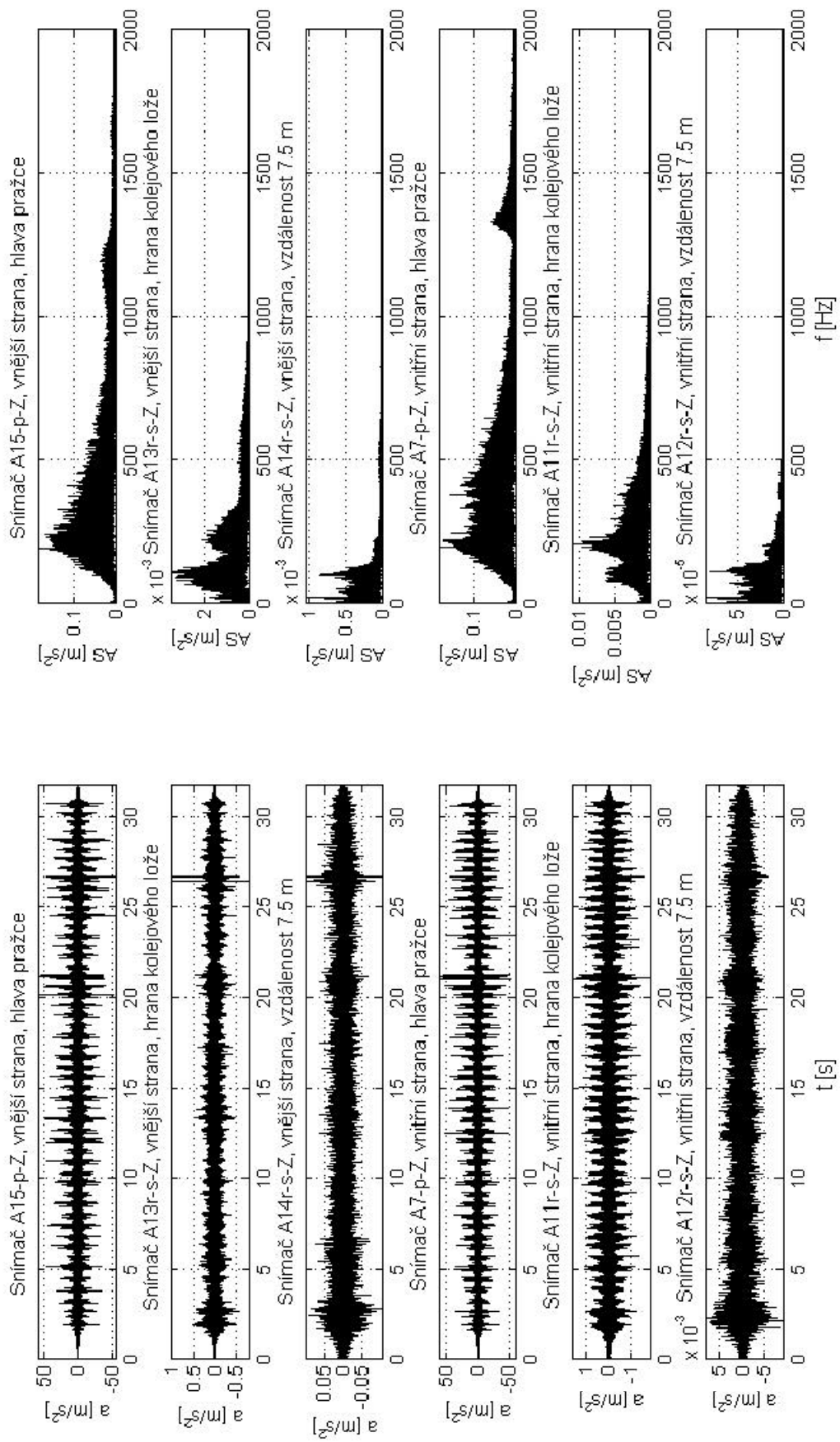
Úsek s upevněním Vossloh W14



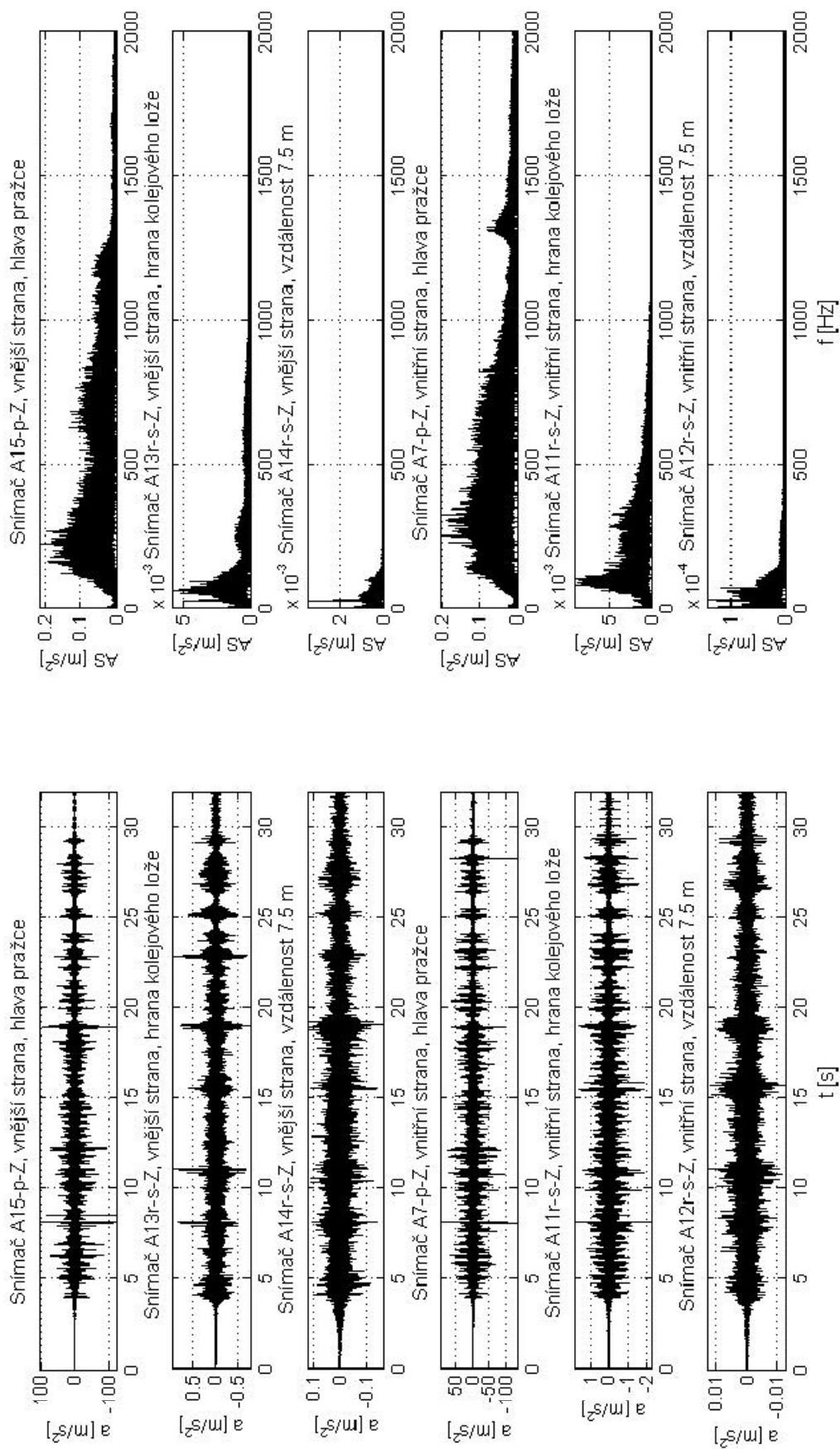
Obr. E.1.1 SC Pendolino - lokomotiva 682; 7 vozů; v = 144 km/h



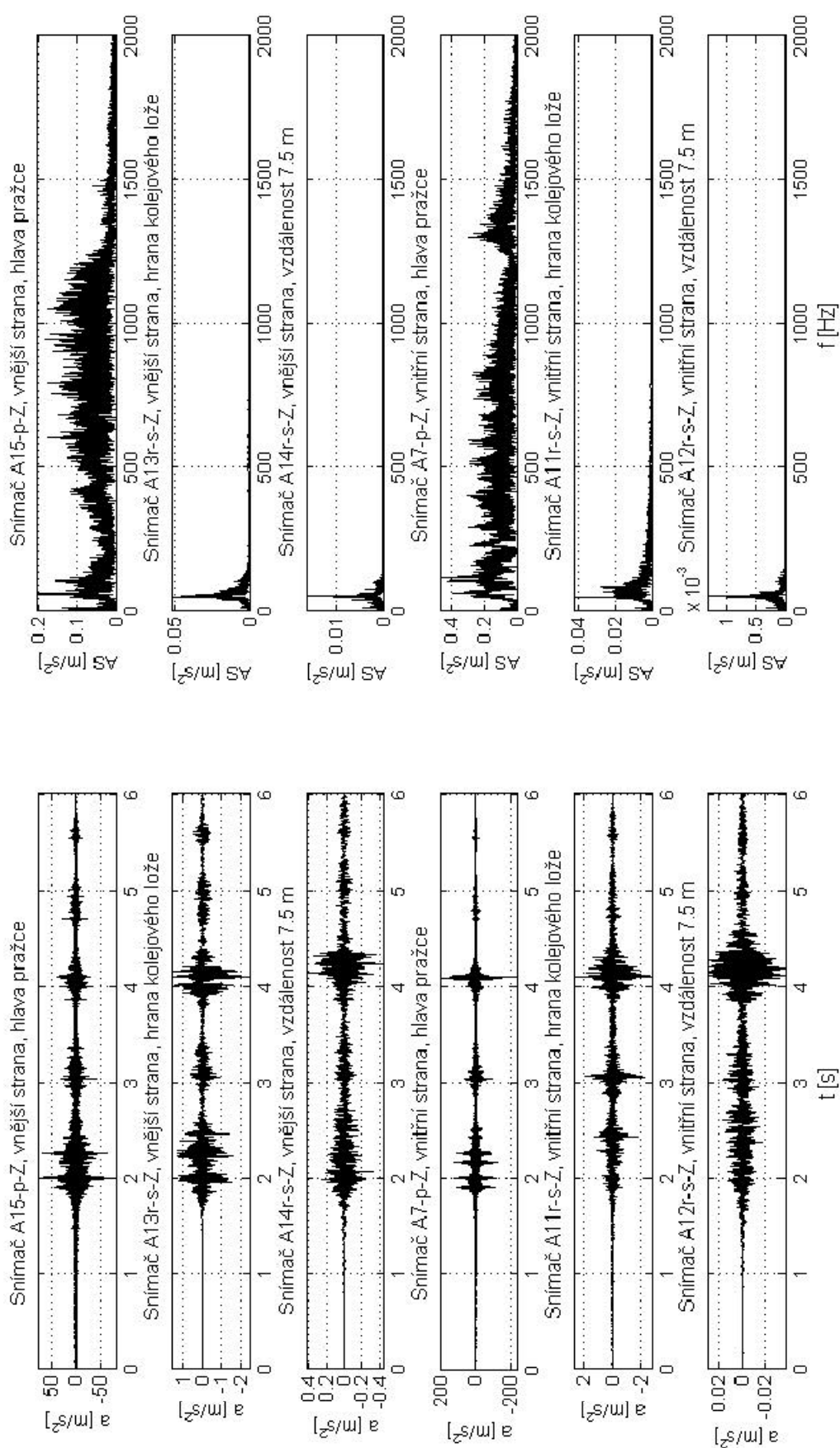
Obr. E.1.2 Pracovní vlak -  $v = 56 - 44$  km/h



Obr. E.1.3 Nákladní vlak - lokomotiva 363; 24 vozů;  $v = 40 - 45$  km/h

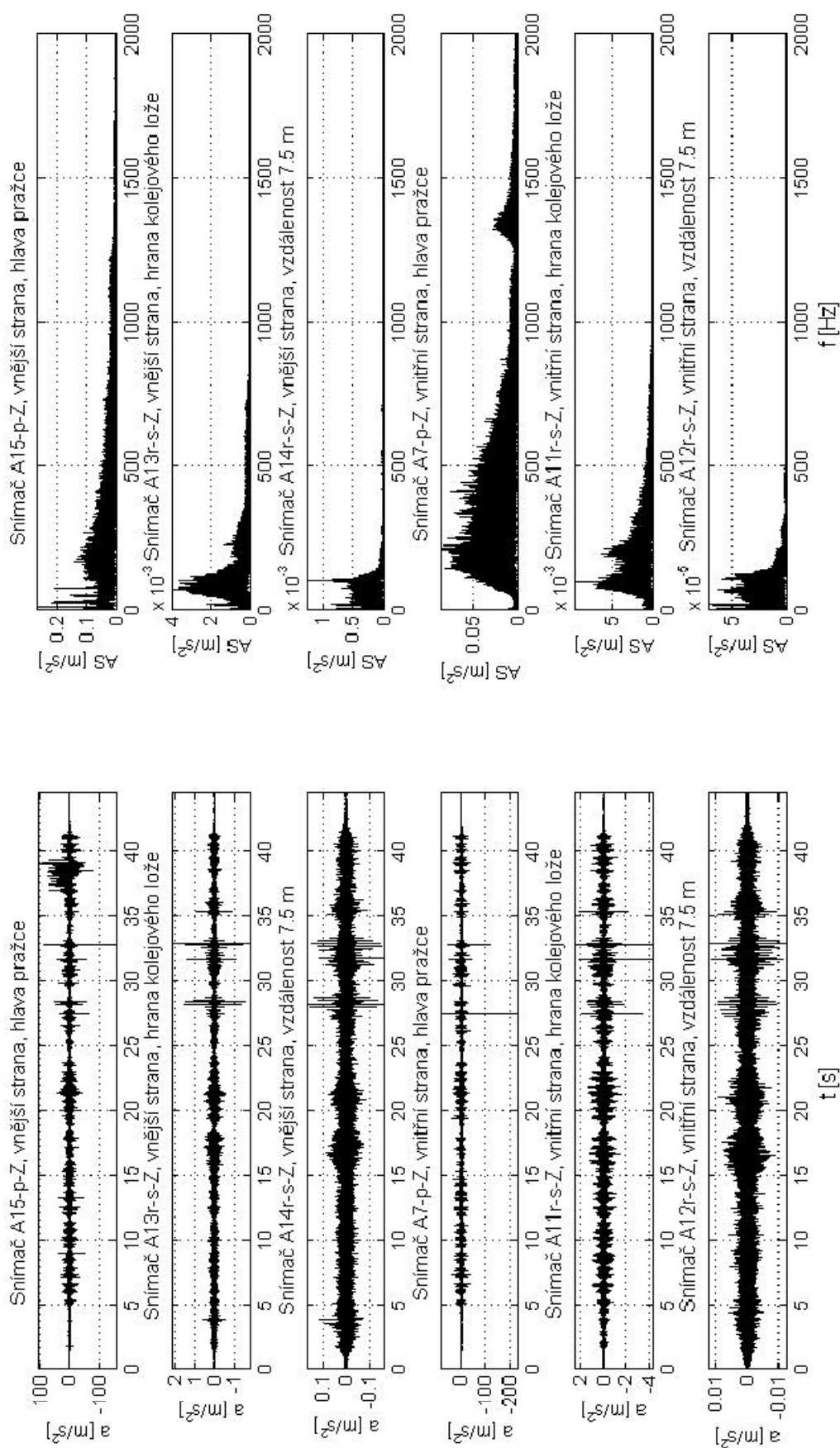


Obr. E.1.4 Nákladní vlak - lokomotiva 363; 34 vozů;  $v = 56$  km/h

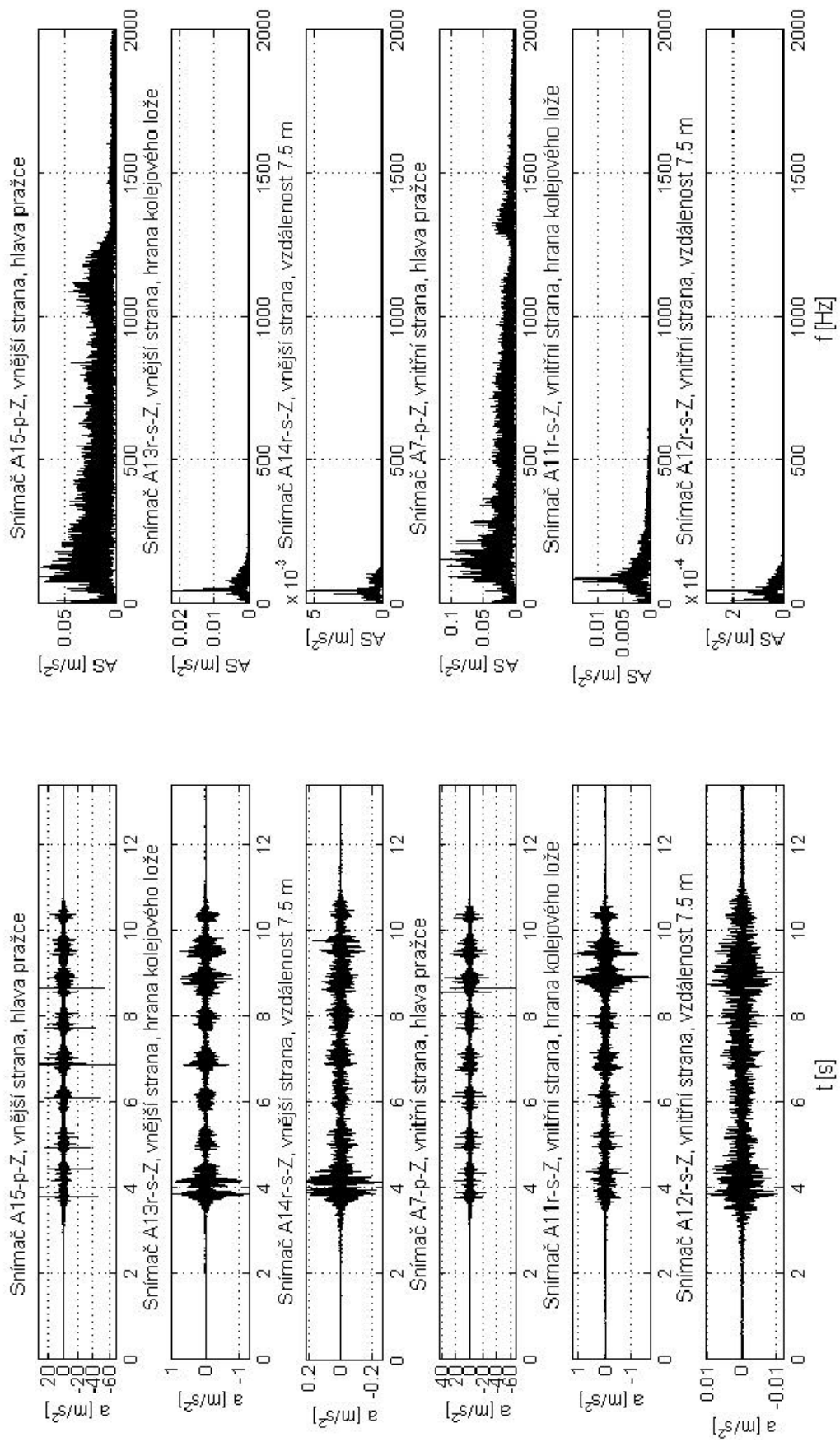


Obr. E.1.5 IC RegioJet - lokomotiva 362; 5 vozů; v = 116 km/h

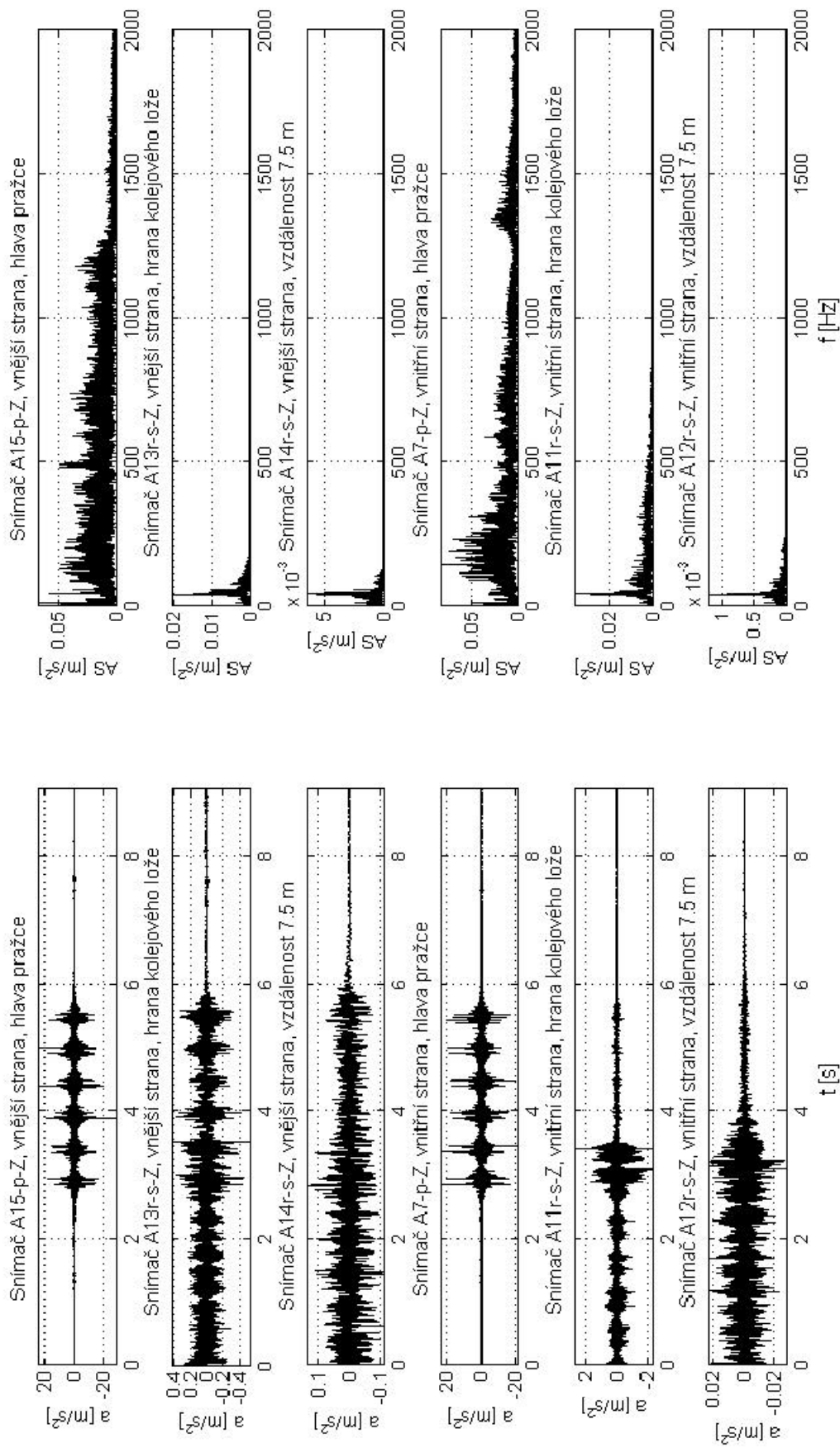




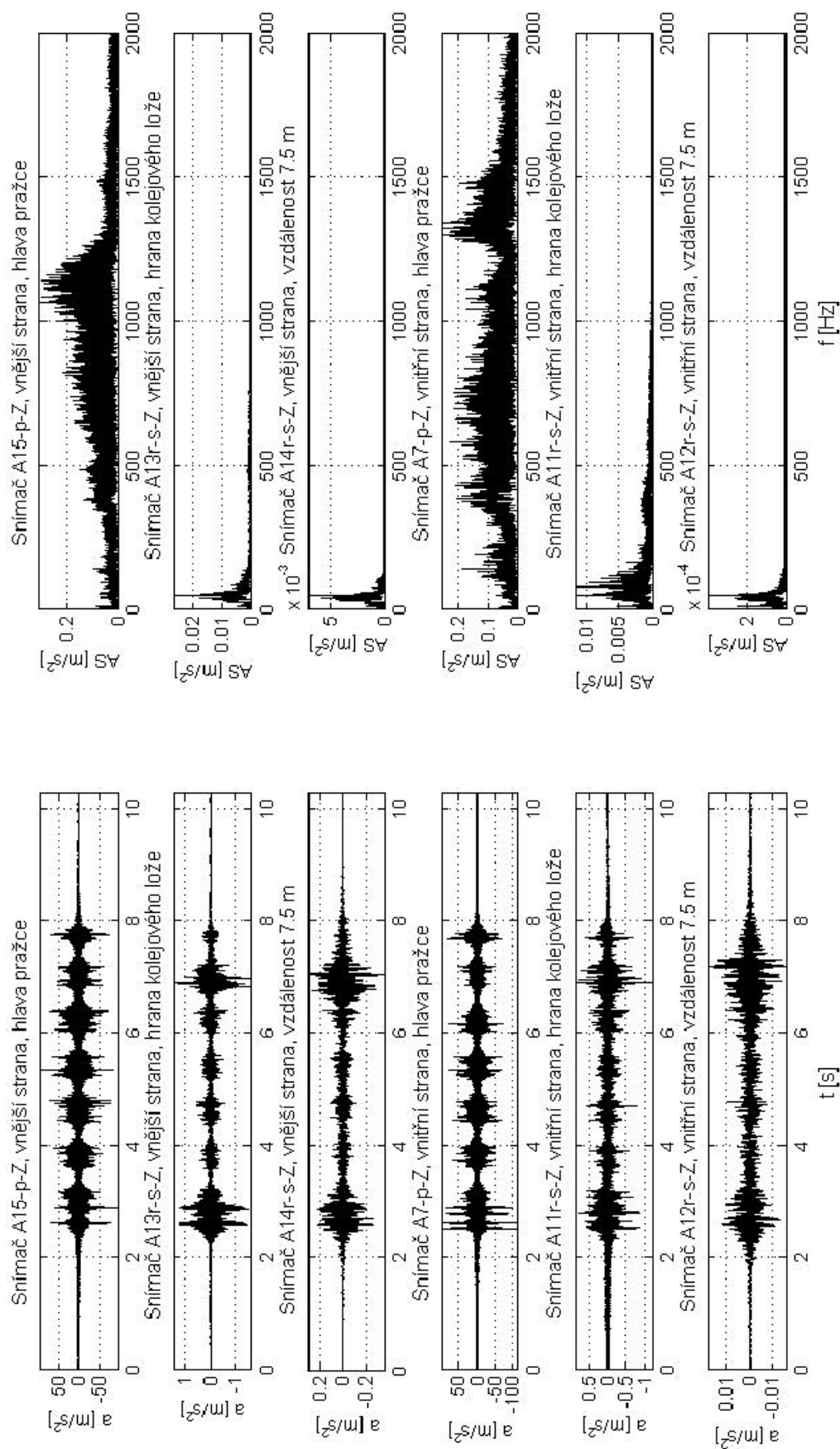
Obr. E.1.6 Nákladní vlak - lokomotivy 2 × Taurus E190; 32 vozů;  $v = 40 - 45$  km/h



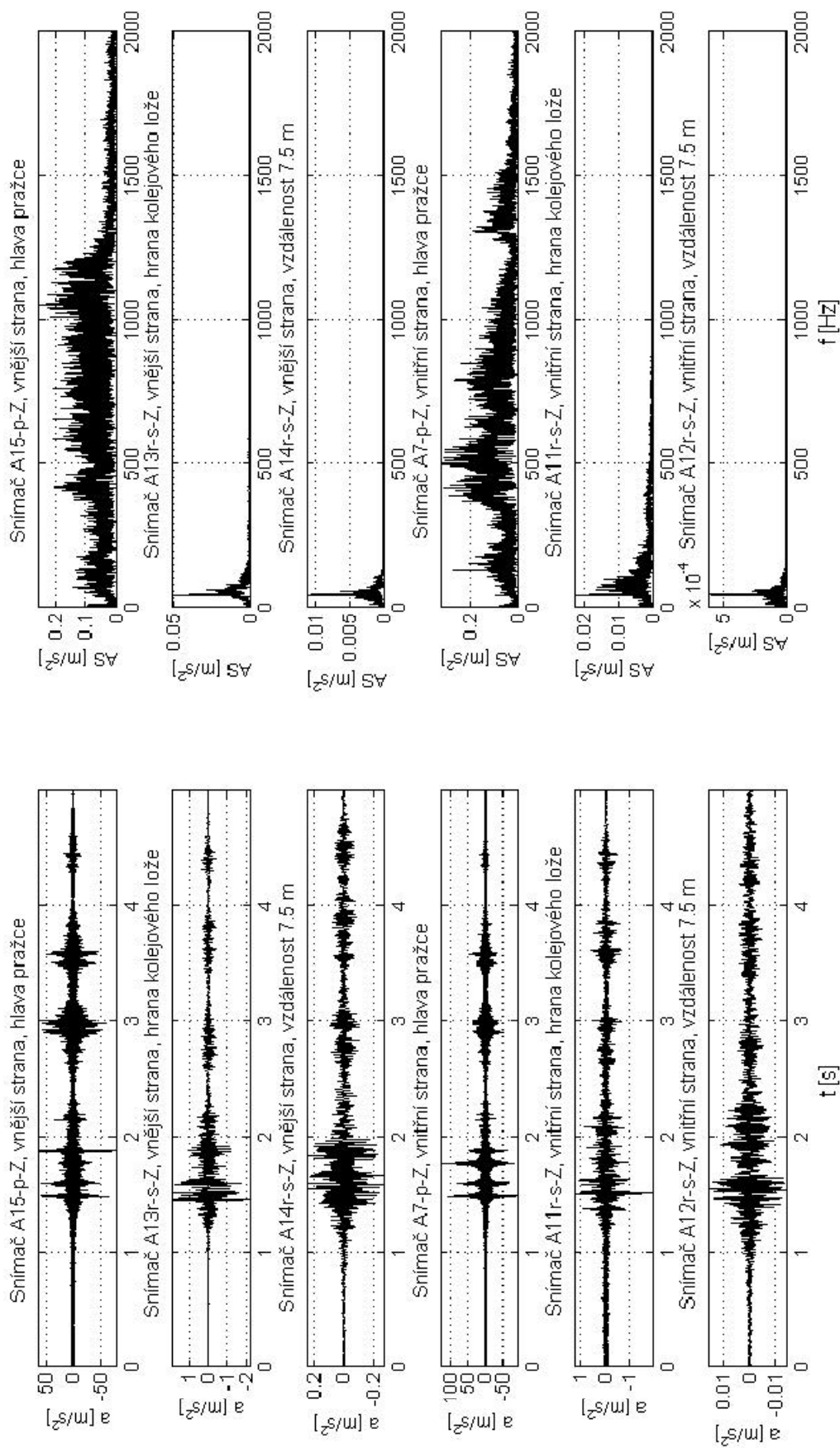
Obr. E.1.7 Expres (Ex) - lokomotiva 151; 7 vozů;  $v = 103$  km/h



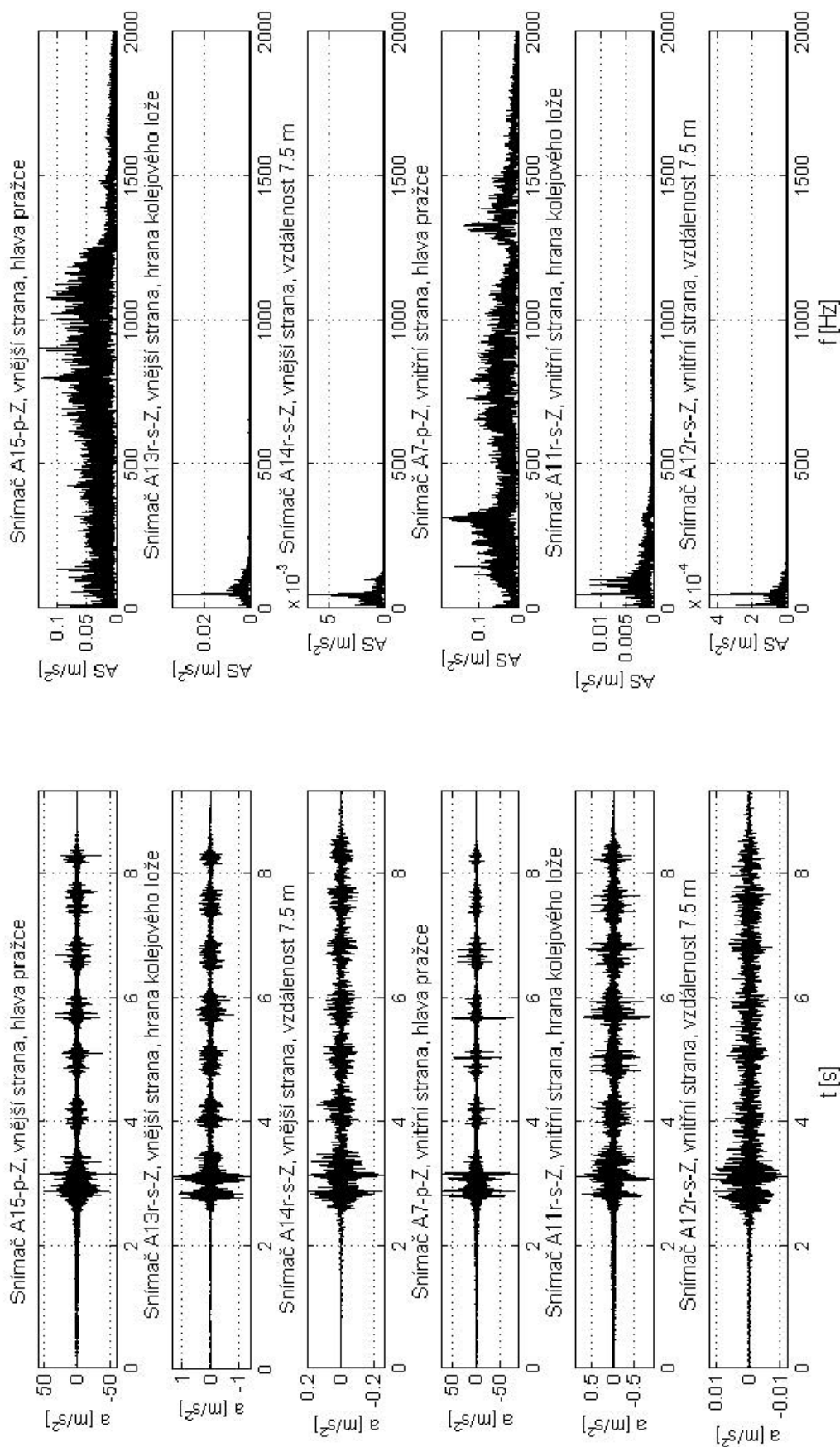
Obr. E.1.8 LEO Express - lokomotiva Siemens; 5 vozů;  $v = 92$  km/h



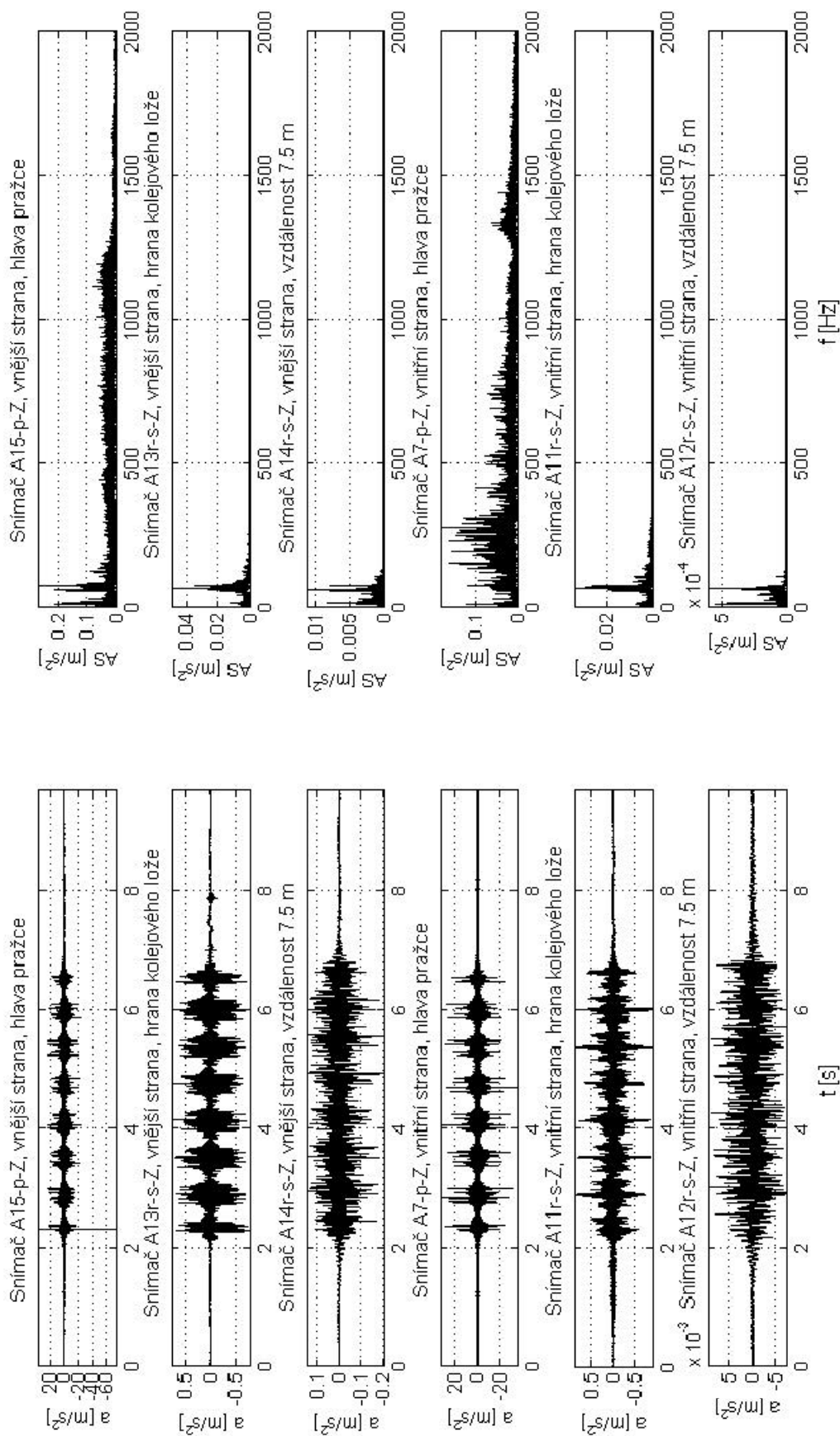
Obr. E.1.9 Rychlík (R) - lokomotiva 362; 6 vozů; v = 107 km/h



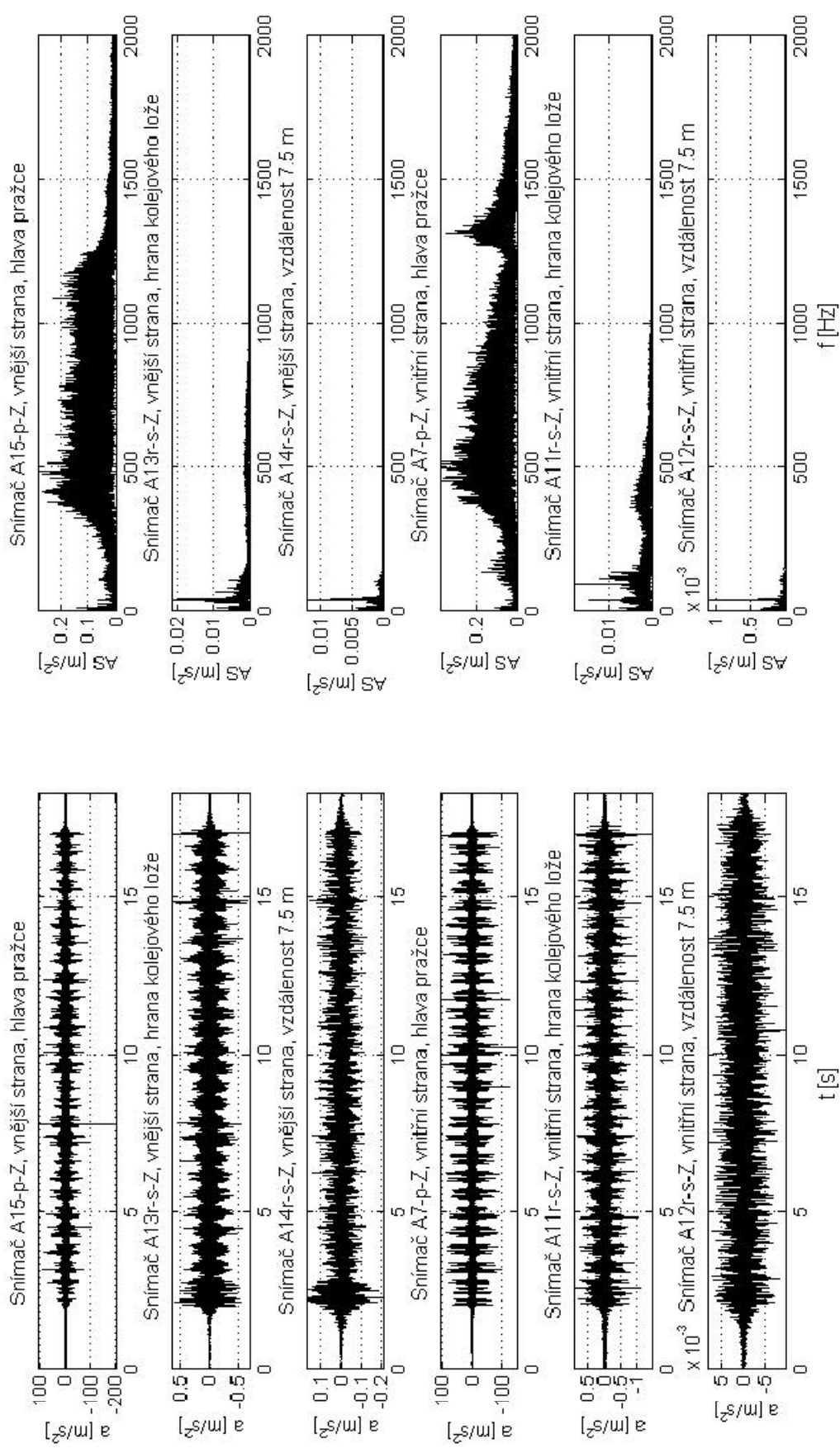
Obr. E.1.10 Osobní vlak (Os) - lokomotiva 163; 3 vozy;  $v = 104$  km/h



Obr. E.1.11 EuroCity (EC) - lokomotiva 380; 6 vozů;  $v = 112$  km/h

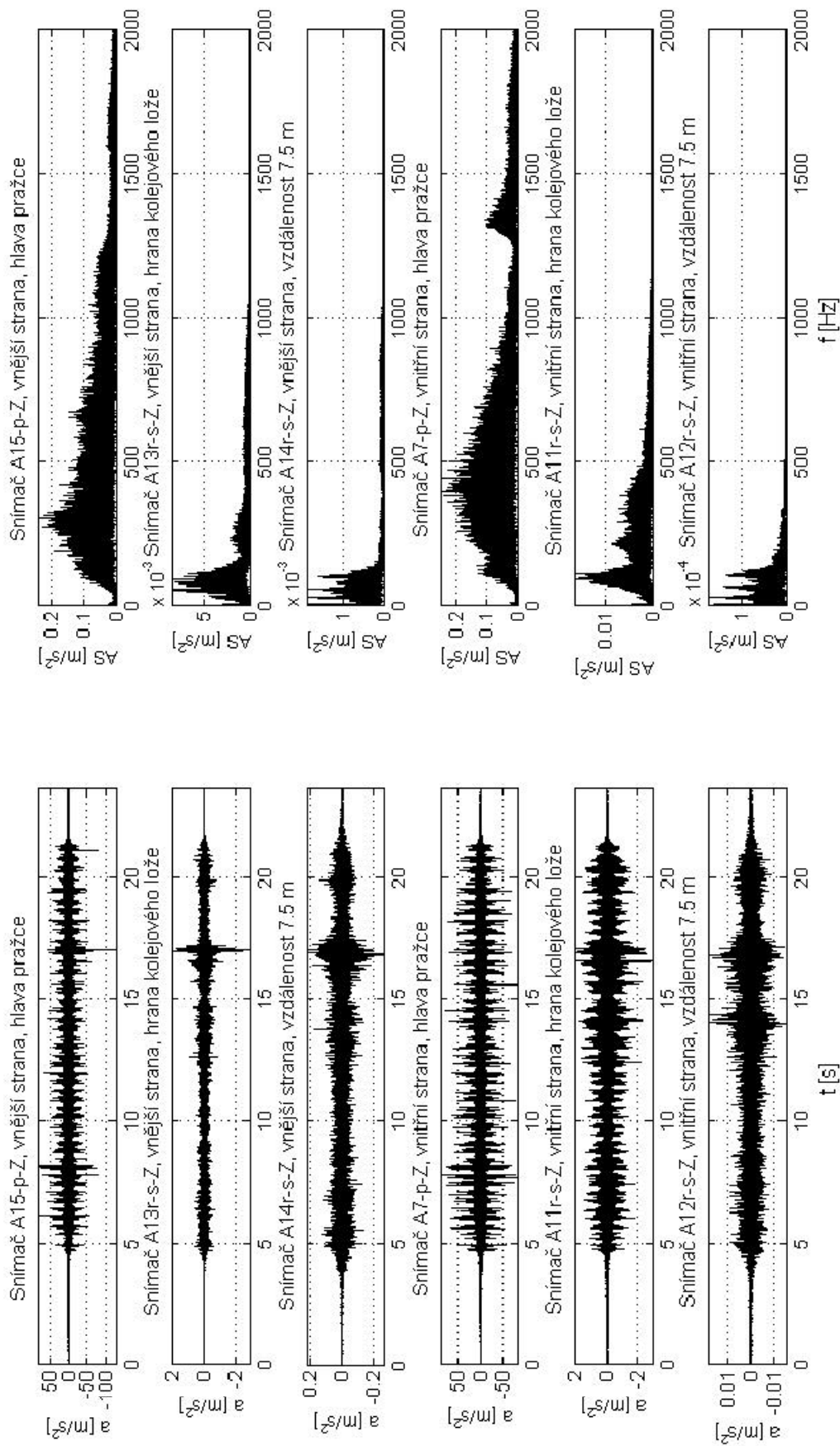


Obr. E.1.12 SC Pendolino - lokomotiva 682; 7 vozů; v = 150 km/h

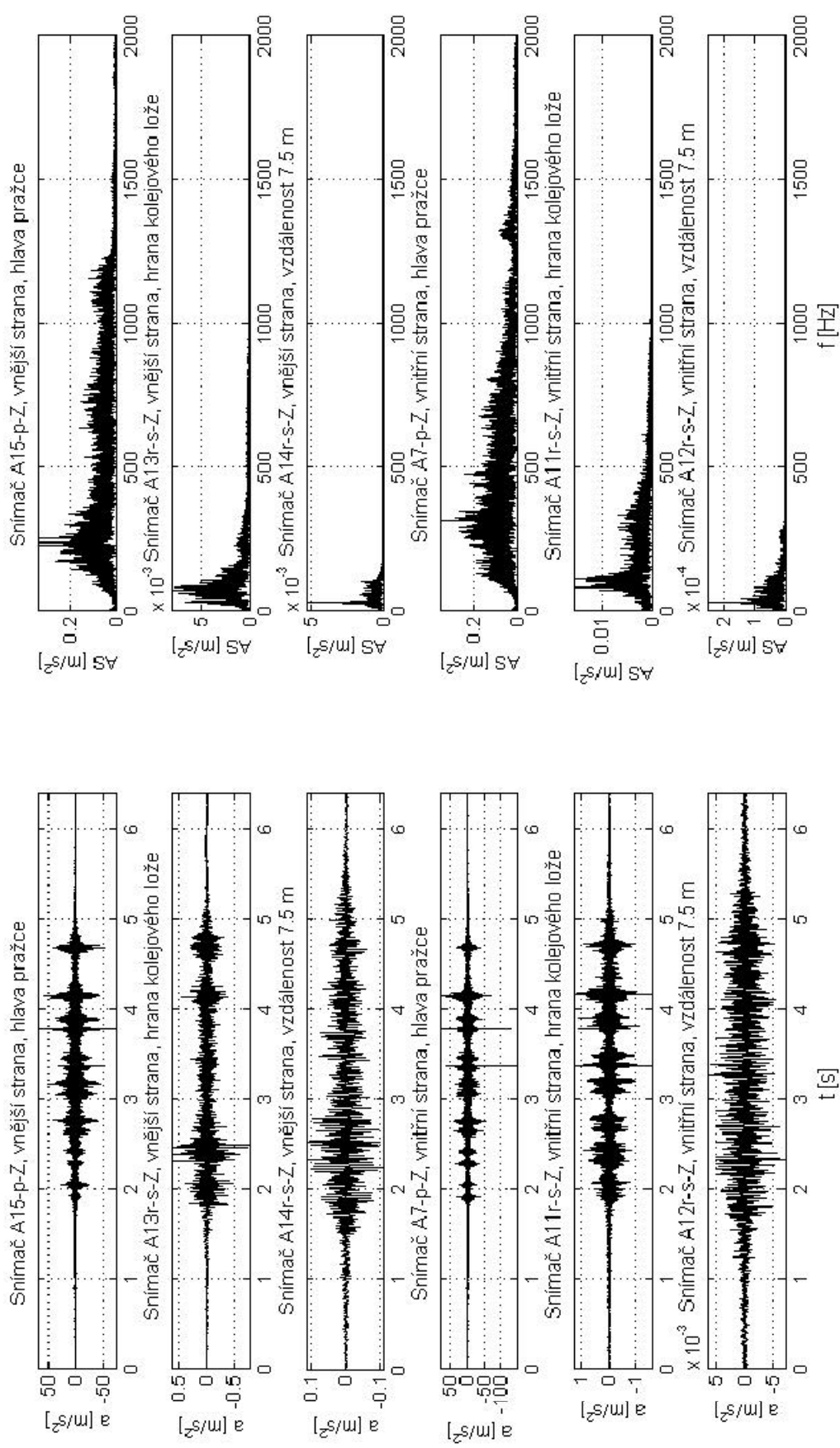


Obr. E.1.13 Nákladní vlak – lokomotiva 363; 25 vozů;  $v = 86$  km/h

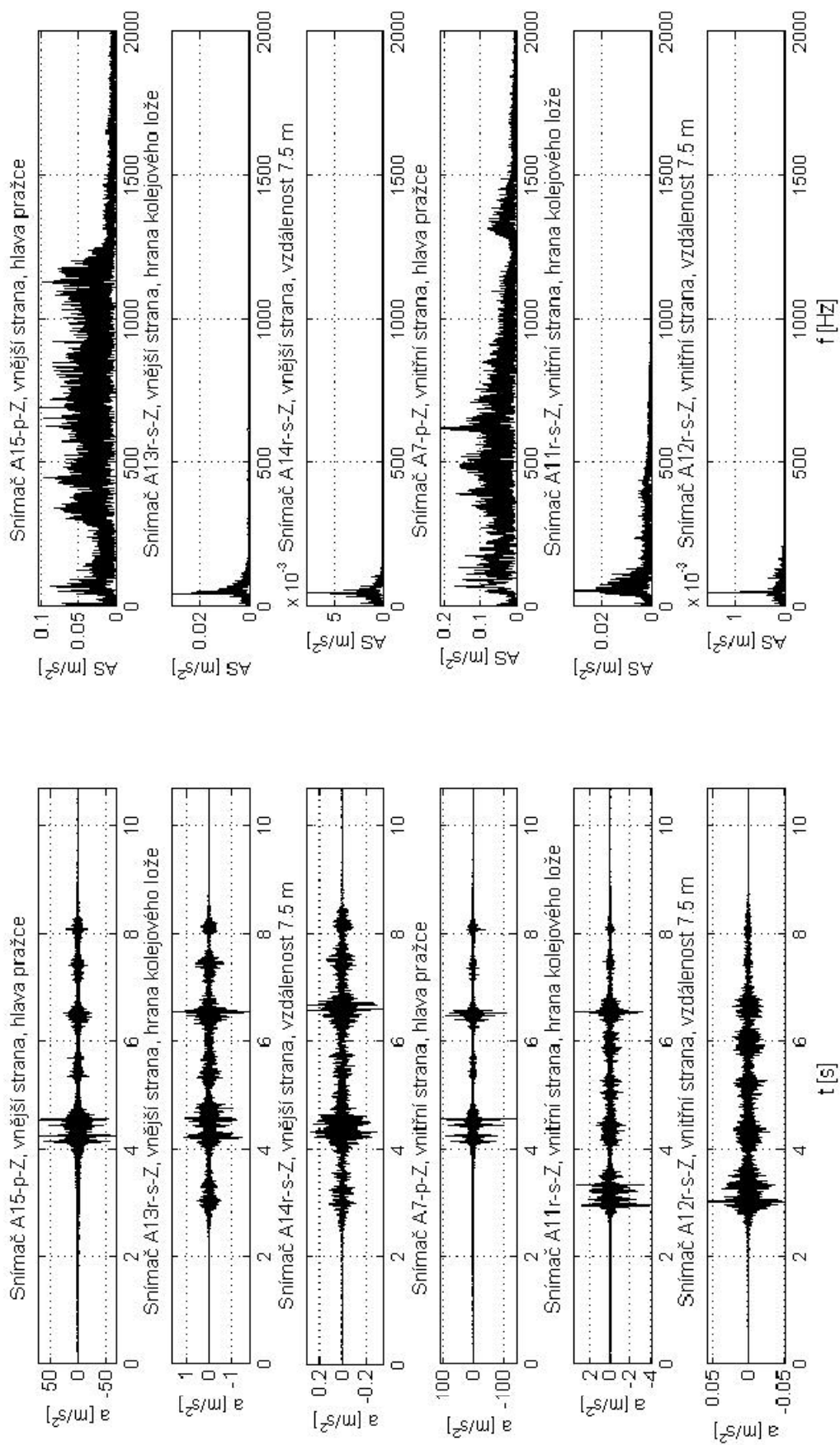




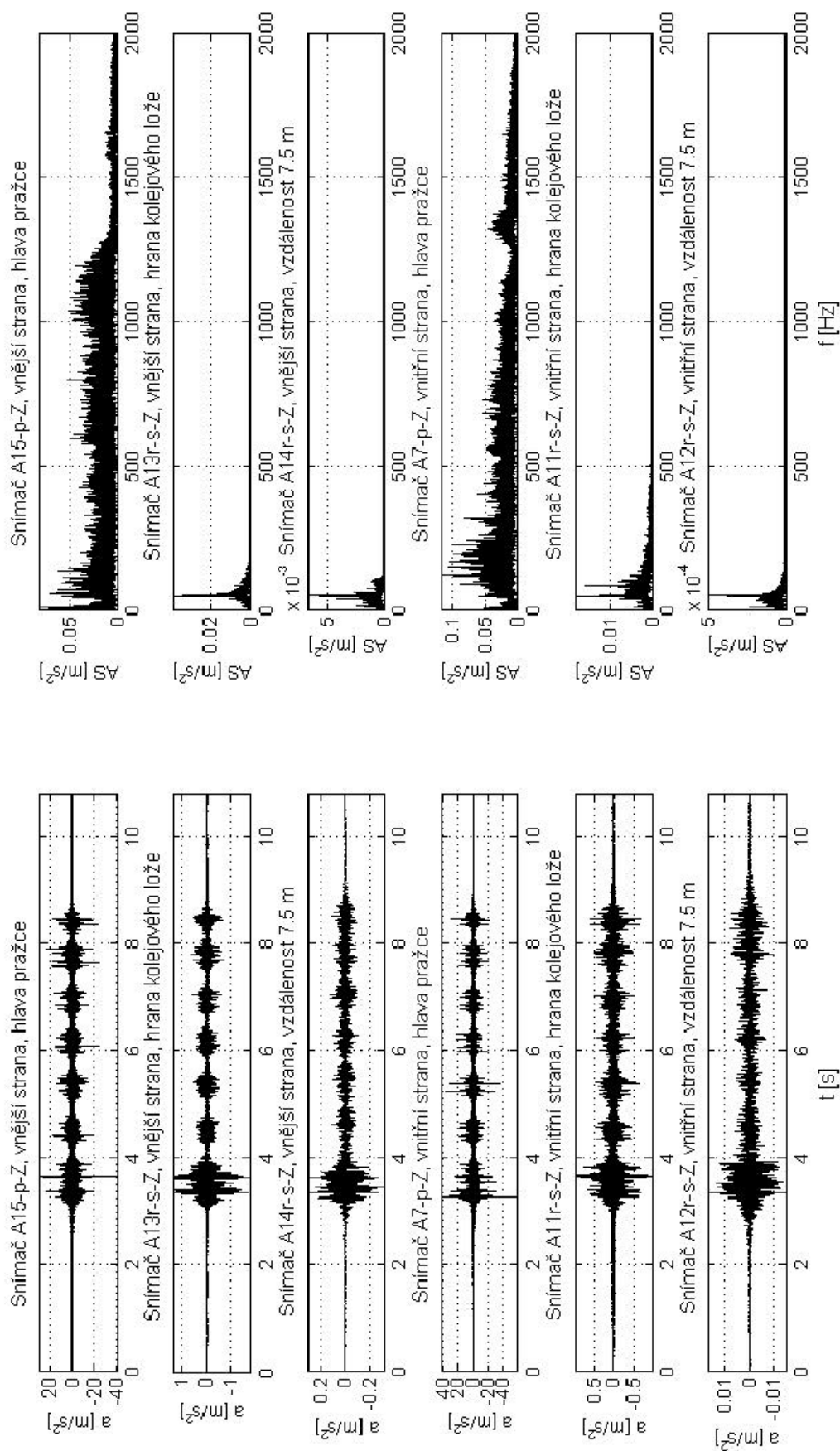
Obr. E.1.14 Nákladní vlak - lokomotiva 363; 21 vozů;  $v = 60 - 50$  km/h



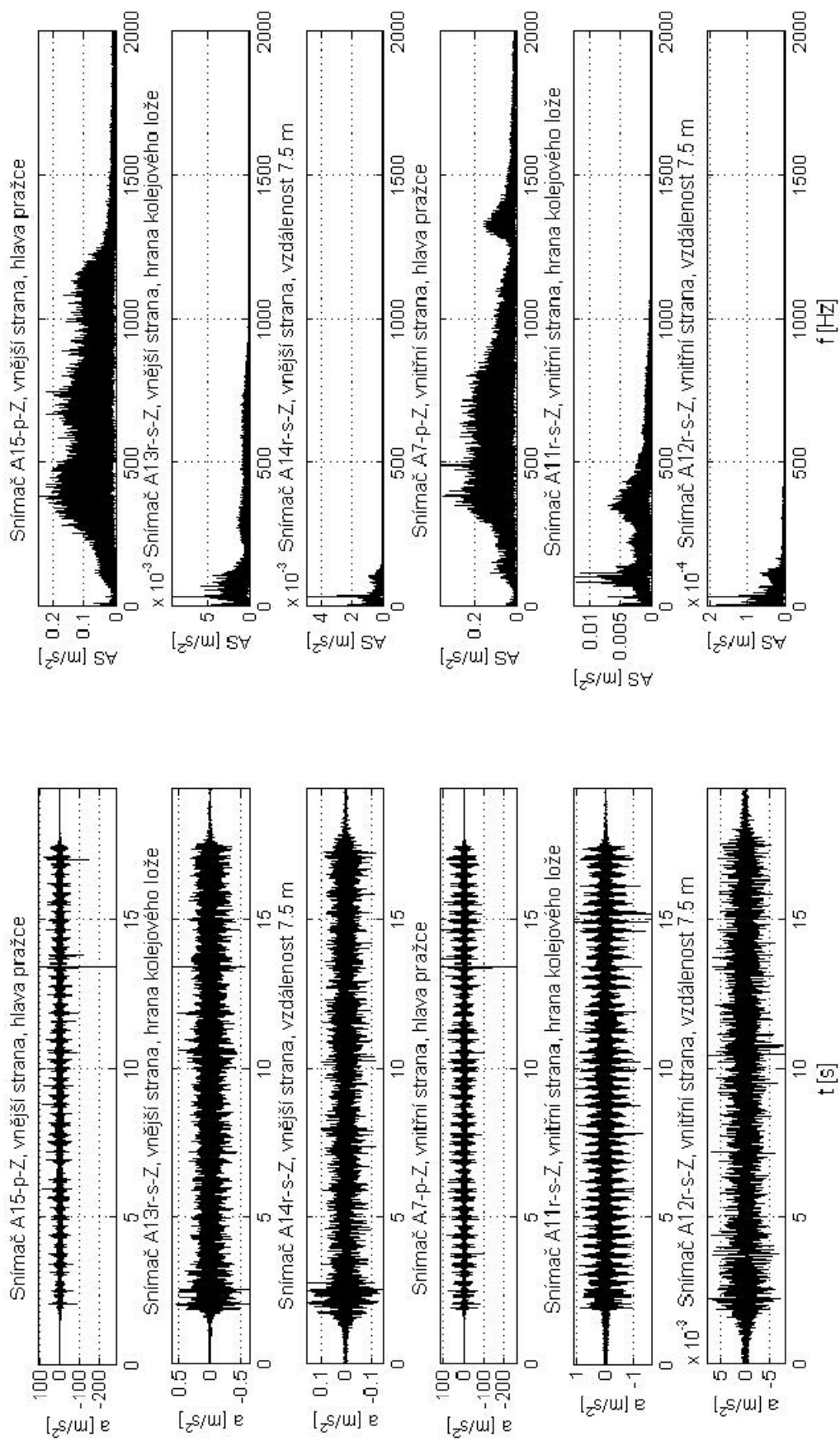
Obr. E.1.15 Nákladní vlak - lokomotiva 740; 2 vozy;  $v = 64$  km/h



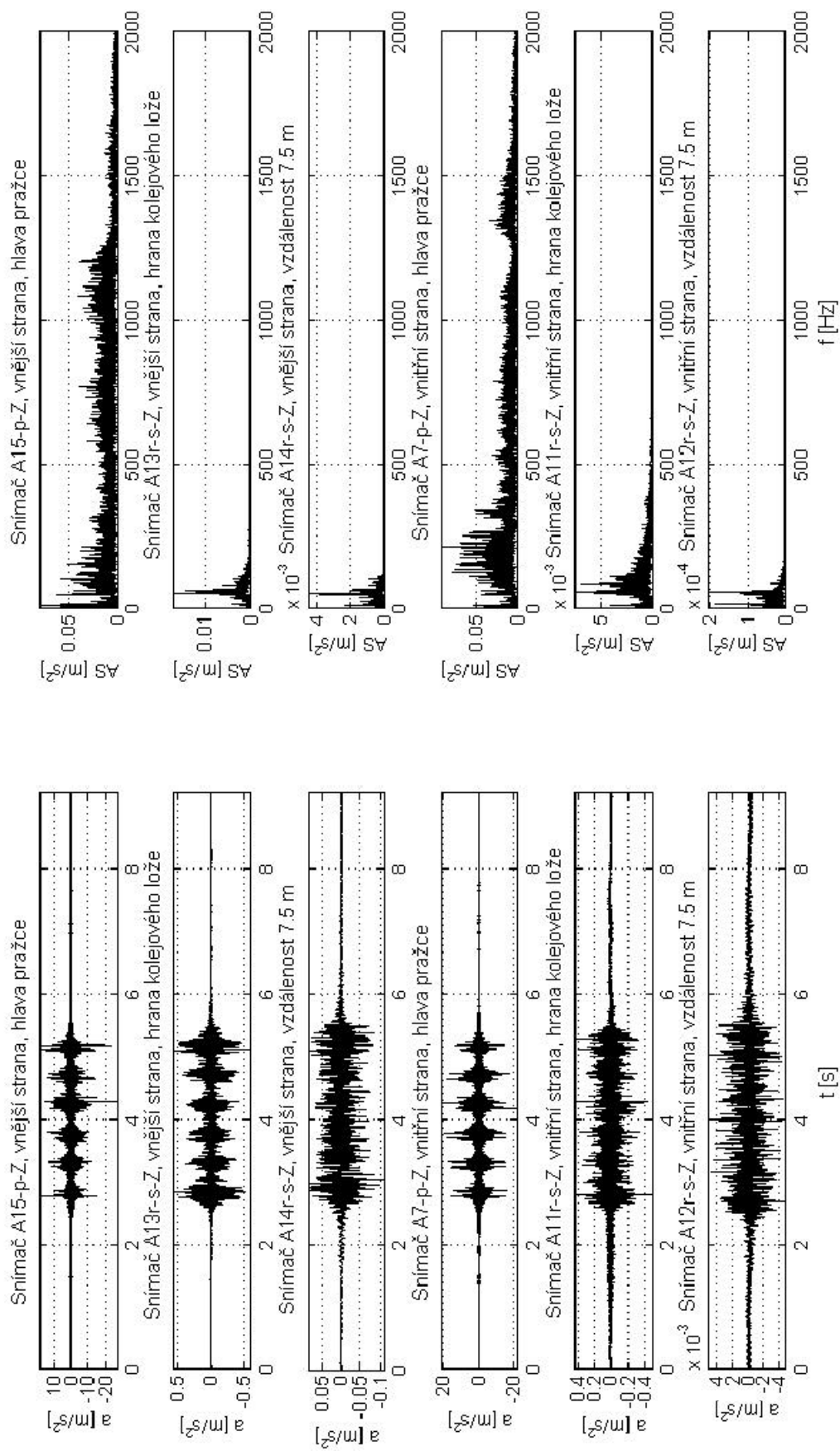
Obr. E.1.16 IC RegioJet - lokomotiva 362; 5 vozů;  $v = 107$  km/h



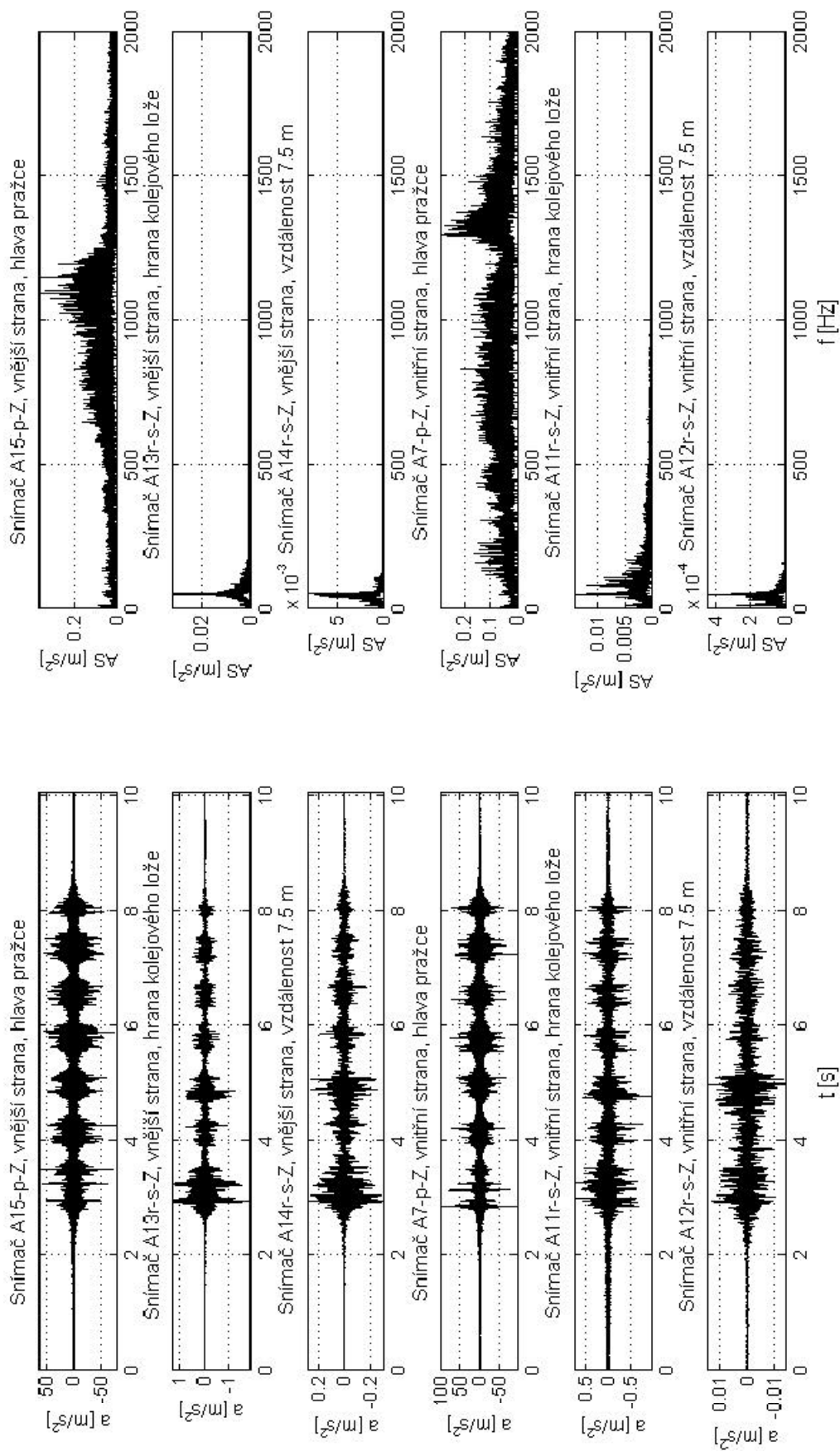
Obr. E.1.17 Expres (Ex) - lokomotiva 151; 6 vozů;  $v = 114$  km/h



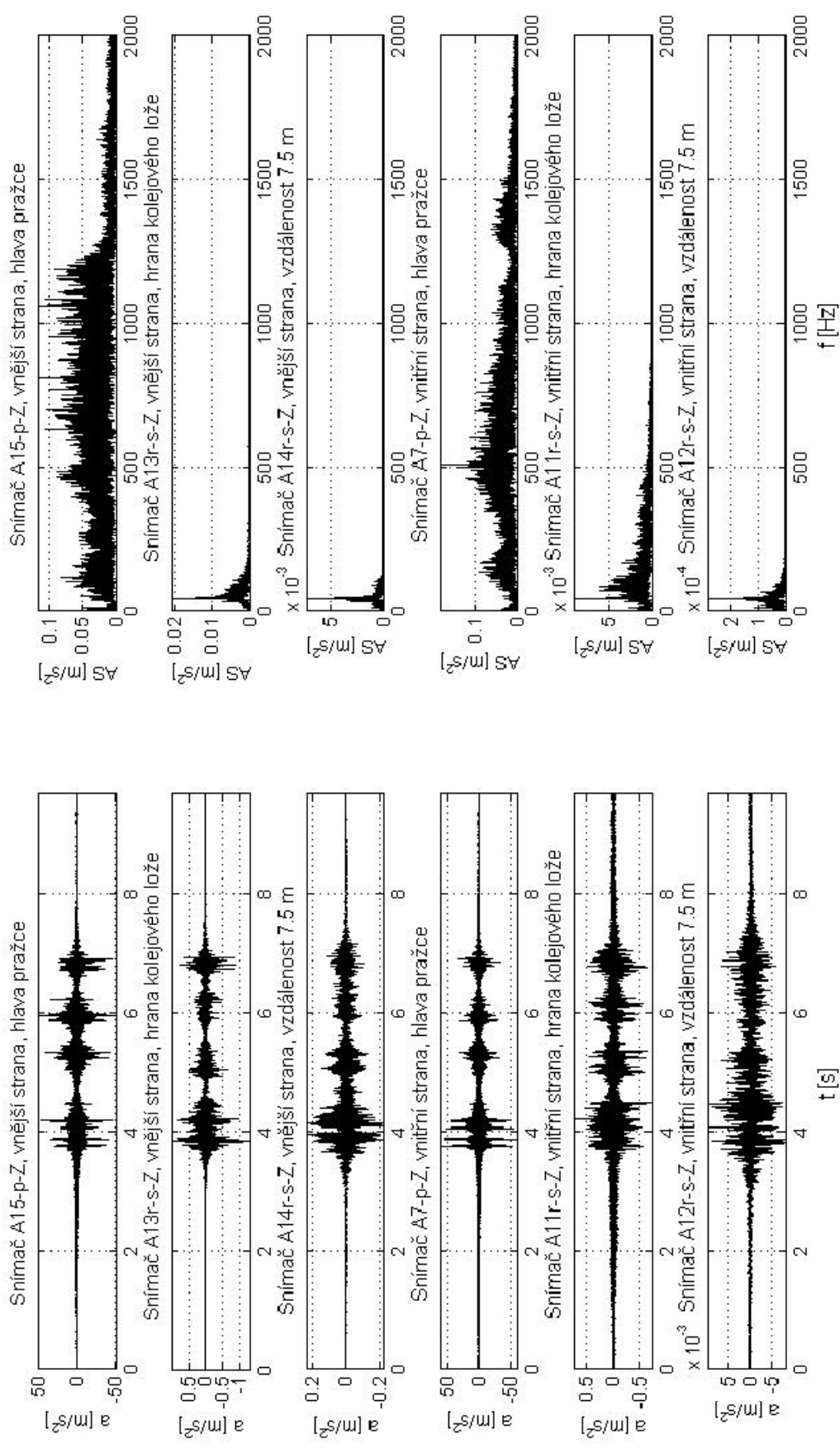
Obr. E.1.18 Nákladní vlak - lokomotiva 363; 24 vozů;  $v = 77$  km/h



Obr. E.1.19 LEO Express - lokomotiva Siemens; 5 vozů;  $v = 128$  km/h

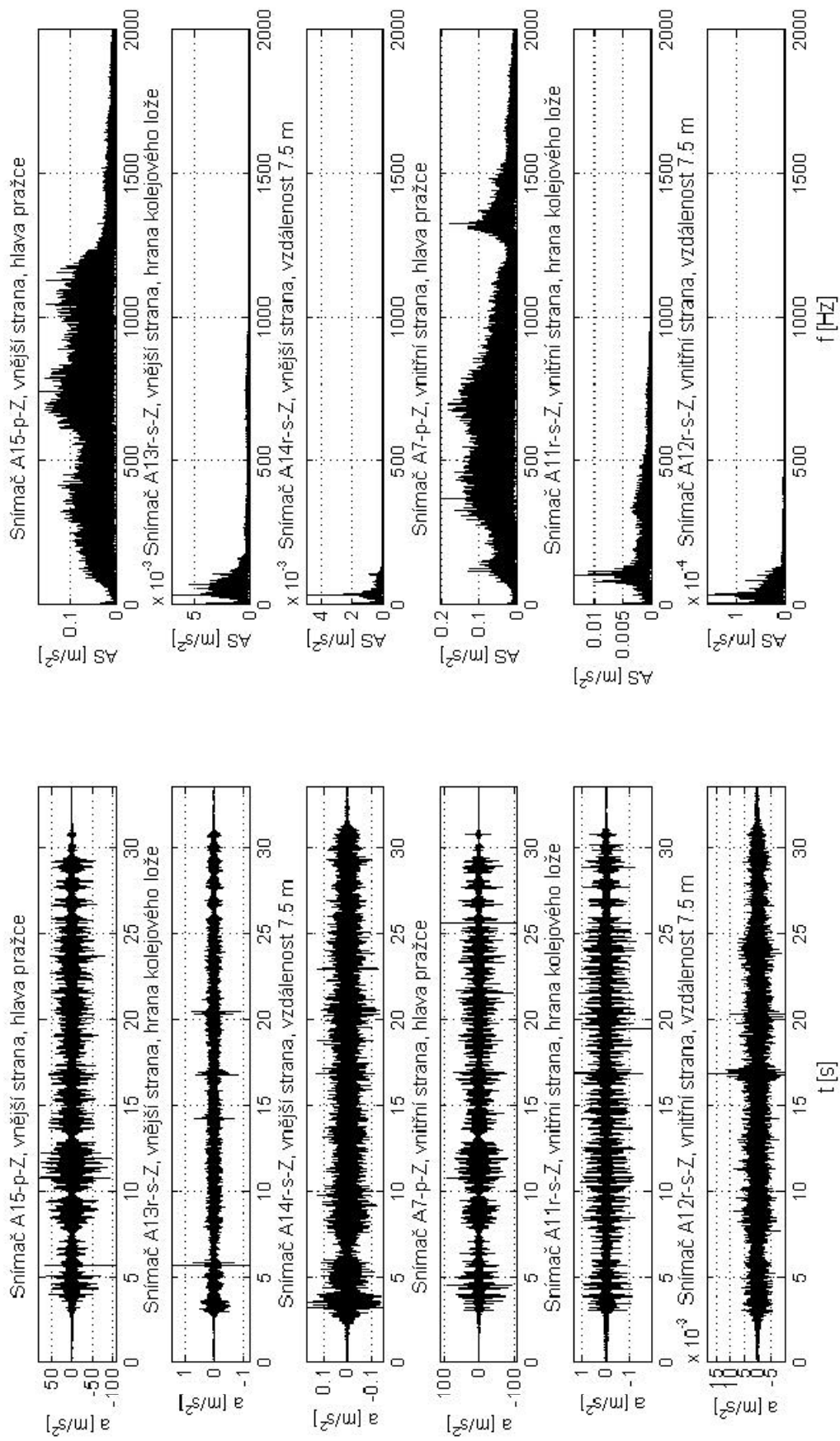


Obr. E.1.20 Rychlík (R) - lokomotiva 362; 6 vozů;  $v = 110$  km/h

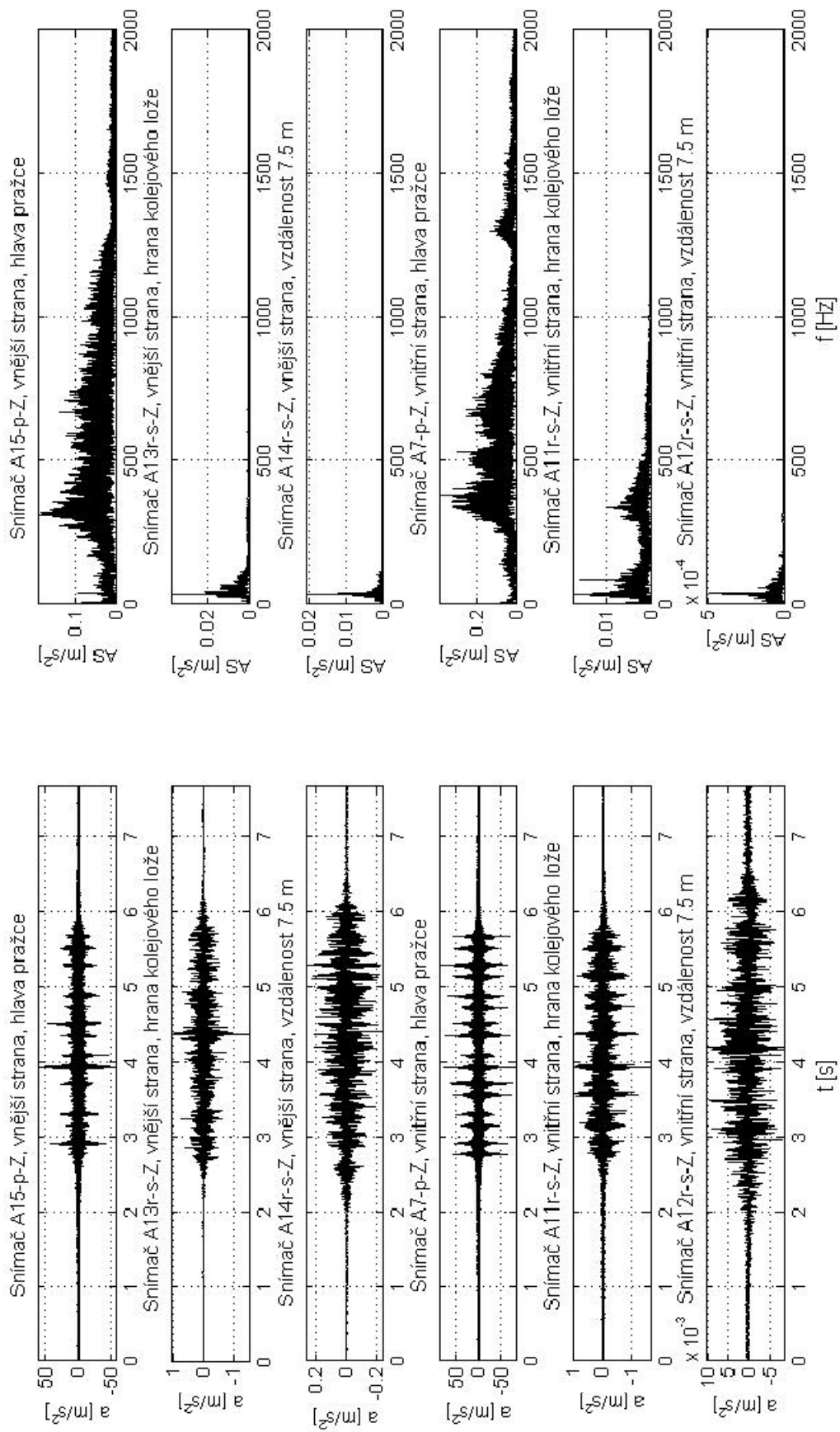


Obr. E.1.21 Osobní vlak (Os) - lokomotiva 163; 3 vozy; v = 101 km/h

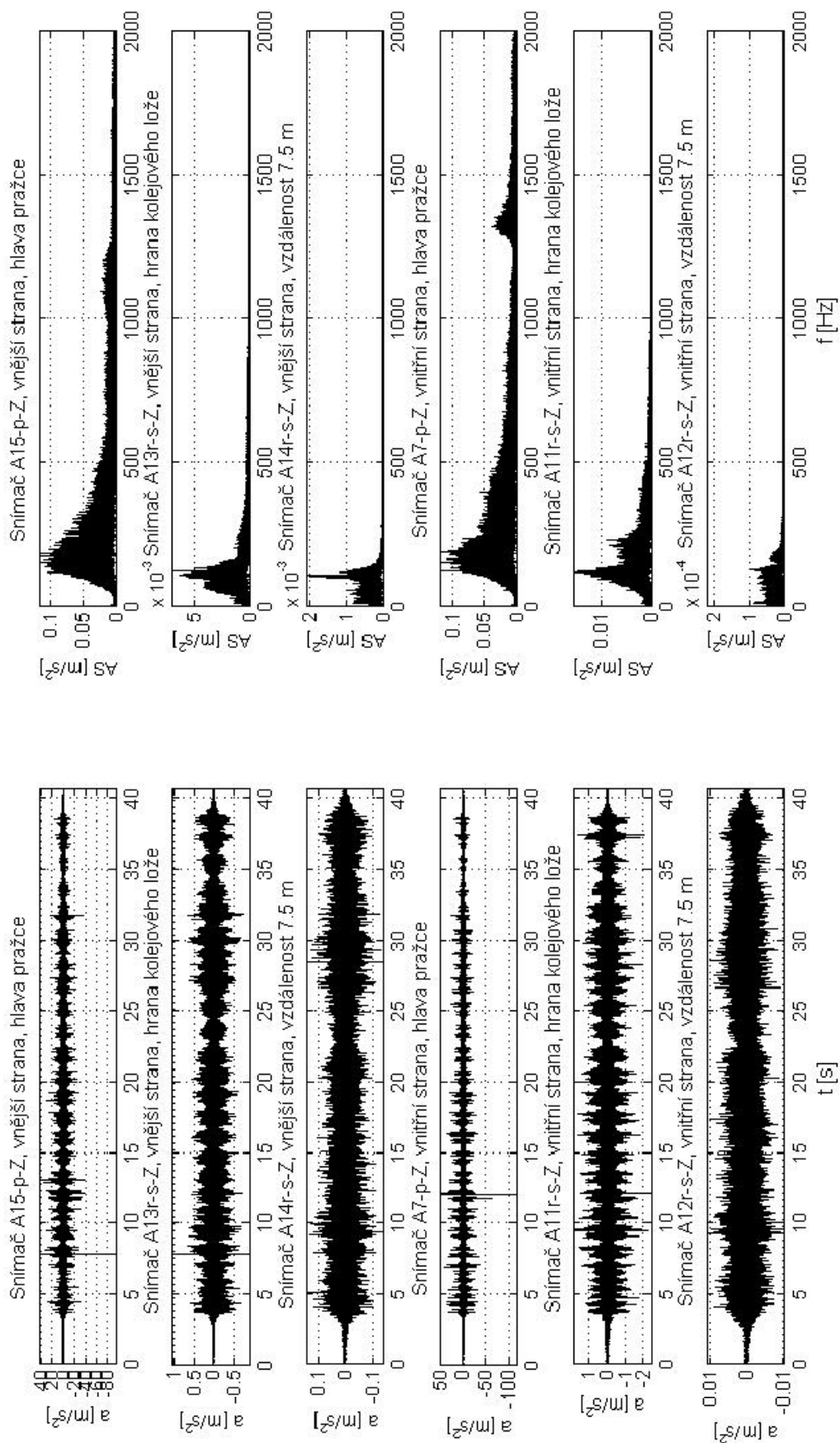




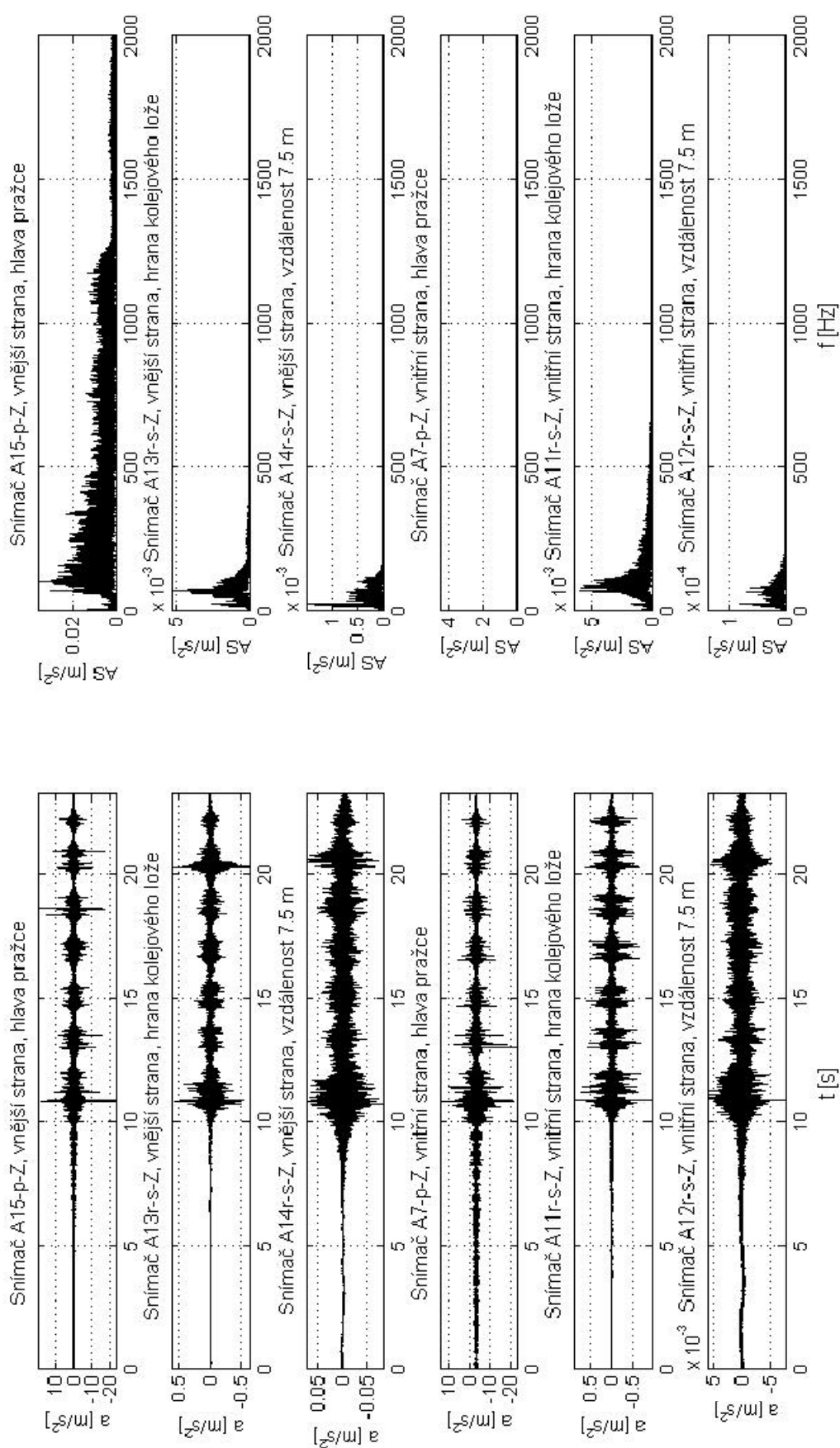
Obr. E.1.22 Nákladní vlak - lokomotiva 130; 43 vozů; v = 78 km/h



Obr. E.1.23 Lokomotivní vlak (Lv) - lokomotivy 130, 121, 122; 3 vozy;  $v = 79$  km/h



Obr. E.1.24 Nákladní vlak - lokomotivy  $3 \times 742$ ; 22 vozů;  $v = 50 - 28$  km/h

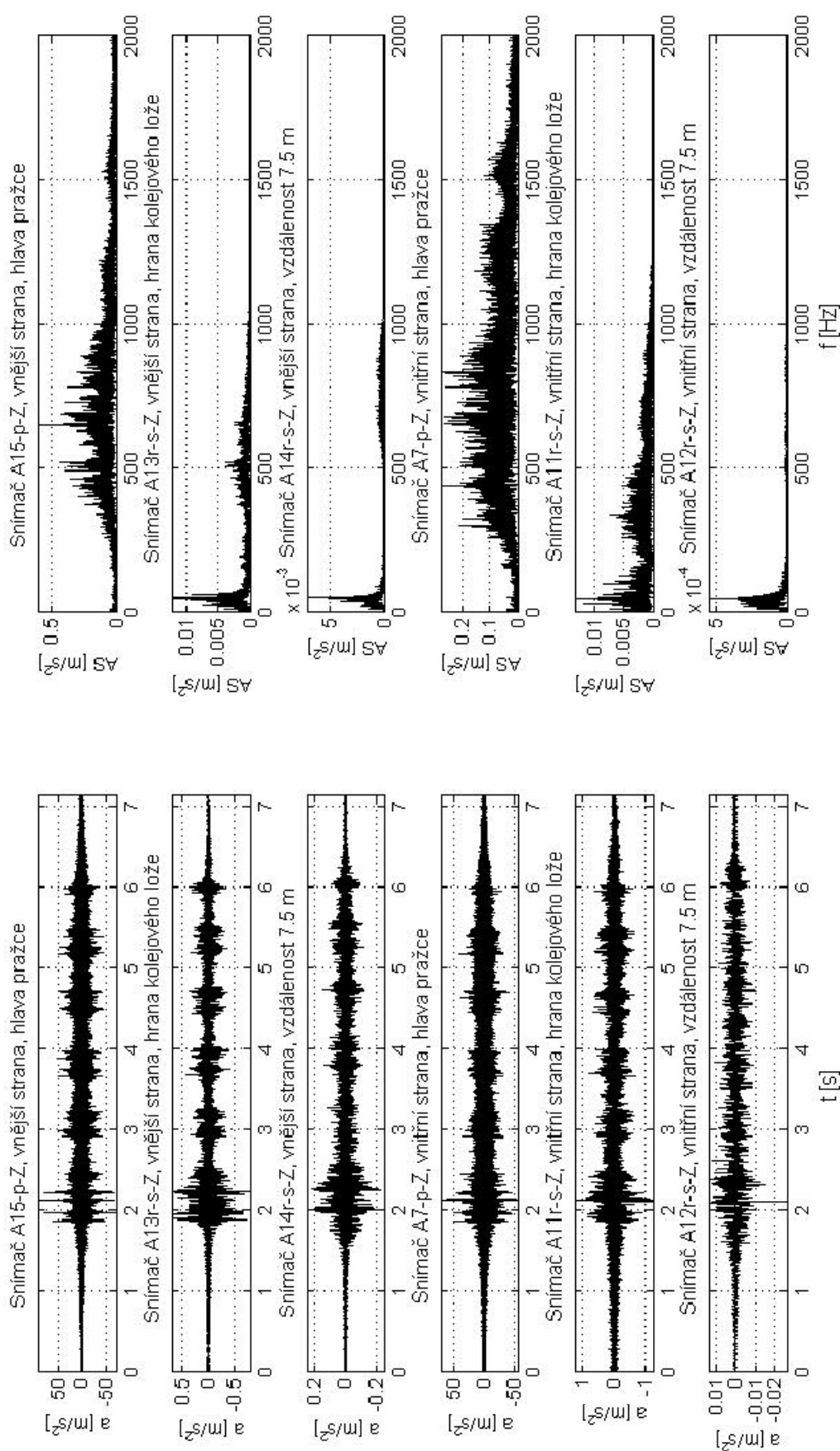


Obr. E.1.25 Rychlík (R) - lokomotiva EP09; 6 vozů;  $v = 53$  km/h

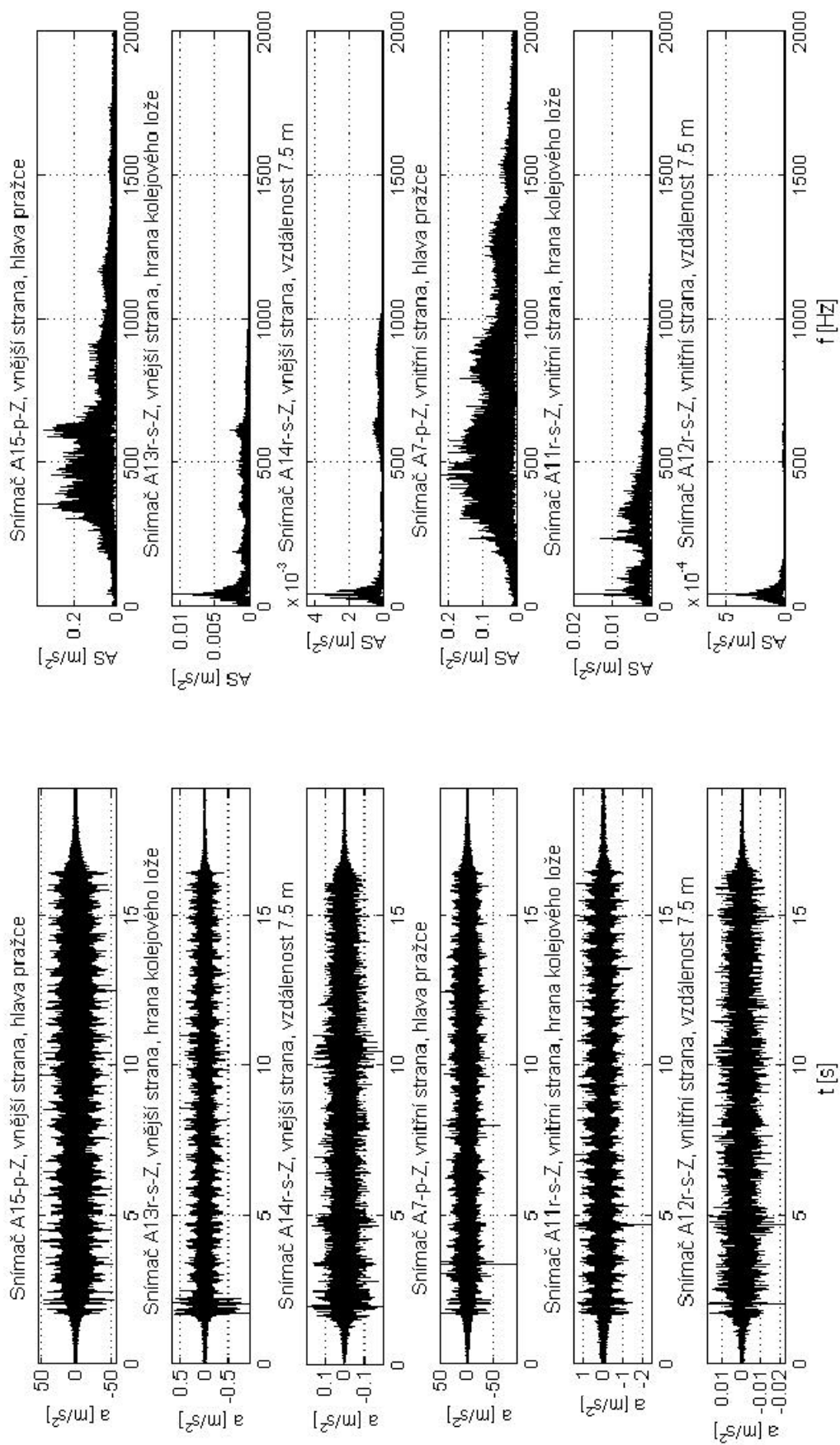
# **PŘÍLOHA E.2**

GRAFY DYNAMICKÉ ODEZVY - VIBRACE

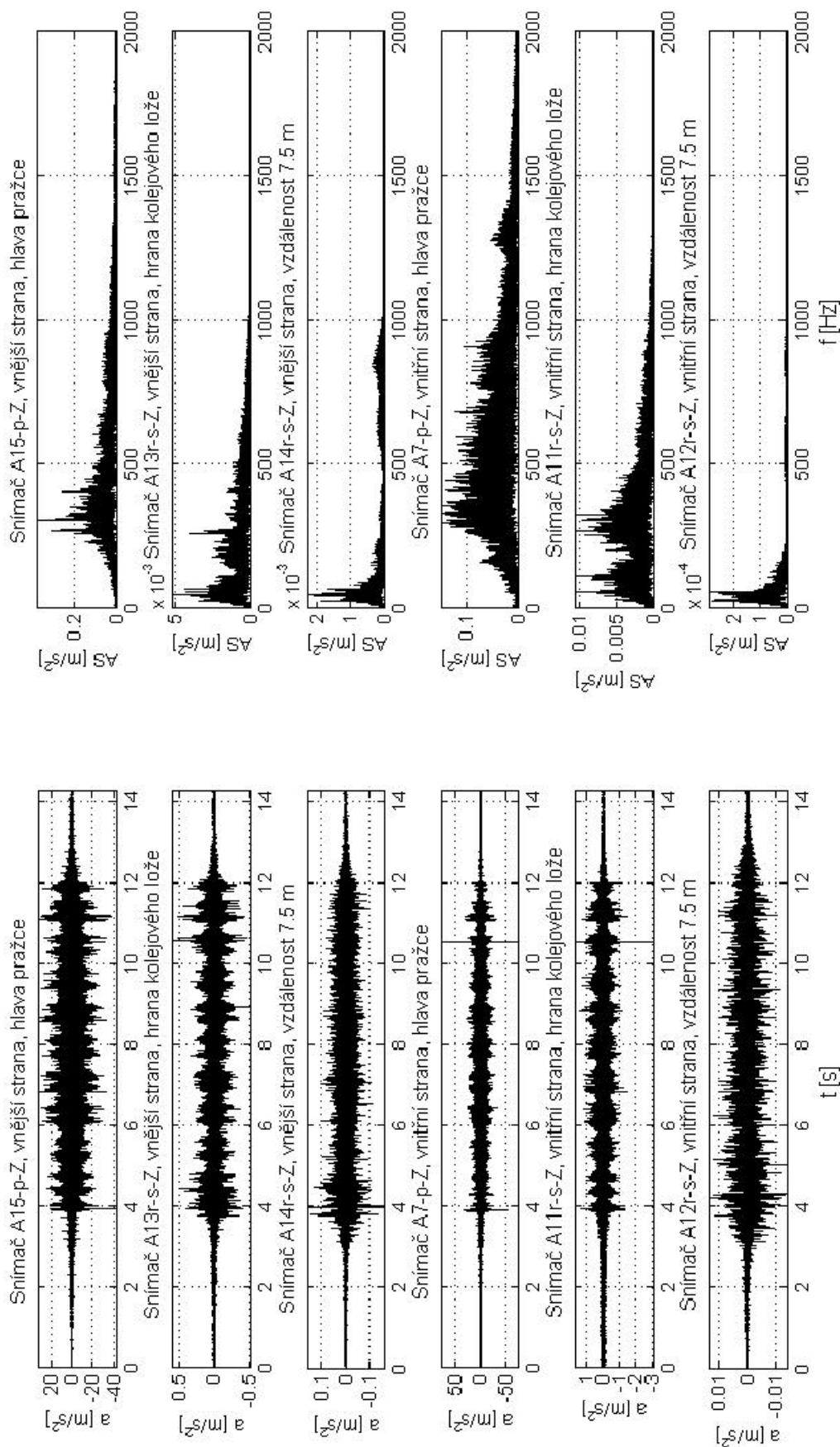
Úsek s upevněním Pandrol FC I



Obr. E.2.1 Rychlík (R) - lokomotiva 150; 5 vozů; v = 116 km/h

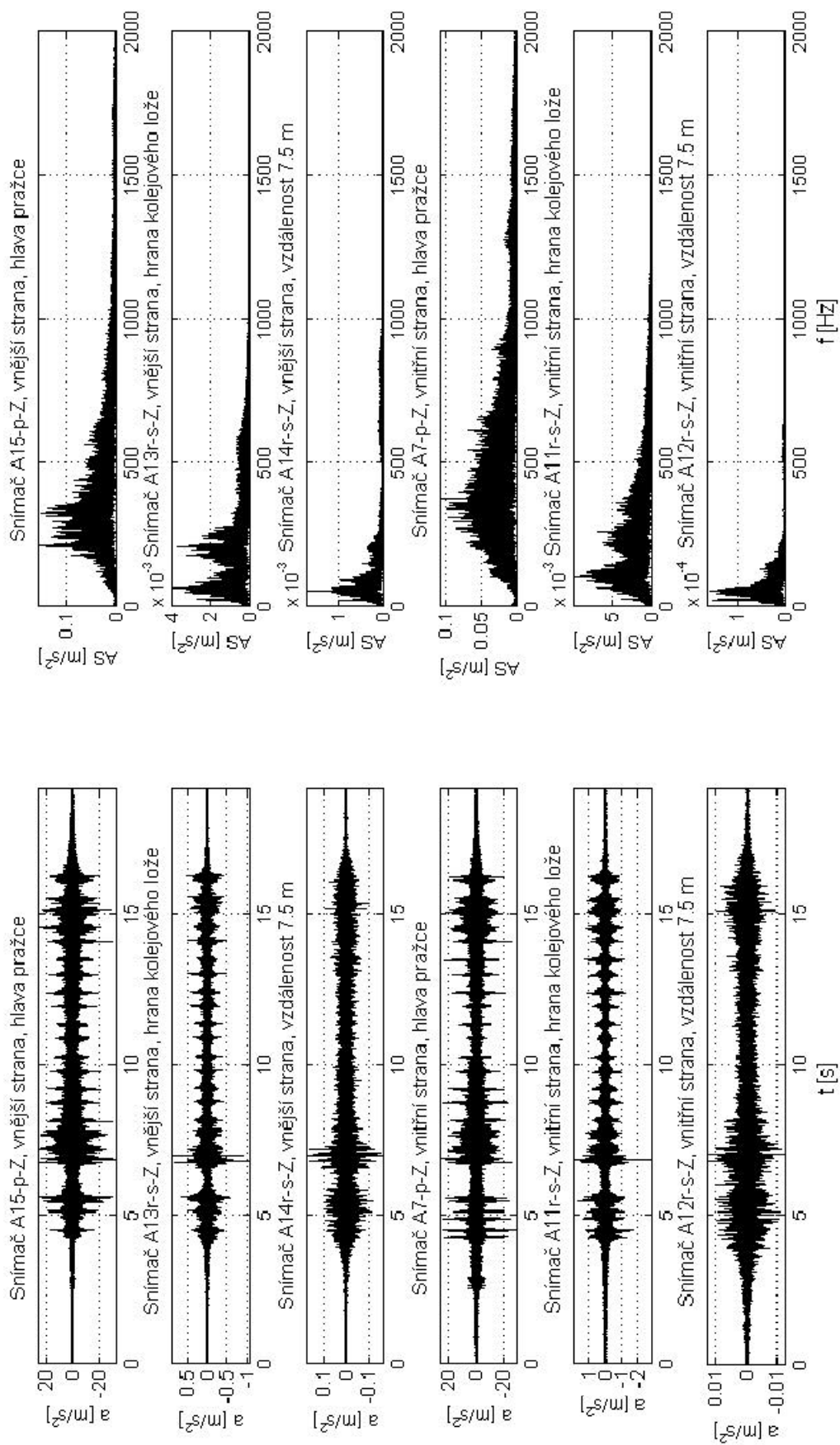


Obr. E.2.2 Nákladní vlak - lokomotiva 363; 25 vozů;  $v = 83$  km/h

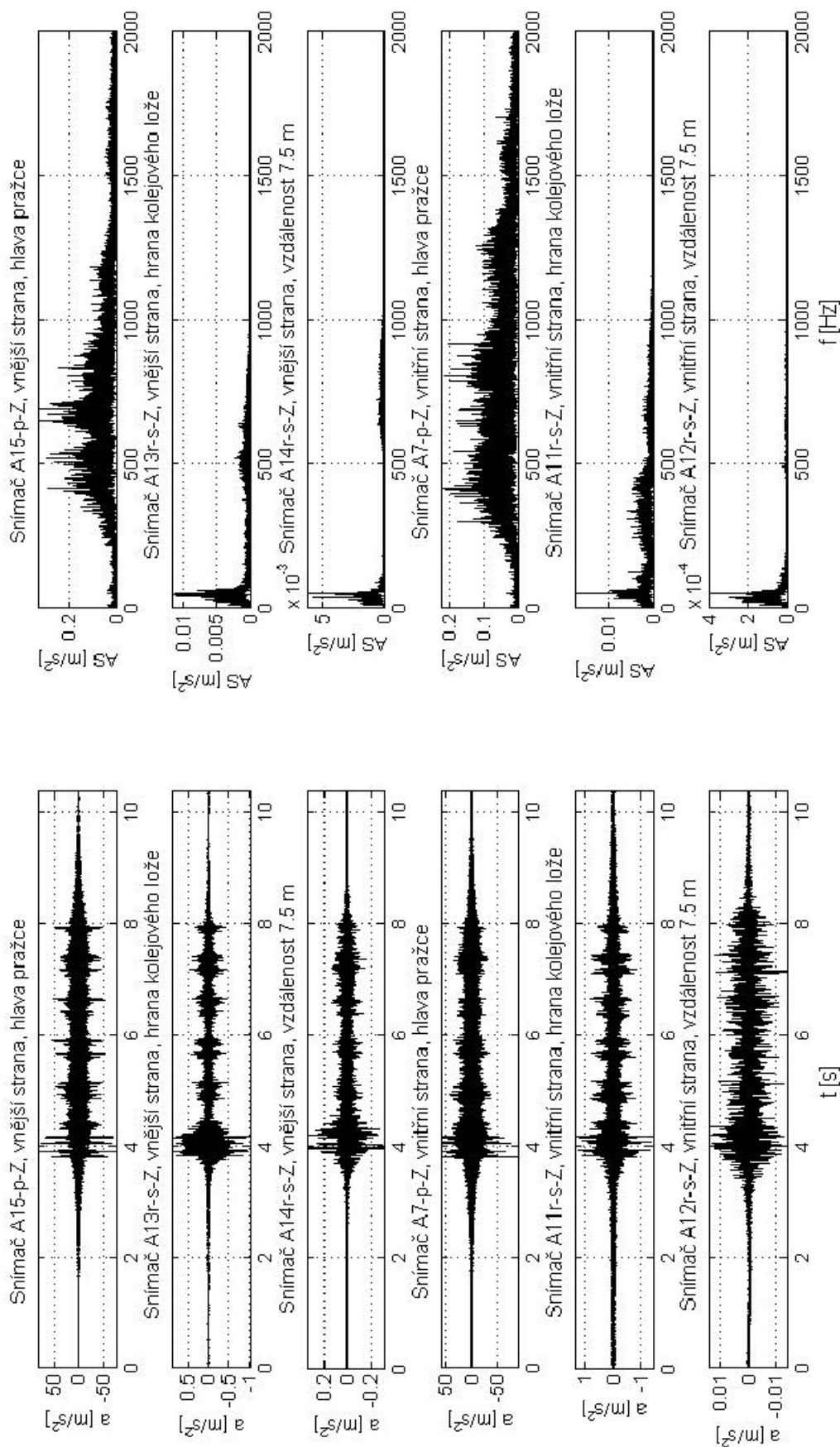


Obr. E.2.3 Nákladní vlak - lokomotiva 742; 9 vozů;  $v = 54 - 59$  km/h

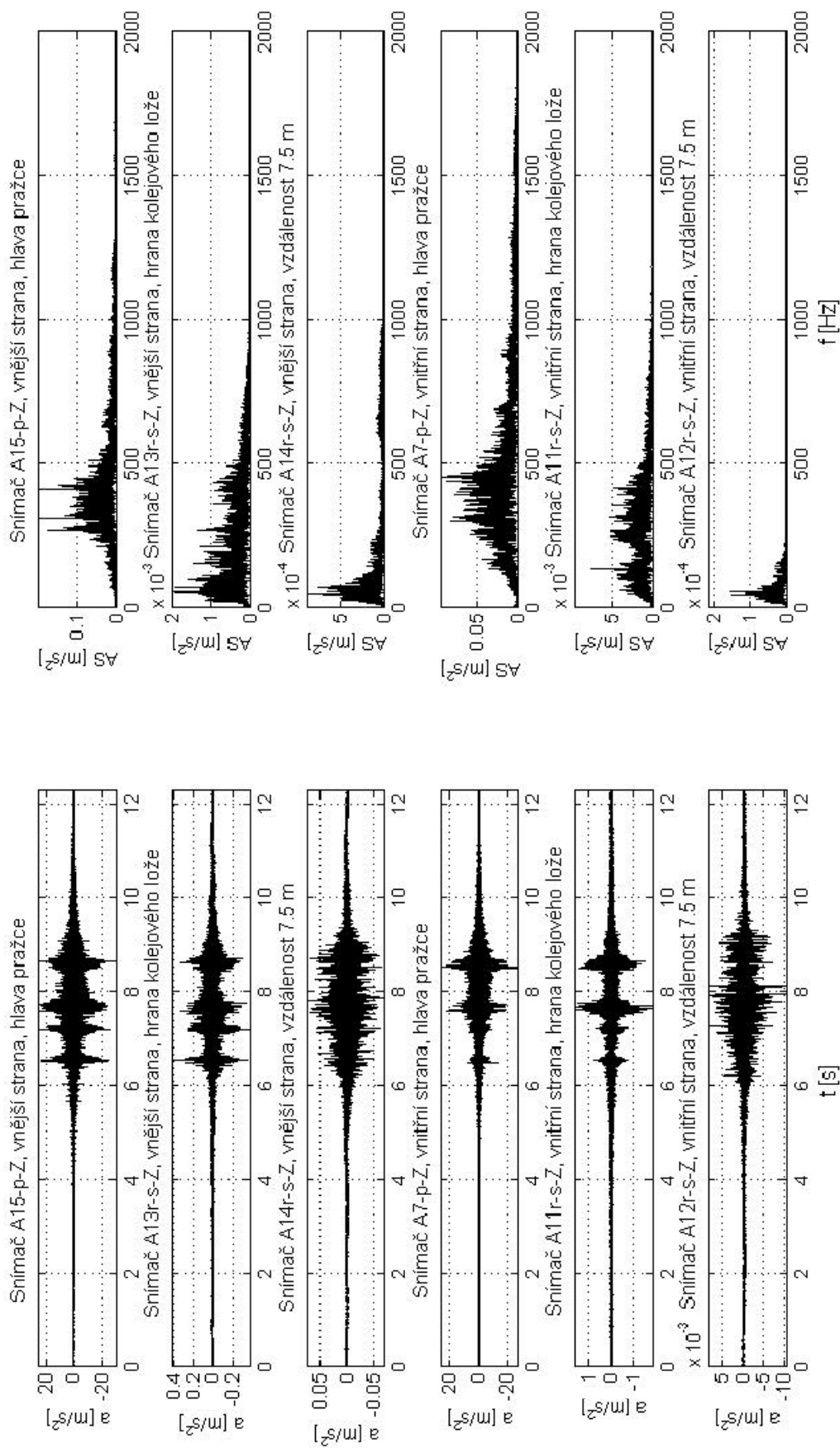




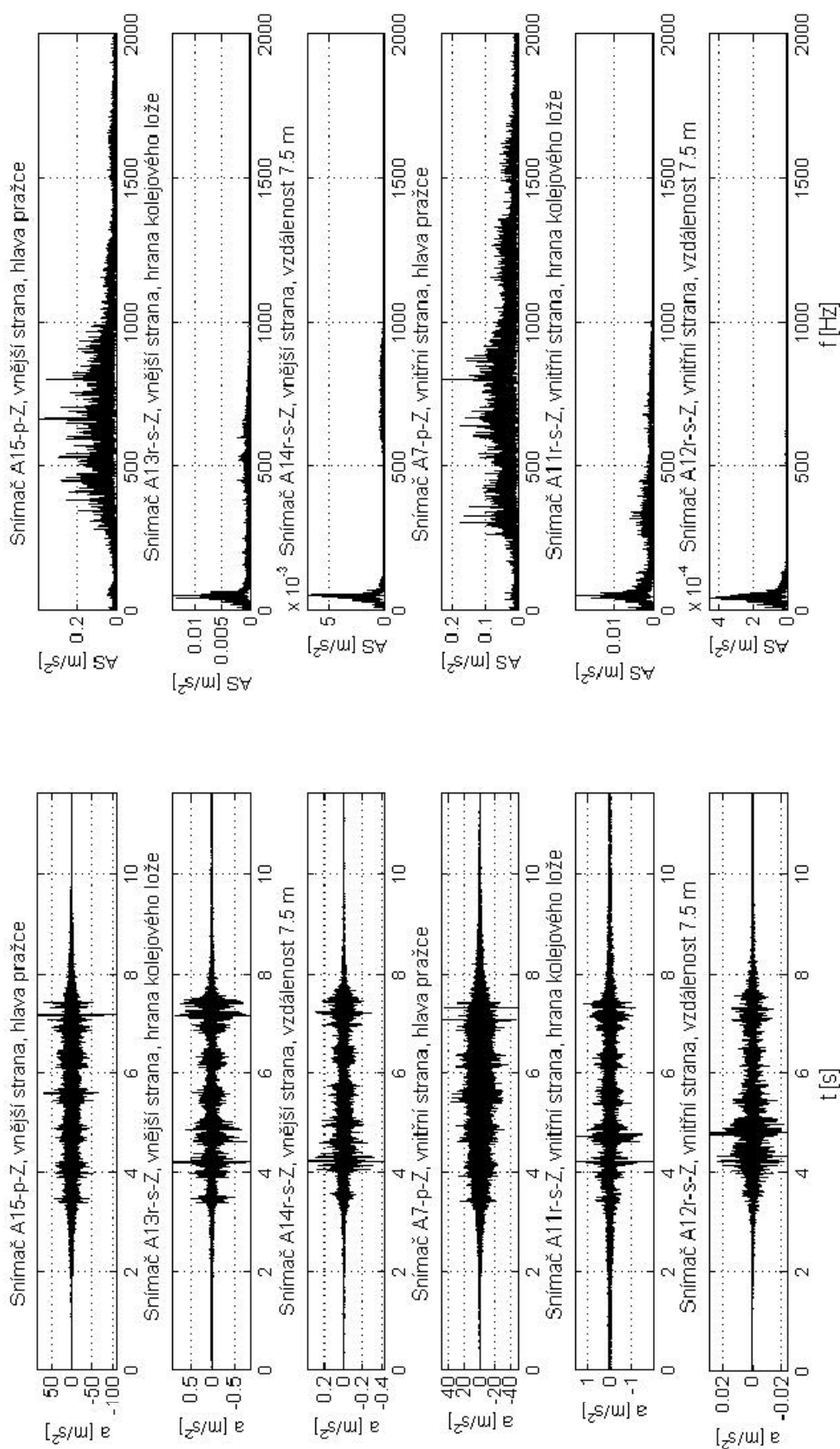
Obr. E.2.4 Nákladní vlak - lokomotiva 363; 9 vozů;  $v = 45$  km/h



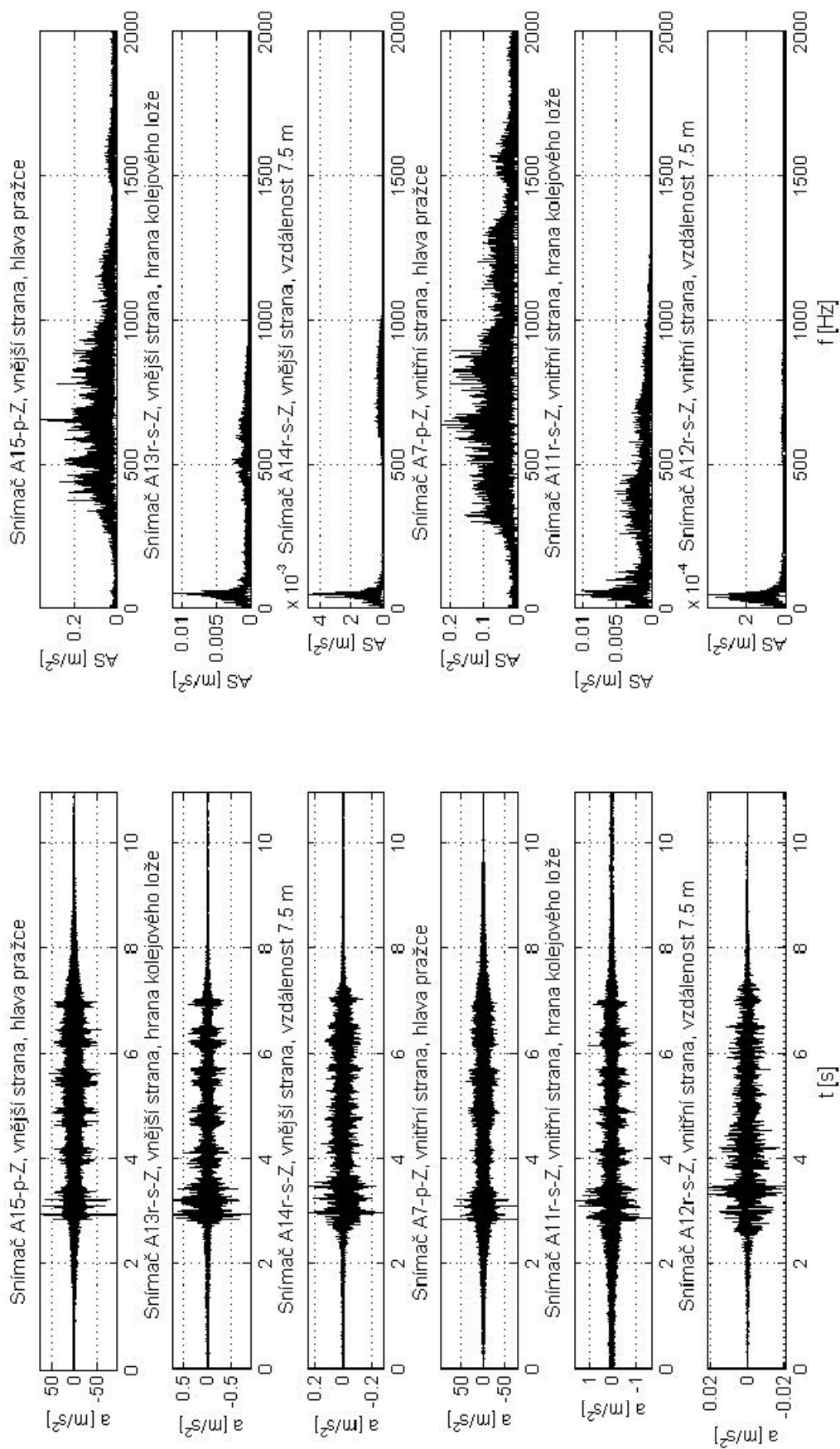
Obr. E.2.5 Rychlík (R) - lokomotiva 150; 5 vozů;  $v = 108$  km/h



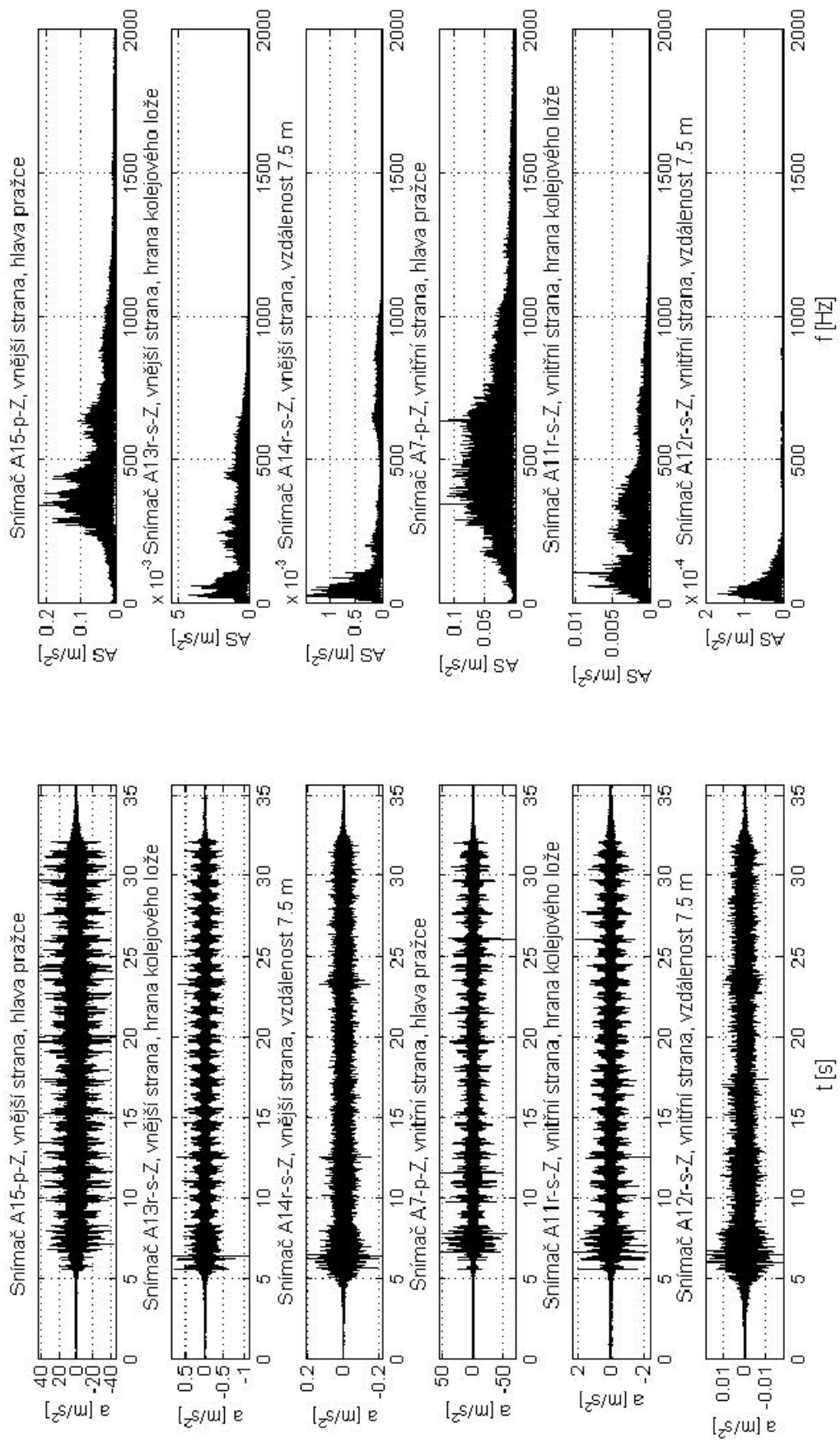
Obr. E.2.6 Lokomotivní vlak (Lv) - lokomotiva ASP; 1 vůz;  $v = 55 \text{ km/h}$



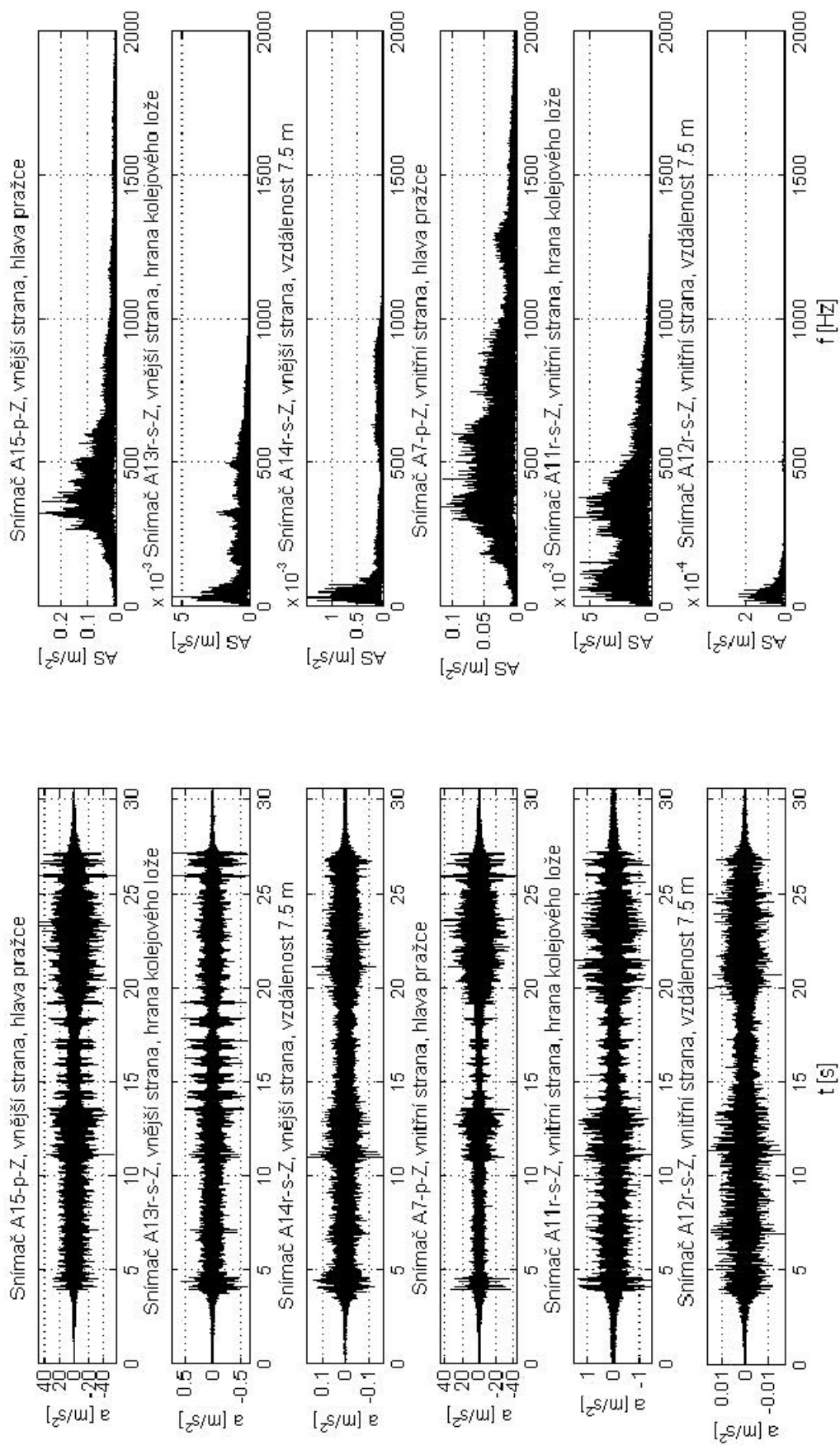
Obr. E.2.7 Rychlík (R) - lokomotiva 362; 5 vozů;  $v = 100$  km/h



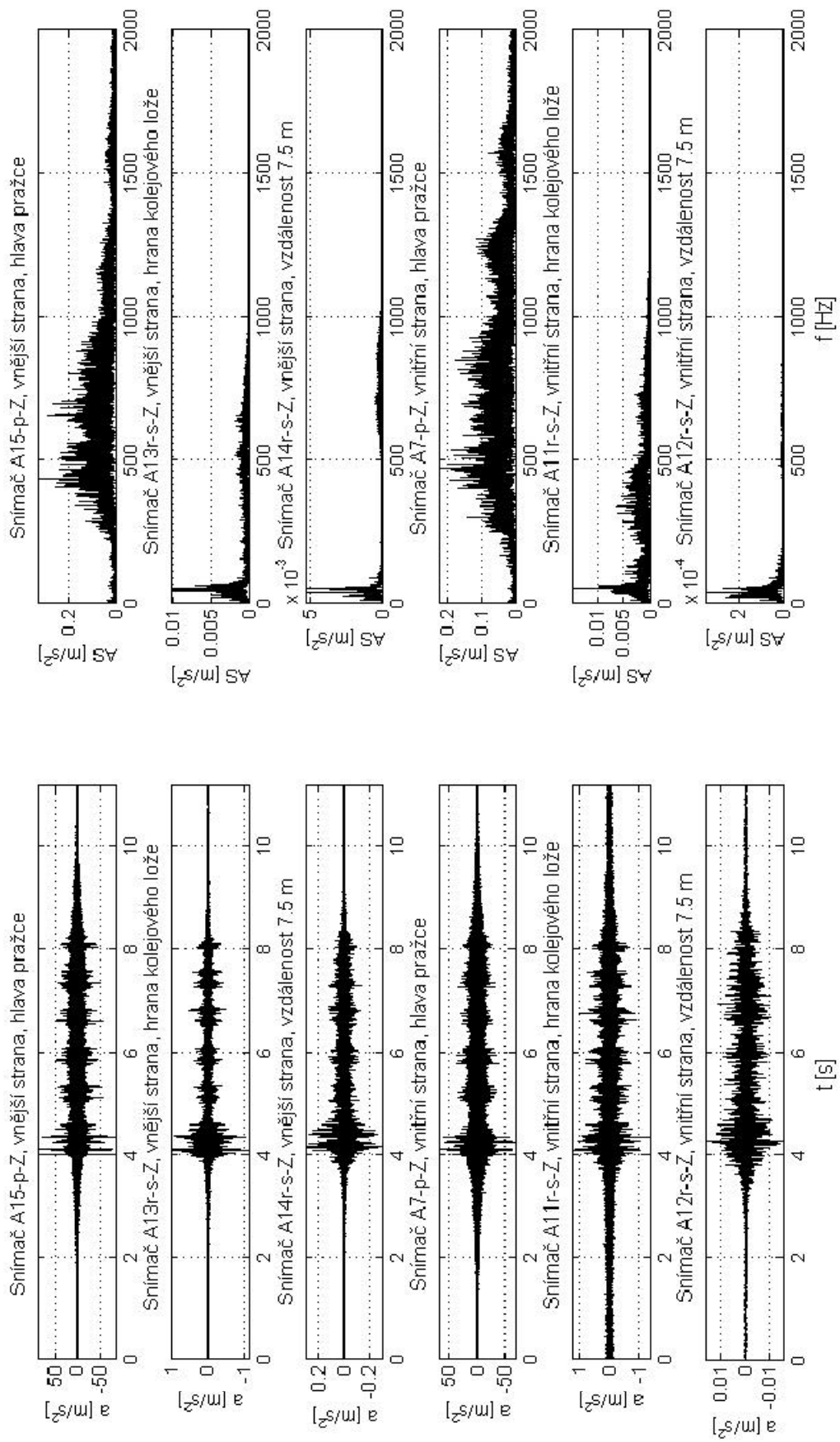
Obr. E.2.8 Rychlík (R) - lokomotiva 150; 5 vozů;  $v = 96$  km/h



Obr. E.2.9 Nákladní vlak - lokomotivy 189, 742, 742; 27 vozů;  $v = 46$  km/h

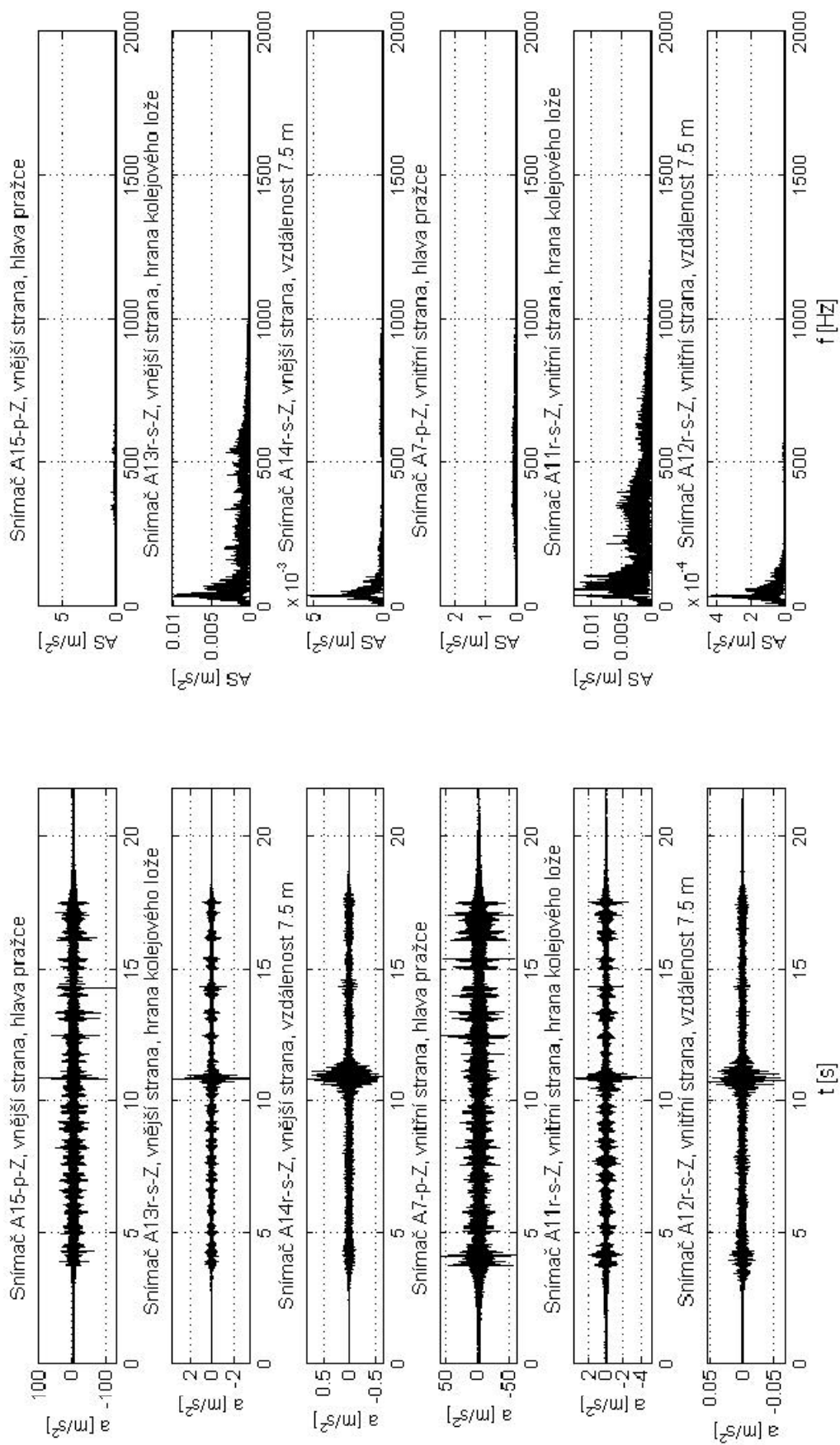


Obr. E.2.10 Nákladní vlak - lokomotiva 363; 32 vozů;  $v = 58$  km/h

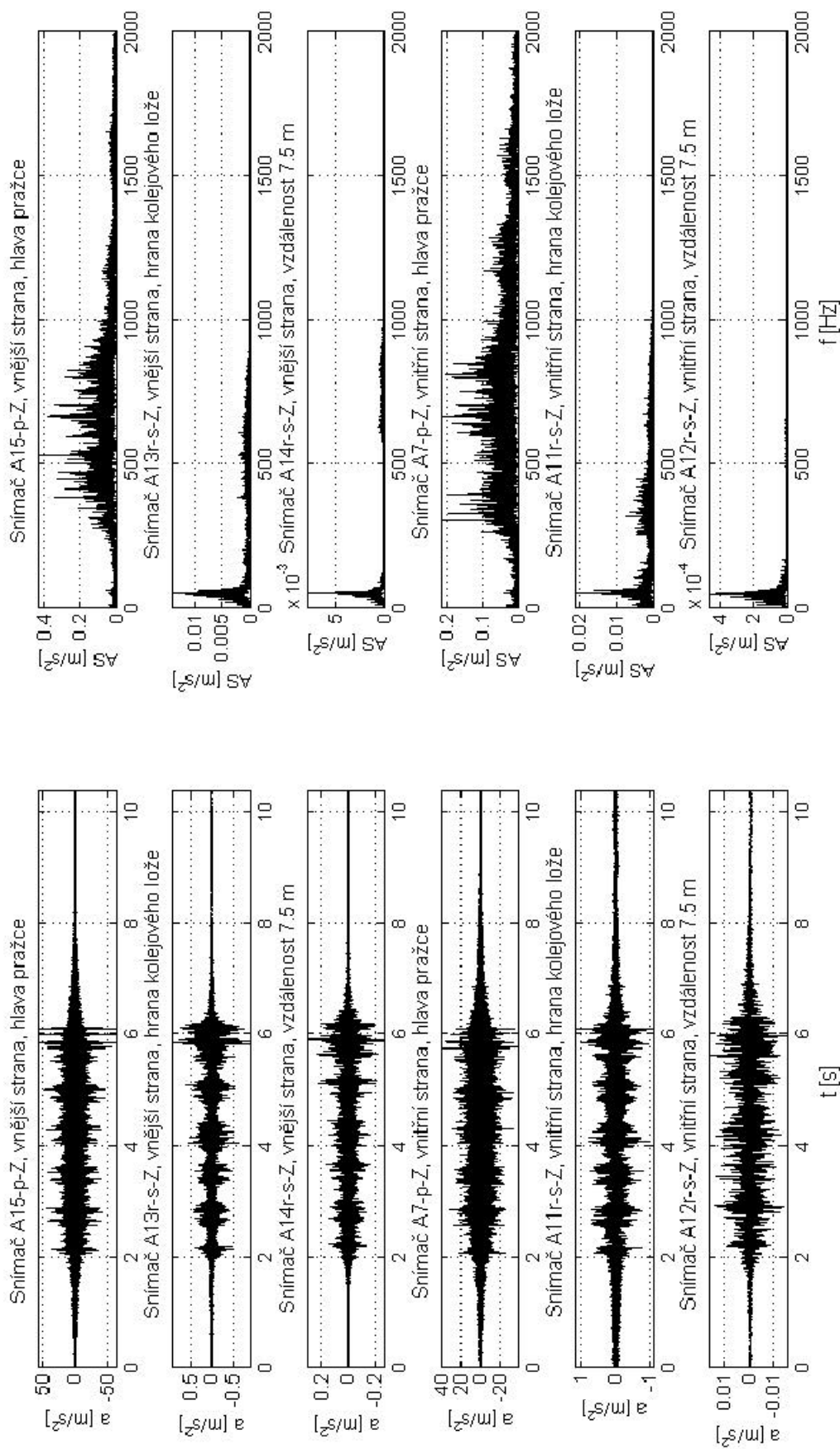


Obr. E.2.11 Rychlík (R) - lokomotiva 150; 5 vozů;  $v = 108$  km/h

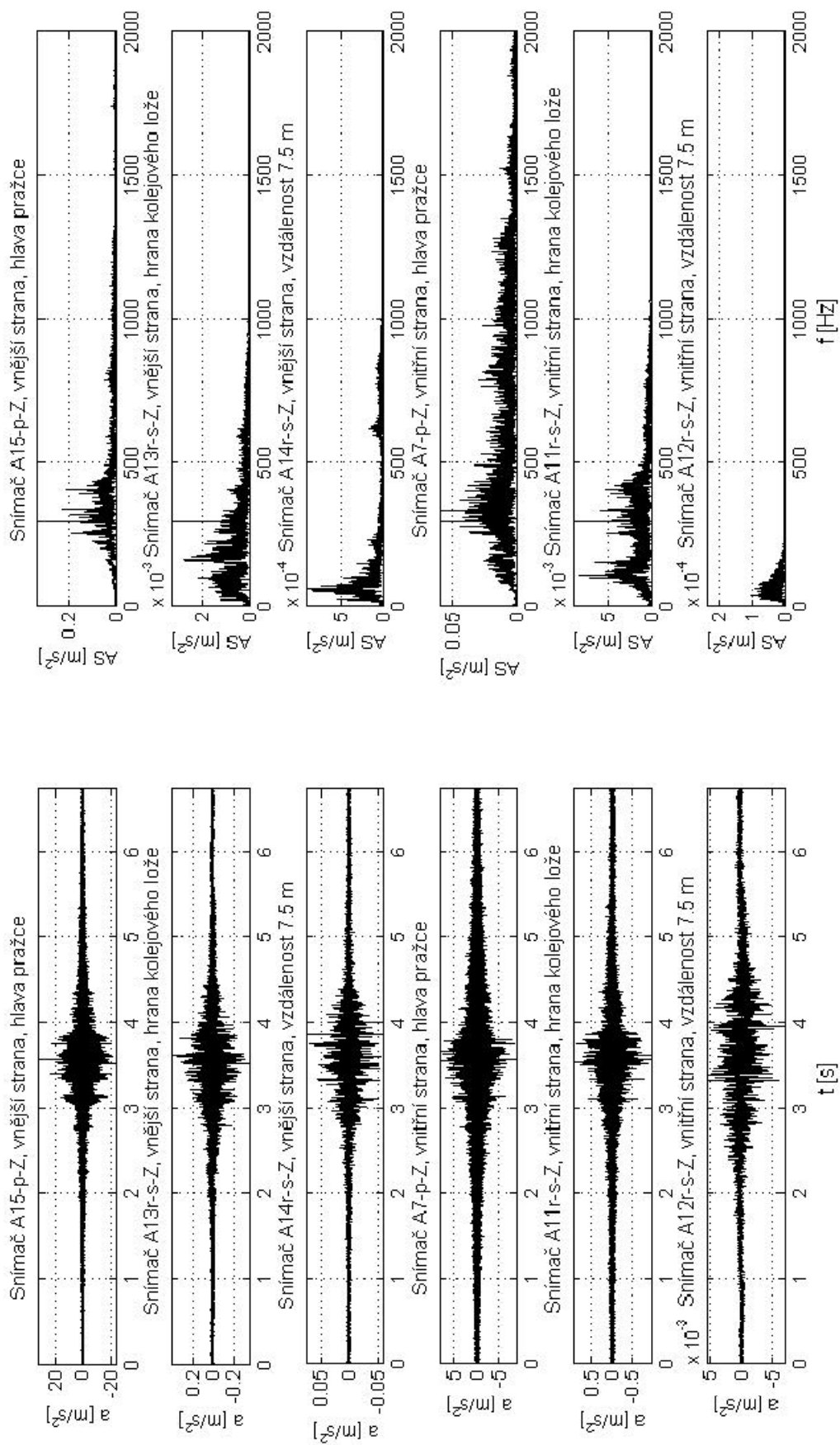




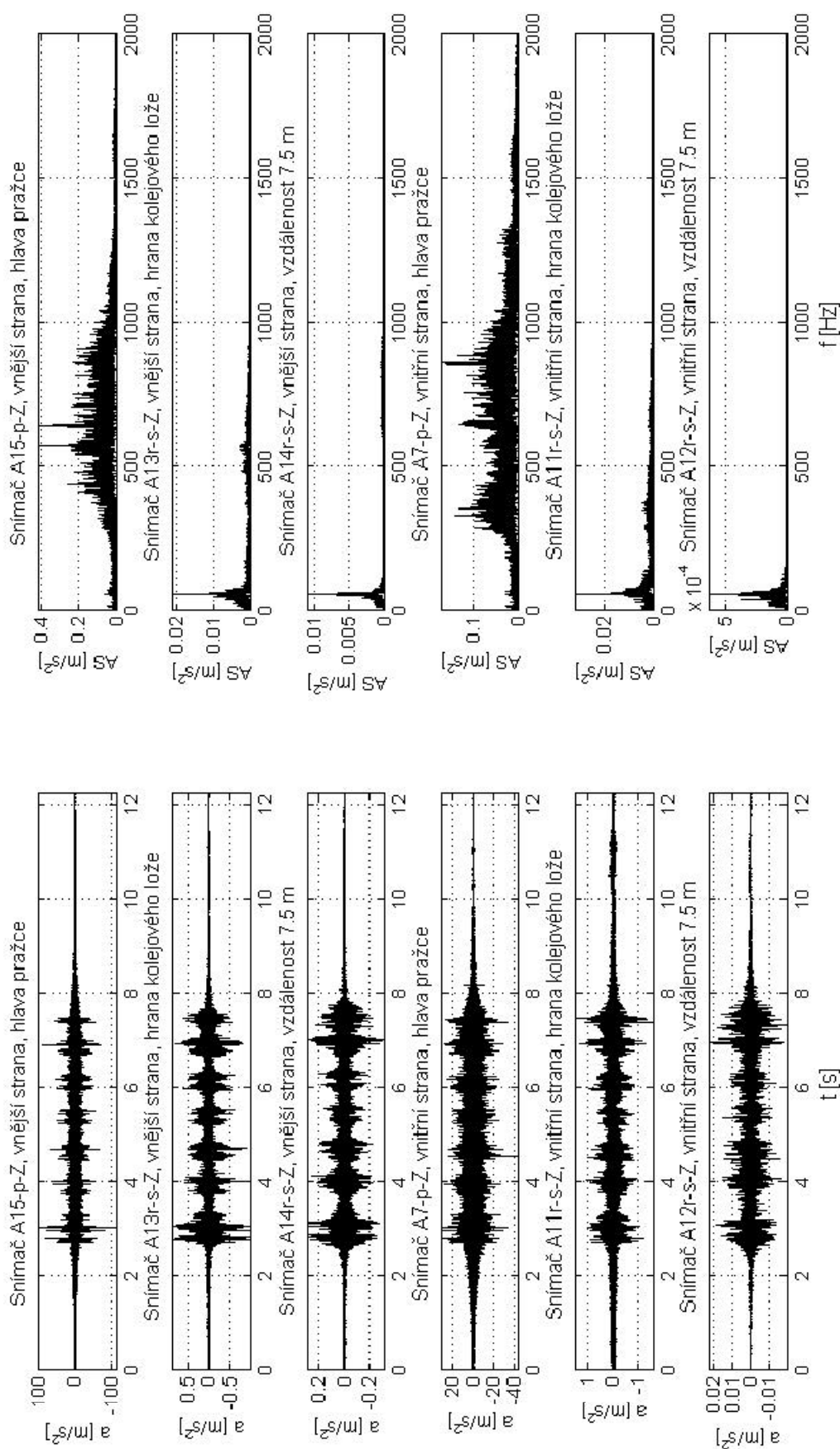
Obr. E.2.12 Nákladní vlak - lokomotiva 363; 18 vozů;  $v = 65$  km/h



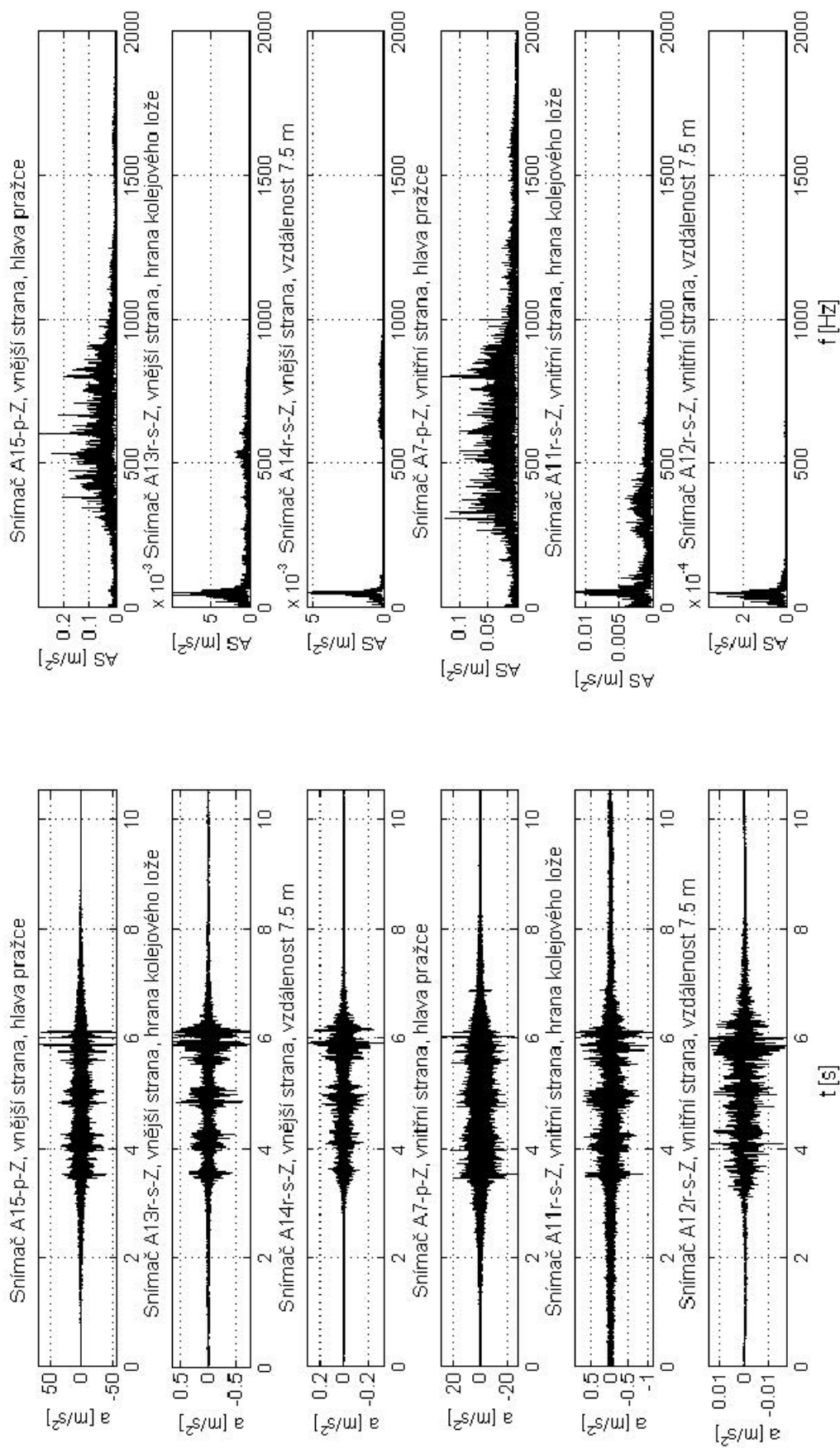
Obr. E.2.13 Rychlík (R) - lokomotiva 362; 5 vozů;  $v = 110$  km/h



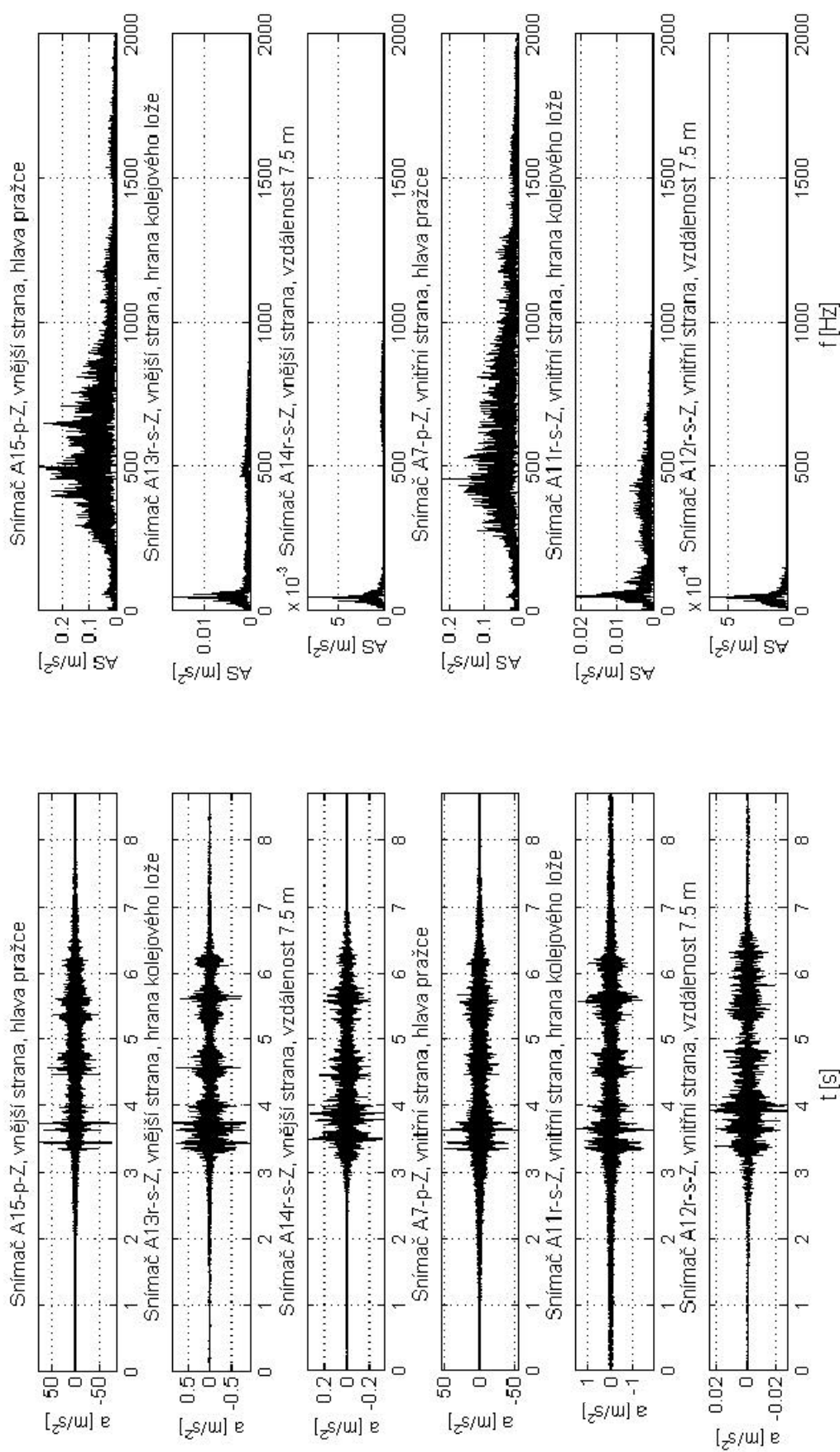
Obr. E.2.14 MUV 77 -  $v = 57$  km/h



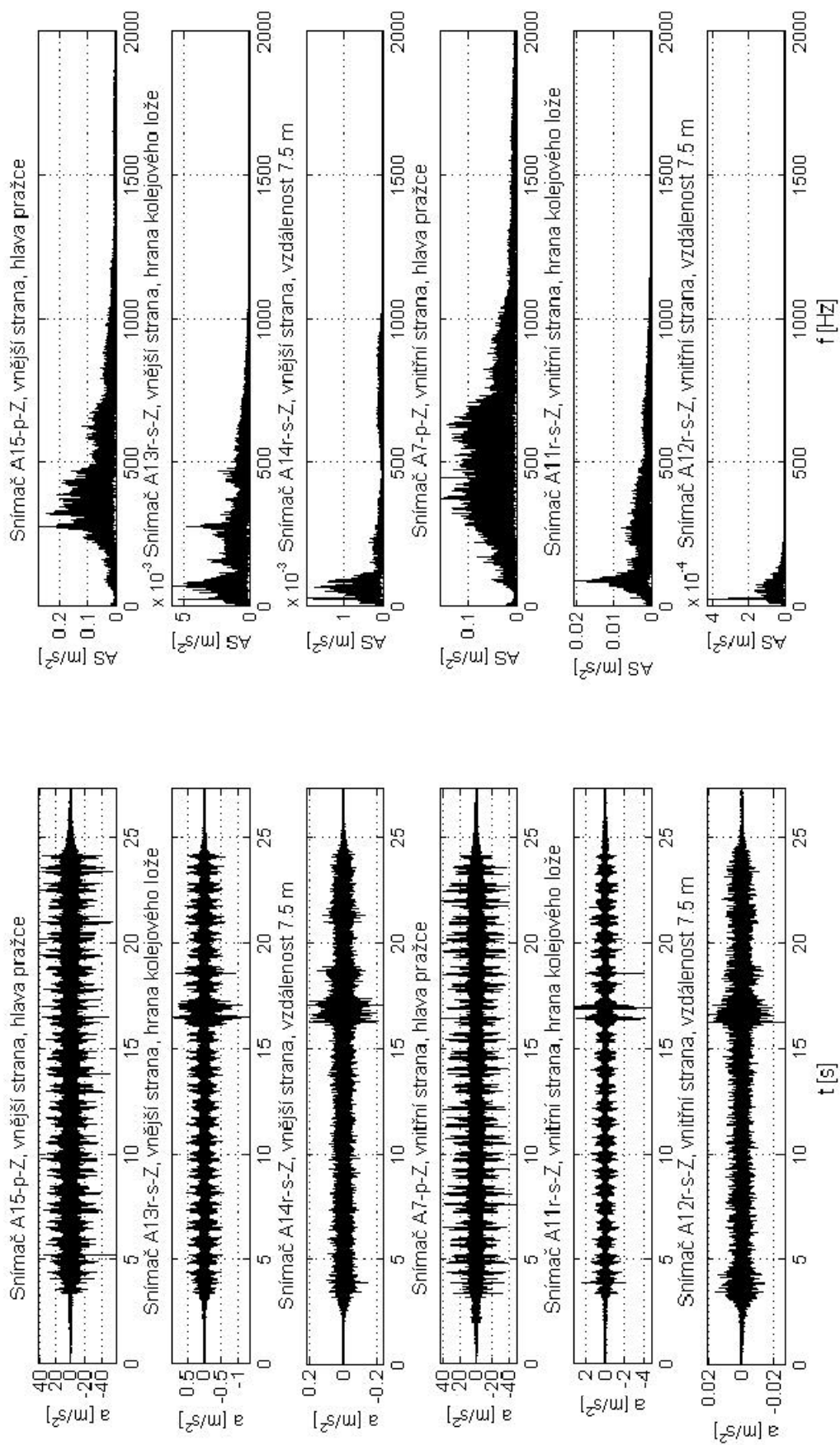
Obr. E.2.15 EuroCity (EC) - lokomotiva 380; 6 vozů;  $v = 114$  km/h



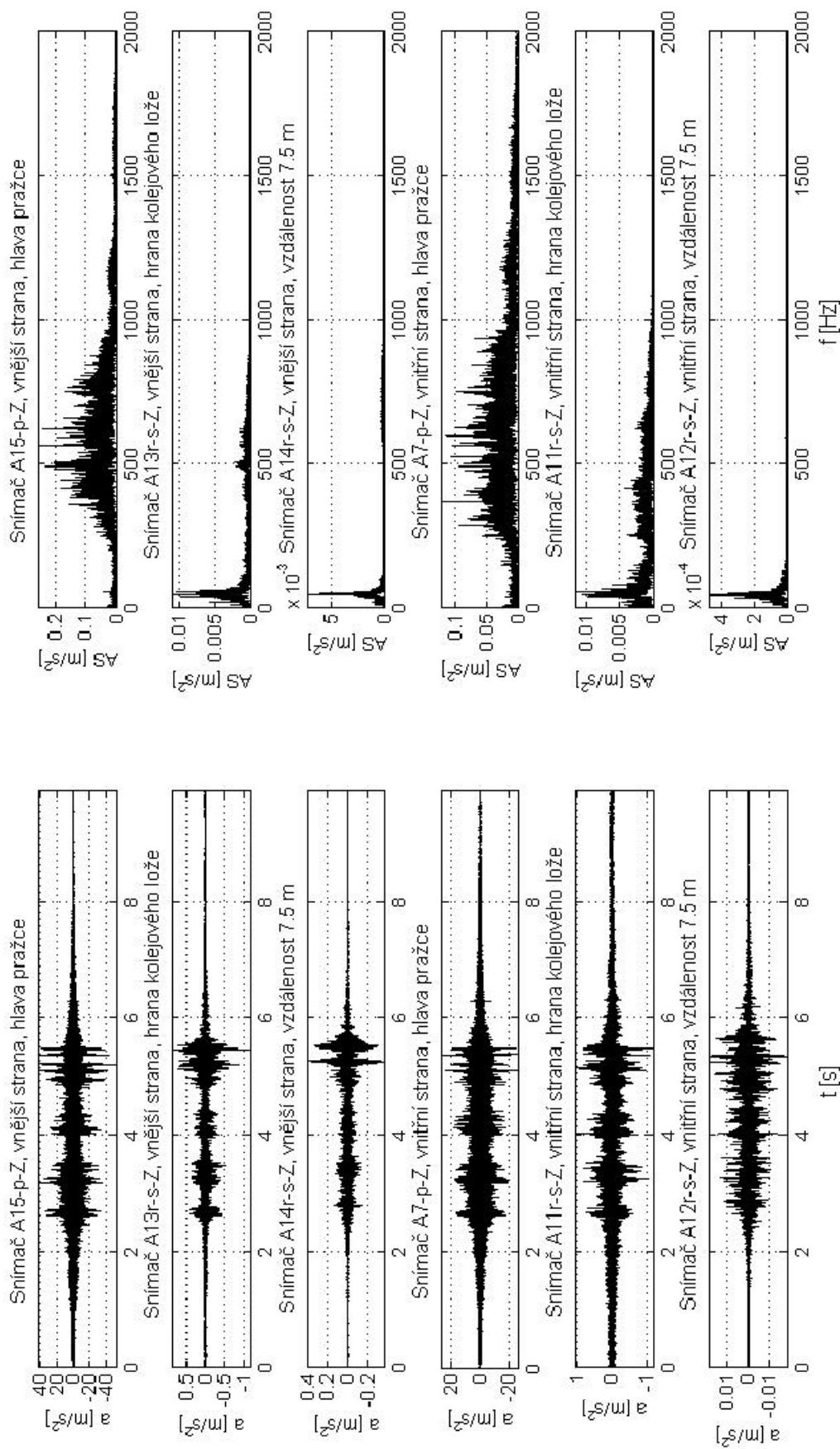
Obr. E.2.16 Osobní vlak (Os) - lokomotiva 362; 3 vozy;  $v = 101$  km/h



Obr. E.2.17 Osobní vlak (Os) - lokomotiva 163; 3 vozy;  $v = 110$  km/h

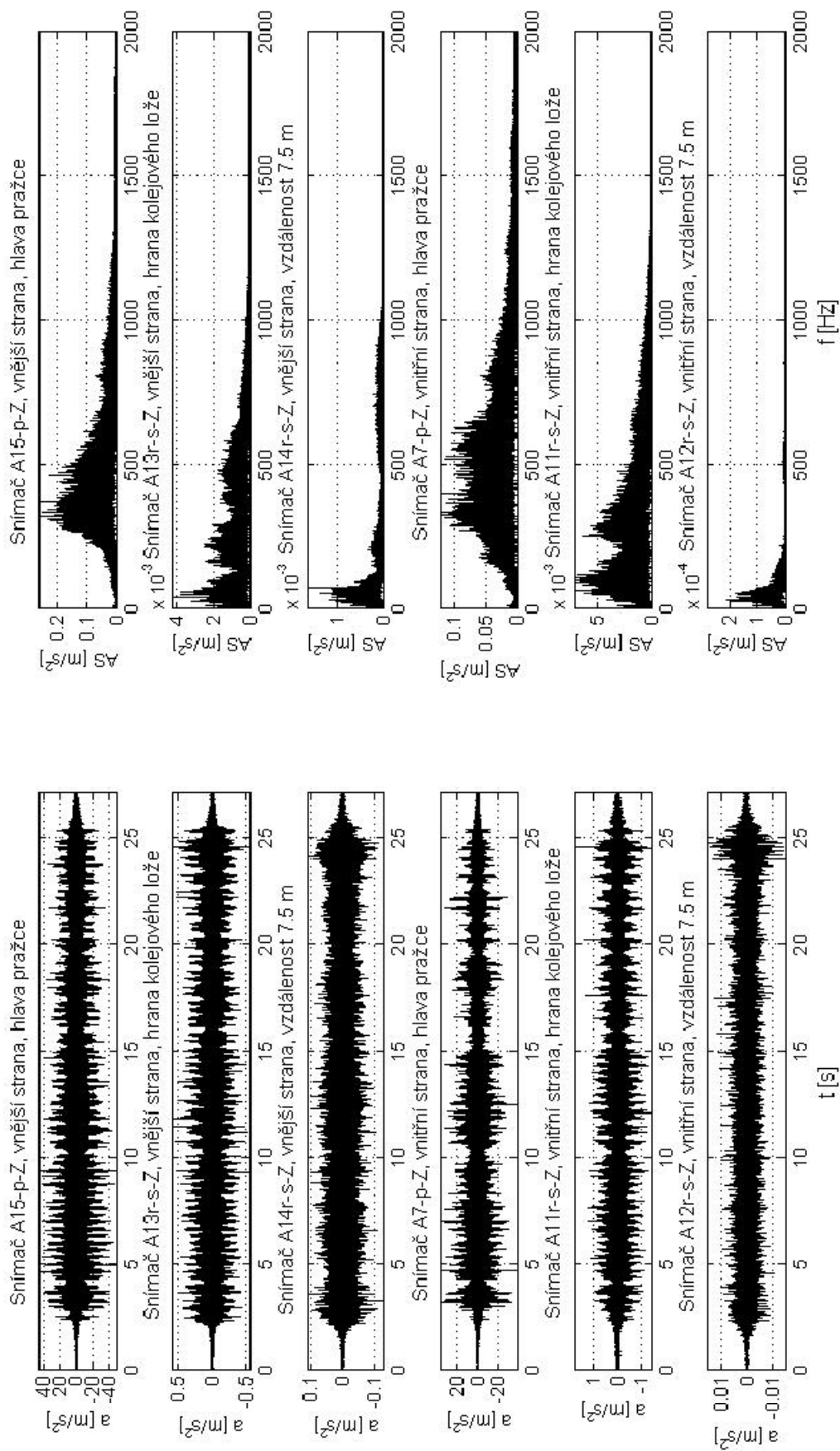


Obr. E.2.18 Nákladní vlak - lokomotiva 363; 25 vozů;  $v = 60$  km/h



Obr. E.2.19 Osobní vlak (Os) - lokomotiva 362; 3 vozy; v = 115 km/h





Obr. E.2.20 Nákladní vlak - lokomotiva Siemens; 31 vozů;  $v = 79 - 50$  km/h