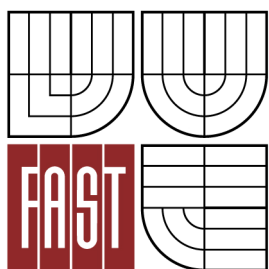




**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV ŽELEZNIČNÍCH KONSTRUKCÍ A STAVEB**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF RAILWAY STRUCTURES AND CONSTRUCTIONS

# **DYNAMICKÁ A AKUSTICKÁ ANALÝZA KONŠTRUKCÍ ŽELEZNIČNÉHO ZVRŠKU**

THE ANALYSIS OF THE DYNAMIC AND ACOUSTIC PARAMETERS OF THE SUPERSTRUCTURE  
CONSTRUCTION

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**BC. JAKUB BAČÍK**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**prof. Ing. JAROSLAV SMUTNÝ, Ph.D.**



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Diplomant</b>	Bc. Jakub Bačík
<b>Název</b>	Dynamická a akustická analýza konstrukcí železničního svršku
<b>Vedoucí diplomové práce</b>	prof. Ing. Jaroslav Smutný, Ph.D.
<b>Datum zadání diplomové práce</b>	31. 3. 2014
<b>Datum odevzdání diplomové práce</b>	16. 1. 2015

V Brně dne 31. 3. 2014

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

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

## **Podklady a literatura**

MILÁČEK S.: Měření a vyhodnocování mechanických veličin. ČVUT Praha. 2001. ISBN 80 01 02417 2.

NOVÝ R.: Hluk a chvění. Vydavatelství ČVUT. Praha. 2000. 389 s. ISBN 80-01-02246-3.

MORAVČÍK M., MORAVČÍK M.: Mechanika železničních tratí. EDIS Žilina. 695 stran. ISBN 80-7100-983-0.

ESVELD C.: Modern Railway Track. Second Edition. Delft, MRT Production, 2001, 2nd ed. 654 s. ISBN 90-800324-3-3.

PODOLNÍK A.: Experimentální analýza dynamických parametrů kolejového roštu. Brno, 2014. 98 s., 208 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav železničních konstrukcí a staveb.

TURČÍKOVÁ H.: Analýza akustických a vibračních parametrů od železniční dopravy. Brno, 2014. 104 s., 177 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav železničních konstrukcí a staveb.

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

Všeobecná tendence zvyšování traťových rychlostí spolu s požadavky na únosnost koleje v poslední době vedou k stále častějšímu prosazování konstrukcí pevné jízdní dráhy. V běžné koleji se uplatňují zejména tam, kde náklady na údržbu kolejí s klasickou konstrukcí ve šterkovém loži značně rostou. Přestože užití pevné jízdní dráhy skýtá řadu výhod, představuje rovněž některá rizika a omezení. Jedním z nich jsou také předpokládané vyšší emise hluku v okolí železniční trati. Diplomová práce bude zaměřena na provozní ověřování vybraných konstrukcí železničního svršku. Pro účely měření budou vybrána vhodná měřicí stanoviště 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 výstupy:

Rozbor současného stavu dané problematiky

Návrh metodiky měření dynamických a akustických parametrů kolejového roštu

Analýza měřených dat v časové oblasti

Analýza měřených 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 konstrukcí železničního svršku. Pro účely měření budou vybrána vhodná měřicí stanoviště na koridorových tratích a byla navržena odpovídající metodika měření. Na základě všech provedených zkoušek budou stanoveny dynamické a akustické parametry testovaných konstrukcí. K vyhodnocení zkoušek byl zvolen vhodný matematický aparát. Předpokládá se využití matematických metod v časové a ve frekvenční oblasti. Součástí práce je rovněž srovnání parametrů testovaných konstrukcí a doporučení pro praxi.

**Klíčová slova**

Pevná jízdní dráha, železniční svršek, Vossloh W14, Vossloh 300, RHEDA 2000, hluk, vibrace, časová analýza, frekvenční analýza

**Abstract**

This diploma thesis is focused on operational testing of selected railway lines with different structures of railway superstructure. For the purposes of measuring were chosen suitable measuring sections on the rail corridor and was designed suitable measuring methodology. Dynamic and acoustic parameters of tested structures were determined on the basis of all tests, which were performed. Suitable mathematic method was chosen for evaluation of tests in time and frequency zone. Part of my work is also compare parameters of the tested structures and recommendations for practice.

**Keywords**

Slab track, railway superstructure, Vossloh W14, Vossloh 300, RHEDA 2000, noise, vibration, time analysis, frequency analysis

## **Bibliografická citace VŠKP**

Bc. Jakub Bačík *Dynamická a akustická analýza konstrukcí železničního svršku*. Brno, 2015. 81 s., 160 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 zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 9.1.2015

.....  
podpis autora  
Bc. Jakub Bačík

# POĎAKOVANIE

Ďakujem vedúcemu práce prof. Ing. Jaroslavovi Smutnému, Ph.D., ktorý mi pomohol svojimi odbornými radami pri príprave merania a jeho samotnej realizácií, a tiež za jeho pomoc pri riešení problémov a ochotu pri konzultáciách, čím dopomohol ku vzniku tejto práce.

„Ďakujem.“

Autor



## OBSAH

1.	ÚVOD.....	3
2.	CIELE PRÁCE .....	4
3.	ROZBOR SÚČASNÉHO STAVU DANEJ PROBLEMATIKY.....	5
3.1	ŽELEZNIČNÝ ZVRŠOK .....	5
3.1.1	Koľajnice.....	5
3.1.2	Upevnenie koľajníc.....	7
3.1.3	Koľajové lôžko .....	11
3.1.4	Koľajnicové podpory .....	12
3.2	PEVNÁ JAZDNÁ DRÁHA .....	14
4.	METODIKA MERANIA .....	19
4.1	ZÁSADY MERANIA .....	20
4.2	UMIESTNENIE SNÍMAČOV .....	20
4.3	MERACÍ REŤAZEC.....	25
4.4	TEÓRIA ANALÝZY SIGNÁLU.....	26
5.	VLASTNÉ MERANIE.....	29
5.1	MERACIA KAMPAŇ TŘEBOVICE, PEVNÁ JAZDNÁ DRÁHA.....	29
5.2	MERACIA KAMPAŇ TŘEBOVICE, KLASICKÉ KOĽAJOVÉ LÔŽKO .....	30
6.	VYHODNOTENIE DYNAMICKÝCH PARAMETROV .....	31
6.1	VYHODNOTENIE VIBRÁCIÍ V ČASOVEJ ROVINE .....	32
6.1.1	Vibrácie od prejazdu osobných vlakov .....	33
6.1.2	Vibrácie od prejazdu nákladných vlakov .....	38
6.1.3	Vibrácie od prejazdu rýchlikov .....	42
6.2	VYHODNOTENIE VIBRÁCIÍ VO FREKVENČNEJ ROVINE.....	52
6.2.1	Vibrácie od prejazdu osobných vlakov .....	52

6.2.2	Vibrácie od prejazdu nákladných vlakov.....	56
6.2.3	Vibrácie od prejazdu rýchlíkov.....	59
6.2.4	Porovnanie konštrukcií z hľadiska vibrácií vo frekvenčnej oblasti.....	62
7.	VYHODNOTENIE AKUSTICKÝCH PARAMETROV .....	63
7.1	ANALÝZA NAMERANÝCH DÁT V ČASOVEJ OBLASTI.....	64
7.1.1	Hladina expozície prejazdu TEL osobných vlakov .....	64
7.1.2	Hladina expozície prejazdu TEL nákladných vlakov .....	65
7.1.3	Hladina expozície prejazdu TEL rýchlíkov .....	65
7.1.4	Porovnanie konštrukcií z hľadiska akustických parametrov v časovej oblasti.....	67
7.2	ANALÝZA NAMERANÝCH DÁT VO FREKVENČNEJ OBLASTI.....	67
7.2.1	Tretinooktávová analýza hladín akustického tlaku od prejazdu osob. vlakov .....	68
7.2.2	Tretinooktávová analýza hladín akustického tlaku od prejazdu nákl. vlakov .....	70
7.2.3	Tretinooktávová analýza hladín akustického tlaku od prejazdu rýchlíkov.....	71
7.2.4	Porovnanie konštrukcií z hľadiska akustic. parametrov vo frekvenčnej oblasti....	73
8.	ZÁVER .....	75

# 1. ÚVOD

V súčasnej dobe je snaha v Českej republike ale aj celej Európe o zvyšovanie zaťaženia a rýchlosti na železničných tratiach. Spolu s týmto trendom prichádzajú aj snahy o nahradenie bežne používanej konštrukcie železničného zvršku s použitím priečných podvalov v štrkovom koľajovom lôžku. V rámci rastúcej výstavby moderných vysokorýchlostných tratí sa začína čoraz viac používať nekonvenčná konštrukcia železničného zvršku, ktorou je pevná jazdná dráha. Dôvodovom jej využívania sú hlavne výrazne nižšie náklady na údržbu tohto typu trate, keďže nedochádza k pohybom v geometrickej polohe koľaje a nie je nutné jej podbíjanie ani čistenie koľajového lôžka. Z dôvodu nemožnosti výrazných geometrických úprav po zriadení trate musí byť konštrukcia pevnej jazdnej dráhy vybudovaná úplne presne. Dodatočná úprava výškovej a smerovej polohy je možná len vo veľmi obmedzenej miere. Tieto možné úpravy sú umožnené použitím špeciálneho druhu upevnenia koľajníc, ktoré zároveň plní funkciu rektifikácie. V Českej republike sa začal prvýkrát overovať systém konštrukcie pevnej jazdnej dráhy v roku 2005, kedy bol zriadený prvý skúšobný úsek pre konštrukciu pevnej jazdnej dráhy typu RHEDA 2000. Skúšobný úsek bol zriadený medzi stanicami Třebovice v Čechách a Rudoltice v Čechách a jeho dĺžka je 500 metrov. Dnes sa v prevádzke nachádza ešte jedna pevná jazdná dráha na úseku Horní Lideč - štátna hranica so Slovenskou republikou. V tomto prípade bola použitá pevná jazdná dráha systému ÖBB-PORR v Střelenskom tuneli. Zriadenie pevnej jazdnej dráhy v tomto úseku bolo navrhnuté hlavne z dôvodu nedostatočnej výšky štrkového lôžka pri zachovaní stávajúcej trate.

V mojej práci v rámci diplomovej práce som sa zaoberal skúšobným úsekom pevnej jazdnej dráhy RHEDA 2000 medzi stanicami Třebovice v Čechách a Rudoltice v Čechách. Tento systém pevnej jazdnej dráhy predstavoval prvé stanovisko pre meranie a bol porovnávaný s bežne používanou konštrukciou s klasickým štrkovým lôžkom. Toto druhé meracie stanovisko sa nachádzalo na rovnakej trati. V mojej práci som na základe meraní na týchto dvoch konštrukciách overoval a porovnával dynamické a akustické správanie jednotlivých konštrukcií železničného zvršku. Jedným z cieľov je overenie teoretických predpokladov vyššej emisie hluku v prípade konštrukcie s pevnou jazdnou dráhou. Na vyhodnotenie bol zvolený vhodný matematický aparát a následné využitie vhodných metód porovnania jednotlivých konštrukcií v časovej a frekvenčnej oblasti.

## 2. CIELE PRÁCE

Cieľom mojej práce je meranie, vyhodnotenie a porovnanie dynamických a akustických parametrov konštrukcie. Porovnanie bude realizované na základe meraní v teréne na rôznych konštrukciách koľajového lôžka. Pre merania boli vybrané dve meracie stanoviská vhodné pre porovnanie výsledkov skúšok. Pre porovnanie a vyhodnotenie skúšok sa predpokladá využitie matematických metód v časovej a vo frekvenčnej oblasti.

Medzi ciele práce patrí:

- analýza a porovnanie rôznych konštrukcií železničného zvršku - klasická konštrukcia oproti konštrukcii s pevnou jazdnou dráhou
- analýza dynamických a akustických parametrov v časovej a frekvenčnej rovine testovaných konštrukcií
- zhodnotenie výhod a nevýhod použitia pevnej jazdnej dráhy namiesto klasickej konštrukcie, možné riziká a obmedzenia v prípade jej použitia
- potvrdenie predpokladu vyššej emisie hluku v okolí pevnej jazdnej dráhy oproti klasickej konštrukcii
- potvrdenie vhodnosti zvolenej metodiky merania, návrhy na zmeny a vylepšenia
- porovnanie výsledných parametrov, odporúčania pre prax a posúdenie vhodnosti ďalšieho použitia pevnej jazdnej dráhy namiesto klasickej konštrukcie

### **3. ROZBOR SÚČASNÉHO STAVU DANEJ PROBLEMATIKY**

Na železničiach v Českej republike sa používa bežne klasická konštrukcia železničného zvršku, kedy sa používa koľajové lôžko s koľajnicovými podporami vo forme priečných podvalov. Priečne podvaly sú uložené v štrkovom lôžku. Koľajnice, koľajnicové podvaly, upevňovadlá a drobné koľajivo tvoria celok, ktorý sa nazýva koľajový rošt.

Ďalším typom konštrukcie je pevná jazdná dráha. Tento typ konštrukcie nebol doteraz veľmi rozšírený. V Českej republike bolo rozhodnuté o zriadení skúšobného úseku tohto typu v roku 2004 na trati Třebovice - Rudoltice. Bola použitá konštrukcia typu RHEDA 2000 a úsek bol dokončený v roku 2005. Pevná jazdná dráha je tvorená konštrukciou železničného zvrška bez koľajového lôžka. Nosnú konštrukciu tvorí nosná doska PJD, ktorá zároveň zaisťuje prenos síl od zaťaženia prevádzkou do podložia. [1], [2]

#### **3.1 ŽELEZNIČNÝ ZVRŠOK**

##### **3.1.1 Koľajnice**

Koľajnica je najdôležitejšia súčasť železničného zvršku., ktorá preberá kolesové sily a roznáša ich na koľajnicové podpory, spravidla priečne podvaly a prostredníctvom adhézie preberá brzdné a rozjazdové sily. Koľajnice sa vyrábajú zo surového železa v kyslíkových konvertoroch. Koľaje sa delia na stykové a bezstykové. Na celoštátnych tratiach sa používajú bežne bezstykové koľaje, ktorej výhodou je absencia koľajových stykov vyžadujúcich pravidelnú údržbu.

Podľa tvaru môžu byť koľajnice širokopätné, špeciálne pre výhybky, blokové, žeriavové alebo žliabkové. V minulosti boli používané i iné tvary, napr. dvojhlavové koľajnice, na ČSD označované ako tvar I. Najpoužívanejšie sú širokopätné koľajnice, ktoré sa skladajú z päty, stojiny a hlavy a používajú sa na bežných železničných tratiach. Na ČSD bolo používaných viac ako 100 tvarov koľajnic. Normálne dĺžky najpoužívanejších sú 20 m (R 65), 25 m (S 49, R 65, UIC 60), 36 m a 75 m (S 49, UIC 60), 108 m a 120 m (UIC 60). Pre prechod medzi jednotlivými tvarmi koľajnic sa používajú prechodové koľajnice, prechodové zvary alebo prechodové spojky.

Tvary koľajnice sa líšia svojimi rozmerovými parametrami. Širokopätne koľajnice sa po novom označujú číslom vyjadrujúcim hmotnosť koľajnice, písmenom E a číslom vyjadrujúcim typ koľajnice (série), ktoré skrátuje pôvod alebo použitie a čísla, udávajúceho hmotnosť jedného metra koľajnice v kilogramoch.

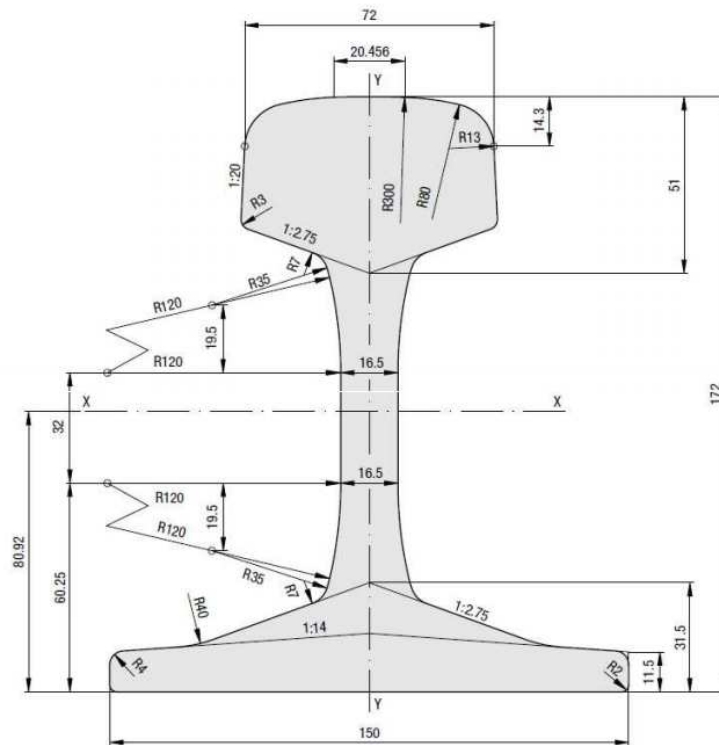
Rozdelenie:

- 49 E1 (pôvodný názov S49) – na českých regionálnych tratiach najpočetnejšie; výška 149 mm; šírka päty 125 mm; šírka hlavy 70 mm; hrúbka stojiny 14 mm; symetrická podľa svojej osi; používa sa od roku 1920
- R 65 – bežná na celoštátnych tratiach; výška 180 mm; šírka päty 150 mm; šírka hlavy 72,8 mm; hrúbka stojiny 18 mm
- 60 E1 (pôvodný názov UIC60) – na koridoroch nahradzuje R 65; výška 172 mm; šírka päty 150 mm; šírka hlavy 72 mm; hrúbka stojiny 16,5 mm
- 60 E2 - podobné rozmery ako typ E1, minimálne rozdiely, v prípade brúsenia koľajníc 60 E1 pri rekonštrukcii sa často navrhuje prebrúsenie na tvar 60 E2
- T – na regionálnych tratiach; dnes už sa prestávajú používať; výška 150 mm; šírka päty 128mm; šírka hlavy 65,5 mm; hrúbka stojiny 15 mm; 50 kg/bm
- A – na regionálnych tratiach; dnes už vzácne; 44 kg/bm
- Xa – na regionálnych tratiach; dnes už vzácne; 36 kg/bm [2]

Na tratiach ČD sa v súčasnej dobe používajú typy 49 E1, 60 E1, 60 E2 a R 65.

## **60 E1**

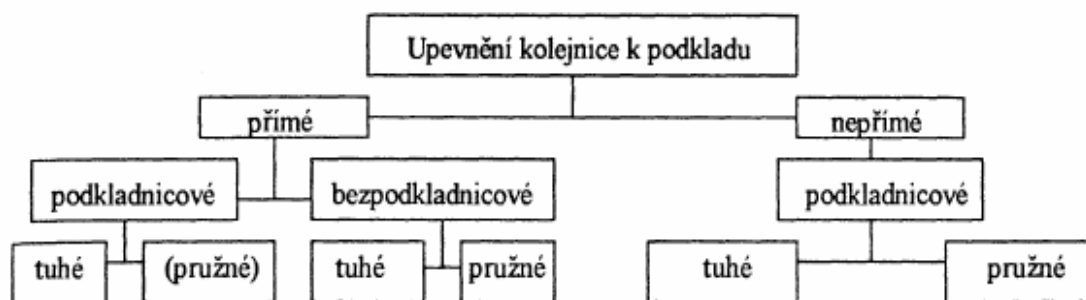
- koľajnice použité na mojom úseku v oboch konštrukciách sú typu 60 E1. Tieto koľajnice sa používajú najčastejšie v Českej republike pre bežné trate. Dodržiava sa normálny rozchod 1435mm. Pôvodne sa označovali UIC60. Rozmery tejto koľajnice možno vidieť na obrázku (výška 172 mm, šírka päty 150 mm a šírka hlavy 72 mm).



Obr. 3.1 Koľajnica typu 60 E1

### 3.1.2 Upevnenie koľajnic

Koľajnice spolu s upevnením koľajnic tvoria primárne vypruženie železničnej trate. Úlohou upevnenia je prenos zaťaženia a zabezpečenie geometrických parametrov koľaje. Koľajnice sa upevňujú najčastejšie ku podvalu alebo ku inej konštrukcii. K tomuto účelu bolo vyvinutých množstvo zostáv. V začiatkoch to boli koľajnice uchytené k drevenému podvalu pomocou klinec. V dnešnej dobe sa používa množstvo druhov pružného upevnenia. Upevnenie sa používa priame, kedy je koľajnica uchytená priamo k podvalu, a to podkladnicou, alebo bez nej. Druhým typom je nepriame upevnenie, kedy je koľajnica prichytená na podkladnicu, ktorá je osobitne uchytená k podvalu. Z hľadiska tuhosti sa rozlišuje tuhé a pružné upevnenie.



Obr 3.2 Rozdelenie upevnení koľajnic podľa typu konštrukcie upevnenia

Tuhé podkladnicové upevnenie sa odporúča používať iba koľajach s nižším prevádzkovým zaťažením. V súčasnosti sa na celoštátnych tratiach bežne najviac používa pružné priame bezpodkladnicové upevnenie, pri bežných konštrukciách na betónové podvaly alebo betónové dosky. V hlavných koľajách na vybraných tratiach sa používa spravidla bezpodkladnicové upevnenie na betónových podvaloch s úklonom koľajnic 1:40.

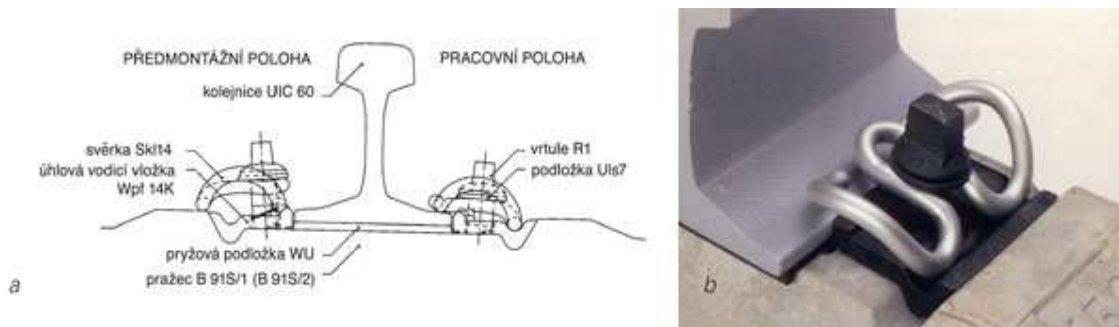
Najpoužívanejšie upevnenia tohto typu sú pružné zvierky systému Vossloh – W14 a Pandrol – FastClip. Tieto upevnenia majú výhodu v jednoduchej konštrukcii, skladajú sa z menšieho počtu častí, je možná zmena rozchodu koľaje. Výhodou je aj možnosť predmontáže zvierok na podvaly. Na úseku železničnej trate, ktorý bol vybraný pre merania k mojej diplomovej práci bolo použité upevnenie Vossloh W14 v prípade trate klasickej konštrukcie železničného zvršku. V úseku, kde sa nachádzala pevná jazdná dráha bolo použité upevnenie typu Vossloh 300. [2]

### Vossloh W14

Je to najrozšírenejšie upevnenie na celoštátnych dráhach v Českej republike. Je to priame pružné upevnenie na betónovom podvale. Používa sa pre koľajnice 60 E1, 60 E2 a 49 E1 a pri podvaloch B91S/1 a B91S/2. Koľajnice sú uložené na gumových podložkách. Koľajnica leží priamo na podvale bez použitia podkladnice a je s ním spojená pomocou pružnej zvierky Skl 14. Zvierky sú zmontované pomocou vrtúľ R1 a ukotvené vo vymeniteľných umelohmotných hmoždinkách. Zvierky sa montujú tak, aby nos zvierky dosadol na plastovú vložku. Vossloh W14 upevnenie umožňuje jednoduchú regeneráciu podvalov. Úložná poloha oboch podvalov je v úklone 1:40. Nominálna sila je približne 10 kN pri zdvihu 13 mm s amplitúdou kmitania päty koľajnice až 2 mm. Koľajnica je smerovo vedená bočnou uhlovou vložkou. Výšková poloha koľajnice je regulovateľná



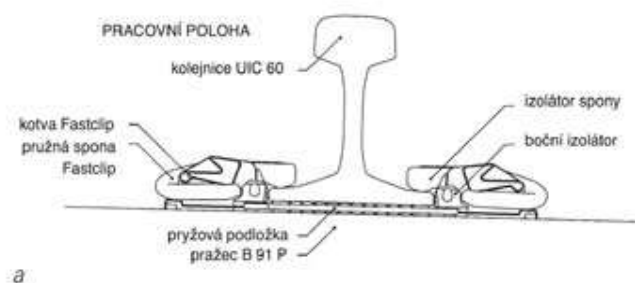
pomocou výškových regulačných podložiek. Zmena rozchodu je možná výmenou plastových vložiek v rozsahu 10 mm v krokoch po 2,5 mm.



*Obr. 3.3 Bezpodkladnicové pružné upevnenie železničného zvršku Vossloh W14 s koľajnicami UIC 60 (S49) na betónových podvaloch so zvierkami Skl. 14, a) priečny rez, b) pohľad [4]*

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

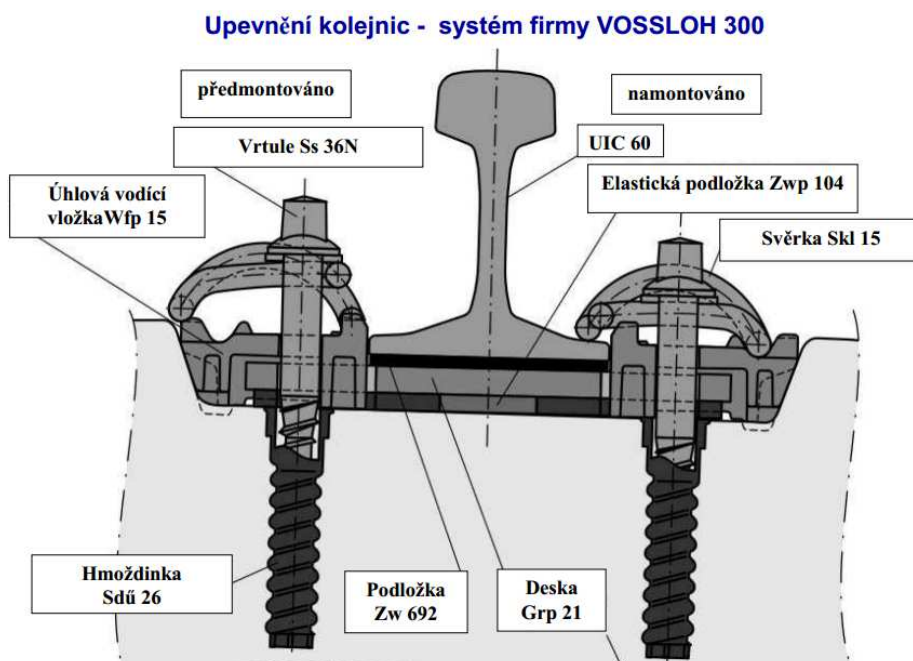
Jedná sa o rovnaký typ upevnenia ako Vossloh W 14, teda o priame pružné upevnenie bez použitia podkladníc. Je charakteristické použitím pružných spôn, ktoré sa do pracovnej polohy nasunú v smere kolmo na os koľajnice, pri medzere medzi podvalom a pätou koľajnice väčšou ako 6 mm je nutné pridvihnutie podvalu. Na pracovný nos zvierky sa navlieka plastový izolátor. Spona je k podvalu prichytená v podvalovej kotve. Podvalová kotva je obstaraná bočnými plastovými vložkami, ktoré vymedzujú polohu koľajnice v uzle upevnenia a ich zámenu je možné meniť rozchod koľaje v rozpätí  $\pm 4$  mm v krokoch po 2 mm. Pre upevnenie FC I sa používa podval B 91P z predpätého betónu. Úložná plocha je v úklone 1:40. Používa sa pre koľajnice typu 60 E1 a 60 E2, ktoré sú uložené na gumových podložkách hrúbky 11,5 mm. Nevýhodou tohto typu upevnenia je, že podvalové kotvy sa do podvalov zabudovávajú priamo pri výrobe podvalov a ich regenerácia nie je možná. Výhodou je rýchla a jednoduchá montáž, pretože všetky komponenty sú predmontované pri výrobe podvalov. Na stavenisku je už iba potrebné kompletnú zostavu previesť z predmontážnej pozície do pracovnej polohy.



*Obr. 3.4 Bezpodkladnicové pružné upevnenie železničného zvršku s koľajnicami UIC 60 (S49) na betónových podvaloch s bezpodkladnicovým upevnením pomocou pružných spôn FastClip Pandrol, a) priečny rez, b) pohľad [4]*

### **Vossloh 300**

Jedná sa o typ upevnenia ktorý sa používa u pevnej jazdnej dráhy Rheda 2000. Tento typ konštrukcie železničného zvršku sa nachádza aj na úseku vybranom na merania pre moju diplomovú prácu na trati Rudoltice v Čechách - Třebovice v Čechách. Koľajnica je spojená s podvalom pomocou pružnej zvierky Skl 15. Toto upevnenie zabezpečuje vyššiu pružnosť ako často používané upevnenie Vossloh W 14. Možnosť úpravy polohy je 30 mm zvislo a 20 mm priečne.



Obr. 3.5 Upevnenie koľajníc - systém Vossloh 300 [6]



Obr. 3.6 Upevnenie koľajníc - systém Vossloh 300 [4]

### 3.1.3 Koľajové lôžko

Koľajové lôžko je časť železničného zvršku, ktorá prenáša zaťaženie do konštrukcie železničného spodku, slúži ku spružneniu železničného zvršku, zabezpečuje požadovanú stabilitu koľaje a umožňuje úpravu polohy koľaje. Musí byť priepustné, nenamrzané, pružné, stabilné a v úsekoch kde je to potrebné musí zabezpečovať

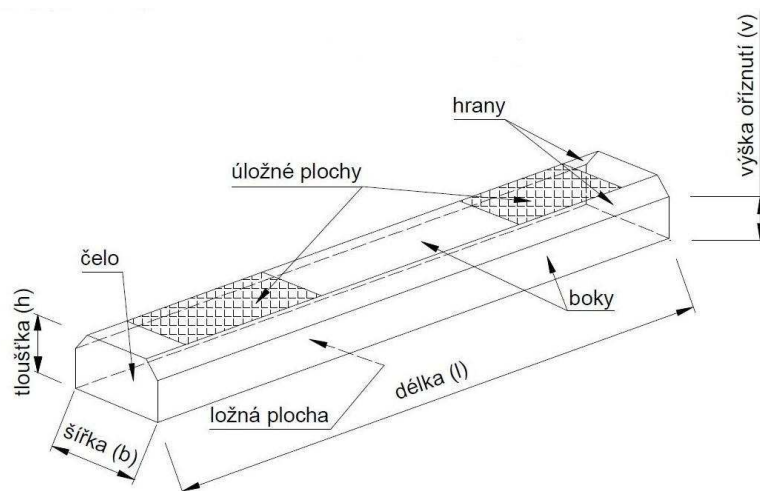
požadovaný elektrický odpor medzi koľajnicovými pásmi. Materiál koľajového lôžka musí spĺňať viaceré požiadavky na jeho kvalitu. Základnými parametrami koľajového lôžka sú:

- Mocnosť koľajového lôžka meraná medzi pláňou telesa železničného spodku a ložnou plochou priečneho podvalu pod neprevýšeným koľajnicovým pásmom
- Profil koľajového lôžka
- Miera homogenizácie kameniva v koľajovom lôžku
- Ekologické vlastnosti kameniva

### 3.1.4 Koľajnicové podpory

Ako koľajnicové podpory sú najrozšírenejšie a na železničných tratiach najviac používané priečne podvaly. Iba vo výnimočných prípadoch sa na špeciálnych konštrukciách používajú pozdĺžne podvaly, alebo ojedinelé podpory. Podvaly spolu s koľajnicami vytvárajú koľajový rošt, ktorý zaisťuje rozchod koľaje a roznášanie pohyblivého zaťaženia do podvalového podložia. Podvaly preberajú zvislé, vodorovné priečne pozdĺžne zaťaženie.

Horná plocha sa nazýva úložná, spodná plocha ložná. Konce podvalov na vonkajšej strane koľajnic sa označujú ako hlavy podvalov, koncové plochy ako čelá. (Obr. 3.7)



Obr. 3.7 Priečný podval – názvy základných častí [1]

Pri správnom podbití, prenáša priečný podval zvislé zaťaženie na ložnej ploche v oblastiach pod koľajnicami. U bežných drevených a betónových monoblokových podvalov sa podbíjajú iba tieto oblasti, stredná časť podvalu sa necháva bez podbíjania.

Dosiahnutie správneho podoprenia podvalov pri opakovanom zaťažení je zložité. Vzhľadom k cyklickému zatlačovaniu hláv podvalom má väčšina podvalov tendenciu k presunutiu podopieranej oblasti ku svojmu stredu.

Podľa materiálu sa delia podvaly na:

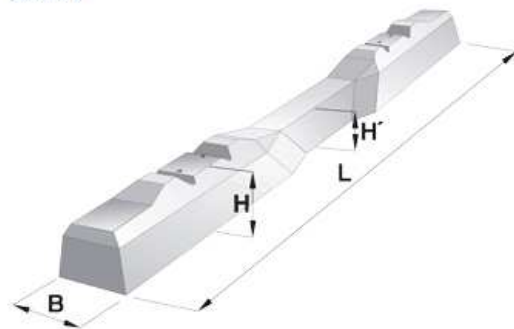
- Drevené
- Betónové
- Oceľové
- Ostatné materiály

### B 91 S/1

Jedná sa o typ koľajnicovej podpory, ktorá je použitá na mojom meranom úseku v prípade klasického koľajového lôžka. Používa sa pre pružné podkladnicové upevnenie W14. Je to monolitický podval s predpätého betónu vystužený oceľovými výstuhami, bežne používaný typ podvalu v Českej republike pre klasické koľajové lôžko. Navrhnutý je pre ohybové momenty v priereze pod koľajnicou  $+16,0 \text{ kN.m}$  a v strede podvalu  $-12,5 \text{ kN.m}$ , predpínacia sila je 273 až 284 kN, dĺžka 2600 mm. [1]

#### Pražec B 91 S/1

Schéma



Obchodní značka	Třída betonu	Objem (m <sup>3</sup> )	Hmotnost (kg)
APP 13-19	C 45/55-XF1	0,1250	304
Rozměry (cm)			
L	B	H	H'
260	30	22	18

Obr. 3.8 Podval B 91 S/1

### **B355.3 U60M**

Sú to dvojblokové podvaly, ktoré v konštrukcií pevnej jazdnej dráhy nahradzujú bežne používané monoblokové podvaly. Spojenie blokov je prevedené pomocou oceľovej výstuže.

## **3.2 PEVNÁ JAZDNÁ DRÁHA**

Už v minulosti sa v Českej republike skúšalo použitie doskových konštrukcií ako koľajnicových podpôr namiesto klasických podvalov. V súčasnej dobe je konštrukcia tejto tzv. pevnej jazdnej dráhy v Európe používaná na mnohých moderných vysokorýchlostných tratiach. Existuje celá rada konštrukcií. Čisto doskové konštrukcie sú použité napr. v Taliansku na trati Travizio - Rím, v Eurotuneli je použitá konštrukcia dvojblokových podvalov posadených v gumových podložkách a na mieste zabetónovaných. Tento systém sa nazýva Sonnevile. Základom je tlmenie vibrácií pomocou systému hmota - pružina, ktorý betónové bloky v gumovej podložky tvoria. Na trati Neubaustrecke v Nemecku je použitých viac ako sedemnášť typov konštrukcií pevnej jazdnej dráhy. Sú tu monoblokové betónové podvaly uložené na betónovej doske, obdobné konštrukcie uložené na asfaltovom koberci, dvojblokové podvaly na asfaltovej vrstve vedené stredným zvýšeným soklom a mnohé iné varianty. Výhodné použitie pevnej jazdnej dráhy je na mostoch a v tuneloch pri vysokých traťových rýchlostiach, preto je časté použitie tejto konštrukcie aj v Číne a Japonsku, kde veľká časť trate vedie práve týmto spôsobom. Konštrukcia pevnej jazdnej dráhy musí byť vybudovaná úplne presne, pretože dodatočná rektifikácia výškovej a smerovej polohy koľaje je na tejto konštrukcii možná iba v obmedzenej miere. Na pevnej jazdnej dráhe sú používané špeciálne upravené upevnenia koľajnic, ktoré umožňujú prevedenie určitej drobnej rektifikácie polohy koľaje, a zároveň svojou konštrukciou nahradzujú pružnosť klasického koľajového lôžka. Problémom konštrukcie pevnej jazdnej dráhy je jej väčšia hlučnosť, ktorú je možné odstrániť špeciálnymi technickými úpravami v konštrukcii upevnenia koľajnic alebo osadzovaním absorbérov na trati. Ďalšou možnosťou je zasypávanie konštrukcie alebo osadzovanie špeciálnych protihlukových panelov. Hlavnou výhodou konštrukcie pevnej jazdnej dráhy je, že pevná jazdná dráha sa prakticky vôbec nemusí udržiavať. Nedochádza tu k rozpadu geometrickej polohy koľaje, a preto nie je potrebné prevádzať podbíjanie ani čistenie koľajového lôžka. [5]

## **Porovnanie klasickej konštrukcie a pevnej jazdnej dráhy**

Základná nevýhoda klasickej konštrukcie s koľajovým lôžkom je postupná degenerácia koľajového lôžka spôsobená opakovaným dynamickým namáhaním od koľajovej dopravy. Štrk postupne stráca svoju ostrohranosť, rozdrvené úlomky zhoršujú zrnitosť koľajového lôžka a znižujú priepustnosť jeho nižších častí.

### **Nevýhody klasickej konštrukcie s koľajovým lôžkom:**

- strata priestorovej polohy koľaje v priečnom a pozdĺžnom smere vyžadujúca pravidelnú úpravu
- obmedzená hodnota priečného odporu podmieňujúca najväčšie nevyrovnané priečne zrýchlenie (Prud'hommeho kritérium)
- poškodzovanie jazdených plôch koľajníc a kôl odlietajúcimi zrnami koľajového lôžka
- znižovanie kvality koľajového lôžka znečistením koľajového lôžka, drvením zrn kameniva a prenikaním jemnozrnných častíc z konštrukčných vrstiev
- veľká výška konštrukcie a hmotnosť, ktorá zvyšuje zaťaženie mostných konštrukcií.

### **Výhody pevnej jazdnej dráhy:**

- konštrukcia PJD nevyžaduje po dlhú dobu žiadnu údržbu, údržbové práce ako podbíjanie alebo čistenie koľajového lôžka úplne odpadávajú
- dlhšia životnosť konštrukcie
- dobrá dostupnosť a prakticky žiadne výluky, všetka údržba je možná v obmedzených nočných prerušeniach prevádzky
- neobmedzené použitie elektromagnetického brzdenia
- zvýšenie nedostatku alebo prebytku prevýšenia, hlavne pre trate so zmiešanou prevádzkou

- jednoduchá oprava priestorovej polohy koľaje do 25 mm vo zvislom a do 5 mm v priečnom smere

- zníženie konštrukčnej výšky a tiaže

- nižšia hodnota vibrácií v spodnej stavbe

#### **Nevýhody pevnej jazdnej dráhy:**

- vyššie investičné náklady

- vyššia emisia hluku

- vyššie hodnoty opráv priestorovej polohy koľaje sú možné iba za rozsiahlych stavebných úprav

- nepriaznivé ovplyvnenie konsolidácie zemného telesa

- v prípade vykoľajenia sú treba rozsiahle opravné práce

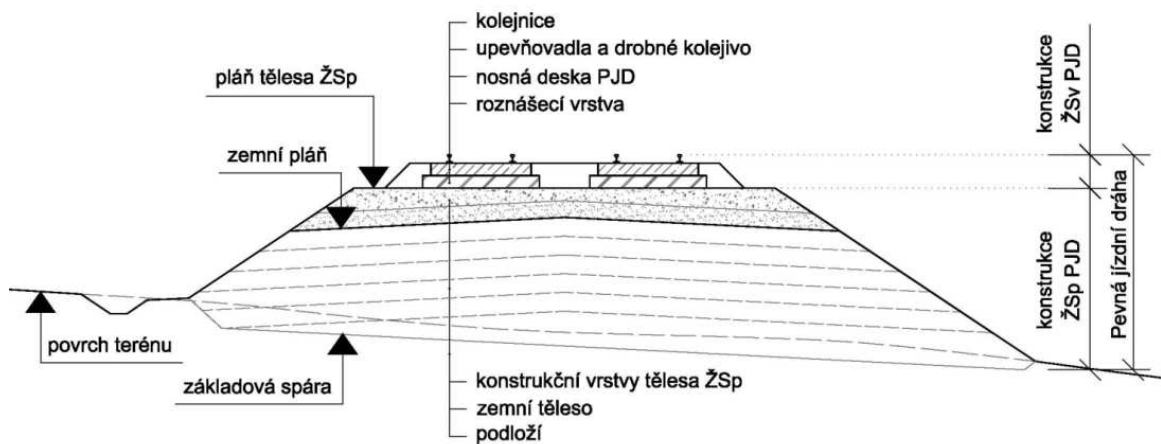
- prechod medzi pevnou jazdnou dráhou a klasickou konštrukciou

- potrebný dôsledný geotechnický prieskum a geodetické merania, konštrukčné vrstvy musia byť schopné prenášať zaťaženie a musia byť dostatočne homogénne po dĺžke a zemné teleso nesmie vykazovať významné sadnutie

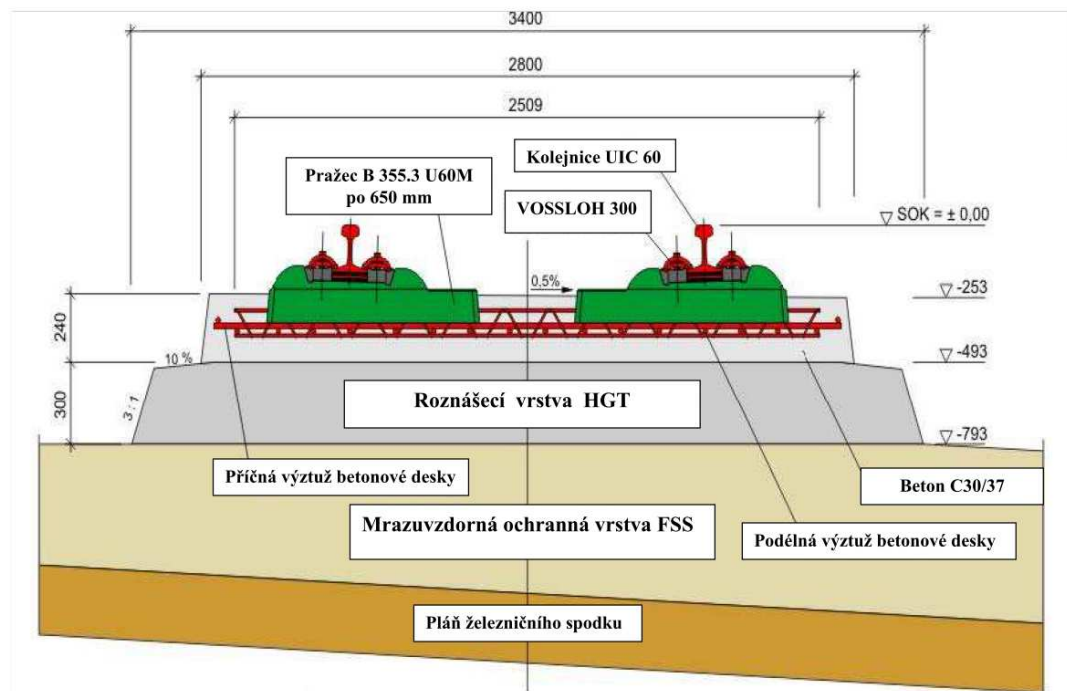
#### **RHEDA 2000**

Skúšobný úsek Třebovice v Čechách - Rudoltice v Čechách v km 9,530 - 10,030. Trať bola uvedená do prevádzky od septembra 2005, kedy to bol prvý spojzdrojený úsek pevnej jazdnej dráhy v ČR. Pevná jazdná dráha je tvorená konštrukciou železničného zvršku bez koľajového lôžka a konštrukciou železničného spodku v súvislej dĺžke spravidla väčšej ako 150 m, u ktorej nosnú konštrukciu tvorí a prenos síl od zaťaženia prevádzkou do podložia zaisťuje nosná doska PJD.





Obr. 3.9 Priečny rez - pevná jazdná dráha



Obr. 3.10 Priečny rez - pevná jazdná dráha systém RHEDA 2000

Rheda 2000 (60 E1, upevnenie Vossloh 300, podval B355.3 U60M, s rozdelením 650 mm)

Konštrukcia železničného spodku sa skladá s konštrukčných vrstiev, zemného telesa a odvodnenia.

Konštrukcia železničného zvršku PJD sa skladá z koľajníc, upevňovadiel, drobného koľajiva a podvalov, nosnej dosky PJD a roznášacej vrstvy.

Nosná doska PJD je časť konštrukcie, ktorá vznikne zmonolitnením jednotlivých nosných komponentov k tomu určených (blokov, výstuže, dosky betónovanej na mieste).

Roznášacia vrstva je vrstva v konštrukcii železničného zvršku PJD, vybudovaná pod nosnou doskou a zhotovená väčšinou z hydraulicky stmeleného materiálu (HGT).

Konštrukčné vrstvy sú vrstvy v konštrukcii železničného spodku PJD pod pláňou železničného spodku, ktoré slúžia ako ochrana proti nepriaznivým účinkom vody a mrazu.

Pre prechod medzi konštrukciou s klasickým koľajovým lôžkom a PJD sa zriaďuje prechodová oblasť kvôli rozdielnej tuhosti konštrukcií. Táto konštrukcia umožňuje pozvoľný prechod tuhosti v konštrukcii železničného zvršku PJD. [2], [5], [6]



*Obr. 3.11 Prechodová oblasť medzi konštrukciami*

## 4. METODIKA MERANIA

Dôležitým aspektom pri rozhodovaní o výbere a použití nového konštrukčného prvku je teoretická analýza (modelovanie) podporená laboratórnymi skúškami na hotovom výrobku. U vybraných konštrukcií železničného zvršku však ani laboratórna analýza neprinesie preukázateľné výsledky. Teda je dôležité doplniť validačný proces výrobu o meranie in situ (v prípade koľajového roštu teda priamo na trati). Legislatíva v takomto prípade vyžaduje dlhodobé sledovanie testovanej konštrukcie. Behom tejto doby odporúča sledovanie vybraných parametrov a následne porovnanie s referenčnou sústavou, ktorá bola vložená do rovnakej koľaje a v rovnakom časovom období ako zostava testovaná. [7]

Metodika bola navrhnutá tak, aby bolo možné overiť opodstatnenosť častejšieho presadzovania konštrukcií pevnej jazdnej dráhy. Tento jav je spôsobený zvyšovaním traťových rýchlostí a požiadavkami na únosnosť koľaje. Nasledovná metodika bola navrhnutá na základe skúseností vedúceho práce, prof. Ing. Jaroslava Smutného, Ph.D. a mojich predchádzajúcich skúseností s meraniami v teréne. V rámci metodiky boli navrhnuté dve meracie stanoviská pre porovnávanie, zoznam potrebných snímačov, ich rozmiestnenie a postup vyhodnocovania a zásady merania.

Posudzované sú dve skladby železničného zvršku, a to klasické priečne podvaly v štrkovom koľajovom lôžku a pevná jazdná dráha. Meranie prebiehalo za plnej prevádzky trate. Pri prejazde koľajových vozidiel boli zaznamenávané akustické a dynamické odozvy na oboch testovaných konštrukciách.

Na základe prevedených skúšok sú stanovené dynamické a akustické parametre testovaných konštrukcií. Ako najvhodnejšie metóda pre priame zistenie dynamických účinkov na konštrukcií bola zvolená tzv. vibrodiagnostika, teda meranie zrýchlenia vibrácií. Z pohľadu merania dynamického chovania boli zisťované aj posuny na podvale, problematikou posunov sa ale v mojej diplomovej práci nezaobrám. Akustické parametre trate boli získané meraním hluku pomocou mikrofónov.

K vyhodnoteniu skúšok bolo potrebné zvoliť vhodný matematický aparát. Pre moje meranie som použil matematických metód v časovej a frekvenčnej oblasti.

## 4.1 ZÁSADY MERANIA

Miesto merania (skúšobné stanovisko) má byť také, aby sa hluk mohol voľne šíriť. Preto povrch terénu musí byť v zásade rovný a so sklonom voči hornému povrchu koľajnice 0 m až -1 m. Priestor okolo mikrofónov na oboch stranách o polomere rovnajúcom sa aspoň trojnásobku meranej vzdialenosti musí byť bez veľkých odrazových objektov ako sú bariéry, kopce, skaly mosty alebo budovy. V blízkosti mikrofónov nesmú byť žiadne prekážky, ktoré by mohli narušovať zvukové pole. Preto medzi mikrofónmi a zdrojom hluku nesmú byť žiadne osoby. Pozorovateľ musí byť na takom mieste, aby výrazne neovplyvňoval meranú hladinu akustického tlaku. Priestor medzi vozidlom a mikrofónmi nesmie byť zamokrený a musí byť v maximálnej miere bez látok pohlcujúcich hluk (napr. snehu, vysokej vegetácie, iných koľají) alebo s odrazovým povrchom (napr. voda, ľad).

Meranie sa prevedie pri rýchlosti vetra menšom ako 5 m/s, merané vo výške mikrofónu, a ak neprší a nesneží. Vyhodnotenie merania má obsahovať údaje o teplote vzduchu, teplote koľajnice, atmosférickom tlaku a rýchlosti vetra. Metodika merania obsahuje údaje o mieste skúšky, geometrii (profil a poloha trate), vegetácií, prevedení koľaje (vrátane podvalov, koľajnicových podložiek, upevňovadiel a geometrie koľaje).

## 4.2 UMIESTNENIE SNÍMAČOV

Na oboch meracích stanoviskách boli použité dva snímače akustického tlaku pre meranie hluku a 5 snímačov zrýchlenia vibrácií (z toho dva trojosové) a jeden snímač posunu. Moja diplomová práca sa zaoberá analýzou všetkých snímačov vibrácií a akustického tlaku.

Pre získanie akustických parametrov boli použité dva mikrofóny pre voľné pole. Osi oboch mikrofónov sú umiestnené v jednej rovine, kolmo k ose koľaje. Jeden mikrofón je umiestnený 1,85 m od osi koľaje. Tento snímač slúži k zachyteniu odozvy v oblasti blízkej kontaktu koleso - koľajnica. Preto bolo cieľom umiestniť ho čo najbližšie k zdroju hluku. Zároveň kvôli bezpečnosti musel byť umiestnený mimo prejazdny priez. Mikrofón bol umiestnený v osi podvalu vo výške spojnice temien koľajnicových pásov, na vonkajšej strane meranej koľaje. Tento mikrofón bol umiestnený na tyči, použitý bol typ M 360.

Ďalší mikrofón bol umiestnený 7,5m od osi koľaje. Jeho úlohou bolo zaznamenávať hluk vzdialeného poľa. Poloha tohto snímača bola rovnako v ose podvalu, vo výške 1,2 m nad spojnicou temien koľajnicových pásov na vonkajšej strane koľaje súbežnej s meranou koľajou, umiestnený bol na statív. Použitý bol v tomto prípade mikrofón B&K 4189. Metódy merania boli zvolené v súlade s metodikou, ktorú nájdete v zozname literatúry [8]. Pre zisťovanie dynamického chovania konštrukcie bola zvolená vibrodiagnostická metóda. Použité boli piezoelektrické snímače, ktoré pracujú na základe piezoelektrického javu, čo je schopnosť látky generovať elektrické napätie pri svojej mechanickej deformácii. Tento jav sa vyskytuje iba u nesymetrických krištáľov. V meracej technike sa ako piezoelektrikum používa doštička vyrezaná z kremeňa.

Na podval bol umiestnený trojosový akcelerometer 4524 B od firmy Bruel & Kjaer. Tento akcelerometer bol umiestnený vždy na vonkajšiu stranu rozchodu na vonkajšej strane meranej koľajnice. Akcelerometer 4524 B 001 bol použitý na päte koľajnice v ose podvalu na vonkajšej strane rozchodu na vonkajšej strane meranej koľaje. Ďalší snímač upevnený na päť koľajnice bol upevnený v ose medzipodvalového priestoru na vonkajšej strane rozchodu na vonkajšej strane meranej koľaje. Tu bol použitý jednoosový snímač pre priečny smer vibrácií 4507 B 001. Ďalší snímač pre zvislé vibrácie bol umiestnený na spodnej hrane koľajového lôžka v ose podvalu na vonkajšej strane meranej koľaje. Bol použitý snímač typu 4507 B 004. Posledný akcelerometer bol umiestnený 7,5m od osi koľaje v ose podvalu na vonkajšej strane meranej koľaje. Umiestnený bol na meracom kolíku a zaznamenával hodnoty vo zvislom smere. Použitý bol akcelerometer typu 752 A13. Pred nalepením akcelerometrov bol povrch koľajnic a betónových podvalov očistený a vyhladený pomocou šmirglovacieho papiera. Na tento očistený povrch boli potom nalepené podložky s akcelerometrami. Do zeme a koľajového lôžka boli zatlčené oceľové kolíky, ktoré boli použité na upevnenia akcelerometrov. Všetky akcelerometre boli pred meraním kalibrované. [9], [10]

#### **Použité snímače:**

B&K 4507 B 004 – piezoelektrický snímač zrýchlenia vibrácií, jednoosový, maximálny rozsah  $700 \text{ m.s}^{-2}$

B&K 4507 B 001 – snímač zrýchlenia vibrácií s maximálnym rozsahom  $7000 \text{ m.s}^{-2}$

B&K 4524-B001-X//Y/Z – trojosový piezoelektrický snímač

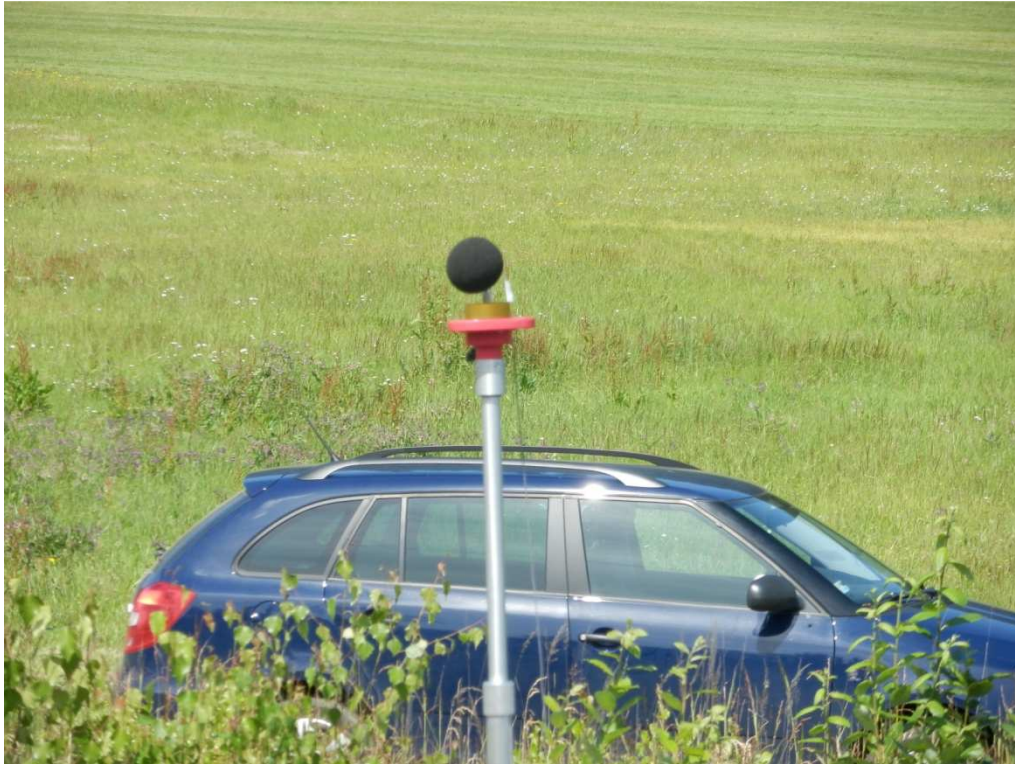
B&K 4524-B-X/Y/Z – trojosový piezoelektrický snímač

B&K 4189 - mikrofón

M 360 - mikrofón

Označenie kanálu	Umiestnenie snímača	Typ snímača
<b>AXK1_m</b>	Päta koľajnice; pozdĺžne; v ose podvalu, von rozchod, na vonkajšej strane meranej koľaje (BOD 1); podložka B & K;	B&K 4524-B 001-X
<b>AYK2_m</b>	Päta koľajnice; priečne; v ose podvalu, von rozchod, na vonkajšej strane meranej koľaje (BOD 1); podložka B & K;	B&K 4524-B 001-Y
<b>AZK3_m</b>	Päta koľajnice; zvislo; v ose podvalu, von rozchod, na vonkajšej strane meranej koľaje (BOD 1); podložka B & K;	B&K 4524-B 001-Z
<b>AYK4_m</b>	Päta koľajnice; priečne; v ose mezipodvalového priestoru; von rozchod, na vonkajšej strane meranej koľaje (BOD 1); podložka B & K;	B&K 4507 B 001
<b>AXP5_m</b>	Podval; pozdĺžne; blízko osi podvalu, von rozchod, na vonkajšej strane meranej koľaje (BOD 1); podložka B & K;	B&K 4524-B-X
<b>AYP6_m</b>	Podval; priečne; blízko osi podvalu, von rozchod, na vonkajšej strane meranej koľaje (BOD 1); podložka B & K;	B&K 4524-B-Y
<b>AZP7_m</b>	Podval; zvislo; blízko osi podvalu, von rozchod, na vonkajšej strane meranej koľaje (BOD 1); podložka B & K;	B&K 4524-B-Z
<b>AZS8_m</b>	Na spodnej hrane koľajového lôžka; zvislo; v ose podvalu; na vonkajšej strane meranej koľaje (BOD 1); merací kolík + podložka B & K;	B&K 4507 B 004
<b>AZS9_m</b>	Vzdialenosť 7,5 m od osi koľaje; zvislo; v ose podvalu, na vonkajšej strane meranej koľaje (BOD 1); merací kolík + závit;	B&K 752 A13
<b>M1_m</b>	Vzdialenosť 1,85 m od osi koľaje, výška na spojnici temien koľajnicových pásov; v ose podvalu, na vonkajšej strane meranej koľaje (BOD 1); statív alebo tyč;	M 360
<b>M2_m</b>	Vzdialenosť 7,5 m od osi koľaje, výška 1,2 m nad spojnicou temien koľajnicových pásov; v ose podvalu na vonkajšej strane koľaje súbežne s meranou koľajou; statív;	B&K 4189
kde m =	V ... priečny podval v koľajovom lôžku s upevnením Vossloh W14 R ... pevná jazdná dráha systém Rheda 2000	

Tab. 4.1 Popis jednotlivých snímačov

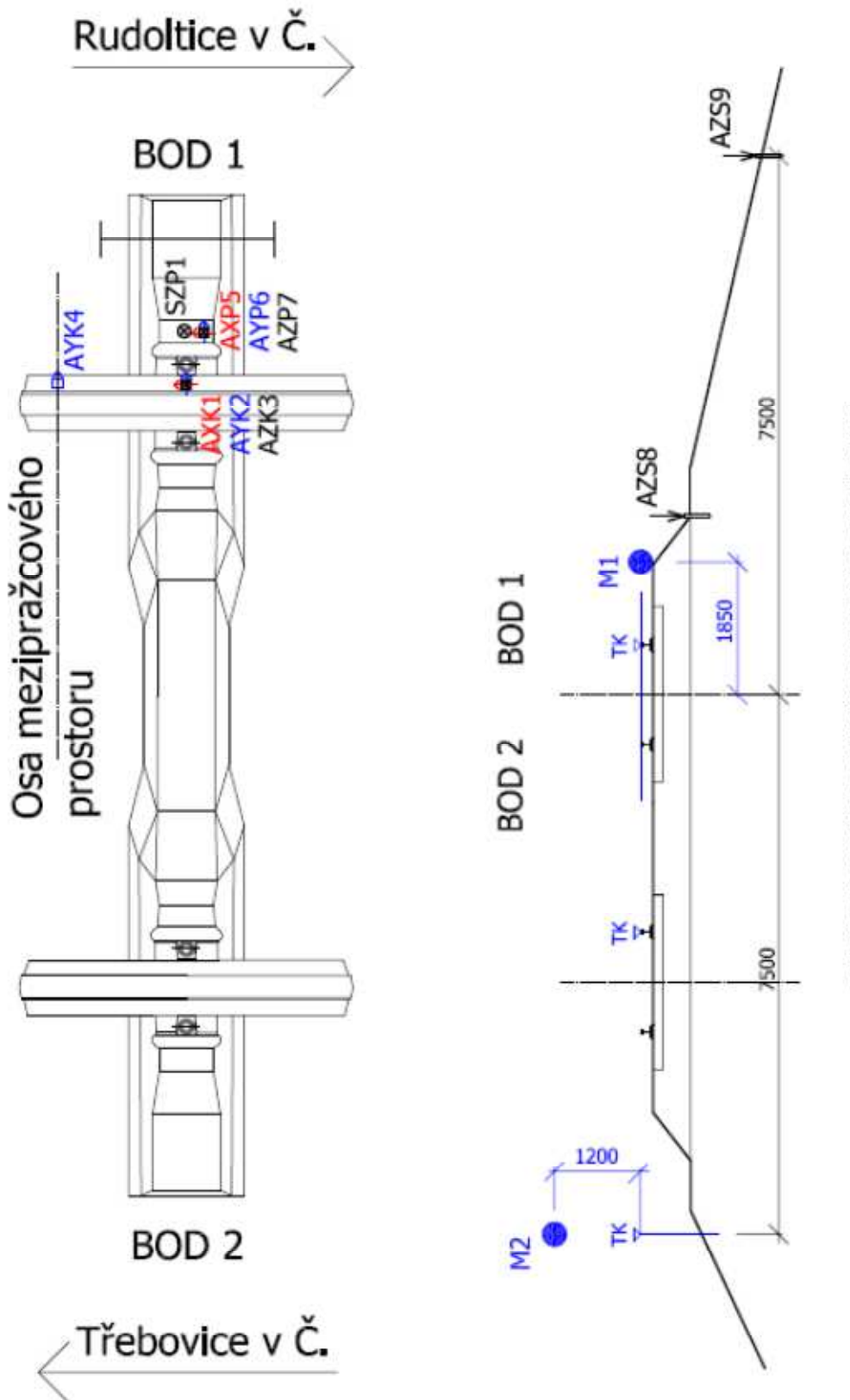


*Obr. 4.1 Ukážka snímača akustického tlaku*



*Obr. 4.2 Ukážka snímača zrýchlenia vibrácií*

# KM 9,430 (příčný prázec v kolejovém loži)



Obr. 4.3 Schéma usporiadania meracieho stanoviska

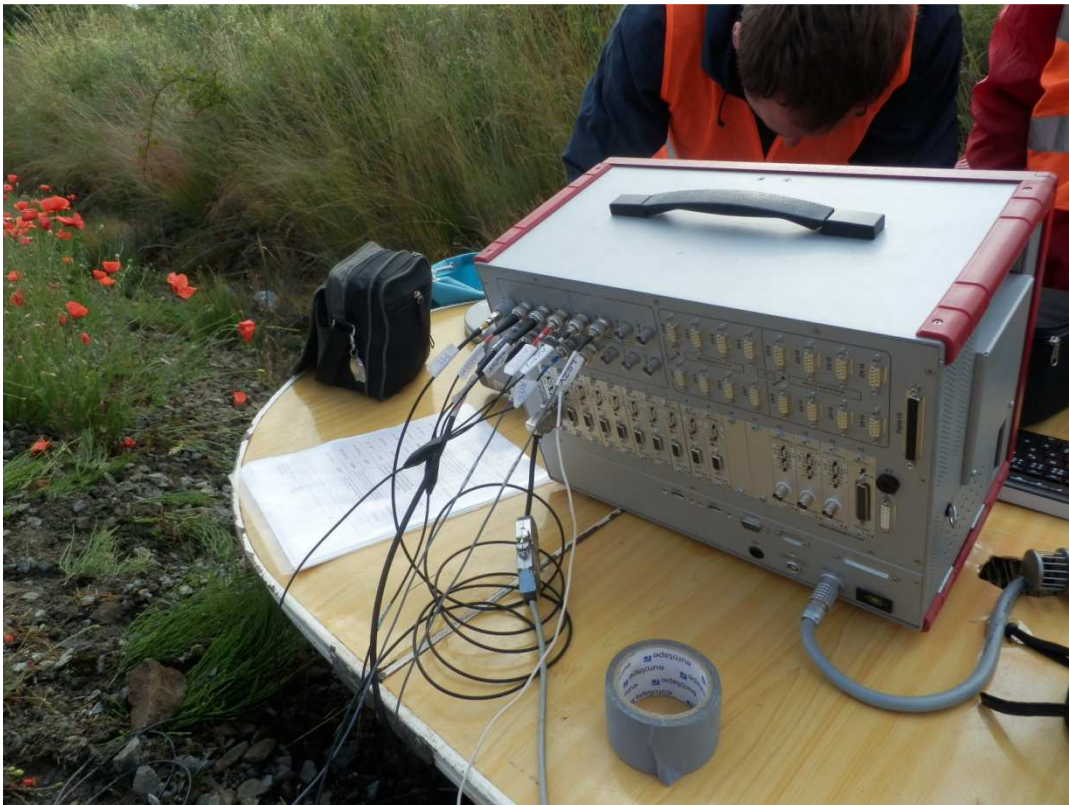


### 4.3 MERACÍ REŽAZEC

Meranie bolo snímané prostredníctvom 11 kanálov (pre dva hlukové mikrofóny a sedem akcelerometrov). Snímače boli pomocou káblov zapojené do integrovanej meracej PC sústavy. Všetky signály z vlakových súprav boli zaznamenávané pomocou počítačovej zostavy DEWE-2502 firmy DEWETRON. Do vyhodnocovacieho programu DEWESoft bola zadaná vzorkovacia frekvencia a hodnoty horných a dolných priepustí.

Správne nastavenie týchto vstupných parametrov je veľmi dôležité. Vzorkovacia frekvencia musela byť zvolená pre meranie hluku a vibrácií rovnaká z dôvodu, že meracia ústredňa DEWE-2502 neumožňuje nastavenie dvoch rôznych hodnôt naraz v rámci jedného merania. Vzorkovacia frekvencia predstavuje počet nameraných hodnôt za jednotku času (väčšinou za sekundu). Aby bol dodržaný Shannonov teorém je nutné zvoliť vzorkovaciú frekvenciu väčšiu ako dvojnásobok najvyššej frekvencie vzorkovacieho signálu. V opačnom prípade by mohla byť rekonštrukcia signálu nedokonalá. Vzhľadom k predpokladaným vyhodnocovacím metódam bola zvolená vzorkovacia frekvencia 10,0 kHz. V mojom prípade bola najväčšia frekvencia signálu zrýchlenia vibrácií 2,0 kHz a akustického tlaku 4,0 kHz. Pre kontrolu splnenia Shannonovho teorému sa musíme riadiť vyššou hodnotou. Vzorkovacia frekvencia 10,0 kHz pre naše meranie je dostačujúca.

Z hľadiska dynamických parametrov sú pre nás zásadné frekvencie do 1,0 kHz. Frekvencie vyššie ako 1,0 kHz už nemajú na dynamické chovanie konštrukcie veľký vplyv. Preto bola pre všetky snímače zrýchlenia vibrácií nastavená hodnota dolnej priepusti práve 1,0 kHz. Horná priepusť má za úlohu odstrániť rušivé prvky pri nízkych frekvenciách, akým je napríklad triboelektrický šum. Tento šum vzniká medzi káblom a izolátorom káblu za vzniku povrchového náboja. Z toho dôvodu bola na snímačoch zvolená horná priepusť 3,4 Hz, na snímačoch typu 4507 B004 a 752 A13 horná priepust 1,0 Hz.



Obr. 4.4 Meracia ústredňa DEWE-2502 so zapojenými káblami

## 4.4 TEÓRIA ANALÝZY SIGNÁLU

Analýza dát v časovej oblasti

Jednou z najdôležitejších charakteristík pre popis signálu v časovej oblasti je RMS (Root Mean Square), čo je efektívna hodnota. Predstavuje dôležité merítko škodlivosti a nebezpečnosti vibrácií. Ďalším kritériom je zisťovanie globálnych a lokálnych maxím a miním. Pre vyhodnotenie dynamických parametrov je zrýchlenie vibrácií a  $[m/s^2]$  prevedené na hodnotu v decibeloch v podobe efektívnej hladiny zrýchlenia vibrácií  $L_{Aef}$ .

Hladina zrýchlenia vibrácií sa vypočíta podľa vzťahu:

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

$L_{Aef}$  - efektívna hladina zrýchlenia vibrácií [dB]

$a_i$  - sledované zrýchlenie vibrácií  $[m/s^2]$

$a_0$  - referenčná hodnota zrýchlenia vibrácií  $[m/s^2]$ ;  $a_0 = 1 \times 10^{-6}$

Pre analýzu hluku je najdôležitejšia veličina hladina expozície prejazdu TEL. Je to vážená hladina expozície hluku A prejazdu vlaku meraná v časovom intervale T a normalizovaná na dobu prejazdu  $T_p$  v [s], potom je dĺžka vlaku (vozidla) v metroch, od nárazníka k nárazníku, delená rýchlosťou prejazdu V [m/s]. Časový interval T musí byť dostatočne dlhý, aby mohol zahrnúť všetku akustickú energiu daného prejazdu vlaku.

Ľudský sluch má všeobecne rozdielnu citlivosť pre rôzne frekvencie, preto sa zavádzajú váhové filtre A, B, C alebo D. U váhových filtrov sa zavádza tzv. korekcia, ktorá je pripočítaná k hladinám hluku na jednotlivých frekvenciách. Hladiny hluku sú tak prepočítané na také hodnoty, ako ich vníma ľudský sluch. Pre časovú analýzu bol použitý filter A, ktorý je v medzinárodnom merítku najčastejšie používaný. Tento postup je odporúčaný aj normou ČSN EN ISO 3095.

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

kde

- |                            |  |
|----------------------------|--|
| <b>TEL</b>                 | - je vážená hladina expozície průjezdu A, měřená v <b>dB</b> ;   |
| <b>T</b>                   | - je časový interval měření v <b>s</b> ;   |
| <b><math>T_p</math></b>    | - je doba průjezdu vlaku v sekundách, což je celková délka vlaku v ( <b>m</b> ), dělená jízdni rychlostí vlaku v ( <b>m/s</b> ). |
| <b><math>p_A(t)</math></b> | - je okamžitý vážený akustický tlak A v <b>Pa</b> ;  |
| <b><math>p_0</math></b>    | - je referenční hodnota akustického tlaku 20 $\mu$ Pa podle ISO 1996-1:2003.   |

#### Analýza dát vo frekvenčnej oblasti

K popisu signálu vo frekvenčnej oblasti slúži spektrálna analýza. K prechodu z časovej do frekvenčnej oblasti bola použitá Fourierova transformácia. Fourierova transformácia je klasická neparametrická metóda, to znamená, že na celú analýzu sú použité iba reálne namerané dáta. Nevytvára žiadne modely vzniku a predikcie signálu. Je to najpoužívanější metóda transformácie zo všetkých.

Pre analýzu akustických bola zvolená veličina hladina akustického tlaku. Táto veličina sa vzťahuje na zdroj hluku a charakterizuje jeho schopnosť vyžarovať zvukovú energiu.

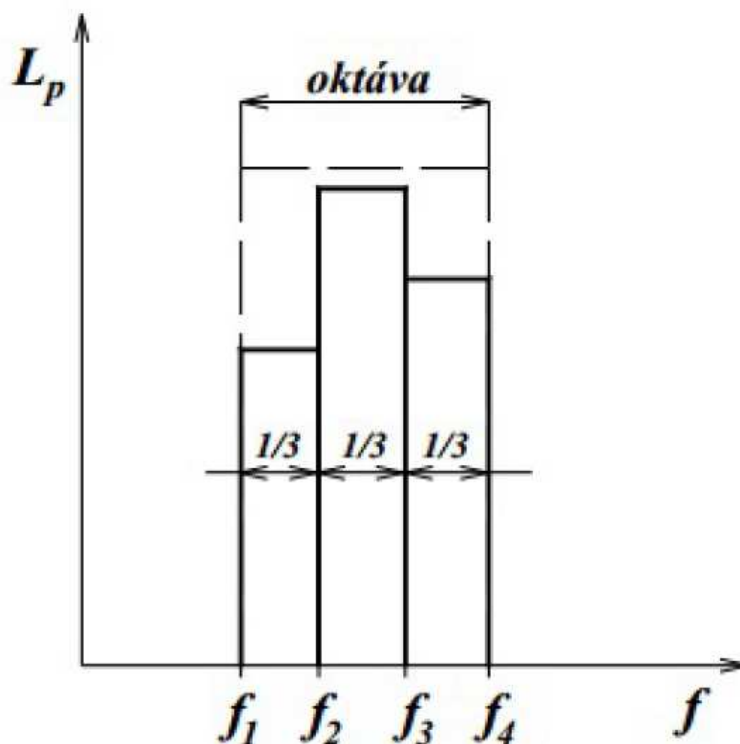
$$L_p = 20 \cdot \log \frac{p}{p_0} \quad [\text{dB}]$$

$L_p$  - hladina akustického tlaku [dB]

$p$  - sledovaný akustický tlak [Pa]

$p_0$  - referenčný akustický tlak [Pa];  $p_0 = 2 \times 10^{-5}$  Pa

Pre frekvenčnú oblasť bola použitá pre porovnávanie tretinooktávová analýza priemerných hladín akustického tlaku. Tretinooktávové pásmo vznikne rozdelením oktávového pásma na tretiny v logaritmických stupniciach.



Obr. 4.5 Príklad tretinooktávového pásma

$f_1, f_4$  - krajné frekvencie jednej oktávy [Hz]

$f_2, f_3$  - krajné frekvencie tretinooktávy [Hz]

## 5. VLASTNÉ MERANIE

Pre účely merania boli vybraté dve meracie stanoviská v priamom úseku a bola navrhnutá zodpovedajúca metodika merania. Pri výbere úseku som postupoval tak, aby sa podmienky trate čo najviac zhodovali. Pri prejazde vlakových súprav meracím stanoviskom boli zaznamenávané okrem záznamov snímačov aj rýchlosť vlaku pomocou ručného radarového rýchlomeru, druh lokomotívy a počet vozov. Dáta boli zaznamenávané do tabuliek. Tieto dáta sa dajú skontrolovať z nameraných dát a porovnaním s videozáznamom, ktorý bol vytvorený pre prejazd jednotlivých vlakových súprav.

### 5.1 MERACIA KAMPAŇ TŘEBOVICE, PEVNÁ JAZDNÁ DRÁHA

Prvá etapa merania akustických a dynamických parametrov trate sa uskutočnila 24.6.2014 v lokalite Třebovice v Čechách. Stanovisko bolo umiestnené na trati č. 270 Česká Třebová - Přerov - Bohumín v staničení km 9,750. Táto trať je súčasťou celoštátnej dráhy a je v celej svojej dĺžke elektrizovaná a dvojkolejná. Meranie prebiehalo medzi zastávkou Třebovice v Čechách a Rudoltice v Čechách v priamom úseku v sklone - 9,5 ‰. V tomto úseku je bezстыková koľaj s normálnym rozchodom 1435 mm. Trať je tvorená pevnou jazdnou dráhou typu RHEDA 2000, použité sú koľajnice typu 60 E1 s upevnením Vossloh 300 na monoblokové podvaly B355,3 U60M s rozdelením 650 mm. Meranie bolo vykonané na koľaji č. 1. Meracie zariadenie bolo umiestnené na vonkajšej strane tejto koľaje.

PJD 24.6.2014, Třebovice

Podmienky merania								
Dátum	Čas	Počasie	Teplota vzduchu [°C]	Teplota koľajnice [°C]		Vlhkosť [%]	Atm. tlak [hPA]	Vietor [m/s]
				Vnútoraná	Vonkajšia			
24.6.2014	9:40	Polojasno	25	23	24	28	986	3,5
	10:10	Polojasno	29	25	27	20	991	2,5
	10:40	Polojasno	34	20	17	20	991	6,3
	11:10	Polojasno	29	39	34	20	995	1,5
	11:40	Polojasno	34	23	21	20	995	7,8

Tab 5.1 Podmienky merania - úsek s pevnou jazdnou dráhou

P.č.	Čas	Kategória vlaku	Lokomotíva	Počet vozov	Smer	Rýchlosť [km/h]	Pozn.
2	9:19	SC	681	7	Rudoltice	155	Nejde M2
3	9:28	N	123	28	Rudoltice	78	363 - postrk
4	9:34	RJ	RJ	6	Rudoltice	145	
5	10:08	Mos	841	1	Rudoltice	110	
6	10:10	R	151	4	Rudoltice	127	
7	10:35	Mos	841	1	Rudoltice	111	
8	10:43	N	122	38	Třebovice	77	
9	11:02	R	380	8	Rudoltice	132	
10	11:13	SC	681	7	Rudoltice	133	
11	11:36	RJ	RJ	7	Rudoltice	116	
12	11:47	LE	LE	5	Rudoltice	113	
13	12:04	R	151	4	Rudoltice	117	
14	12:08	Mos	841	1	Rudoltice	121	

Tab 5.2 Prehľad vlakových súprav - úsek s pevnou jazdnou dráhou

## 5.2 MERACIA KAMPAŇ TŘEBOVICE, PRIEČNE PODVALY V KOĽAJOVOM LÔŽKU

Ďalšia kampaň merania prebehla 26.6.2014 v rovnakej lokalite na rovnakej trati č. 270 v staničení km 9,430. V tomto úseku trate sa nachádza bežná zostava železničného zvršku so štrkovým koľajovým lôžkom. Meranie prebehlo znovu na koľaji č. 1. Boli tu použité koľajnice 60 E1 s upevnením Vossloh W14 a podvaly B91 S/1. Trať je vedená v sklone - 9,5 ‰.

## KSL 26.6.2014, Třebovice

Podmienky merania								
Dátum	Čas	Počasie	Teplota vzduchu [°C]	Teplota koľajnice [°C]		Vlhkosť [%]	Atm. tlak [hPA]	Vietor [m/s]
				Vnútoraná	Vonkajšia			
26.6.2014	8:40	Oblačno	19	19	19	50	989	1,3
	9:10	Oblačno	19	12	12	53	990	0,2
	9:40	Zamračené	15	11	12	67	990	1,1
	10:10	Zamračené	16	14	13	65	990	0,8
	10:40	Zamračené	16	12	13	67	990	0,2
	11:10	Zamračené	16	14	14	64	990	1
	11:40	Polojasno	25	24	23	44	990	0,8

Tab 5.3 Podmienky merania - úsek s klasickou konštrukciou zvršku

## KSL 26.6.2014, Třebovice

P.č.	Čas	Kategória vlaku	Lokomotíva	Počet vozov	Smer	Rýchlosť [km/h]	Pozn.
1	8:36	Os	810	1	Rudoltice	84	
2	8:48	LE	LE	5	Rudoltice	144	
3	8:54	N	363	28	Rudoltice	72	150 - postrk
4	8:59	R	150	5	Rudoltice	127	
5	9:02	R	380	5	Rudoltice	140	
6	9:17	SC	631	7	Rudoltice	160	
7	9:20	Lv	363	0	Rudoltice	79	
8	9:36	RJ	RJ	6	Rudoltice	137	
9	9:41	N	130	6	Rudoltice	70	
10	10:03	R	151	5	Rudoltice	141	
11	10:07	Os	841	1	Rudoltice	119	
12	10:18	N	363	38	Rudoltice	60	
13	10:37	Os	810	1	Rudoltice	85	
14	11:07	R	380	8	Rudoltice	133	
15	11:14	SC	681	7	Rudoltice	161	
16	11:30	RJ	RJ	7	Rudoltice	137	
17	11:42	LE	LE	5	Rudoltice	139	
18	11:53	N	363	28	Rudoltice	79	
19	12:02	R	151	4	Rudoltice	130	
20	12:06	Os	841	1	Rudoltice	120	

Tab. 5.4 Prehľad vlakových súprav - úsek s klasickou konštrukciou zvršku

## 6. VYHODNOTENIE DYNAMICKÝCH PARAMETROV

Namerané hodnoty pre analýzu dynamických parametrov sú v časovej a frekvenčnej oblasti. Pre zrovnávanie bol vytvorený zoznam dvojíc referenčných vlakových súprav. Jedna súprava z každej dvojice predstavuje správanie konštrukcie pevnej jazdnej dráhy a druhá klasickú konštrukciu koľajového lôžka. Na základe tohto zoznamu budem porovnávať dynamické parametre trate. Pri vyberaní som zvolil dvojice tak, aby boli parametre porovnávaných súprav čo najviac podobné. Pri výbere som zohľadňoval viaceré kritériá, najdôležitejšie z nich boli rýchlosť súpravy, počet vozňov a typ hnacieho vozidla. Meracie boli zvolené na rovnakej trati a meranie prebiehalo v rovnaký čas v rôznych pracovných dňoch, takže bolo možné porovnávať väčšinou zhodné vlakové súpravy podľa cestovného poriadku.

Porovnanie vlakov oboch meraných úsekov

Dvojice	P.č.	Hodina	Kategória vlaku	Lokomotíva	Počet vozov	Úsek	Rýchlosť [km/h]
1	11	10:07	Os	841	1	KSL	119
	5	10:08	Os	841	1	PJD	110
2	13	10:37	Os	810	1	KSL	85
	7	10:35	Os	841	1	PJD	111
3	20	12:06	Os	841	1	KSL	120
	14	12:08	Os	841	1	PJD	121
4	3	8:54	N	363	28	KSL	72
	3	9:28	N	123	28	PJD	78
5	12	10:18	N	363	38	KSL	60
	8	10:43	N	122	38	PJD	77
6	14	11:07	R	380	8	KSL	133
	9	11:02	R	380	8	PJD	132
7	15	11:14	SC	681	7	KSL	161
	10	11:13	SC	681	7	PJD	133
8	16	11:30	RJ	RJ	7	KSL	137
	11	11:36	RJ	RJ	7	PJD	116
9	17	11:42	LE	LE	5	KSL	139
	12	11:47	LE	LE	5	PJD	113
10	19	12:02	R	151	4	KSL	130
	13	12:04	R	151	4	PJD	114

Tab 6.1 Porovnanie vlakových súprav oboch meraných úsekov



## 6.1 VYHODNOTENIE VIBRÁCIÍ V ČASOVEJ ROVINE

Vyhodnotenie v časovej rovine bolo prevedené v podobe štatistických veličín maxím, miním a efektívnych hodnôt. Pre vybrané dvojice porovnateľných vlakových súprav boli prevedené podrobné zrovnania.

### 6.1.1 Vibrácie od prejazdu osobných vlakov

#### Dvojica č.1

Prvá dvojica pre zrovnanie sú osobné vlaky s rovnakým typom lokomotívy 841, obidve súpravy majú rovnaký počet vozňov, a to jeden. Vlaky dosahovali podobnú rýchlosť. Hodnoty extrémnych hodnôt sú zaznamenané v tabuľke.

Globálne extrémny [m/s <sup>2</sup> ]											
Č. vlaku	Vlak; rýchlosť	AXK1		AYK2		AZK3		AYK4		AXP5	
		max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
11 - KSL	Os; 119	66	-63,7	35,7	-42,6	89,7	-96,2	45,7	-64,5	13,8	-13,1
5 - PJD	Os; 110	54,1	-44,8	53,7	-63,4	232,5	-275	102,6	-106	4,36	-3,33
		AYP6		AZP7		AZS8		AZS9			
11 - KSL	Os; 119	16,6	-20,9	49,4	-45,1	2	-2,1	0,012	-0,011		
5 - PJD	Os; 110	6,3	-3,6	5,2	-6,3	1,04	-1,01	0,224	-0,308		

Tab. 6.2 Globálne extrémny - dvojica č. 1

#### Koľajnice - pozdĺžne (AXK1)

- maximá a minimá vyššie približne o tretinu v úseku s klasickou stavbou koľajového lôžka

#### Koľajnice - priečne (AYK2)

- maximá a minimá vyššie o tretinu na úseku s pevnou jazdnou dráhou

#### Koľajnice - zvislo (AZK3)

- maximá a minimá viac ako dvakrát vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou

#### Koľajnice - priečne, v ose medzipodvalového priestoru (AYK4)

- maximá a minimá dvakrát vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou

#### Podval - pozdĺžne (AXP5)

- maximá a minimá približne trikrát vyššie v úseku s klasickou stavbou

#### **Podval - priečne (AYP6)**

- maximá a minimá 4krát vyššie v prípade klasickej stavby lôžka

#### **Podval - zvislo (AZP7)**

- maximá a minimá takmer 10krát vyššie v prípade klasického koľajového lôžka

#### **Spodná hrana koľajového lôžka (AZS8)**

- výrazne nižšie extrémne hodnoty, maximá a minimá dvakrát vyššie v prípade klasickej stavby koľajového lôžka

#### **Vzdialenosť 7,5m od osi koľaje (AZS9)**

- takmer zanedbateľné hodnoty, maximá a minimá vyššie pri úseku s pevnou jazdnou dráhou

Vibrácie sa pohybujú približne do  $275 \text{ m/s}^2$ , na koľajnici boli namerané vyššie hodnoty ako na podvaloch. Najvyššie extrémne hodnoty vibrácií boli namerané na päte koľajnice vo zvislom smere.

		$L_{Aef}$ [dB]								
Č. vlaku	Vlak; rýchlosť	AXK1	AYK2	AZK3	AYK4	AXP5	AYP6	AZP7	AZS8	AZS9
11 - KSL	Os; 119	131	127	133	129	118	121	127	103	64
5 - PJD	Os; 110	133	135	146	138	110	110	116	103	90

*Tab. 6.3 Efektívne hodnoty zrýchlenia vibrácií - dvojica č.1*

Efektívne hodnoty zrýchlenia vibrácií  $L_{Aef}$  [dB] nevykazujú veľké rozdiely. Hodnoty na koľajniciach sú vyššie v prípade pevnej jazdnej dráhy a hodnoty namerané na podvale/betónovej doske sú vyššie v prípade úseku klasickej konštrukcie. Hodnoty na spodnej hrane koľajového lôžka sú pre obe konštrukcie zhodné a vo vzdialenosti 7,5m od osi koľaje boli namerané vyššie hodnoty v prípade pevnej jazdnej dráhy.

## **Dvojica č.2**

Druhá dvojica pre zrovnanie sú osobné vlaky s rôznym typom lokomotívy, v prípade klasickej stavby koľajového lôžka ide o lokomotívu typu 810, u trati s pevnou

jazdnou dráhou bola súprava vedená lokomotívou typu 841. Súpravy majú rovnaký počet vozňov, a to jeden. Hodnoty extrémnych hodnôt sú zaznamenané v tabuľke.

Globálne extrémny [m/s <sup>2</sup> ]											
Č. vlaku	Vlak; rýchlosť	AXK1		AYK2		AZK3		AYK4		AXP5	
		max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
13 - KSL	Os; 85	35,8	-29,4	27,2	-46,5	54,5	-77	39,7	-58,7	6,2	-4,3
7 - PJD	Os; 111	62,4	-63	88	-85,9	343,7	-304	154,6	-127,1	5	-4,6
		AYP6		AZP7		AZS8		AZS9			
13 - KSL	Os; 85	19	-16,4	27,6	-17,3	0,35	-0,4	0,057	-0,076		
7 - PJD	Os; 111	6,6	-5,4	8,9	-7,8	1,5	-1,79	0,433	-0,371		

Tab. 6.4 Globálne extrémny - dvojica č. 2

#### **Koľajnice - pozdĺžne (AXK1)**

- maximá a minimá približne dvakrát vyššie v úseku s pevnou jazdnou dráhou

#### **Koľajnice - priečne (AYK2)**

- maximá a minimá približne dvakrát vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou

#### **Koľajnice - zvislo (AZK3)**

- maximá a minimá viac ako päťkrát vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou

#### **Koľajnice - priečne, v ose medzipodvalového priestoru (AYK4)**

- maximá a minimá viac ako dvakrát vyššie v úseku s pevnou jazdnou dráhou

#### **Podval - pozdĺžne (AXP5)**

- maximá a minimá približne rovnaké

#### **Podval - priečne (AYP6)**

- maximá a minimá trikrát vyššie v prípade klasickej stavby lôžka

#### **Podval - zvislo (AZP7)**

- maximá a minimá trikrát vyššie v prípade klasickej stavby lôžka

### Spodná hrana koľajového lôžka (AZS8)

- výrazne nižšie extrémne hodnoty, maximá a minimá vyššie v prípade pevnej jazdnej dráhy

### Vzdialenosť 7,5m od osi koľaje (AZS9)

- takmer zanedbateľné hodnoty, maximá a minimá vyššie pri úseku s pevnou jazdnou dráhou

Vibrácie sa pohybujú približne do hodnoty 344 m/s<sup>2</sup>, na koľajnici boli namerané vyššie hodnoty ako na podvaloch. Najvyššie extrémne hodnoty vibrácií boli namerané na päte koľajnice vo zvislom smere.

		L <sub>Aef</sub> [dB]								
Č. vlaku	Vlak; rýchlosť	AXK1	AYK2	AZK3	AYK4	AXP5	AYP6	AZP7	AZS8	AZS9
13 - KSL	Os; 85	124	123	126	126	110	116	118	89	77
7 - PJD	Os; 111	137	139	150	142	115	114	120	105	91

Tab. 6.5 Efektívne hodnoty zrýchlenia vibrácií - dvojica č.2

Efektívne hodnoty zrýchlenia vibrácií L<sub>Aef</sub> [dB] na koľajniciach sú vyššie v prípade pevnej jazdnej dráhy a hodnoty namerané na podvale/betónovej doske sú vyššie v prípade úseku klasickej konštrukcie. Hodnoty na spodnej hrane koľajového lôžka sú vyššie v prípade pevnej jazdnej dráhy, taktiež vo vzdialenosti 7,5m od osi koľaje boli namerané vyššie hodnoty v prípade pevnej jazdnej dráhy.

### Dvojica č.3

Prvá dvojica pre zrovnanie sú osobné vlaky s rovnakým typom lokomotívy 841, obidve súpravy majú rovnaký počet vozňov, a to jeden. Vlaky dosahovali podobnú rýchlosť. Hodnoty extrémnych hodnôt sú zaznamenané v tabuľke.

Globálne extrémny [m/s <sup>2</sup> ]											
Č. vlaku	Vlak; rýchlosť	AXK1		AYK2		AZK3		AYK4		AXP5	
		max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
20 - KSL	Os; 120	90,6	-74	31,2	-40,5	89,8	-102,9	48,3	-37,4	21,9	-16,1
14 - PJD	Os; 121	32	-32,3	73	-67,4	227,7	-276,5	90,5	-68,6	3,13	-3,07
		AYP6		AZP7		AZS8		AZS9			
20 - KSL	Os; 120	20,2	-16,1	50,2	-31,3	1,83	-1,67	0,483	-0,472		
14 - PJD	Os; 121	3,2	-3	5,6	-5,3	1,2	-1,44	0,008	-0,009		

Tab. 6.6 Globálne extrémny - dvojica č. 3

#### **Koľajnice - pozdĺžne (AXK1)**

- maximá a minimá viac ako dvakrát vyššie v úseku s klasickým koľajovým lôžkom

#### **Koľajnice - priečne (AYK2)**

- maximá a minimá približne dvakrát vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou

#### **Koľajnice - zvislo (AZK3)**

- maximá a minimá viac ako dvakrát vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou

#### **Koľajnice - priečne, v ose medzipodvalového priestoru (AYK4)**

- maximá a minimá približne dvakrát vyššie v úseku s pevnou jazdnou dráhou

#### **Podval - pozdĺžne (AXP5)**

- maximá a minimá v výrazne vyššie v prípade klasickej stavby lôžka

#### **Podval - priečne (AYP6)**

- maximá a minimá v výrazne vyššie v prípade klasickej stavby lôžka

#### **Podval - zvislo (AZP7)**

- maximá a minimá v výrazne vyššie v prípade klasickej stavby lôžka

#### **Spodná hrana koľajového lôžka (AZS8)**

- výrazne nižšie extrémne hodnoty, maximá a minimá takmer zhodné hodnoty na oboch úsekoch

### Vzdialenosť 7,5m od osi koľaje (AZS9)

- takmer zanedbateľné hodnoty, maximá a minimá vyššie pri úseku s klasickou stavbou

Vibrácie sa pohybujú približne do hodnoty 277 m/s<sup>2</sup>, na koľajnici boli namerané vyššie hodnoty ako na podvaloch. Najvyššie extrémne hodnoty vibrácií boli namerané na päte koľajnice vo zvislom smere.

		L <sub>Aef</sub> [dB]								
Č. vlaku	Vlak; rýchlosť	AXK1	AYK2	AZK3	AYK4	AXP5	AYP6	AZP7	AZS8	AZS9
20 - KSL	Os; 120	128	121	129	125	112	116	121	99	92
14 - PJD	Os; 121	133	135	146	137	111	110	116	102	57

Tab. 6.7 Efektívne hodnoty zrýchlenia vibrácií - dvojica č.3

Efektívne hodnoty zrýchlenia vibrácií L<sub>Aef</sub> [dB] na koľajniciach sú vyššie v prípade pevnej jazdnej dráhy a hodnoty namerané na podvale/betónovej doske sú vyššie v prípade úseku klasickej konštrukcie. Hodnoty na spodnej hrane koľajového lôžka sú približne rovnaké, vo vzdialenosti 7,5m od osi koľaje boli namerané vyššie hodnoty v prípade klasickej konštrukcie koľajového lôžka.

### 6.1.2 Vibrácie od prejazdu nákladných vlakov

#### Dvojica č.4

Pri dvojici č. 4 sú pre zrovnanie vybrané nákladné vlaky s rôznym typom lokomotívy. Na úseku s klasickou konštrukciou koľajového lôžka bola nameraná vlaková súprava s lokomotívou typu 363, na úseku s pevnou jazdnou dráhou bola lokomotíva 123. Obidve súpravy majú rovnaký počet vozňov, a to 28. Vlaky dosahovali podobnú rýchlosť. Hodnoty extrémnych hodnôt sú zaznamenané v tabuľke.

Globálne extrémny [m/s <sup>2</sup> ]											
Č. vlaku	Vlak; rýchlosť	AXK1		AYK2		AZK3		AYK4		AXP5	
		max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
3 - KSL	N; 72	58,1	-63,5	116,8	-114,9	145,2	-166,4	201,2	-207,3	13	-13,8
3 - PJD	N; 78	203,9	-200,5	281,5	-359,2	998,3	-1035,5	411,4	-289,6	62,3	-43,3
		AYP6		AZP7		AZS8		AZS9			
3 - KSL	N; 72	40,4	-41,1	63,1	-62,6	2,12	-2,47	0,006	-0,007		
3 - PJD	N; 78	30,8	-30,1	21,4	-43,4	12	-13,9	0,904	-0,677		

Tab. 6.8 Globálne extrémny - dvojica č. 4

#### **Koľajnice - pozdĺžne (AXK1)**

- maximá a minimá viac ako trojnásobne vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou

#### **Koľajnice - priečne (AYK2)**

- maximá a minimá viac ako dvakrát vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou

#### **Koľajnice - zvislo (AZK3)**

- maximá a minimá sú približne 8-krát vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou

#### **Koľajnice - priečne, v ose medzipodvalového priestoru (AYK4)**

- maximá a minimá približne dvakrát vyššie v úseku s pevnou jazdnou dráhou

#### **Podval - pozdĺžne (AXP5)**

- maximá a minimá sú vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou

#### **Podval - priečne (AYP6)**

- maximá a minimá sú približne o tretinu vyššie pri klasickej konštrukcii lôžka

#### **Podval - zvislo (AZP7)**

- maximá a minimá sú vyššie v prípade klasickej stavby lôžka

#### **Spodná hrana koľajového lôžka (AZS8)**

- maximá a minimá 5-krát vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou

#### **Vzdialenosť 7,5m od osi koľaje (AZS9)**

- takmer zanedbateľné hodnoty, maximá a minimá vyššie pri úseku s pevnou jazdnou dráhou

Vibrácie sa pohybujú približne do hodnoty 1035 m/s<sup>2</sup>, na koľajnici boli namerané vyššie hodnoty ako na podvaloch. Najvyššie extrémne hodnoty vibrácií boli namerané na päte koľajnice vo zvislom smere.

L <sub>Aef</sub> [dB]										
Č. vlaku	Vlak; rýchlosť	AXK1	AYK2	AZK3	AYK4	AXP5	AYP6	AZP7	AZS8	AZS9
3 - KSL	N; 72	138	142	145	146	126	134	138	109	60
3 - PJD	N; 78	149	150	161	150	121	121	123	116	92

Tab. 6.9 Efektívne hodnoty zrýchlenia vibrácií - dvojica č.4

Efektívne hodnoty zrýchlenia vibrácií L<sub>Aef</sub> [dB] na koľajniciach sú vyššie v prípade pevnej jazdnej dráhy a hodnoty namerané na podvale/betónovej doske sú vyššie v prípade úseku klasickej konštrukcie. Hodnoty na spodnej hrane koľajového lôžka sú vyššie na úseku pevnej jazdnej dráhy, vo vzdialenosti 7,5 m od osi koľaje boli namerané vyššie hodnoty tiež na úseku s pevnou jazdnou dráhou.

## Dvojica č. 5

Pri dvojici č. 5 sú pre zrovnanie vybraté nákladné vlaky s rôznym typom lokomotívy. Na úseku s klasicou konštrukciou koľajového lôžka bola nameraná vlaková súprava s lokomotívou typu 363, na úseku s pevnou jazdnou dráhou bola lokomotíva 122. Obidve súpravy majú rovnaký počet vozňov, a to 38. Rozdiel v rýchlosti porovnávaných vlakových súprav bol 17 km/h. Hodnoty extrémnych hodnôt sú zaznamenané v tabuľke.

Globálne extrémny [m/s <sup>2</sup> ]											
Č. vlaku	Vlak; rýchlosť	AXK1		AYK2		AZK3		AYK4		AXP5	
		max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
12 - KSL	N; 60	22,7	-40,5	45	-44,1	58,9	-54,1	63,4	-80,3	15,2	-21,9
8 - PJD	N; 77	177	-155,3	198,4	-275,2	1006	-1421,1	204,9	-282,1	9	-9,3
		AYP6		AZP7		AZS8		AZS9			
12 - KSL	N; 60	28,6	-45,6	23,6	-31,2	1,53	-1,56	0,273	-0,328		
8 - PJD	N; 77	11,4	-9,3	12,2	-11,8	3,36	-5,73	0,407	-0,418		

Tab. 6.10 Globálne extrémny - dvojica č. 5



**Koľajnice - pozdĺžne (AXK1)**

- maximá a minimá viac ako 4-krát vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou

**Koľajnice - priečne (AYK2)**

- maximá a minimá viac ako 4-krát vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou

**Koľajnice - zvislo (AZK3)**

- maximá a minimá sú viac ako 15-krát vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou

**Koľajnice - priečne, v ose medzipodvalového priestoru (AYK4)**

- maximá a minimá s viac ako trikrát vyššie v úseku s pevnou jazdnou dráhou

**Podval - pozdĺžne (AXP5)**

- maximá a minimá sú približne dvakrát vyššie na úseku s klasickou konštrukciou koľajového lôžka

**Podval - priečne (AYP6)**

- maximá a minimá sú viac ako trikrát vyššie pri klasickej konštrukcii lôžka

**Podval - zvislo (AZP7)**

- maximá a minimá sú dvakrát vyššie v prípade klasickej stavby lôžka

**Spodná hrana koľajového lôžka (AZS8)**

- maximá a minimá sú dvakrát vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou

**Vzdialenosť 7,5m od osi koľaje (AZS9)**

- takmer zanedbateľné hodnoty, maximá a minimá vyššie pri úseku s pevnou jazdnou dráhou

Vibrácie sa pohybujú približne do hodnoty 1421 m/s<sup>2</sup>, na koľajnici boli namerané vyššie hodnoty ako na podvaloch. Najvyššie extrémne hodnoty vibrácií boli namerané na päte koľajnice vo zvislom smere.

L <sub>Aef</sub> [dB]										
Č. vlaku	Vlak; rýchlosť	AXK1	AYK2	AZK3	AYK4	AXP5	AYP6	AZP7	AZS8	AZS9
12 - KSL	N; 60	122	125	127	128	113	116	120	97	86
8 - PJD	N; 77	144	147	158	147	120	119	122	111	89

Tab. 6.11 Efektívne hodnoty zrýchlenia vibrácií - dvojica č.5

Efektívne hodnoty zrýchlenia vibrácií L<sub>Aef</sub> [dB] na koľajniciach sú vyššie v prípade pevnej jazdnej dráhy a hodnoty namerané na podvale/betónovej doske sú približne rovnaké, o zanedbateľnú hodnotu sú vyššie v prípade pevnej jazdnej dráhy. Hodnoty na spodnej hrane koľajového lôžka sú vyššie na úseku pevnej jazdnej dráhy, vo vzdialenosti 7,5 m od osi koľaje boli namerané vyššie hodnoty tiež na úseku s pevnou jazdnou dráhou.

### 6.1.3 Vibrácie od prejazdu rýchlikov

#### Dvojica č. 6

Pri dvojici č. 6 sú pre zrovnanie vybraté rýchliky použitou zhodnou lokomotívou typu 380. Obidve súpravy majú rovnaký počet vozňov, a to 8. Rozdiel v rýchlosti porovnávaných vlakových súprav bol zanedbateľný. Hodnoty extrémnych hodnôt sú zaznamenané v tabuľke.

Globálne extrémny [m/s <sup>2</sup> ]											
Č. vlaku	Vlak; rýchlosť	AXK1		AYK2		AZK3		AYK4		AXP5	
		max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
14 - KLS	R; 133	285,1	-345,3	209,8	-208,3	690,9	-861,5	206	-178,5	31,6	-29
9 - PJD	R; 132	188	-208,6	324,5	-425,7	877,7	-1250,5	297	-267,9	14,7	-14,4
		AYP6		AZP7		AZS8		AZS9			
14 - KLS	R; 133	177	-150,1	259	-153,5	2,64	-2,58	0,009	-0,009		
9 - PJD	R; 132	11	-13,6	10	-9,9	6,87	-8,73	0,294	-0,303		

Tab. 6.12 Globálne extrémny - dvojica č. 6

### **Koľajnice - pozdĺžne (AXK1)**

- maximá a minimá o polovicu vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou

### **Koľajnice - priečne (AYK2)**

- maximá a minimá sú približne 2-krát vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou

### **Koľajnice - zvislo (AZK3)**

- maximá a minimá sú o tretinu vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou

### **Koľajnice - priečne, v ose medzipodvalového priestoru (AYK4)**

- maximá a minimá sú o polovicu vyššie v úseku s pevnou jazdnou dráhou

### **Podval - pozdĺžne (AXP5)**

- maximá a minimá sú približne dvakrát vyššie na úseku s klasickou konštrukciou koľajového lôžka

### **Podval - priečne (AYP6)**

- maximá a minimá sú viac ako 10-krát vyššie pri klasickej konštrukcii lôžka

### **Podval - zvislo (AZP7)**

- maximá a minimá sú viac ako 15-krát vyššie pri klasickej stavbe lôžka

### **Spodná hrana koľajového lôžka (AZS8)**

- maximá a minimá sú trikrát vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou

### **Vzdialenosť 7,5m od osi koľaje (AZS9)**

- takmer zanedbateľné hodnoty, maximá a minimá vyššie pri úseku s pevnou jazdnou dráhou

Vibrácie sa pohybujú približne do hodnoty  $1251 \text{ m/s}^2$ , na koľajnici boli namerané vyššie hodnoty ako na podvaloch. Najvyššie extrémne hodnoty vibrácií boli namerané na päte koľajnice vo zvislom smere.

L <sub>Aef</sub> [dB]										
Č. vlaku	Vlak; rýchlosť	AXK1	AYK2	AZK3	AYK4	AXP5	AYP6	AZP7	AZS8	AZS9
14 - KLS	R; 133	139	136	142	138	120	131	133	105	63
9 - PJD	R; 132	143	145	156	147	120	118	120	110	94

Tab. 6.13 Efektívne hodnoty zrýchlenia vibrácií - dvojica č.6

Efektívne hodnoty zrýchlenia vibrácií L<sub>Aef</sub> [dB] na koľajniciach sú vyššie v prípade pevnej jazdnej dráhy a hodnoty namerané na podvale/betónovej doske sú vyššie v prípade klasickej konštrukcie lôžka. Hodnoty na spodnej hrane koľajového lôžka sú vyššie na úseku pevnej jazdnej dráhy, vo vzdialenosti 7,5 m od osi koľaje boli namerané vyššie hodnoty tiež na úseku s pevnou jazdnou dráhou.

## Dvojica č. 7

Pri dvojici č. 7 sú pre zrovnanie vybraté vlakové súpravy SuperCity s rovnakou lokomotívou typu 681. Obidve súpravy majú rovnaký počet vozňov, a to 7. Rozdiel v rýchlosti porovnávaných vlakových súprav je 28 km/h. Hodnoty extrémnych hodnôt sú zaznamenané v tabuľke.

Globálne extrémny [m/s <sup>2</sup> ]											
Č. vlaku	Vlak; rýchlosť	AXK1		AYK2		AZK3		AYK4		AXP5	
		max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
15 - KSL	SC; 161	62,8	-55,7	61,3	-90,5	98,6	-93,1	114,8	-102	15,6	-10,6
10 - PJD	SC; 133	66,7	-69,2	98,1	-107,4	410,7	-479,7	268,8	-198,4	10,4	-9,9
		AYP6		AZP7		AZS8		AZS9			
15 - KSL	SC; 161	20,5	-34,1	26	-34,1	1,11	-1,13	0,007	-0,007		
10 - PJD	SC; 133	6,3	-6,2	7,7	-7,7	1,65	-1,74	0,505	-0,371		

Tab. 6.14 Globálne extrémny - dvojica č. 7

### Koľajnice - pozdĺžne (AXK1)

- maximá a minimá sú vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou

### Koľajnice - priečne (AYK2)

- maximá a minimá sú vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou

### Koľajnice - zvislo (AZK3)

- maximá a minimá sú viac ako 4-krát vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou

#### **Koľajnice - priečne, v ose medzipodvalového priestoru (AYK4)**

- maximá a minimá sú približne dvakrát vyššie v úseku s pevnou jazdnou dráhou

#### **Podval - pozdĺžne (AXP5)**

- maximá a minimá sú vyššie na úseku s klasickou konštrukciou koľajového lôžka

#### **Podval - priečne (AYP6)**

- maximá a minimá sú viac ako trikrát vyššie pri klasickej konštrukcii lôžka

#### **Podval - zvislo (AZP7)**

- maximá a minimá sú viac ako 4-krát vyššie pri klasickej stavby lôžka

#### **Spodná hrana koľajového lôžka (AZS8)**

- maximá a minimá sú vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou

#### **Vzdialenosť 7,5m od osi koľaje (AZS9)**

- takmer zanedbateľné hodnoty, maximá a minimá vyššie pri úseku s pevnou jazdnou dráhou

Vibrácie sa pohybujú približne do hodnoty 480 m/s<sup>2</sup>, na koľajnici boli namerané vyššie hodnoty ako na podvaloch. Najvyššie extrémne hodnoty vibrácií boli namerané na päte koľajnice vo zvislom smere.

		L <sub>Aef</sub> [dB]								
Č. vlaku	Vlak; rýchlosť	AXK1	AYK2	AZK3	AYK4	AXP5	AYP6	AZP7	AZS8	AZS9
15 - KSL	SC; 161	136	133	138	136	118	127	129	103	62
10 - PJD	SC; 133	140	141	153	146	117	116	118	106	93

Tab. 6.15 Efektívne hodnoty zrýchlenia vibrácií - dvojica č.7

Efektívne hodnoty zrýchlenia vibrácií L<sub>Aef</sub> [dB] na koľajniciach sú vyššie v prípade pevnej jazdnej dráhy a hodnoty namerané na podvale/betónovej doske sú vyššie v prípade klasickej konštrukcie lôžka. Hodnoty na spodnej hrane koľajového lôžka sú vyššie na

úseku pevnej jazdnej dráhy, vo vzdialenosti 7,5 m od osi koľaje boli namerané vyššie hodnoty tiež na úseku s pevnou jazdnou dráhou.

## Dvojica č. 8

Pri dvojici č. 8 sú pre zrovnanie vybraté vlakové súpravy RegioJet. Obidve súpravy majú rovnaký počet vozňov, a to 7. Rozdiel v rýchlosti porovnávaných vlakových súprav je 19 km/h. Hodnoty extrémnych hodnôt sú zaznamenané v tabuľke.

Globálne extrémny [m/s <sup>2</sup> ]											
Č. vlaku	Vlak; rýchlosť	AXK1		AYK2		AZK3		AYK4		AXP5	
		max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
16 - KSL	RJ; 137	225,8	-169,9	135,5	-158,2	491,9	-456,7	333,4	-262,1	19,8	22,5
11 - PJD	RJ; 116	351,8	-329,4	417,2	-458,6	1582,4	-1720,9	380,4	-554,5	15,6	-19
		AYP6		AZP7		AZS8		AZS9			
16 - KSL	RJ; 137	82,5	-109,3	134,4	-148,5	2,26	-2,27	0,01	-0,01		
11 - PJD	RJ; 116	21,7	-20,9	26,6	-25,7	5,95	-6,47	0,008	-0,008		

Tab. 6.16 Globálne extrémny - dvojica č. 8

### Koľajnice - pozdĺžne (AXK1)

- maximá a minimá sú vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou

### Koľajnice - priečne (AYK2)

- maximá a minimá sú viac ako dvakrát vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou

### Koľajnice - zvislo (AZK3)

- maximá a minimá sú viac ako dvakrát vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou

### Koľajnice - priečne, v ose medzipodvalového priestoru (AYK4)

- maximá a minimá sú vyššie v úseku s pevnou jazdnou dráhou

### Podval - pozdĺžne (AXP5)

- maximá a minimá sú vyššie na úseku s klasickou konštrukciou koľajového lôžka

### **Podval - priečne (AYP6)**

- maximá a minimá sú viac ako 4-krát vyššie pri klasickej konštrukcii lôžka

### **Podval - zvislo (AZP7)**

- maximá a minimá sú viac ako 4-krát vyššie pri klasickej stavby lôžka

### **Spodná hrana koľajového lôžka (AZS8)**

- maximá a minimá sú vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou

### **Vzdialenosť 7,5m od osi koľaje (AZS9)**

- takmer zanedbateľné hodnoty, maximá a minimá približne zhodné

Vibrácie sa pohybujú do hodnoty  $1721 \text{ m/s}^2$ , na koľajnici boli namerané vyššie hodnoty ako na podvaloch. Najvyššie extrémne hodnoty vibrácií boli namerané na päte koľajnice vo zvislom smere.

		$L_{Aef}$ [dB]								
Č. vlaku	Vlak; rýchlosť	AXK1	AYK2	AZK3	AYK4	AXP5	AYP6	AZP7	AZS8	AZS9
16 - KSL	RJ; 137	145	140	147	143	124	135	138	107	65
11 - PJD	RJ; 116	149	151	162	152	126	125	127	115	60

*Tab. 6.17 Efektívne hodnoty zrýchlenia vibrácií - dvojica č.8*

Efektívne hodnoty zrýchlenia vibrácií  $L_{Aef}$  [dB] na koľajniciach sú vyššie v prípade pevnej jazdnej dráhy a hodnoty namerané na podvale/betónovej doske sú vyššie v prípade klasickej konštrukcie lôžka. Hodnoty na spodnej hrane koľajového lôžka sú vyššie na úseku pevnej jazdnej dráhy, vo vzdialenosti 7,5 m od osi koľaje boli namerané vyššie hodnoty pre klasickú konštrukciu.

## **Dvojica č. 9**

Pri dvojici č. 9 sú pre zrovnanie vybrané vlakové súpravy LEO Express. Obidve súpravy majú rovnaký počet vozňov, a to 5. Rozdiel v rýchlosti porovnávaných vlakových súprav je 26 km/h. Hodnoty extrémnych hodnôt sú zaznamenané v tabuľke.

Globálne extrémny [m/s <sup>2</sup> ]											
Č. vlaku	Vlak; rýchlosť	AXK1		AYK2		AZK3		AYK4		AXP5	
		max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
17 - KSL	LE; 139	68,6	-71	36,2	-48,2	95,3	-128,2	57,7	-53,5	8,8	-7,8
12 - PJD	LE; 113	47,2	-48,4	63,5	-71,5	247,2	-248,4	137,3	-135,7	16,1	-11,5
		AYP6		AZP7		AZS8		AZS9			
17 - KSL	LE; 139	19,7	-21,4	43,3	-27,6	0,67	-0,65	0,22	-0,23		
12 - PJD	LE; 113	3,5	-4,3	8,6	-9,7	1,2	-1,1	0,007	-0,006		

Tab. 6.18 Globálne extrémny - dvojica č. 9

#### **Koľajnice - pozdĺžne (AXK1)**

- maximá a minimá sú vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou

#### **Koľajnice - priečne (AYK2)**

- maximá a minimá sú takmer dvakrát vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou

#### **Koľajnice - zvislo (AZK3)**

- maximá a minimá sú približne dvakrát vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou

#### **Koľajnice - priečne, v ose medzipodvalového priestoru (AYK4)**

- maximá a minimá sú približne dvakrát vyššie v úseku s pevnou jazdnou dráhou

#### **Podval - pozdĺžne (AXP5)**

- maximá a minimá sú vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou

#### **Podval - priečne (AYP6)**

- maximá a minimá sú viac ako 4-krát vyššie pri klasickej konštrukcii lôžka

#### **Podval - zvislo (AZP7)**

- maximá a minimá sú viac ako 3-krát vyššie pri klasickej stavby lôžka

#### **Spodná hrana koľajového lôžka (AZS8)**

- maximá a minimá sú dvakrát vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou

#### **Vzdialenosť 7,5m od osi koľaje (AZS9)**



- takmer zanedbateľné hodnoty, maximá a minimá vyššie pri klasickej konštrukcii koľajového lôžka

Vibrácie sa pohybujú do hodnoty  $248 \text{ m/s}^2$ , na koľajnici boli namerané vyššie hodnoty ako na podvaloch. Najvyššie extrémne hodnoty vibrácií boli namerané na päte koľajnice vo zvislom smere.

L <sub>Aef</sub> [dB]										
Č. vlaku	Vlak; rýchlosť	AXK1	AYK2	AZK3	AYK4	AXP5	AYP6	AZP7	AZS8	AZS9
17 - KSL	LE; 139	134	131	136	134	115	124	126	99	90
12 - PJD	LE; 113	136	138	150	139	114	113	115	104	56

Tab. 6.19 Efektívne hodnoty zrýchlenia vibrácií - dvojica č.9

Efektívne hodnoty zrýchlenia vibrácií L<sub>Aef</sub> [dB] na koľajniciach sú vyššie v prípade pevnej jazdnej dráhy a hodnoty namerané na podvale/betónovej doske sú vyššie v prípade klasickej konštrukcie lôžka. Hodnoty na spodnej hrane koľajového lôžka sú vyššie na úseku pevnej jazdnej dráhy, vo vzdialenosti 7,5 m od osi koľaje boli namerané vyššie hodnoty pre klasickú konštrukciu.

## Dvojica č. 10

Pri dvojici č. 10 sú pre zrovnanie vybraté vlakové súpravy rýchlikov s lokomotívou typu 151. Obidve súpravy majú rovnaký počet vozňov, a to 4. Rozdiel v rýchlosti porovnávaných vlakových súprav je 16 km/h. Hodnoty extrémnych hodnôt sú zaznamenané v tabuľke.

Globálne extrémny [m/s <sup>2</sup> ]											
Č. vlaku	Vlak; rýchlosť	AXK1		AYK2		AZK3		AYK4		AXP5	
		max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
19 - KSL	R; 130	64,5	-56,4	32,6	-36,9	75,8	-81	61,9	-83,5	9,5	-6,7
13 - PJD	R; 114	60,4	-62,2	82,9	-82,4	296,4	-275,2	240	-275,2	5,3	-5,7
		AYP6		AZP7		AZS8		AZS9			
19 - KSL	R; 130	15,3	-22,6	25,1	-26,3	1,38	-1,4	0,281	-0,271		
13 - PJD	R; 114	4,1	-4,7	5,4	-5,7	1,44	-1,63	0,005	-0,004		

Tab. 6.20 Globálne extrémny - dvojica č. 10

### Koľajnice - pozdĺžne (AXK1)

- maximá a minimá približne rovnaké

**Koľajnice - priečne (AYK2)**

- maximá a minimá sú viac ako dvakrát vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou

**Koľajnice - zvislo (AZK3)**

- maximá a minimá sú viac ako trikrát vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou

**Koľajnice - priečne, v ose medzipodvalového priestoru (AYK4)**

- maximá a minimá sú viac ako trikrát vyššie v úseku s pevnou jazdnou dráhou

**Podval - pozdĺžne (AXP5)**

- maximá a minimá sú vyššie na úseku s klasickou konštrukciou lôžka

**Podval - priečne (AYP6)**

- maximá a minimá sú viac ako trikrát vyššie pri klasickej konštrukcii lôžka

**Podval - zvislo (AZP7)**

- maximá a minimá sú viac ako 4-krát vyššie pri klasickej stavbe lôžka

**Spodná hrana koľajového lôžka (AZS8)**

- maximá a minimá sú približne rovnaké na oboch konštrukciách

**Vzdialenosť 7,5m od osi koľaje (AZS9)**

- takmer zanedbateľné hodnoty, maximá a minimá vyššie pri klasickej konštrukcii koľajového lôžka

Vibrácie sa pohybujú do hodnoty 297 m/s<sup>2</sup>, na koľajnici boli namerané vyššie hodnoty ako na podvaloch. Najvyššie extrémne hodnoty vibrácií boli namerané na päte koľajnice vo zvislom smere.

		L <sub>Aef</sub> [dB]								
Č. vlaku	Vlak; rýchlosť	AXK1	AYK2	AZK3	AYK4	AXP5	AYP6	AZP7	AZS8	AZS9
19 - KSL	R; 130	132	128	133	131	114	122	124	101	91
13 - PJD	R; 114	137	138	149	140	113	112	114	104	55

*Tab. 6.21 Efektívne hodnoty zrýchlenia vibrácií - dvojica č.10*

Efektívne hodnoty zrýchlenia vibrácií  $L_{Aef}$  [dB] na koľajniciach sú vyššie v prípade pevnej jazdnej dráhy a hodnoty namerané na podvale/betónovej doske sú vyššie v prípade klasickej konštrukcie lôžka. Hodnoty na spodnej hrane koľajového lôžka sú vyššie na úseku pevnej jazdnej dráhy, vo vzdialenosti 7,5 m od osi koľaje boli namerané vyššie hodnoty pre klasickú konštrukciu.

#### **6.1.4 Porovnanie konštrukcií z hľadiska vibrácií v časovej oblasti**

K meraniu vibrácií bolo použitých 5 snímačov zrýchlenia. Dva z nich boli trojosové, ktoré umožňovali sledovať vibrácie v priečnom, pozdĺžnom aj zvislom smere. Tieto trojosové snímače sú umiestnené na päte koľajnice a na podvale. Jednosový snímač bol umiestnený na päte koľajnice v medzipodvalom priestore, ďalší na spodnej hrane koľajového lôžka a posledný 7,5 m od osi koľaje. K hodnoteniu boli použité maximá a minimá a efektívne hodnoty zrýchlenia vibrácií.

Pozdĺžne vibrácie na koľajnici v ose podvalu (AXK1) vykazujú hodnoty z ktorých nie je možné jednoznačne určiť pri ktorej konštrukcii boli dosiahnuté maximá. U nákladných vlakov boli vyššie hodnoty pri pevnej jazdnej dráhy, u osobných vlakov a rýchlíkov boli 4-krát namerané vyššie hodnoty pre klasickú konštrukciu zvršku, v troch prípadoch vyššie hodnoty pre pevnú jazdnú dráhu a v jednom prípade boli hodnoty približne rovnaké.

Priečne vibrácie na koľajnici v ose podvalu (AYK2) a v ose medzipodvalového priestoru (AYK4) vykazovali pri všetkých hodnotených dvojiciach vyššie hodnoty na úseku s pevnou jazdnou dráhou.

Zvislé vibrácie na koľajnici v ose podvalu (AZK3) vykazujú pri všetkých dvojiciach vyššie hodnoty na úseku s pevnou jazdnou dráhou.

Pozdĺžne vibrácie na podvale (AXP5) dosahujú extrémne hodnoty vyššie pri väčšine meraných dvojíc pri klasickej konštrukcii koľajového lôžka.

Priečne vibrácie na podvale (AYP6) dosahujú extrémne hodnoty vždy vyššie na úseku s klasickou stavbou zvršku.

Zvislé vibrácie na podvale (AZP7) dosahujú extrémne hodnoty vždy vyššie na úseku s klasickou stavbou zvršku.

Zvislé vibrácie na spodnej hrane koľajového lôžka (AZS8) sú vyššie pri klasickej konštrukcii u osobných vlakov, pri ostatných súpravách sú hodnoty vyššie na úseku s pevnou jazdnou dráhou.

Zvislé vibrácie merané vo vzdialenosti 7,5 m od osi koľaje (AZS9) dosahujú vyššie hodnoty vo väčšine prípadov na konštrukcii s pevnou jazdnou dráhou. Tieto hodnoty sú rádovo zanedbateľné. v desatinách, niekedy až tisícinách  $m/s^2$ .

## **6.2 VYHODNOTENIE VIBRÁCIÍ VO FREKVENČNEJ ROVINE**

Pred vyhodnotením bolo potrebné previesť namerané dáta z časovej do frekvenčnej roviny. Pre tento účel bola použitá metóda na základe Fourierovej transformácie. Je to klasická neparametrická metóda spektrálnej analýzy, ktorá pracuje iba s nameranými dátami. Pre vyhodnotenie boli vytvorené grafy amplitúdového spektra v závislosti na frekvenciách. Frekvencia vyobrazená na grafoch je 0 až 2000 Hz. Spektrá boli vytvorené pre každý smer snímača a pre každý snímač vibrácií umiestnený na konštrukcii. Pomocou týchto grafov je možné porovnávať významné frekvencie, kde hodnoty amplitúdových spektier dosahujú extrémny. Vyhodnocovanie je prevedené pre rôzne typy vlakových súprav. Zaťaženie vlakovou súpravou spôsobuje rozvoj vibrácií v rôznych frekvenčných pásmach. Prvé pásmo 0 až 80 Hz predstavuje vplyv vozidiel a ich správanie na styku kolesa a koľajnice. Druhé pásmo 80 až 400 Hz predstavuje odchýlky jazdnej dráhy a jej správanie na styku koleso a koľajnica. Pásmo nad 400 Hz predstavuje iné vplyvy, najmä potom akustické vlastnosti.

### **6.2.1 Vibrácie od prejazdu osobných vlakov**

V rámci diplomovej práce boli porovnávané 3 dvojice osobných vlakov. Typ lokomotívy bol zhodne 841 okrem jedného prípadu, kedy bola nameraná lokomotíva typu 810. Vo všetkých prípadoch sa jednalo o súpravu s jedným vozňom. Rýchlosti boli približne zhodné.

#### **Vibrácie pozdĺžne:**

#### **Koľajnice, v ose podvalu AXK1**

#### **KLASICKÁ KONŠTRUKCIA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú najviac  $0,4 m/s^2$ . Hodnoty zrýchlenia vibrácií dosahujú maximá na frekvencii cca 500 Hz a ďalšie maximá sa nachádzajú na frekvenciách od 1100 do 1300 Hz.

### **PEVNÁ JAZDNÁ DRÁHA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 1,1 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 500 Hz. Výraznejšie zvýšený zhluk vibrácií sa nachádza v oblasti 200 až 800 Hz. Pri vyšších frekvenciách amplitúda postupne klesá až do frekvencie cca 1800 až 1900 Hz, kde nastáva mierny nárast zrýchlenia vibrácií na cca 0,1 m/s<sup>2</sup>.

### **Podvaly, v ose podvalu AXP5**

### **KLASICKÁ KONŠTRUKCIA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu 0,17 m/s<sup>2</sup>. Táto hodnota sa nachádza na frekvencii cca 600 Hz. Zhluk vibrácií s vyššími hodnotami cca do 0,05 m/s<sup>2</sup> sa nachádza na frekvenciách od 20 do 400 Hz.

### **PEVNÁ JAZDNÁ DRÁHA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu 0,09 m/s<sup>2</sup>. Táto maximálna hodnota bola nameraná na frekvencií 500 Hz. Zhluk vibrácií s najvyššími hodnotami sa nachádza v oblasti frekvencií cca 400 až 600 Hz. Vo frekvenciách 800 Hz a viac sa vibrácie ustálili na minimálnych hodnotách okolo 0,01 m/s<sup>2</sup>.

### **Vibrácie priečne:**

### **Koľajnice, v ose podvalu AYK2**

### **KLASICKÁ KONŠTRUKCIA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu 0,1 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 600 Hz. Zvýšené hodnoty vibrácií boli namerané v oblasti frekvencií 200-300 Hz a v oblasti 400 až 600 Hz. Na vyšších frekvenciách nastal mierny pokles amplitúdy a vyššie hodnoty zrýchlenia vibrácií boli na frekvenciách 1200 až 1500 Hz.

### **PEVNÁ JAZDNÁ DRÁHA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu 0,7 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 400 Hz. Zhluk zvýšených amplitúd sa nachádza na frekvenciách 300 až 500 Hz.

### **Koľajnice, v ose medzipodvalového priestoru AYK4**

#### **KLASICKÁ KONŠTRUKCIA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu 0,15 m/s<sup>2</sup> na frekvencii 400 Hz. Najvyššie hodnoty zrýchlenia vibrácií boli namerané v oblasti frekvencií 300 až 800 Hz.

#### **PEVNÁ JAZDNÁ DRÁHA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,8 m/s<sup>2</sup> na frekvencii okolo 1800 Hz. Zhluk amplitúd so zvýšenými hodnotami do 0,6 m/s<sup>2</sup> sa nachádza na frekvenciách 400 až 800 Hz, na frekvenciách vyšších ako 800 Hz klesajú vibrácie na hodnoty do 0,2 m/s<sup>2</sup> a pri frekvenciách od 1700 do 1900 Hz stúpa zrýchlenie vibrácií na maximálne hodnoty.

### **Podvaly, v ose podvalu AYP6**

#### **KLASICKÁ KONŠTRUKCIA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu 0,05 m/s<sup>2</sup> na frekvencii 500 Hz. V tejto oblasti frekvencií sa nachádza zhluk najväčších vibrácií, ďalší zhluk zvýšených vibrácií vzniká pri frekvenciách 1100 až 1300 Hz.

#### **PEVNÁ JAZDNÁ DRÁHA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,05 m/s<sup>2</sup> na frekvencii 450 Hz. Najvyššie hodnoty zrýchlenia vibrácií boli namerané v oblasti frekvencií 300 až 700 Hz.

### **Vibrácie zvislé**

### **Koľajnice, v ose podvalu AZK3**

#### **KLASICKÁ KONŠTRUKCIA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu 0,2 m/s<sup>2</sup> na frekvencii 150 Hz. Najvyššie hodnoty vibrácií sú v oblasti frekvencií 100 až 300 Hz. Najvyššie hodnoty nie sú výrazne vyššie ako hodnoty na ostatných frekvenciách.

#### **PEVNÁ JAZDNÁ DRÁHA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 3 m/s<sup>2</sup> na frekvencii 300 Hz. Najvyššie hodnoty zrýchlenia vibrácií boli namerané v oblasti frekvencií 250 až 500 Hz.

#### **Podvaly, v ose podvalu AZP7**

##### **KLASICKÁ KONŠTRUKCIA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,15 m/s<sup>2</sup> na frekvencii 100 Hz. Najvyššie hodnoty zrýchlenia vibrácií bola namerané v oblasti frekvencií 100 až 300 Hz. Hodnoty postupne so zvyšovaním frekvencie klesajú až do cca 1300 Hz, kde sa ustália na hodnotách okolo 0,01 m/s<sup>2</sup>.

##### **PEVNÁ JAZDNÁ DRÁHA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,15 m/s<sup>2</sup> na frekvencii 300 Hz. Najvyššie hodnoty zrýchlenia vibrácií boli namerané v oblasti frekvencií 400 až 500 Hz. zvýšené hodnoty sú v okolí týchto frekvencií, na ostatných frekvenciách je približne rovnaká hodnota cca do 0,02 m/s<sup>2</sup>.

#### **Na spodnej hrane koľajového lôžka AZS8**

##### **KLASICKÁ KONŠTRUKCIA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,014 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 100 Hz. So stúpajúcou frekvenciou hodnoty klesajú.

##### **PEVNÁ JAZDNÁ DRÁHA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,02 m/s<sup>2</sup> na frekvencii 500 Hz. Najvyššie hodnoty zrýchlenia vibrácií boli namerané v oblasti frekvencií 300 až 600 Hz.

#### **Vzdialenosť 7,5 m od osi koľaje AZS9**

##### **KLASICKÁ KONŠTRUKCIA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,005 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 50 Hz. So stúpajúcou frekvenciou hodnoty klesajú.

##### **PEVNÁ JAZDNÁ DRÁHA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,003 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 50 Hz. So stúpajúcou frekvenciou hodnoty klesajú.

## **6.2.2 Vibrácie od prejazdu nákladných vlakov**

V tejto časti boli porovnávané 2 dvojice nákladných vlakov. Typ lokomotívy bol u prvej dvojici 363 pre klasickú konštrukciu a typ 123 pre pevnú jazdnú dráhu. V prípade druhej dvojice typ 363 pri klasickej konštrukcii a 122 pri pevnej jazdnej dráhe. Tieto lokomotívy je možné porovnávať z dôvodu minimálneho hmotnostného rozdielu. Pri dvojici č.4 bolo za lokomotívou 28 vozňov a pri dvojici č. 5 38 vozňov. Rýchlosti boli približne zhodné.

### **Vibrácie pozdĺžne**

#### **Koľajnice, v ose podvalu AXK1**

##### **KLASICKÁ KONŠTRUKCIA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,17 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 1200 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 450 Hz, 900 až 1200 Hz a 1600 Hz.

##### **PEVNÁ JAZDNÁ DRÁHA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 1 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 500 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 400 až 900 Hz.

#### **Podvaly, v ose podvalu AXP5**

##### **KLASICKÁ KONŠTRUKCIA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,06 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 400 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 300 až 500 Hz.

##### **PEVNÁ JAZDNÁ DRÁHA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,027 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 800 Hz. Ďalší vrchol s hodnotou 0,025 m/s<sup>2</sup> sa nachádza na frekvencii cca 500 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 400 až 600 Hz a 700 až 900 Hz.



### **Vibrácie priečne:**

#### **Koľajnice, v ose podvalu AYK2**

##### **KLASICKÁ KONŠTRUKCIA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,35 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 500 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 400 až 800 Hz.

##### **PEVNÁ JAZDNÁ DRÁHA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 1,55 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 500 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 300 až 500 Hz a 700 až 850 Hz.

#### **Koľajnice, v ose medzipodvalového priestoru AYK4**

##### **KLASICKÁ KONŠTRUKCIA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,55 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 500 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 350 až 500 Hz a 700 až 800 Hz.

##### **PEVNÁ JAZDNÁ DRÁHA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,9 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 450 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 350 až 500 Hz a 700 Hz a 1800 až 1900 Hz.

#### **Podvaly, v ose podvalu AYP6**

##### **KLASICKÁ KONŠTRUKCIA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,12 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 350 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 300 až 900 Hz.

##### **PEVNÁ JAZDNÁ DRÁHA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,025 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 600 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 350 až 500 Hz a 700 až 90 Hz.

### **Vibrácie zvislé**

#### **Koľajnice, v ose podvalu AZK3**

### **KLASICKÁ KONŠTRUKCIA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,4 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 350 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 300 až 600 Hz.

### **PEVNÁ JAZDNÁ DRÁHA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 3 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 500 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 300 až 500 Hz a 600 až 800 Hz.

### **Podvaly, v ose podvalu AZP7**

### **KLASICKÁ KONŠTRUKCIA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,17 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 350 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 300 až 700 Hz.

### **PEVNÁ JAZDNÁ DRÁHA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,05 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 400 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 350 až 500 Hz a 600 až 800 Hz.

### **Na spodnej hrane koľajového lôžka AZS8**

### **KLASICKÁ KONŠTRUKCIA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,014 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 50 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 50 Hz a 200 až 400 Hz.

### **PEVNÁ JAZDNÁ DRÁHA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,025 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 600 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 400 až 650 Hz a 800 Hz.

### **Vzdialenosť 7,5 m od osi koľaje AZS9**

### **KLASICKÁ KONŠTRUKCIA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,005 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 50 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 50 až 150 Hz.

### **PEVNÁ JAZDNÁ DRÁHA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,003 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 50 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 50 až 150 Hz.

### **6.2.3 Vibrácie od prejazdu rýchlíkov**

V tejto časti boli porovnávaných 5 dvojíc rýchlíkov. V prípade dvojice č.6 boli porovnávané rýchlíky s lokomotívou typu 380, za ktorou bolo 8 vozňov. Dvojicu č. 7 tvorili vlaky SC s lokomotívou typu 681 a počtom vozňov 7. Dvojicu č. 8 tvorí vlak RegioJet so 7 vozňami, dvojicu č.9 vlaky LEO Express 5 vozňami a č. 10 rýchlíky s lokomotívou typu 151 a 4 vozňami. Rýchlosti boli pri porovnávaných súpravách s rozdielmi do 30 km/h.

#### **Vibrácie pozdĺžne**

##### **Koľajnice, v ose podvalu AXK1**

##### **KLASICKÁ KONŠTRUKCIA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 1,1 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 1050 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti cca 800 až 1200 Hz.

##### **PEVNÁ JAZDNÁ DRÁHA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 2,55 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 500 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 400 až 900 Hz.

##### **Podvaly, v ose podvalu AXP5**

##### **KLASICKÁ KONŠTRUKCIA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,07 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 1100 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 200 až 300 Hz, 400 až 600 Hz a 700 až 900 Hz a 1100 až 1300 Hz.

##### **PEVNÁ JAZDNÁ DRÁHA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,14 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 400 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 300 až 800 Hz.

#### **Vibrácie priečne:**

### **Koľajnice, v ose podvalu AYK2**

#### **KLASICKÁ KONŠTRUKCIA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,4 m/s<sup>2</sup> na frekvenciách cca 600 až 900 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 600 až 900 Hz, 1100 až 1300 Hz a 1700 Hz..

#### **PEVNÁ JAZDNÁ DRÁHA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 1,55 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 500 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 300 až 500 Hz a 700 až 850 Hz.

### **Koľajnice, v ose medzipodvalového priestoru AYK4**

#### **KLASICKÁ KONŠTRUKCIA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,55 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 500 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 350 až 500 Hz a 700 až 800 Hz.

#### **PEVNÁ JAZDNÁ DRÁHA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 1,2 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 1800 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 500 Hz až 700 Hz a 1800 až 1900 Hz.

### **Podvaly, v ose podvalu AYP6**

#### **KLASICKÁ KONŠTRUKCIA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,2 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 700 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 300 Hz a 700 až 900 Hz.

#### **PEVNÁ JAZDNÁ DRÁHA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,1 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 500 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 500 Hz a 600 až 800 Hz.

### **Vibrácie zvislé**

### **Koľajnice, v ose podvalu AZK3**

#### **KLASICKÁ KONŠTRUKCIA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,65 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 700 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 700 až 1000 Hz a 1150 až 1300 Hz.

#### **PEVNÁ JAZDNÁ DRÁHA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 7 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 500 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 500 Hz a 600 až 800 Hz.

### **Podvaly, v ose podvalu AZP7**

#### **KLASICKÁ KONŠTRUKCIA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,25 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 500 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 400 až 800 Hz a 1100 až 1200.

#### **PEVNÁ JAZDNÁ DRÁHA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,05 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 400 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 350 až 500 Hz a 600 až 800 Hz.

### **Na spodnej hrane koľajového lôžka AZS8**

#### **KLASICKÁ KONŠTRUKCIA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,2 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 500 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 300 až 800 Hz.

#### **PEVNÁ JAZDNÁ DRÁHA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,04 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 500 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 400 až 800 Hz.

### **Vzdialenosť 7,5 m od osi koľaje AZS9**

#### **KLASICKÁ KONŠTRUKCIA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,007 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 50 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 50 až 150 Hz.

#### **PEVNÁ JAZDNÁ DRÁHA:**

Hodnoty amplitúd dosahujú maximálnu hodnotu cca 0,015 m/s<sup>2</sup> na frekvencii cca 50 Hz. Hlavné frekvencie sa nachádzajú v oblasti 50 až 150 Hz.

#### **6.2.4 Porovnanie konštrukcií z hľadiska vibrácií vo frekvenčnej oblasti**

Z meraní jednotlivých typov zaťaženia vyplýva, že trať s klasickou konštrukciou zvršku je buďená rovnomernejšie na všetkých frekvenciách. Hodnoty amplitúdového spektra namerané na koľajniciach boli vyššie vždy na úseku s pevnou jazdnou dráhou. V prípade snímačov umiestnených na podvale boli hodnoty amplitúdového spektra vyššie u všetkých typov zaťaženia v prípade klasického koľajového lôžka. Vyššie hodnoty na podvale u klasickej konštrukcie lôžka sú spôsobené tým, že u pevnej jazdnej dráhy sú podvaly zaliate v nosnej betónovej doske, čo spôsobuje vyššiu priečnu stabilitu a koľaje a vedie k eliminácii vibrácií vyvolaných smerovými imperfekciami osi koľaje. Vyššie hodnoty amplitúd nameraných na koľajnici u pevnej jazdnej dráhy môžu byť spôsobené väčšou pružnosťou upevnenia Vossloh 300, ktoré umožňuje koľajnici kmitať. Pružnejšia podložka v tomto prípade nahrádza tuhosť koľajového lôžka a tlmí tak dynamické účinky. Upevnenie Vossloh W14 pri klasickej konštrukcii zvršku má naopak vyššiu tuhosť, ktorá spôsobuje prenos vibrácií do ďalšej konštrukcie, teda do podvalov. Na základe toho by na podvalov mala vykazovať vyššie hodnoty vibrácií klasická konštrukcia. U pevnej jazdnej dráhy sú nižšie hodnoty vibrácií spôsobené vyššou priečnou stabilitou z dôvodu podvalov zabetónovaných v nosnej betónovej doske namiesto uloženia do štrkového lôžka.

## 7. VYHODNOTENIE AKUSTICKÝCH PARAMETROV

Analýza akustických parametrov bola vypracovaná v časovej a frekvenčnej rovine. Tieto dvojice boli rozdelené do troch skupín podľa typu vlakovej súpravy na osobné vlaky, nákladné vlaky a rýchliky. Pre zrovnávanie bol vytvorený zoznam dvojíc referenčných vlakových súprav. Jedna súprava z každej dvojice predstavuje správanie konštrukcie pevnej jazdnej dráhy a druhá klasickú konštrukciu koľajového lôžka. Na základe tohto zoznamu budem porovnávať akustické parametre trate. Pri vyberaní som zvolil dvojice tak, aby boli parametre porovnávaných súprav čo najviac podobné. Pri výbere som zohľadňoval viaceré kritériá, najdôležitejšie z nich boli rýchlosť súpravy, počet vozov a typ hnacieho vozidla. Meracie boli zvolené na rovnakej trati a meranie prebiehalo v rovnaký čas v rôznych pracovných dňoch, takže bolo možné porovnávať väčšinou zhodné vlakové súpravy podľa cestovného poriadku.

Porovnanie vlakov oboch meraných úsekov

Dvojice	P.č.	Čas	Kategória vlaku	Lokomotíva	Počet vozov	Úsek	Rýchlosť [km/h]
1	11	10:07	Os	841	1	KSL	119
	5	10:08	Os	841	1	PJD	110
2	13	10:37	Os	810	1	KSL	85
	7	10:35	Os	841	1	PJD	111
3	20	12:06	Os	841	1	KSL	120
	14	12:08	Os	841	1	PJD	121
4	3	8:54	N	363	28	KSL	72
	3	9:28	N	123	28	PJD	78
5	12	10:18	N	363	38	KSL	60
	8	10:43	N	122	38	PJD	77
6	14	11:07	R	380	8	KSL	133
	9	11:02	R	380	8	PJD	132
7	15	11:14	SC	681	7	KSL	161
	10	11:13	SC	681	7	PJD	133
8	16	11:30	RJ	RJ	7	KSL	137
	11	11:36	RJ	RJ	7	PJD	116
9	17	11:42	LE	LE	5	KSL	139
	12	11:47	LE	LE	5	PJD	113
10	19	12:02	R	151	4	KSL	130
	13	12:04	R	151	4	PJD	114

Tab. 7.1 Porovnanie vlakov oboch meraných úsekov

## 7.1 ANALÝZA NAMERANÝCH DÁT V ČASOVEJ OBLASTI

Pre vyhodnotenie akustických parametrov v časovej oblasti je najdôležitejšou veličinou, ktorú som použil pre vyhodnotenie, hladina expozície prejazdu vlaku TEL [dB(A)]. Pre analýzu bol použitý váhový filter A.

### 7.1.1 Hladina expozície prejazdu TEL osobných vlakov

Zrovnávať budem 3 dvojice osobných vlakov. Typ lokomotívy bol zhodne 841 okrem jedného prípadu, kedy bola nameraná lokomotíva typu 810. Vo všetkých prípadoch sa jednalo o súpravu s jedným vozňom. Rýchlosti boli približne zhodné, v jednom prípade bola rýchlosť rozdielna o 26 km/h. Popis nameraných hodnôt je vyobrazený v priloženej tabuľke.

Č. vlaku	Úsek	Vlak; rýchlosť	M1	M2
			TEL [dB(A)]	
11	KSL	Os; 119	92	82
5	PJD	Os; 110	99	89

Tab. 7.2 Hladina expozície prejazdu TEL - dvojica č.1

Č. vlaku	Úsek	Vlak; rýchlosť	M1	M2
			TEL [dB(A)]	
13	KSL	Os; 85	96	85
7	PJD	Os; 111	101	92

Tab. 7.3 Hladina expozície prejazdu TEL - dvojica č.2

Č. vlaku	Úsek	Vlak; rýchlosť	M1	M2
			TEL [dB(A)]	
20	KSL	Os; 120	93	83
14	PJD	Os; 121	97	89

Tab. 7.4 Hladina expozície prejazdu TEL - dvojica č.3

Z meraných dvojíc dosahuje najväčších rozdielov pár č. 1, na mikrofóne M1 vzdialenom 1,85 m od osi koľaje. Pri tomto vlaku je rozdiel 7 dB(A), na mikrofóne M2, ktorý je umiestnený 7,5 m od osi koľaje je rozdiel taktiež 7 dB(A). Na ďalších konštrukciách sú rozdiely veľmi podobné, keďže pri dvojici č. 2 je rozdiel medzi M1 a M2 5 dB(A) a 7 dB(A) a pri dvojici č. 3 4dB(A) a 6 dB(A). Ako hlučnejšia vychádza vždy



vlaková súprava na pevnej jazdnej dráhe, čo potvrdzuje predpoklad vyšších emisií hluku na tejto konštrukcii. Pri vzájomnom porovnaní mikrofónov vychádza vždy, že hluk nameraný na mikrofóne M1 je vyšší ako na mikrofóne M2, a to priemerne o cca 10 dB(A).

### 7.1.2 Hladina expozície prejazdu TEL nákladných vlakov

V tejto časti boli porovnávané 2 dvojice nákladných vlakov. Typ lokomotívy bol u prvej dvojici 363 pre klasickú konštrukciu a typ 123 pre pevnú jazdnú dráhu. V prípade druhej dvojice typ 363 pri klasickej konštrukcii a 122 pri pevnej jazdnej dráhe. Tieto lokomotívy je možné porovnávať z dôvodu minimálneho hmotnostného rozdielu. Pri dvojici č.4 bolo za lokomotívou 28 vozňov a pri dvojici č. 5 38 vozňov. Rýchlosti boli približne zhodné.

Č. vlaku	Úsek	Vlak; rýchlosť	M1	M2
			TEL [dB(A)]	
3	KSL	N; 72	102	92
3	PJD	N; 78	109	100

Tab. 7.5 Hladina expozície prejazdu TEL - dvojica č.4

Č. vlaku	Úsek	Vlak; rýchlosť	M1	M2
			TEL [dB(A)]	
12	KSL	N; 60	85	77
8	PJD	N; 77	105	96

Tab. 7.6 Hladina expozície prejazdu TEL - dvojica č.5

Z porovnávaných dvojíc dosahuje najväčších rozdielov pár č. 5, kde rozdiel medzi klasickou konštrukciou a pevnou jazdnou dráhou je na mikrofóne M1 20 dB(A) a na M2 19 dB(A). U dvojice č. 4 sú rozdiely na mikrofóne M1 7 dB(A) a M2 8 dB(A). Vyššie hodnoty boli opäť namerané vždy pre pevnú jazdnú dráhu. Pri vzájomnom porovnaní mikrofónov vychádza vždy, že hluk nameraný na mikrofóne M1 je vyšší ako na mikrofóne M2, a to o 8 až 9 dB(A).

### 7.1.3 Hladina expozície prejazdu TEL rýchlikov

V tejto časti boli porovnávané 5 dvojíc rýchlikov. V prípade dvojice č.6 boli porovnávané rýchliky s lokomotívou typu 380, za ktorou bolo 8 vozňov. Dvojicu č. 7 tvorili vlaky SC s lokomotívou typu 681 a počtom vozňov 7. Dvojicu č. 8 tvorí vlak RegioJet so 7 vozňami, dvojicu č.9 vlaky LEO Express 5 vozňami a č. 10 rýchliky s

lokomotívou typu 151 a 4 vozňami. Rýchlosti boli pri porovnávaných súpravách s rozdielmi do 30 km/h.

Č. vlaku	Úsek	Vlak; rýchlosť	M1	M2
			TEL [dB(A)]	
14	KSL	R; 133	95	86
9	PJD	R; 132	105	96

Tab. 7.7 Hladina expozície prejazdu TEL - dvojica č.6

Č. vlaku	Úsek	Vlak; rýchlosť	M1	M2
			TEL [dB(A)]	
15	KSL	SC; 161	95	87
10	PJD	SC; 133	102	94

Tab. 7.8 Hladina expozície prejazdu TEL - dvojica č.7

Č. vlaku	Úsek	Vlak; rýchlosť	M1	M2
			TEL [dB(A)]	
16	KSL	RJ; 137	100	91
11	PJD	RJ; 116	110	101

Tab. 7.9 Hladina expozície prejazdu TEL - dvojica č.8

Č. vlaku	Úsek	Vlak; rýchlosť	M1	M2
			TEL [dB(A)]	
17 - KSL	KSL	LE; 139	93	83
12 - PJD	PJD	LE; 113	102	91

Tab. 7.10 Hladina expozície prejazdu TEL - dvojica č.9

Č. vlaku	Úsek	Vlak; rýchlosť	M1	M2
			TEL [dB(A)]	
19	KSL	R; 130	93	85
13	PJD	R; 114	102	94

Tab. 7.11 Hladina expozície prejazdu TEL - dvojica č.10

Z porovnávaných dvojíc dosahuje najväčších rozdielov pár č. 6, kde rozdiel medzi klasickou konštrukciou a pevnou jazdnou dráhou je na mikrofóne M1 aj M2 10 dB(A). U dvojice č. 7 sú rozdiely na mikrofóne M1 a M2 zhodne 7 dB(A), u dvojice č. 8 sú rozdiely

M1 a M2 10 dB(A) a 9 dB(A). Pri dvojici č. 9 je to pri mikrofóne M1 9 dB(A) a M2 8 dB(A) a u dvojice č. 10 je to na oboch mikrofónoch zhodne 9 dB. Vyššie hodnoty boli namerané u všetkých porovnávaných dvojiciach súprav pri pevnej jazdnej dráhe. Pri vzájomnom porovnaní mikrofónov vychádza vždy, že hluk nameraný na mikrofóne M1 je vyšší ako na mikrofóne M2, a to o 7 až 10 dB(A).

#### **7.1.4 Porovnanie konštrukcií z hľadiska akustických parametrov v časovej oblasti**

Akustické parametre v časovej oblasti boli porovnávané na základe hladiny expozície prejazdu TEL. Z porovnania vyplýva, že ako hlučnejšia pri všetkých porovnávaných skupinách vlakových súprav vychádza konštrukcia s pevnou jazdnou dráhou. Veľkosť rozdielov sa u jednotlivých skupín významne nelíši, z toho vyplýva, že typ meranej súpravy nemal vplyv na rozdiel nameraných hodnôt medzi jednotlivými konštrukciami. Meranie potvrdilo predpoklad vyšších emisií hluku v okolí železničnej trate v prípade použitia pevnej jazdnej dráhy.

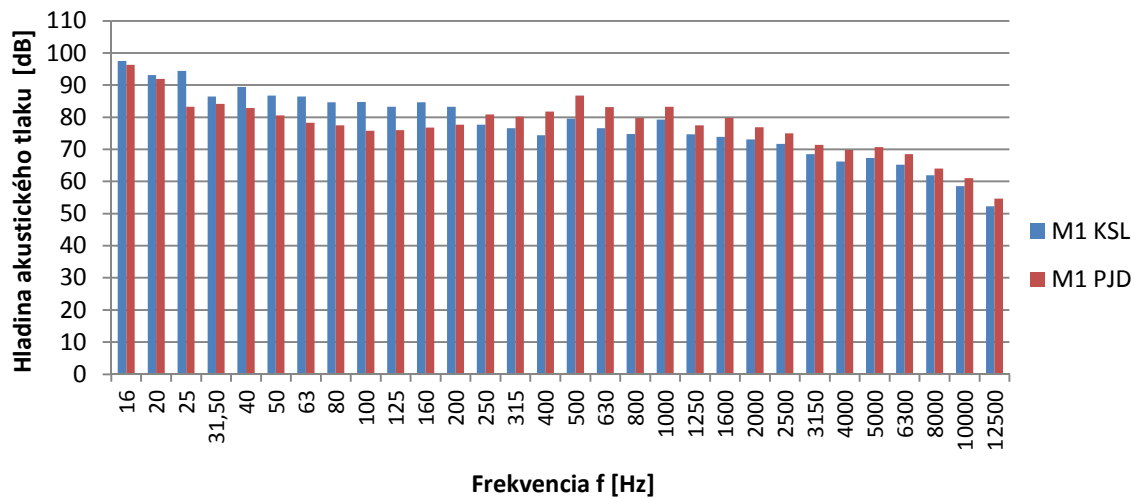
## **7.2 ANALÝZA NAMERANÝCH DÁT VO FREKVENČNEJ OBLASTI**

Druhou časťou analýzy akustických parametrov je vyhodnotenie vo frekvenčnej oblasti. Táto časť bola vyhodnocovaná pomocou metódy tretinooktávovej analýzy priemerných hladín akustického tlaku. Pásmo počuteľnosti je u človeka teoreticky 16 Hz až 20 kHz, prakticky približne 16 Hz až 16 kHz. Podľa dolnej hranice pásma počuteľnosti bola určená aj spodná hranica tretinooktávového spektra. V rámci technických opatrení stavby dochádza k znižovaniu hluku v oblasti do 12,5 kHz. Táto hodnota bola zvolená ako horná hranica pre túto analýzu. Tretinooktávová analýza hladín akustického tlaku bola preto prevedená v pásme 16 Hz až 12,5 kHz.

V tejto analýze nie je použitý žiadny váhový filter. Vyhodnotenie je rovnako v 3 skupinách ako v časovej oblasti. Záznam signálov každej dvojice bol spracovaný ako stĺpcový graf s dvoma radami stĺpcov. Os x predstavuje jednotlivé kmitočtové pásma  $f$  [Hz], os y priemerné hladiny akustického tlaku  $L_p$  [dB]. Modré stĺpce znázorňujú signály pre klasickú konštrukciu koľajového lôžka, červené stĺpce signály pre pevnú jazdnú dráhu. Podľa grafov je tak možné porovnať hlučnosť na konkrétnych frekvenciách. Pre

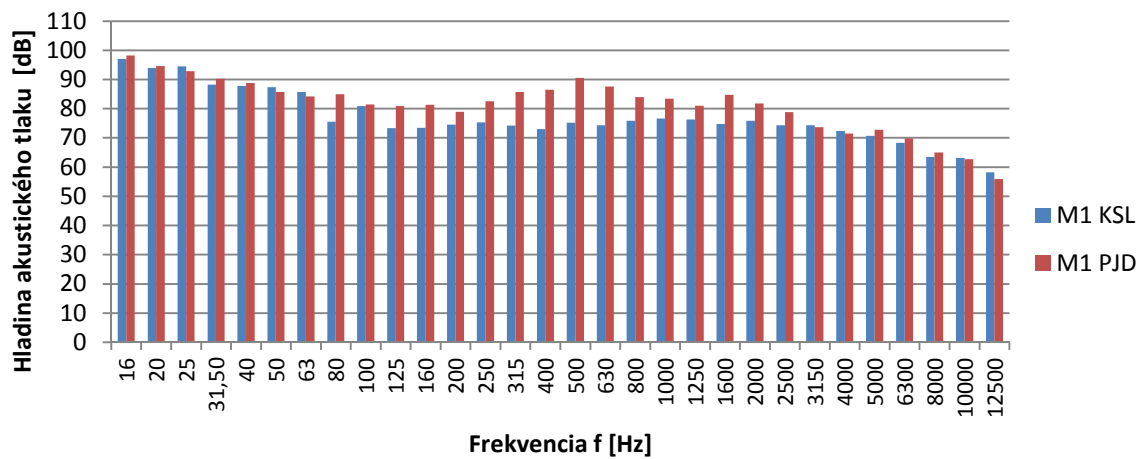
porovnanie som použil snímač M1 na ktorom boli namerané väčšie hodnoty akustickej odozvy.

### 7.2.1 Tretinooktávová analýza hladín akustického tlaku od prejazdu osobných vlakov



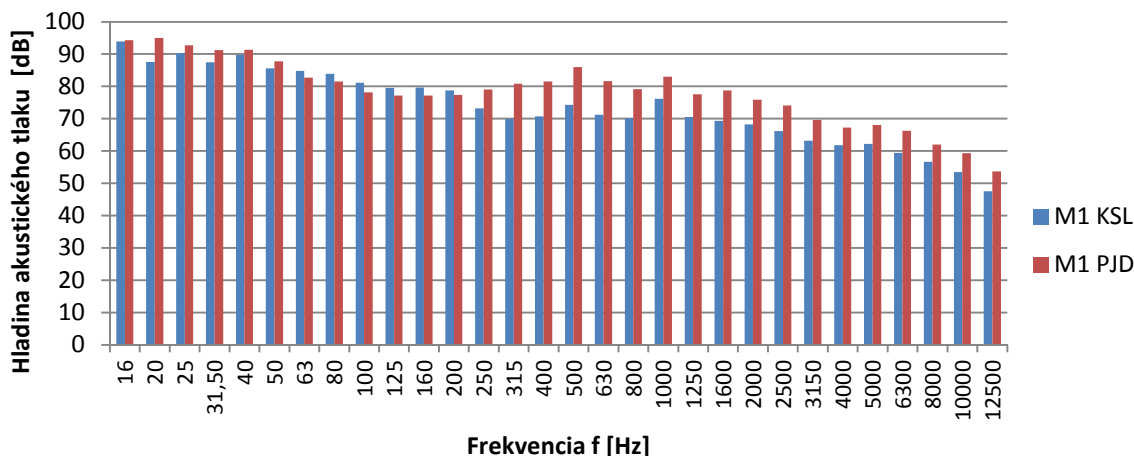
Graf 7.1 Tretinooktávová analýza priemerných hladín akustického tlaku

dvojica č. 1, snímač M1



Graf 7.2 Tretinooktávová analýza priemerných hladín akustického tlaku

dvojica č. 2, snímač M1

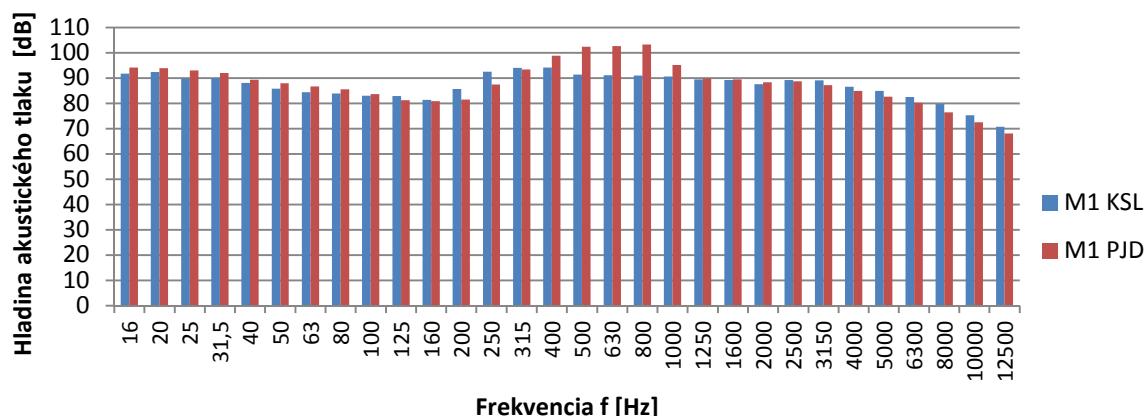


Graf 7.3 Tretinooktávová analýza priemerných hladín akustického tlaku

dvojica č. 3, snímač M1

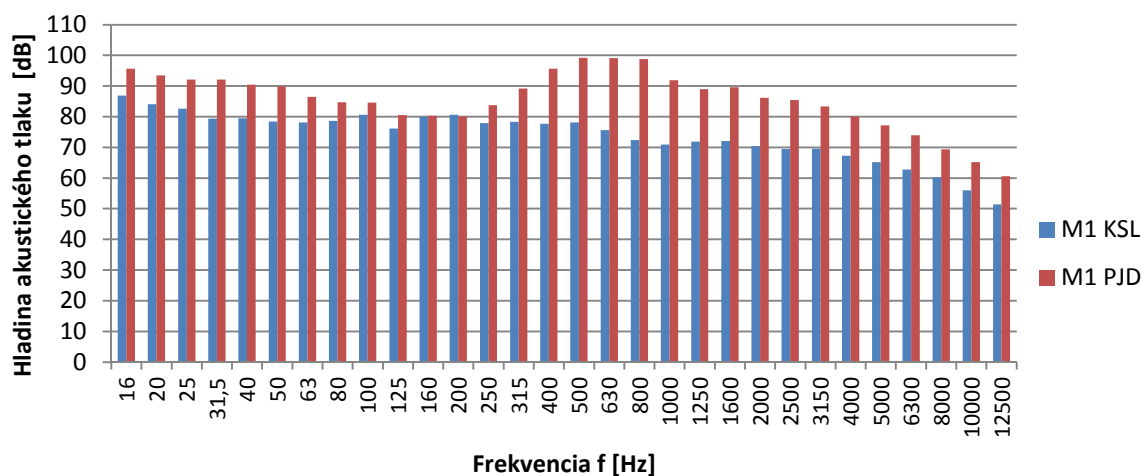
Z grafov jednotlivých osobných vlakov a hodnôt hladín akustického tlaku pre jednotlivé zostavy vyplýva, že celkovo vyššie hodnoty vykazuje pevná jazdná dráha. Najmenšie rozdiely medzi odozvami sú u dvojice č. 1, kde pri frekvenciách do 200 Hz sú vyššie hodnoty u klasickej konštrukcie ako u pevnej jazdnej dráhy. Na vyšších frekvenciách už je vyššia hodnota odoziev u pevnej jazdnej dráhy. Na frekvenciách vyšších ako 200 Hz sú vo všetkých prípadoch odozvy od pevnej jazdnej dráhy vyššie ako od klasickej konštrukcie koľajového lôžka. Konštrukcia s klasickou konštrukciou vyvodzuje najvyššie hodnoty v pásme nízkych frekvencií a potom ich hodnota klesá. U konštrukcie s pevnou jazdnou dráhou vlaky na nízky frekvenciách vyvodzuje vysoké odozvy, ktoré postupne klesajú a v oblasti okolo 500 Hz až 1250 Hz znova stúpajú. Ľudský sluch je najcitlivejší v oblasti okolo frekvencie 1000 Hz, v tomto pásme dosahuje vyšších odoziev konštrukcia s pevnou jazdnou dráhou. Na tejto frekvencií vykazuje klasická konštrukcia najväčšiu odozvu 79 dB a pevná jazdná dráha 84 dB.

## 7.2.2 Tretinooktávová analýza hladín akustického tlaku od prejazdu nákladných vlakov



Graf 7.4 Tretinooktávová analýza priemerných hladín akustického tlaku

dvojica č. 4, snímač M1



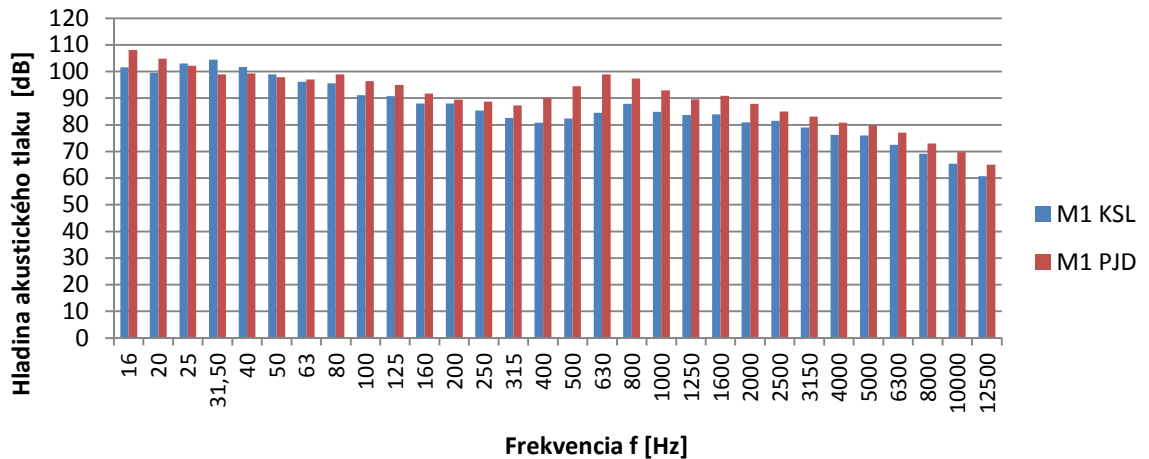
Graf 7.5 Tretinooktávová analýza priemerných hladín akustického tlaku

dvojica č. 5, snímač M1

Porovnávané boli dvojice vlakových súprav č. 4 a č. 5. Vyššie hodnoty odoziev u nákladných vlakov vykazuje pevná jazdná dráha. Najvyššie hodnoty dosahuje hladina akustického tlaku na frekvenciách 400 Hz až 800 Hz v prípade pevnej jazdnej dráhy, u klasickej konštrukcie nie sú maximálne hodnoty také výrazné. V tomto prípade sú hodnoty odoziev vyššie pre pevnú jazdnú dráhu na všetkých frekvenciách, pevná jazdná dráha dosahuje maximum na kmitočte 800 Hz, a to 103 dB. U klasickej konštrukcii je maximálna

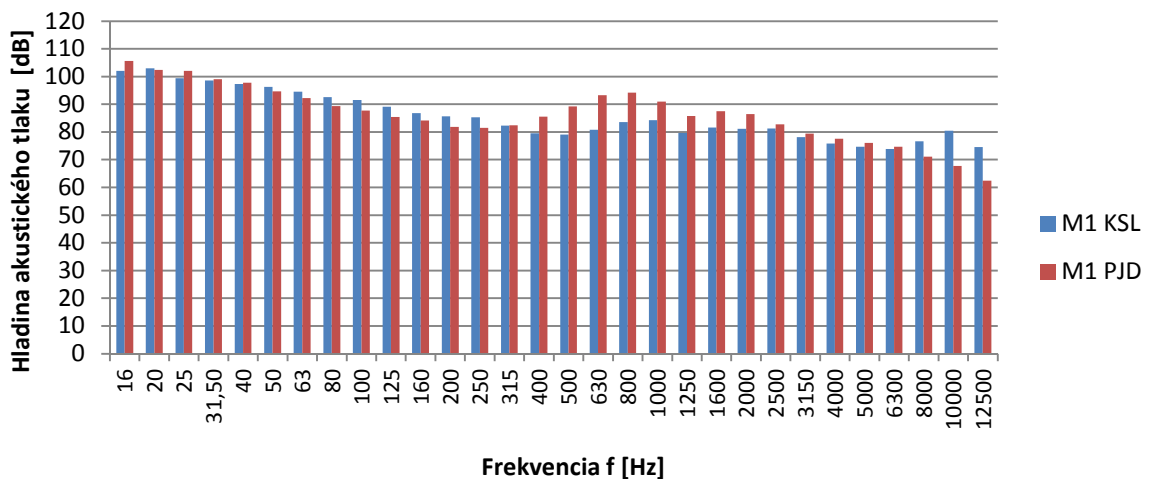
hodnota 93 dB pri nízkej frekvencii 20 Hz. V oblasti najcitlivejšej pre človeka 1000Hz je vyššia odozva u pevnej jazdnej dráhy, ktorá dosahuje 95 dB, u klasickej konštrukcie je to 90 dB.

### 7.2.3 Tretinooktávová analýza hladín akustického tlaku od prejazdu rýchlikov



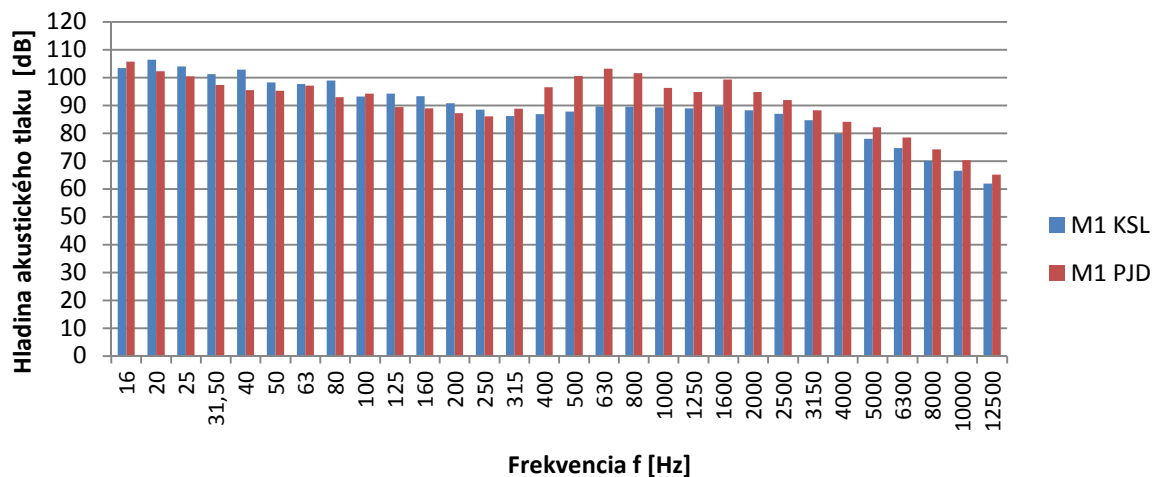
Graf 7.6 Tretinooktávová analýza priemerných hladín akustického tlaku

dvojica č. 6, snímač M1



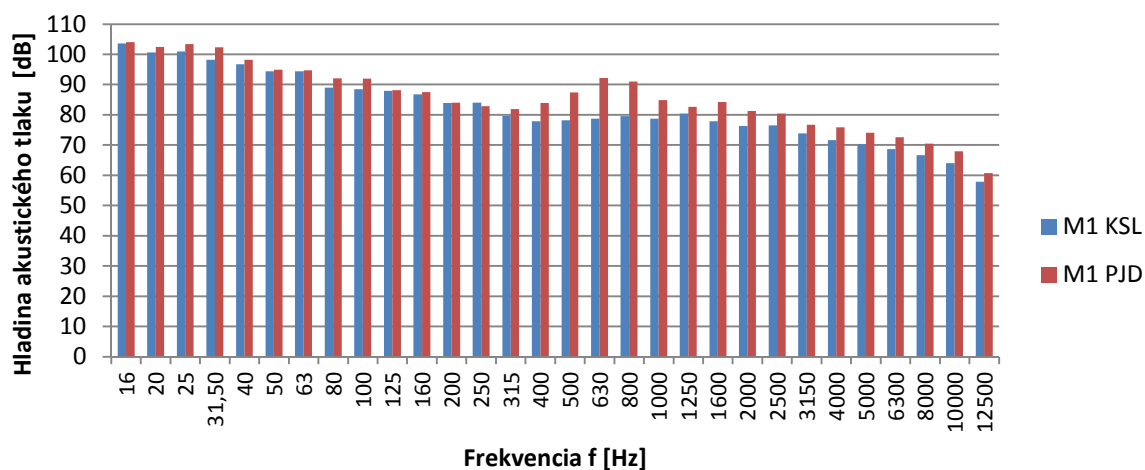
Graf 7.7 Tretinooktávová analýza priemerných hladín akustického tlaku

dvojica č. 7, snímač M1



Graf 7.8 Tretinooktávová analýza priemerných hladín akustického tlaku

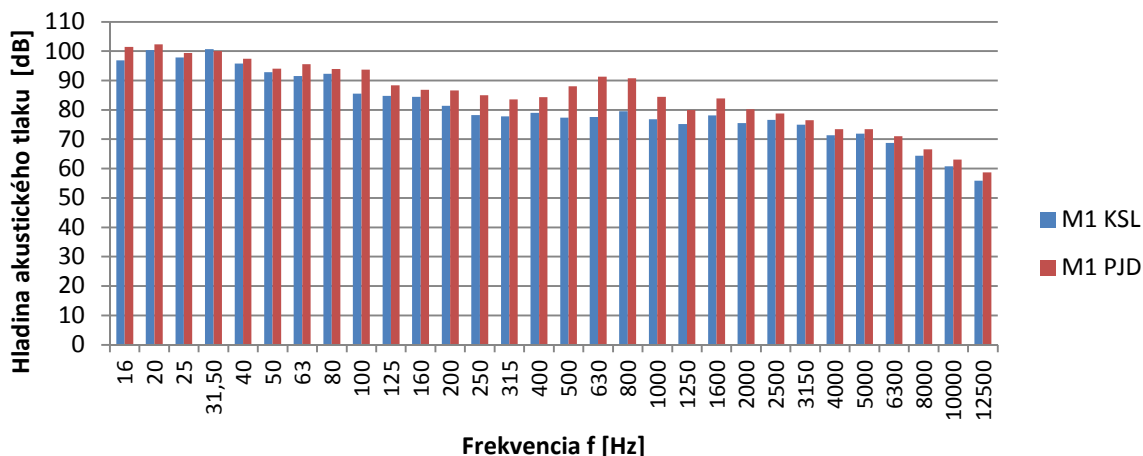
dvojica č. 8, snímač M1



Graf 7.9 Tretinooktávová analýza priemerných hladín akustického tlaku

dvojica č. 9, snímač M1





Graf 7.10 Tretinooktávová analýza priemerných hladín akustického tlaku

dvojica č. 10, snímač M1

Porovnávané boli dvojice vlakových súprav č. 6 až po č. 10. V prípade dvojíc č. 7 a č. 8 na nízkych frekvenciách do 250 Hz sú hodnoty akustického tlaku vyššie v prípade klasickej konštrukcie vyššie, na frekvenciách od 250 Hz už sú vyššie hodnoty pre pevnú jazdnú dráhu. Pri ostatných dvojiciach sú v celom rozsahu vyššie hodnoty v prípade akustického tlaku pri prejazde vlakov súpravy úsekom s pevnou jazdnou dráhou. To môže byť spôsobené vyššou rýchlosťou v prípade prejazdu vlakov úsekom s klasickou stavbou koľajového lôžka. Najvýraznejšie sú rozdiely v akustických vlastnostiach na kmitočte 500 Hz až 800 Hz, kde je rozdiel medzi obidvomi meranými úsekmi cca 10 dB, na ostatných frekvenciách nie sú rozdiely také významné. Najvyššie hodnoty sa nachádzajú na nízkych frekvenciách. Najvyššia hladina akustického tlaku bola 108dB pri frekvencii 16 Hz. Táto hodnota bola nameraná na pevnej jazdnej dráhe u dvojice č. 6 (rýchlik), u klasickej stavby koľajového lôžka bola maximálna hodnota 106 dB na frekvencii 20 Hz nameraná pri dvojici č.7. V oblasti najcitlivejšej pre človeka 1000Hz je vyššia odozva u pevnej jazdnej dráhy, ktorá dosahuje 96 dB, u klasickej konštrukcie je to 89 dB.

#### 7.2.4 Porovnanie konštrukcií z hľadiska akustických parametrov vo frekvenčnej oblasti

Pre hodnotenie vo frekvenčnej oblasti som použil metódu tretinooktávovej analýzy priemerných hladín akustického tlaku. Táto metóda je vhodná pre vyobrazenie akustického priebehu na konkrétnych frekvenciách. U osobných vlakov a rýchlikov sa najvyššie

hodnoty akustického tlaku vyskytujú na najnižších frekvenciách 16 Hz a 20 Hz. V prípade nákladných vlakov sa najvyššie hodnoty nachádzajú bližšie k stredným frekvenciám, a to na hodnotách 500 až 800 Hz. Z porovnania medzi jednotlivými konštrukciami vyplýva, že pri nízkych frekvenciách sú najmenšie rozdiely medzi hodnotami, v niektorých prípadoch je hladina akustického tlaku vyššia ako u pevnej jazdnej dráhy. V oblasti stredných frekvencií sú najväčšie rozdiely akustického tlaku. V týchto oblastiach vyššie hodnoty vykazuje konštrukcia s pevnou jazdnou dráhou. Smerom k najvyšším frekvenciám nie je rozdiel taký výrazný ale stále sú hodnoty akustického tlaku vyššie v prípade pevnej jazdnej dráhy. Ľudský sluch je najcitlivejší na stredné frekvencie, preto vychádza z tohto porovnania ako hlučnejšia konštrukcia s pevnou jazdnou dráhou.

## 8. ZÁVER

Pomocou merania a zvolených matematických metód som porovnal dva typy konštrukcií železničného zvršku. Pri dynamických parametroch som porovnával vibrácie na koľajovom rošte, ktoré majú vplyv na stavbu železničného zvršku a vibrácie, ktoré sa dostávajú do okolia trate. Na koľajniciach vykazuje vyššie hodnoty konštrukcia pevnej jazdnej dráhy. To môže byť spôsobené väčšou pružnosťou upevnenia Vossloh 300, ktoré umožňuje koľajnici kmitať. Pružnejšia podložka v tomto prípade nahrádza tuhosť koľajového lôžka a tlmí tak dynamické účinky. Upevnenie Vossloh W14 pri klasickej konštrukcii zvršku má naopak vyššiu tuhosť, ktorá spôsobuje prenos vibrácií do ďalšej konštrukcie, teda do podvalov. Na základe toho by na podvalov mala vykazovať vyššie hodnoty vibrácií klasická konštrukcia zvršku, čo potvrdili aj moje hodnoty na všetkých hodnotených skupinách vlakových súprav. U pevnej jazdnej dráhy sú nižšie hodnoty vibrácií spôsobené vyššou priečnou stabilitou z dôvodu podvalov zabetónovaných v nosnej betónovej doske namiesto uloženia do štrkového lôžka. Hodnoty snímačov na spodnej hrane koľajového lôžka a vo vzdialenosti 7,5 metra od osi koľaje boli v desatinách až tisícinách  $m/s^2$  a vyššie hodnoty akustickej odozvy vychádzali v prípade konštrukcie s pevnou jazdnou dráhou.

Ku skúmaniu akustických parametrov dochádza najmä z dôvodu ochrany človeka pred hlukom vytváraným prejazdom vlakových súprav po železničnej trati. Ľudský sluch je najcitlivejší v pásme stredných frekvencií, teda okolo 1000 Hz. V tejto oblasti frekvencií človek vníma hluk výraznejšie. Výsledky meraní potvrdili predpoklad vyšších emisií hluku v okolí železničných tratí pri použití konštrukcie pevnej jazdnej dráhy. Najvýraznejší rozdiel bol práve v oblastiach frekvencií najcitlivejších pre sluch človeka. Tento predpoklad sa potvrdil u všetkých skupinách vlakových súprav a taktiež na oboch umiestneniach pre mikrofóny, 1,85 metra od osi koľaje a 7,5 metra od osi koľaje na vonkajšej strane koľaje.

Pre eliminovanie vyšších emisií hluku v prípade úseku s konštrukciou pevnej jazdnej dráhy by som navrhol použitie inštaláciu hlukových absorbérov pre zníženie šírenia hluku. Pre konštrukciu pevnej jazdnej dráhy je použitie systému pre pohltenie hluku odporúčané z dôvodu vyšších emisií hluku. Po nainštalovaní hlukových absorbérov by bolo vhodné zopakovať meranie akustických parametrov na stanovisku pre pevnú jazdnú dráhu a pri podobných podmienkach, v akých prebehlo pôvodné meranie. Tým by sme

mohli určiť akú veľkú účinnosť malo opatrenie a porovnať tieto výsledky s výsledkami akustických odoziev bez inštalácie absorbérov. Taktiež by sa tieto výsledky porovnali s výsledkami na klasickej konštrukcii železničného zvršku, čím by sme vedeli určiť či trať s pevnou jazdnou dráhou pri použití absorbérov vykazuje stále vyššie emisie hluku ako trať s klasickou konštrukciou železničného zvršku.

## ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] PLÁŠEK O., ZVĚŘINA P., SVOBODA R., MOCKOVČIAK M.: *Železniční stavby. Železniční spodek a svršek*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 291 s. ISBN 80-214-2621-7
- [2] BERNATÍK J.: Nový predpis SŽDC S9 - Pevná jízdní dráha  
Dostupné z:  
<<http://www.szdc.cz/soubory/konference-a-seminare/zdc-2012/c01-bernatik-szdc.pdf>>
- [3] KREJČÍŘÍKOVÁ H.: Nové prvky a technologie výstavby železničních tratí v České republice. *Časopis stavebnictví:03/2008*.  
Dostupné z: <<http://www.casopisstavebnictvi.cz/>>
- [4] Bežná kolej (3. část): Vývoj pružného upevnění.  
*SŽDC: Správa železniční dopravní cesty*. Dostupné z:  
<<http://www.szdc.cz/o-nas/zeleznice-cr/historie-zeleznice/zeleznicni-svrsek/bezna-kolej-3.html>>
- [5] Bežná kolej (5. část): Pevná jízdní dráha. *SŽDC: Správa železniční dopravní cesty*. Dostupné z:  
<http://www.szdc.cz/o-nas/zeleznice-cr/historie-zeleznice/zeleznicni-svrsek/bezna-kolej-5.html>
- [6] NEJEZCHLEB M.: Prvky pro pevnou jízdní dráhu, železniční pražce z pohledu evropské legislativy. ŽPSV a.s. Uherský ostroh. Dostupné z:  
<[http://www.railvolution.net/czechraildays/2011/seminare/trendy\\_nejezchleb.pdf](http://www.railvolution.net/czechraildays/2011/seminare/trendy_nejezchleb.pdf)>
- [7] ČSN EN 13146-8. *Železniční aplikace - Kolej - Metody zkoušení systémů upevnění - Část 8: Provozní ověřování*. Praha. Český normalizační institut, 2006.

- [8] HLAVÁČEK J.: *Metodika pro měření akustických parametrů kolejových vozidel podle TSI, subsystém Kolejová vozidla – hluk*. Technická zpráva o řešení etapy I. úkolu „Databáze hlukových zdrojů na železnici“. Výzkumný Ústav Železniční, a.s. Praha. 2006.
- [9] TOMANDL V.: Analýza dynamický parametrů kolejnicových upevnění. Diplomová práce. Brno. 2007. 145s., 204 s. příl. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav železničních konstrukcí a staveb. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jaroslav Smutný, Ph
- [10] TURČÍKOVÁ H.: Analýza akustických a vibračních parametrů kolejnicových upevnění. Diplomová práce. Brno. 2014. 104s., 177 s. příl. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav železničních konstrukcí a staveb.
- [11] PODOLNÍK A.: Experimentální analýza dynamických parametrů kolejového roštu. Brno, 2014. 98s., 208s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav železničních konstrukcí a staveb.
- [12] NOVÝ R.: Hluk a chvění, Vydavatelství ČVUT. Praha. 2000. 389s. ISBN 80-01-02246-3
- [13] MILÁČEK S.: Měření a vyhodnocování mechanických veličín. ČVUT Praha. 2001. ISBN 80-01-02417-2
- [14] MORAVČÍK M., MORAVČÍK M.: Mechanika železničních tratí. EDIS ŽILINA. 695 stran. ISBN 80-7100-983-0
- [15] Předpis SŽDC S3 Železniční svršek. 2008. Změna 01. 2011. TÚDC - Oddělení typové dokumentace. Olomouc.
- [16] ESVELD C.: Modern Railway Track. Second Edition. Delft, MRT - Production, 2001, 2nd ed. 654 s. ISBN 90-800324-3-3
- [17] BREPTA R., PŮST L., TUREK F.: Mechanické kmitání. Praha: Nakladatelství Sobotáles, 1994. 592 s. ISBN 80-901684-9-6

- [18] Decibelové veličiny v akustice, kmitočtová pásma.  
Dostupné z: <[http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env\\_fyzika/EF\\_03.pdf](http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_03.pdf)>
- [19] AUTORSKÝ KOLEKTIV BRÜEL & KJÆR: Měření zvuku. Nové vydání, 1984.  
Dostupné z: <<http://www.spectris.cz/sv/literatura.html>>
- [20] BADO P., : Železničný zvršok, 1.časť  
Dostupné z: <<http://www.vlaky.net/zeleznice/spravy/002319-Zeleznicny-zvrsok-1-cast-uvod/>>

## ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

$a_{ef}$	efektívna hodnota
$b$	šírka podvalu
$h$	výška podvalu
$l$	dĺžka podvalu
RMS	efektívna hodnota
$t$	čas
$V$	rýchlosť vlaku
$x$	priečna osa pravouhlého súradnicového systému
$y$	zvislá osa pravouhlého súradnicového systému
$z$	pozdĺžna osa pravouhlého súradnicového systému
SC	vlak kategórie SuperCity
PJD	pevná jazdná dráha
KSL	klasická stavba koľajového lôžka
$T$	perióda
$F$	zvislá sila
TEL	vážená hladina expozície prejazdu
Hz	Hertz, jednotka frekvencie
$f$	frekvencia, kmitočet
$L_p$	hladina akustického tlaku
$p$	sledovaný akustický tlak



$p_0$ ..... referenčný akustický tlak

$L_{Aef}$  .....efektívna hladina zrýchlenia vibrácií

$a_i$  .....sledované zrýchlenie vibrácií

$a_0$  .....referenčná hodnota zrýchlenia vibrácií

# **PRÍLOHY**

## ZOZNAM PRÍLOH

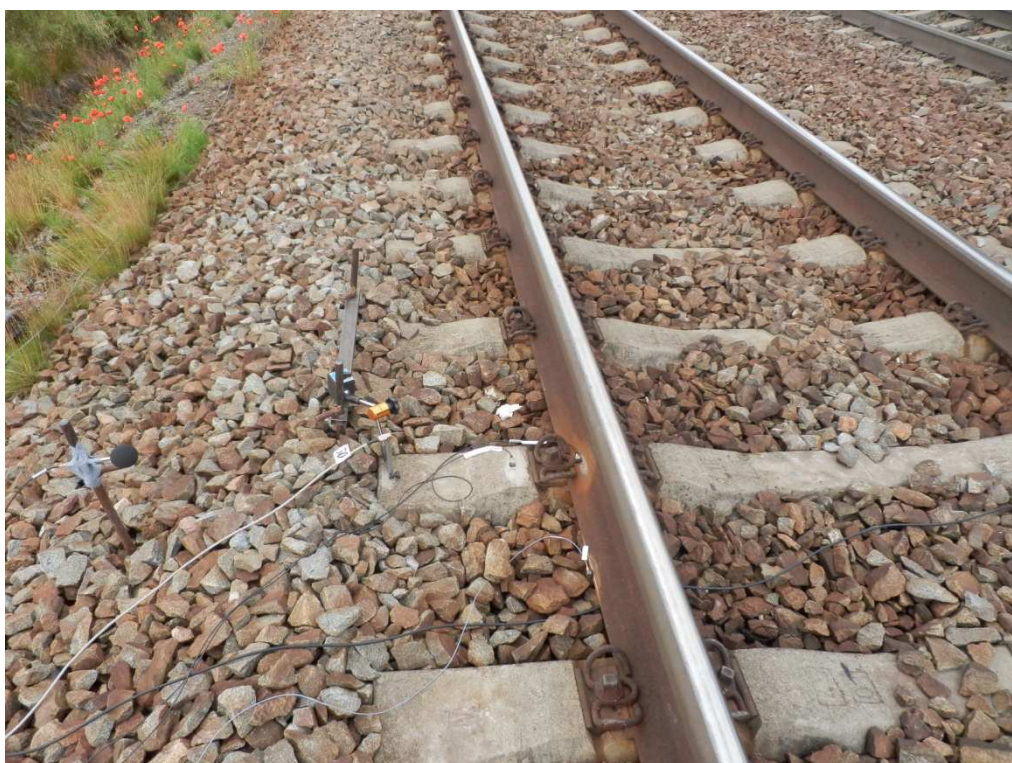
PRÍLOHA A	Fotodokumentácia z merania.....	84
PRÍLOHA B	Tretinooktávová analýza priemerných hladín akustického tlaku.....	93
PRÍLOHA B.1	Tretinooktávová analýza priemerných hladín akustického tlaku - Úsek s klasickou stavbou zvršku.....	94
PRÍLOHA B.2	Tretinooktávová analýza priemerných hladín akustického tlaku - Úsek s pevnou jazdnou dráhou.....	108
PRÍLOHA C	Grafy akustickej odozvy.....	118
PRÍLOHA D	Grafy dynamickej odozvy.....	151

# **PRÍLOHA A**

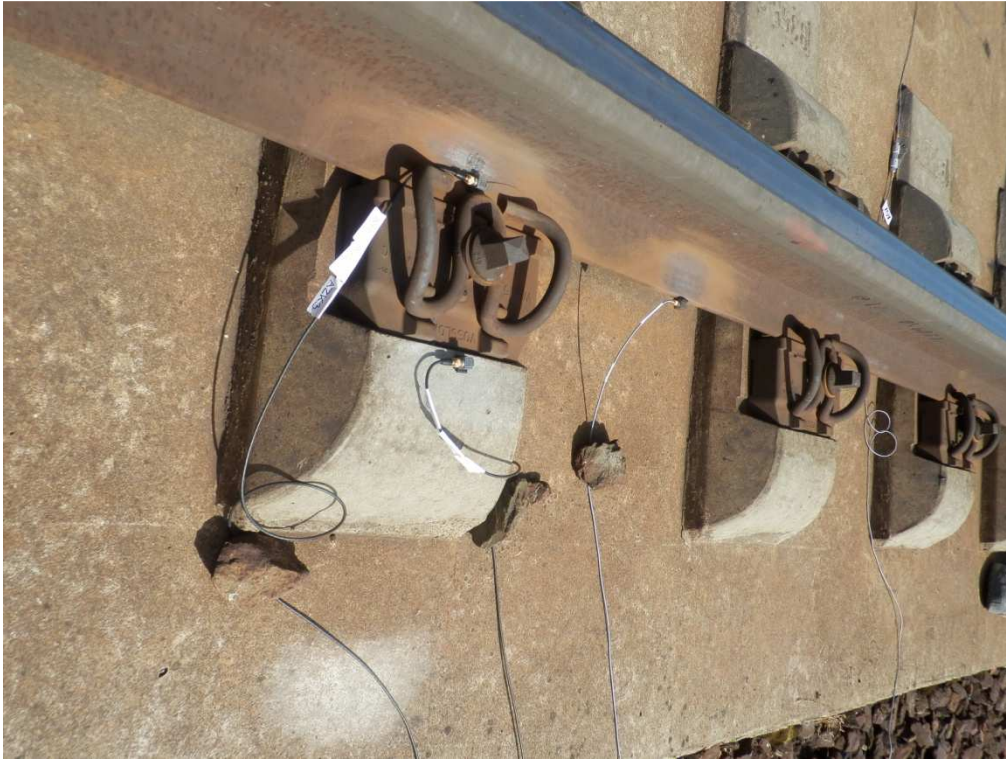
Fotodokumentácia z merania



*Obr. A.1 kampan č. 1 - pevná jazdná dráha*



*Obr. A.2 kampan č. 2 - klasická konštrukcia zvršku*



*Obr. A.3 Upevnenie PJD - Vossloh 300*



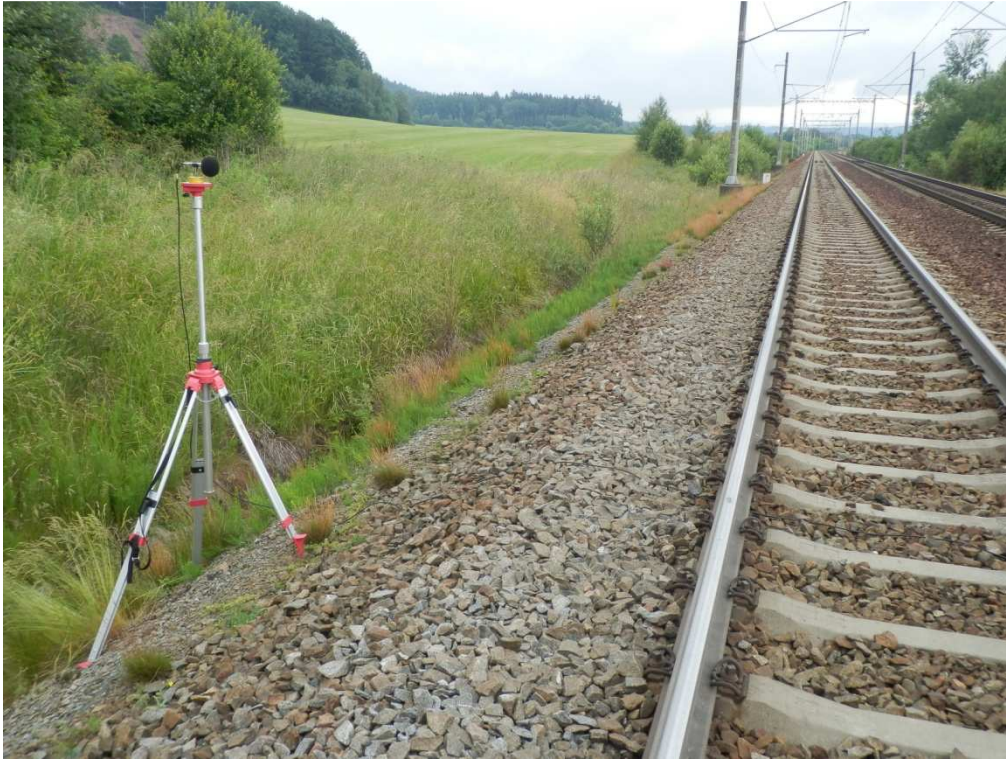
*Obr.A.4 Upevnenie KSL - Vossloh W14*



*Obr. A.5 Meranie teploty koľajnice infračerveným digigálnym teplomerom*



*Obr. A.6 Záznam rýchlosti vlaku nameranej radarom*



*Obr. A.7 Mikrofón umiestnený 7,5 m od osi koľaje - KSL*

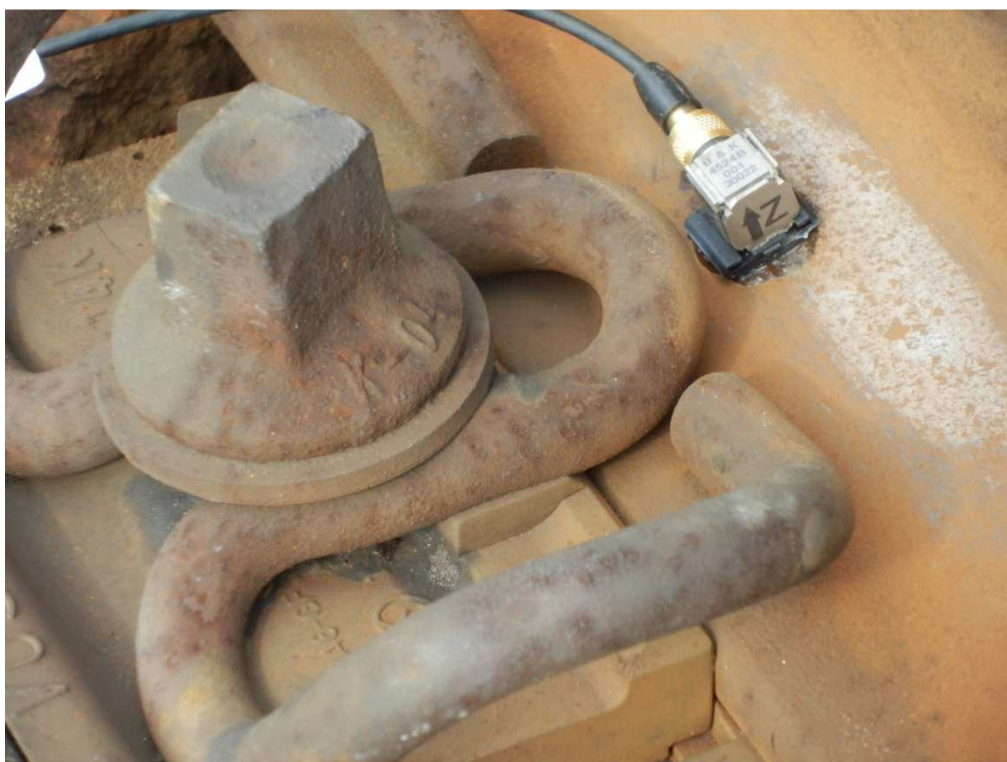


*Obr. A.8 Pohľad na umiestnenie snímačov - PJD*





*Obr. A.9 Trojosový snímač vibrací na podvale*



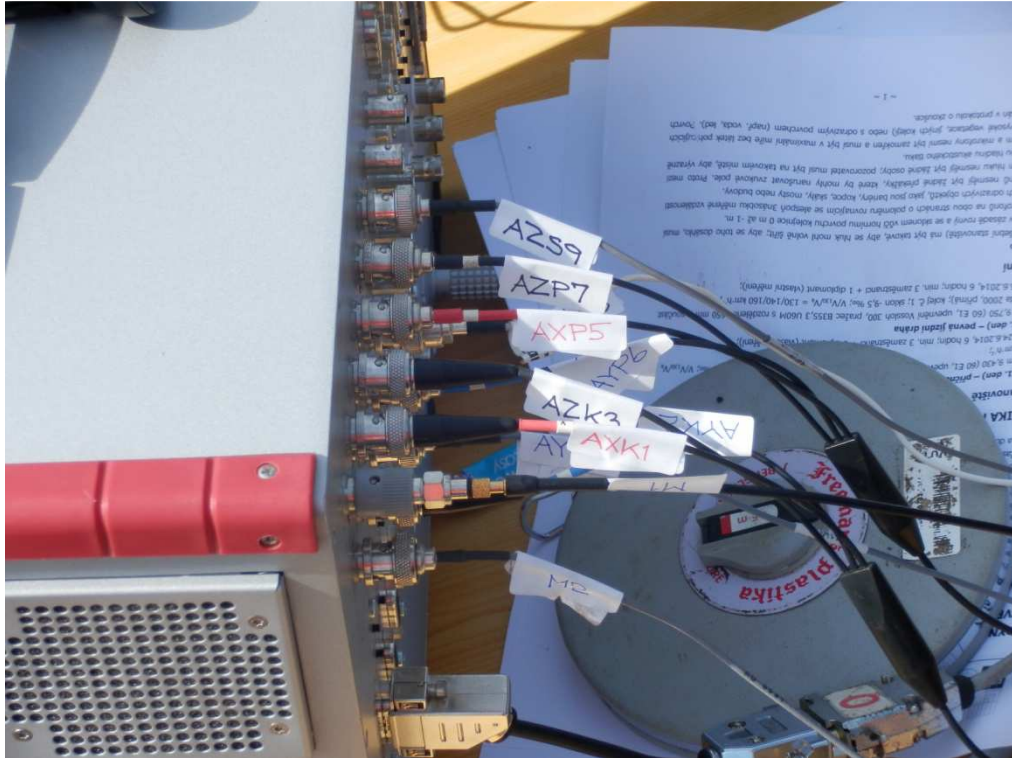
*Obr. A.10 Trojosový snímač vibrací na koľajnici*



*Obr. A.11 Snímač vibrací na hrane koľajového lôžka*



*Obr. A.12 Snímač vibrací 7,5 m od osi koľaje*



*Obr. A.13 Napojenie káblov do meracej stanice*



*Obr. A.14 Príslušenstvo pre meranie podmienok merania*



*Obr. A.15 Prejazd vlaku skúšobným stanoviskom*



*Obr. A.16 Kontrola nameraných hodnôt*

# **PRÍLOHA B**

TRETINOOKTÁVOVÁ ANALÝZA PREMERNÝCH HLADÍN  
AKUSTICKEHO TLAKU

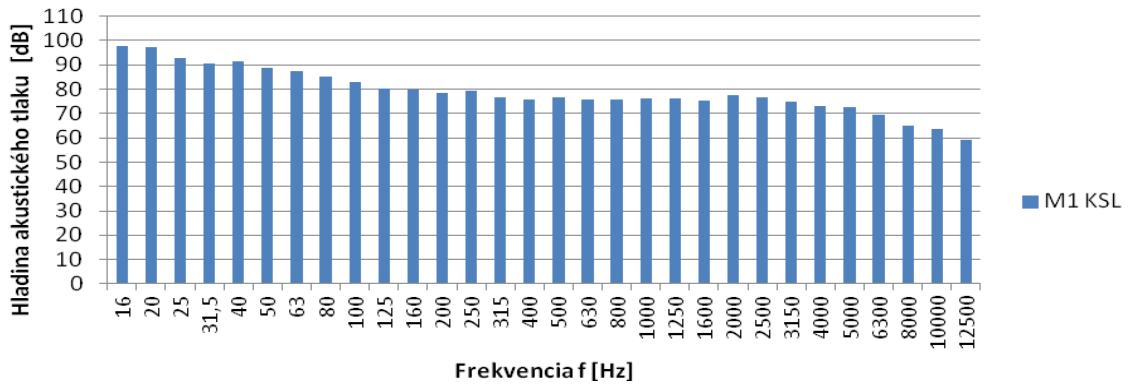
# **PRÍLOHA B.1**

TRETINOOKTÁVOVÁ ANALÝZA PREMERNÝCH HLADÍN  
AKUSTICKEHO TLAKU

Úsek s klasickou stavbou zvršku

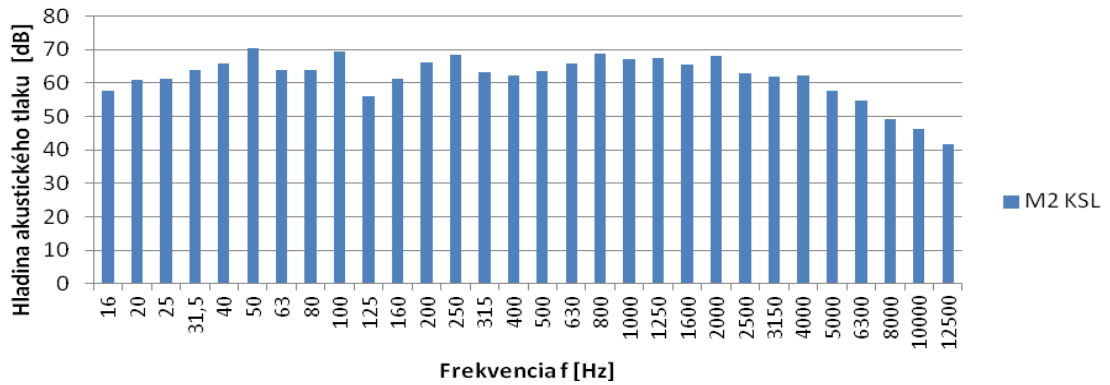
**Osobný vlak - lokomotíva 810; 1 vozeň;  $v = 84 \text{ km/h}$**

**M1 KSL**



*Graf B.1.1 Osobný vlak - lokomotíva 810; 1 vozeň;  $v = 84 \text{ km/h}$ , M1*

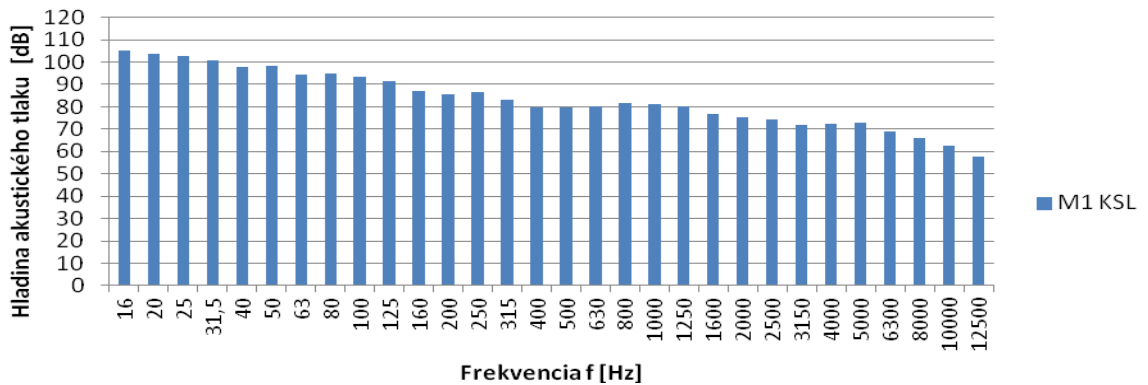
**M2 KSL**



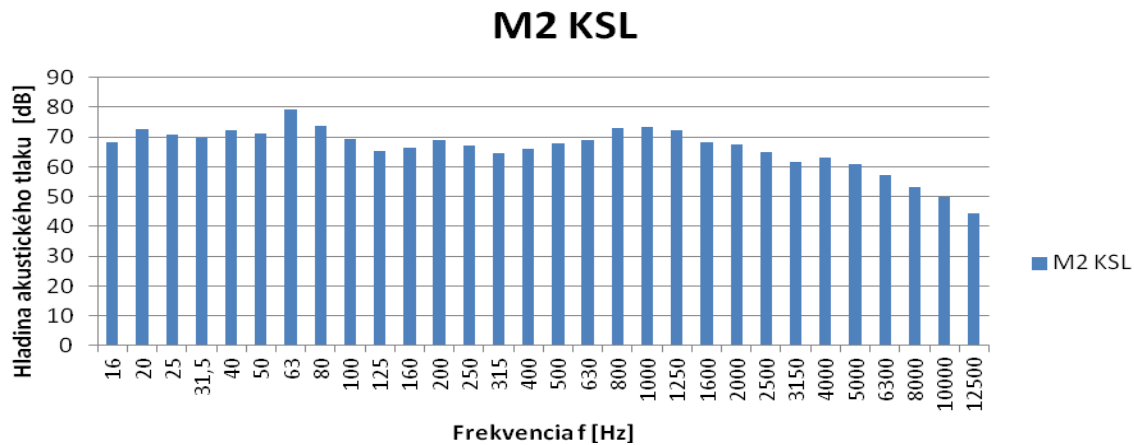
*Graf B.1.2 Osobný vlak - lokomotíva 841; 1 vozeň;  $v = 119 \text{ km/h}$ , M2*

**LEO Express; 5 vozňov;  $v=144 \text{ km/h}$**

**M1 KSL**

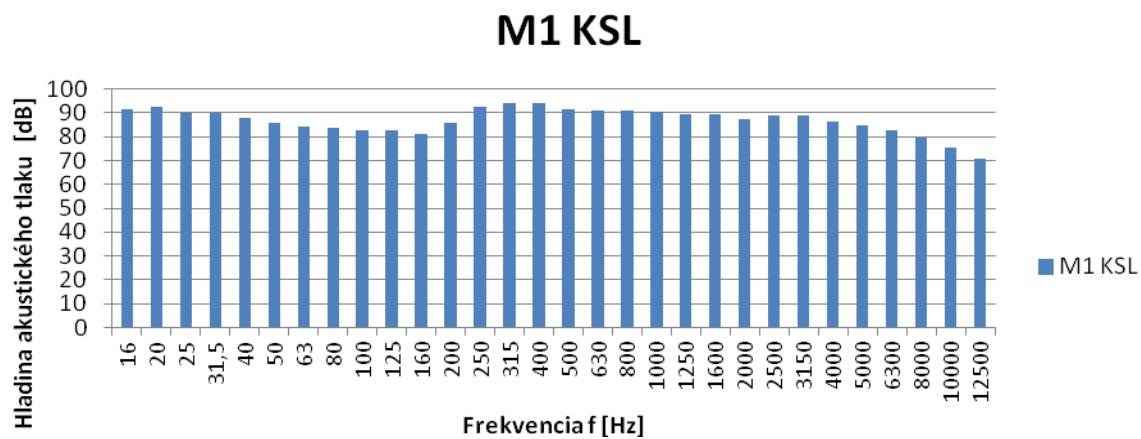


*Graf B.1.3 LEO Express; 5 vozňov;  $v = 144 \text{ km/h}$ ; M1*

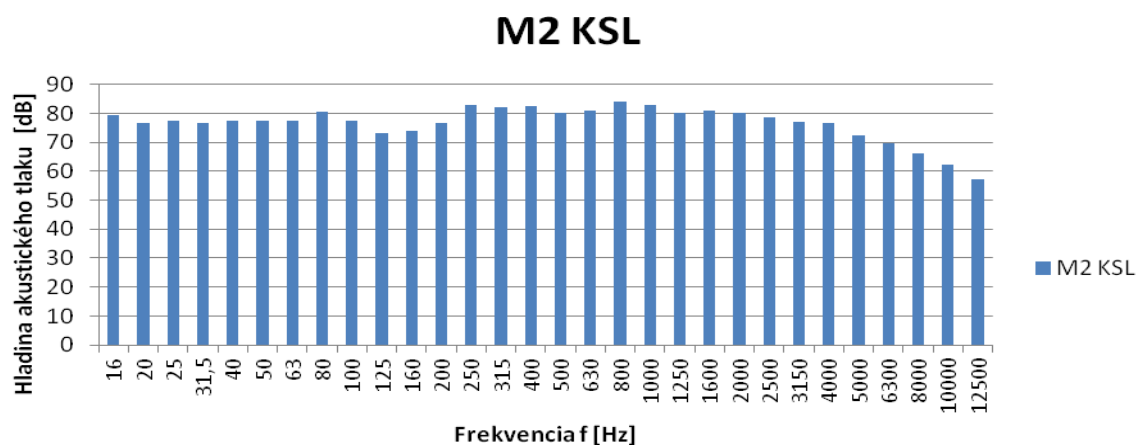


Graf B.1.4 LEO Express; 5 vozňov;  $v = 144 \text{ km/h}$ ; M2

Nákladný vlak; lokomotíva 363; 28 vozňov;  $v = 72 \text{ km/h}$



Graf B.1.5 Nákladný vlak; lokomotíva 363; 28 vozňov;  $v = 72 \text{ km/h}$ ; M1

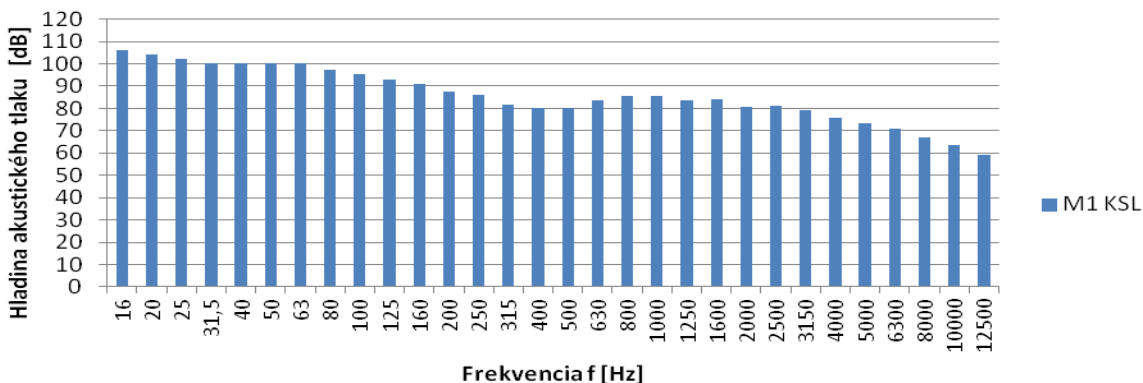


Graf B.1.6 Nákladný vlak; lokomotíva 363; 28 vozňov;  $v = 72 \text{ km/h}$ ; M2



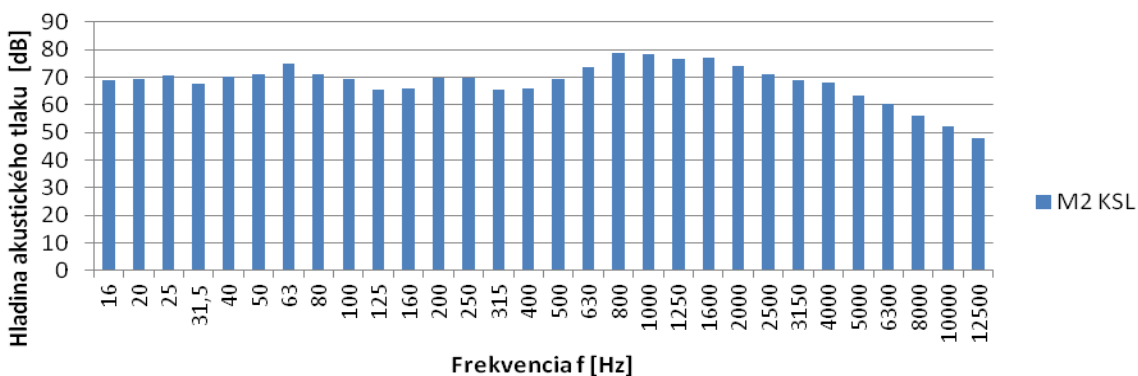
**Rýchlik; lokomotíva 380; 5 vozňov; v = 140 km/h**

**M1 KSL**



*Graf B.1.7 Rýchlik; lokomotíva 380; 5 vozňov; v = 72 km/h; M1*

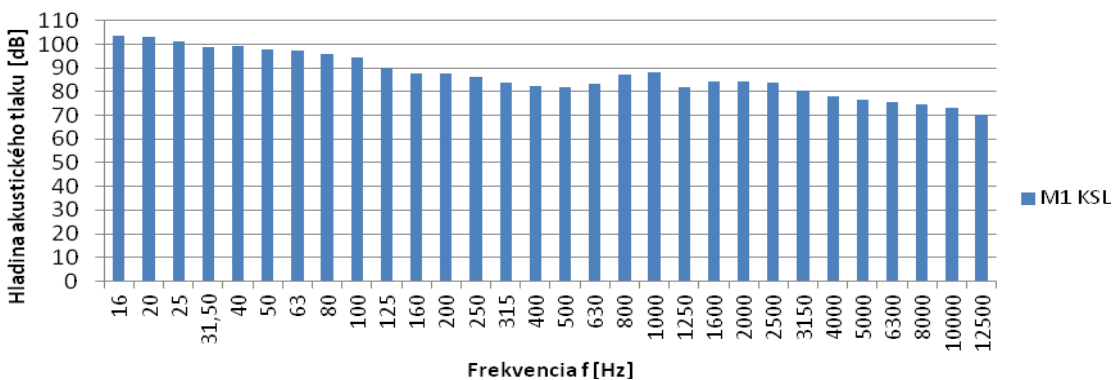
**M2 KSL**



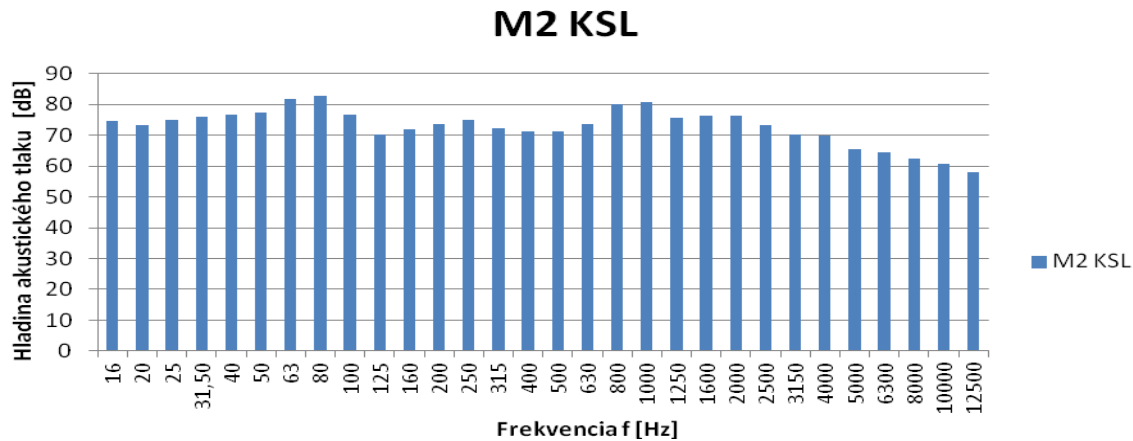
*Graf B.1.8 Rýchlik; lokomotíva 380; 5 vozňov; v = 72 km/h; M2*

**SC Pendolino; lokomotíva 681; 7 vozňov; v = 160 km/h**

**M1 KSL**

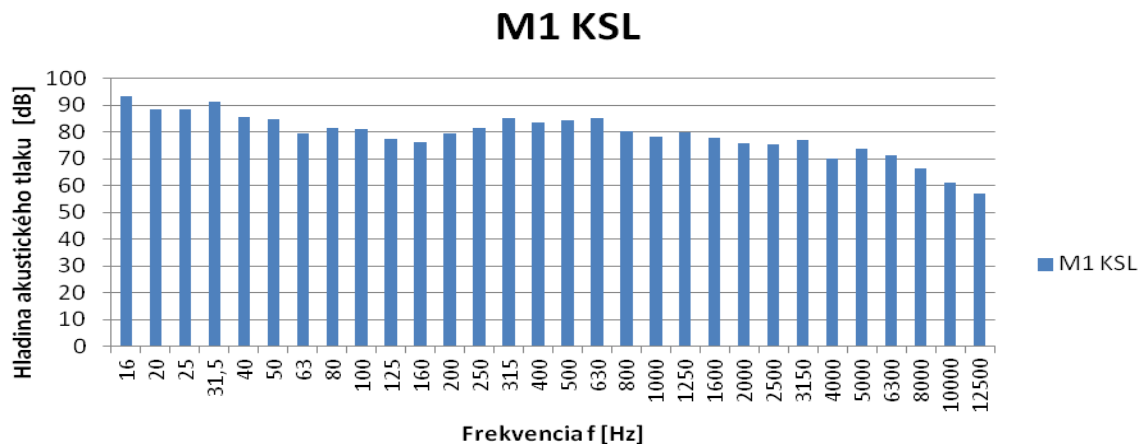


*Graf B1.9 SC Pendolino; lokomotíva 681; 7 vozňov; v = 160 km/h, M1*

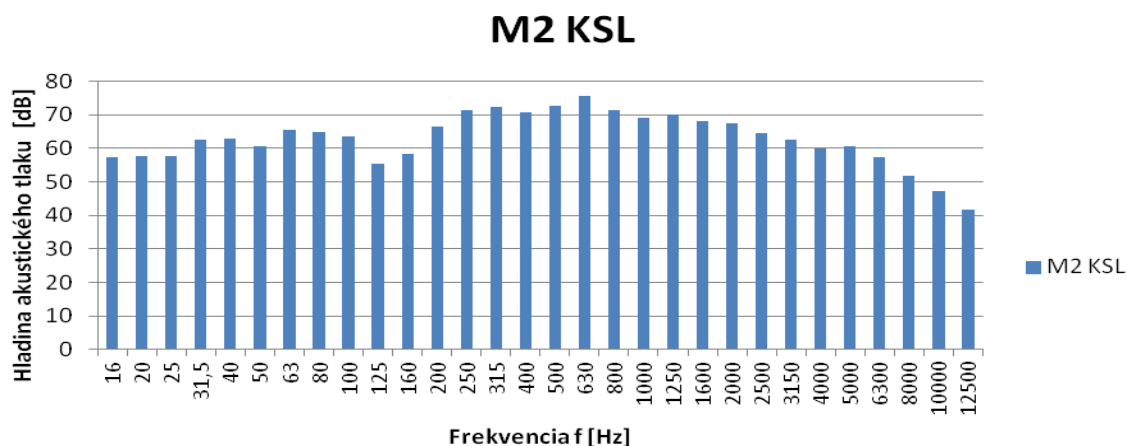


Graf B.1.10 SC Pendolino; lokomotíva 681; 7 vozňov;  $v = 160$  km/h; M2

**Lokomotíva 363; bez vozňov;  $v = 79$  km/h**

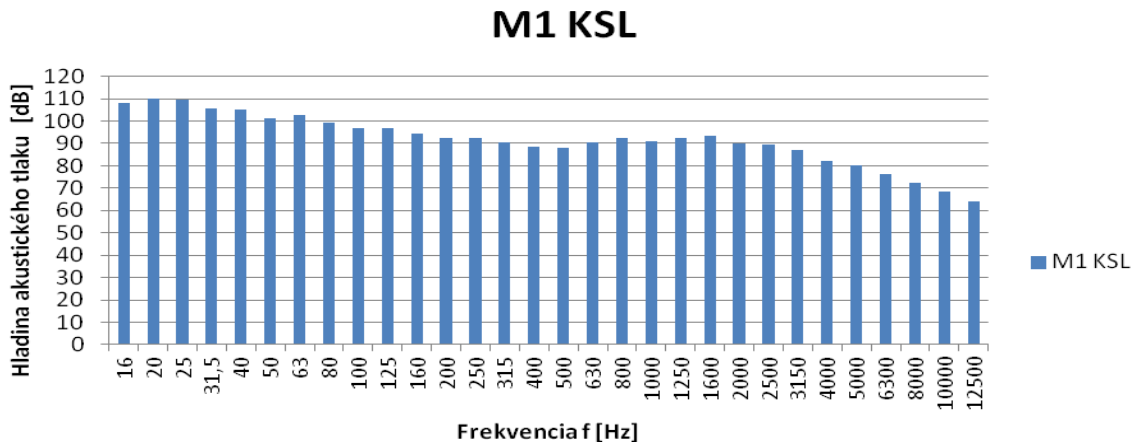


Graf B.1.11 Lokomotíva 363; bez vozňov;  $v = 79$  km/h; M1

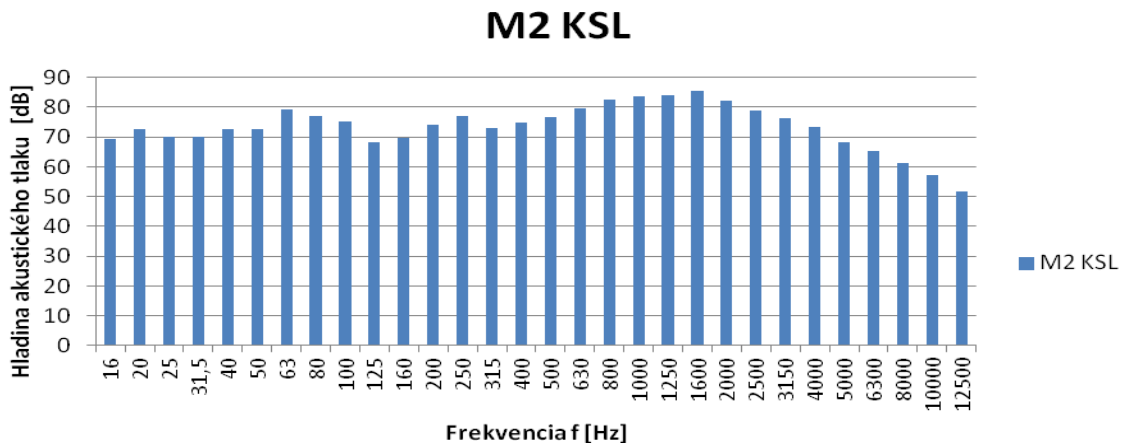


Graf B.1.12 Lokomotíva 363; bez vozňov;  $v = 79$  km/h; M2

**RegioJet; 6 vozňov; v = 137 km/h**

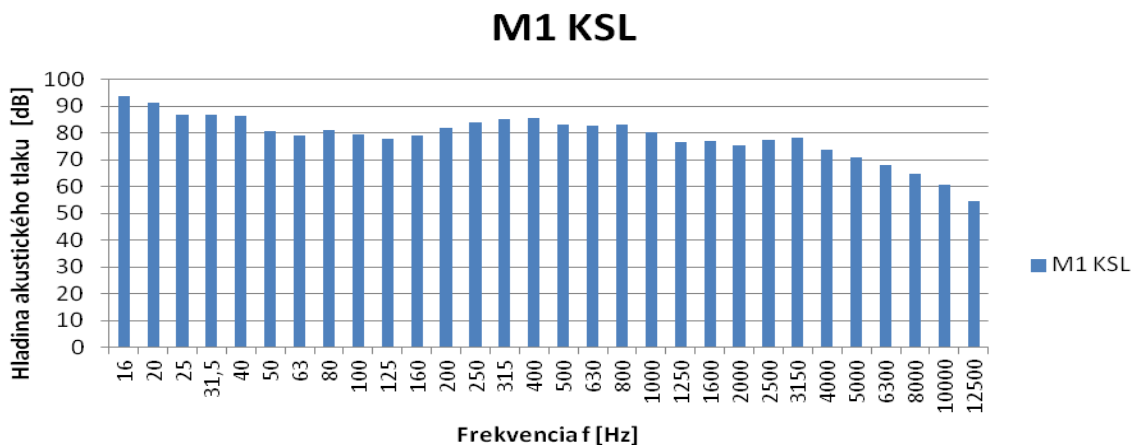


*Graf B.1.13 RegioJet; 6 vozňov; v = 137 km/h; M1*

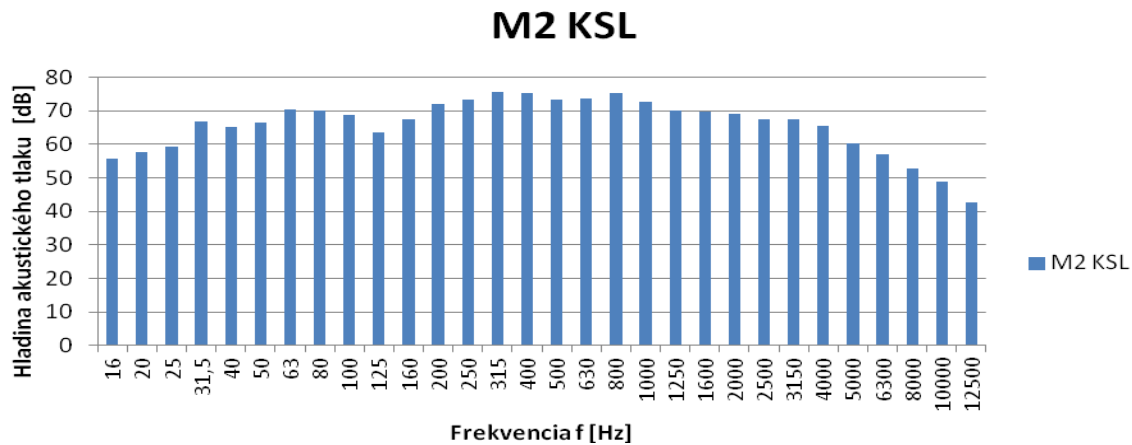


*Graf B.1.14 RegioJet; 6 vozňov; v = 137 km/h; M2*

**Nákladný vlak; lokomotíva 130; 6 vozňov; v = 70 km/h**

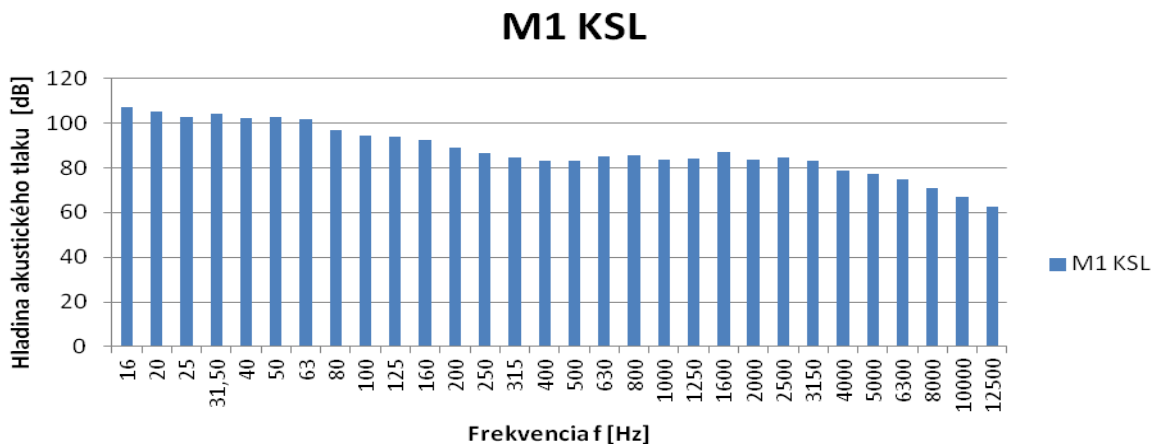


*Graf B.1.15 Nákladný vlak; lokomotíva 130; 6 vozňov; v = 70 km/h; M1*

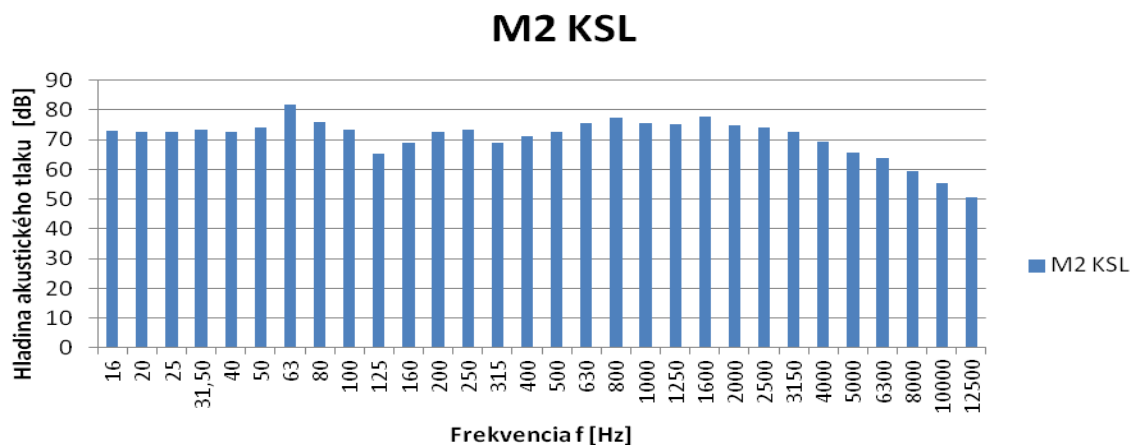


Graf B.1.16 Nákladný vlak; lokomotíva 130; 6 vozňov;  $v = 70$  km/h; M2

**Rýchlik; lokomotíva 151; 5 vozňov;  $v = 141$  km/h**

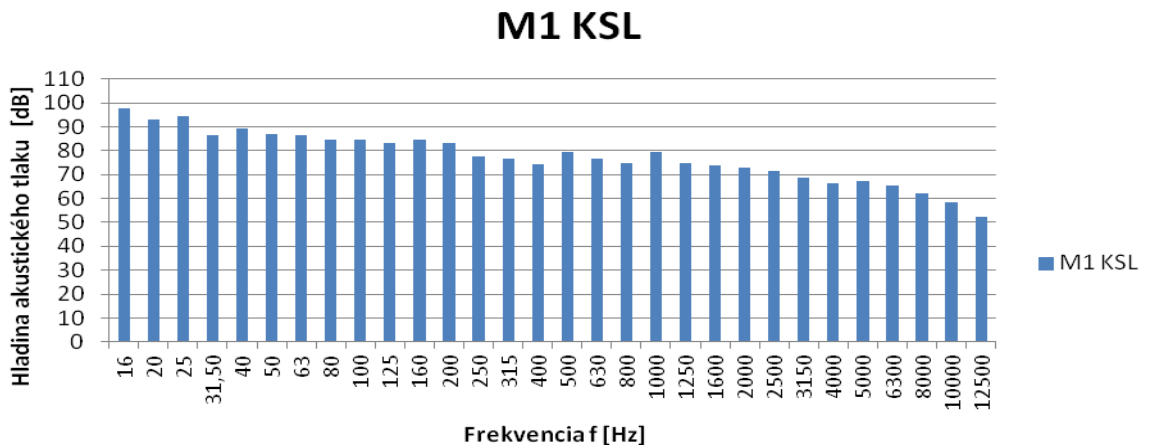


Graf B.1.17 Rýchlik; lokomotíva 151; 5 vozňov;  $v = 141$  km/h; M1

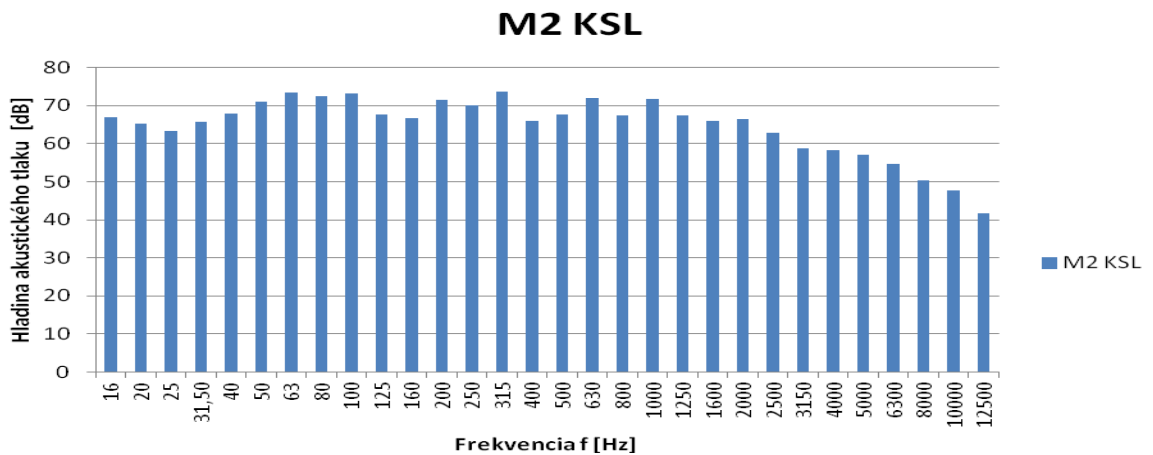


Graf B.1.18 Rýchlik; lokomotíva 151; 5 vozňov;  $v = 141$  km/h; M2

**Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň;  $v = 119 \text{ km/h}$**

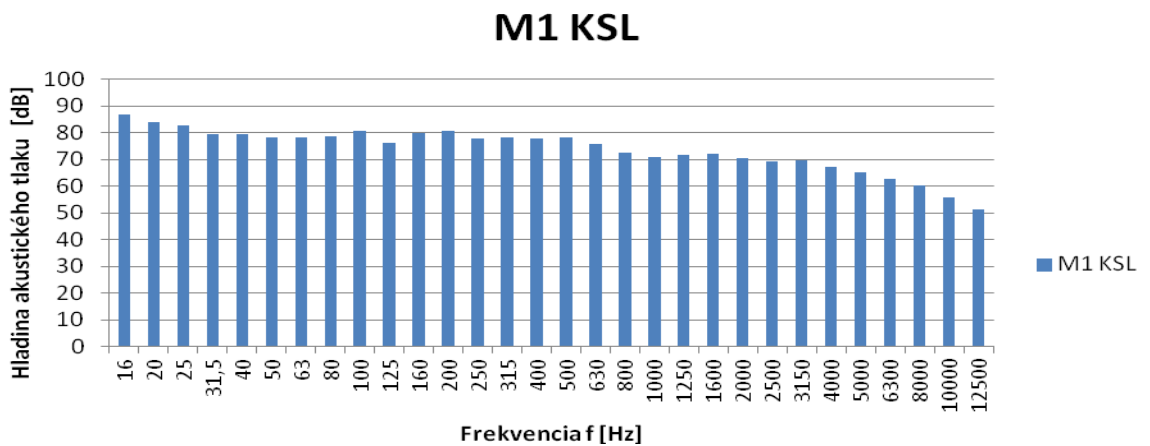


*Graf B.1.19 Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň;  $v = 119 \text{ km/h}$ ; M1*

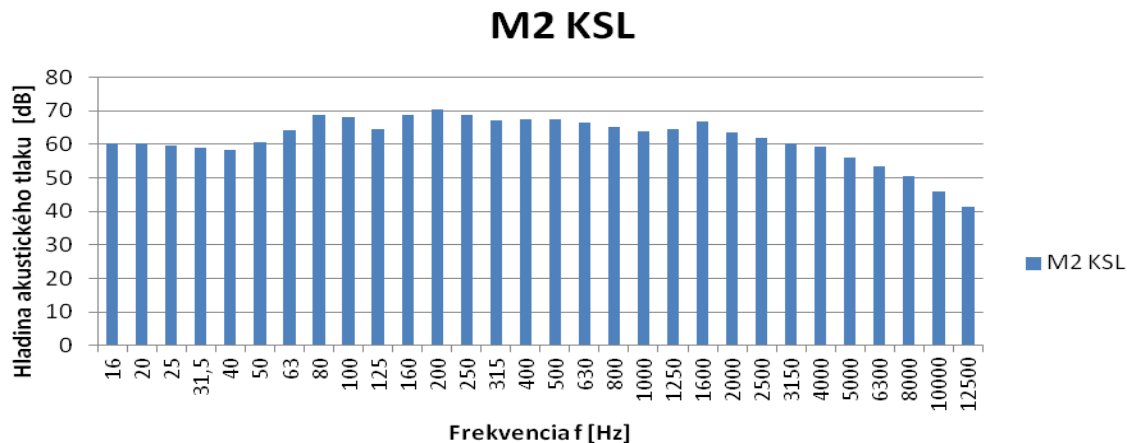


*Graf B.1.20 Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň;  $v = 119 \text{ km/h}$ ; M2*

**Nákladný vlak; lokomotíva 363; 38 vozňov;  $v = 60 \text{ km/h}$**

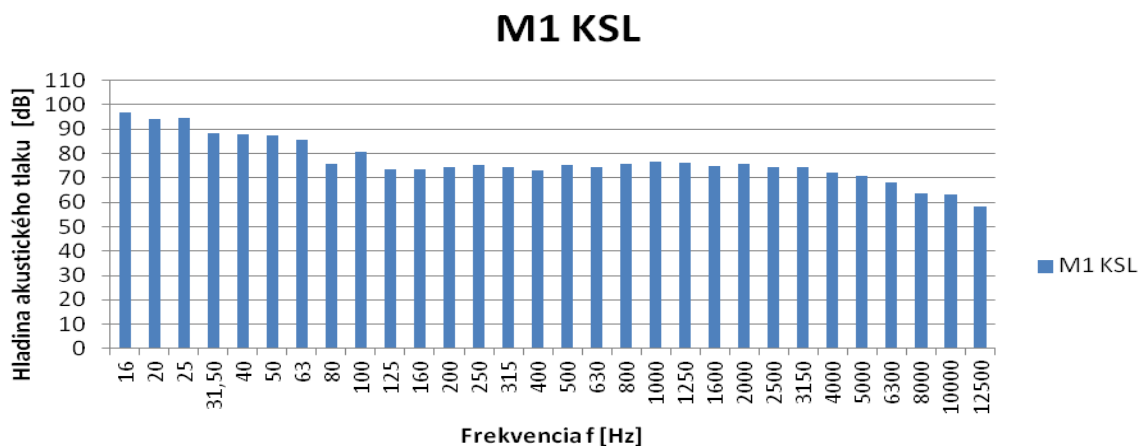


*Graf B.1.21 Nákladný vlak; lokomotíva 363; 38 vozňov;  $v = 60 \text{ km/h}$ ; M1*

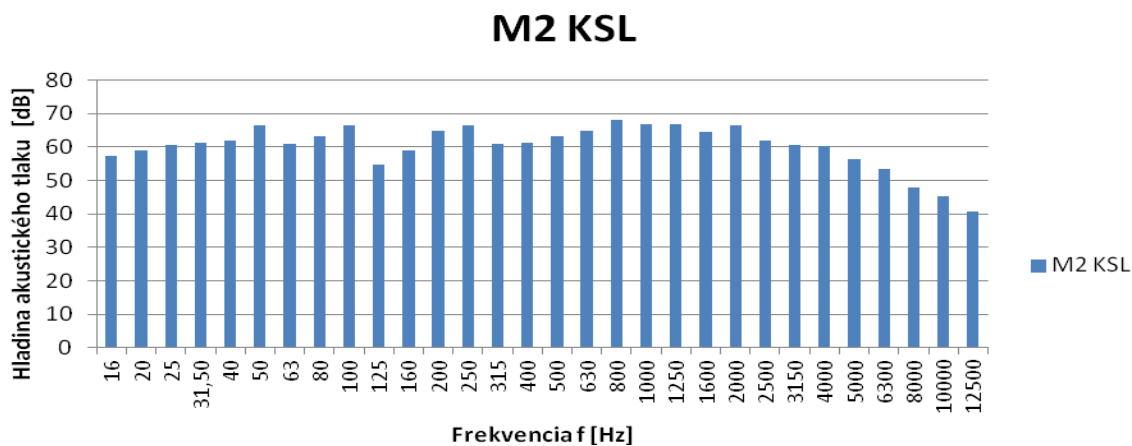


Graf B.1.22 Nákladný vlak; lokomotíva 363; 38 vozňov;  $v = 60$  km/h; M2

**Osobný vlak; lokomotíva 810; 1 vozeň;  $v = 85$  km/h**

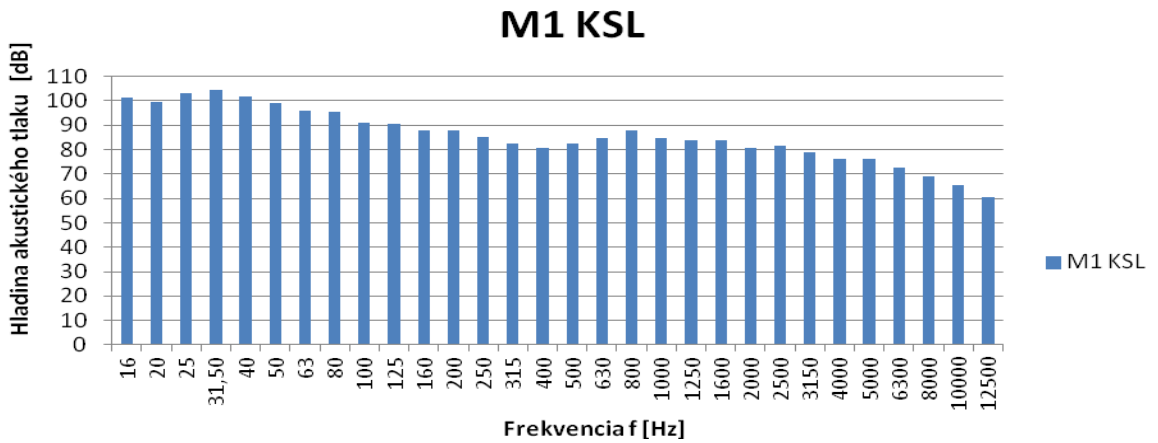


Graf B.1.23 Osobný vlak; lokomotíva 810; 1 vozeň;  $v = 85$  km/h; M1

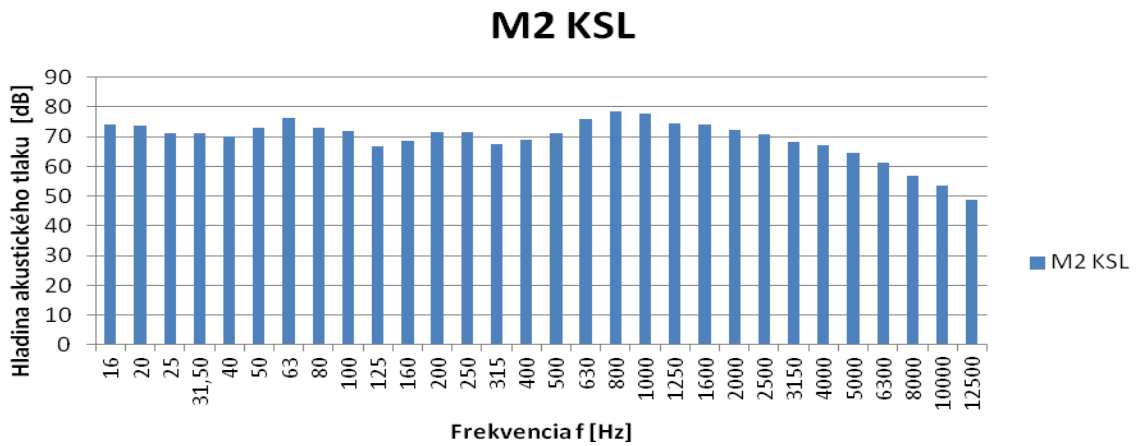


Graf B.1.24 Osobný vlak; lokomotíva 810; 1 vozeň;  $v = 85$  km/h; M2

**Rýchlik; lokomotíva 380; 8 vozňov; v = 133 km/h**

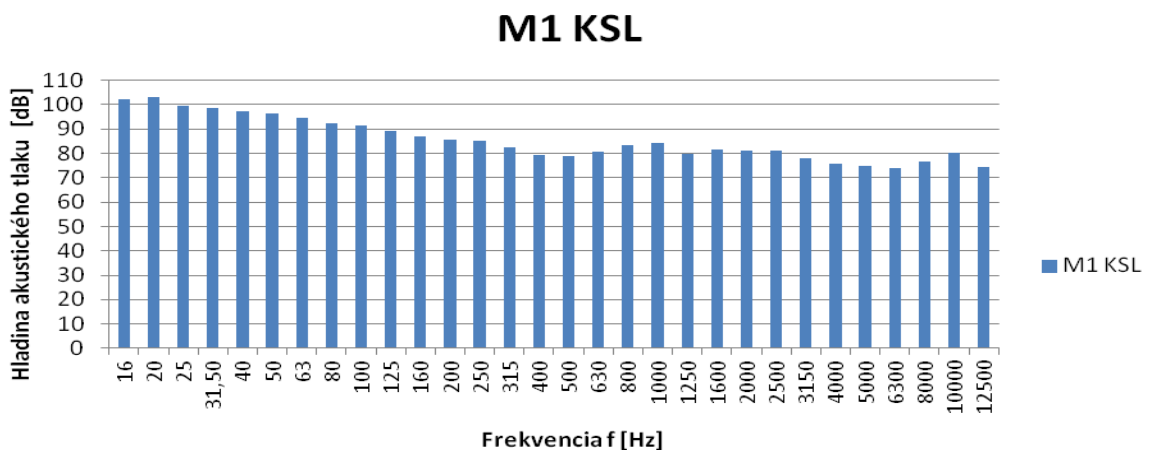


*Graf B.1.25 Rýchlik; lokomotíva 380; 8 vozňov; v = 133 km/h; M1*

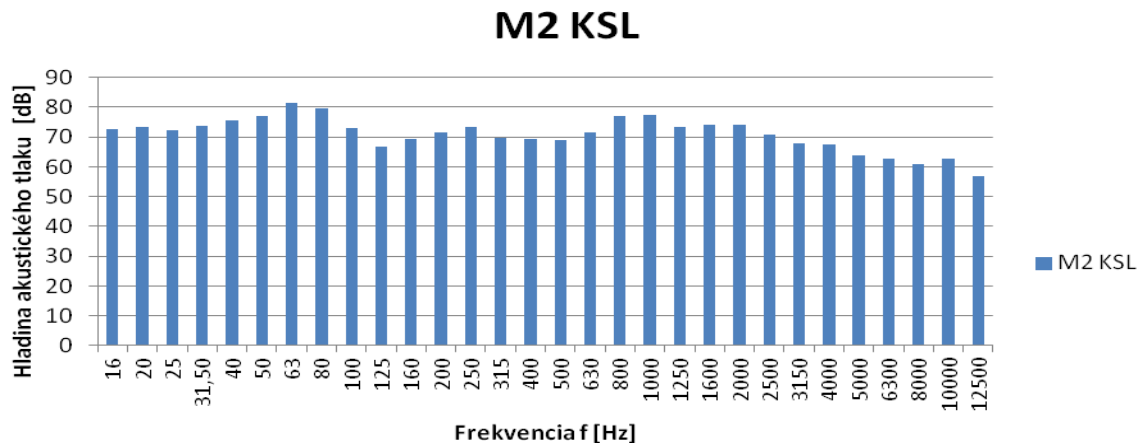


*Graf B.1.26 Rýchlik; lokomotíva 380; 8 vozňov; v = 133 km/h; M2*

**SC Pendolino; lokomotíva 681; 7 vozňov; v = 161 km/h**

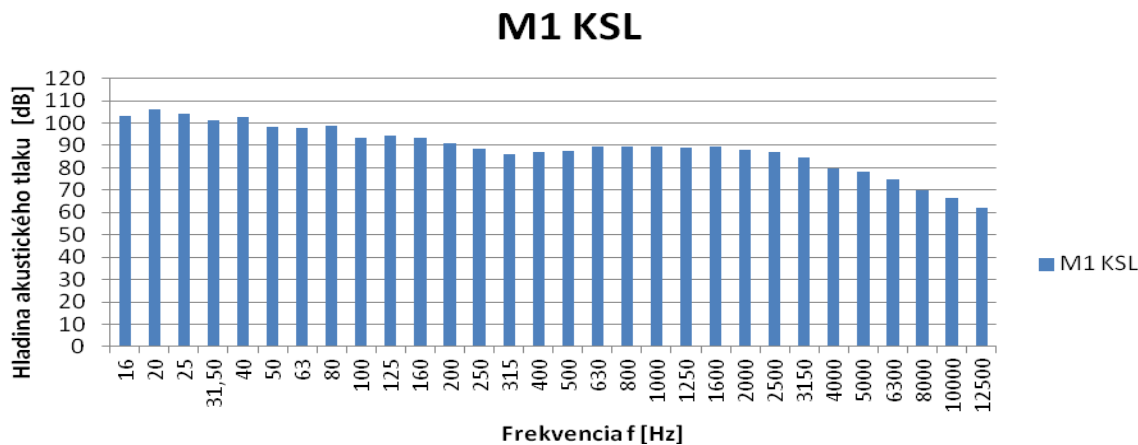


*Graf B.1.27 SC Pendolino; lokomotíva 681; 7 vozňov; v = 161 km/h; M1*

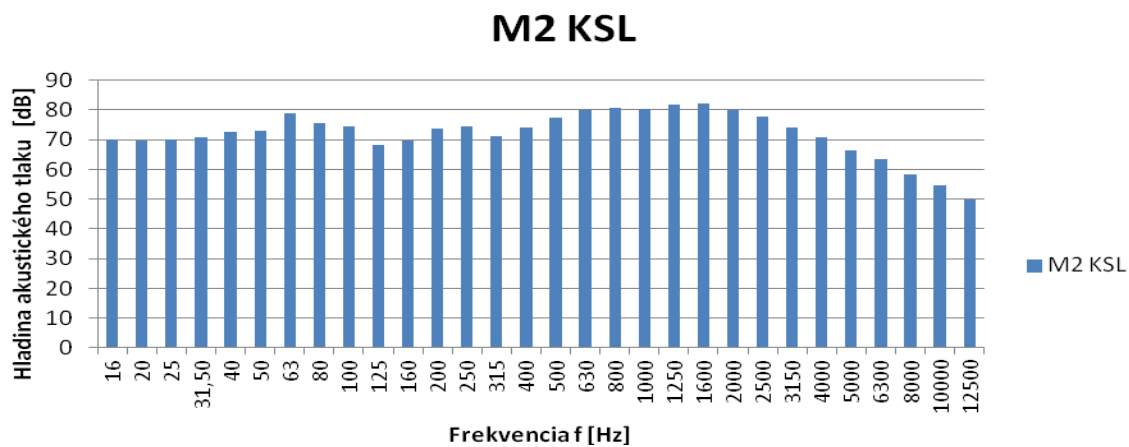


*Graf B.1.28 SC Pendolino; lokomotíva 681; 7 vozňov; v = 161 km/h; M2*

**RegioJet; 7 vozňov; v = 139 km/h**



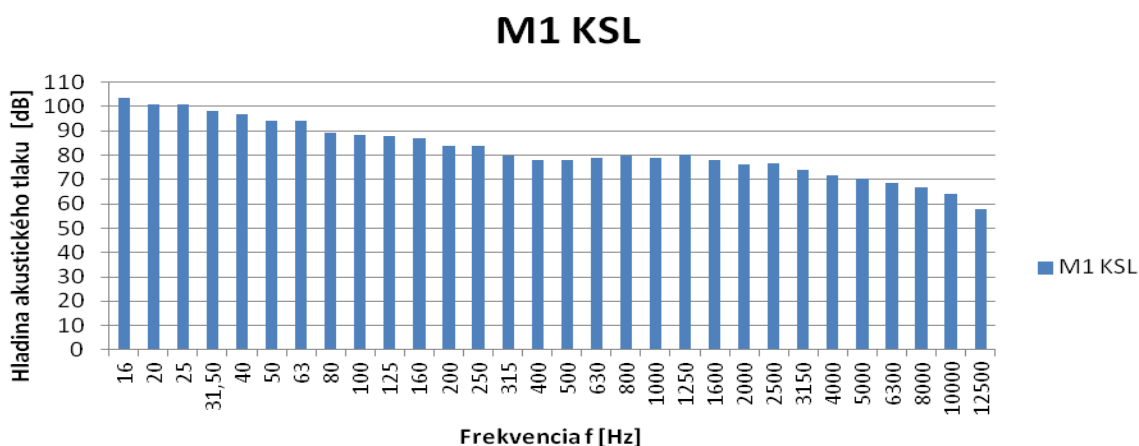
*Graf B.1.29 RegioJet; 7 vozňov; v = 139 km/h; M1*



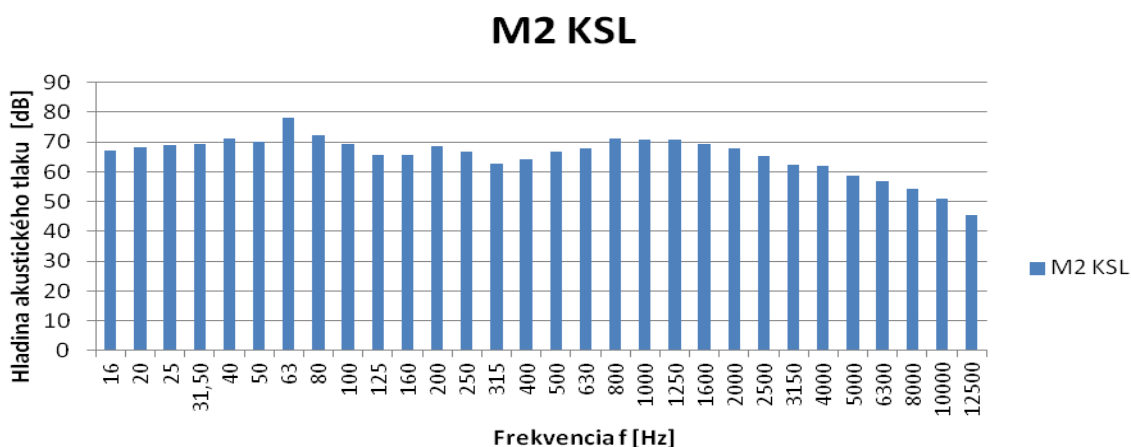
*Graf B.1.30 RegioJet; 7 vozňov; v = 139 km/h; M2*



LEO Express; 5 vozňov; v=139 km/h

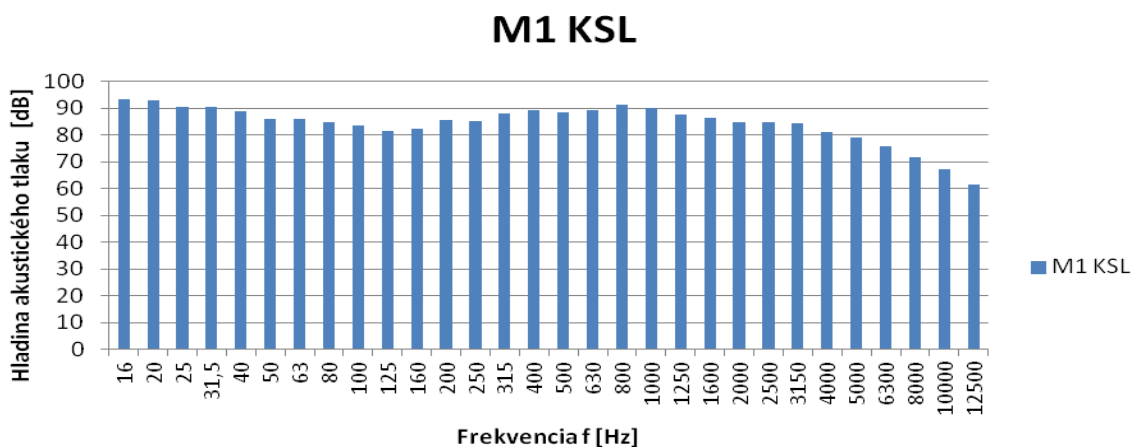


Graf B.1.31 LEO Express; 5 vozňov; v=139 km/h;M1

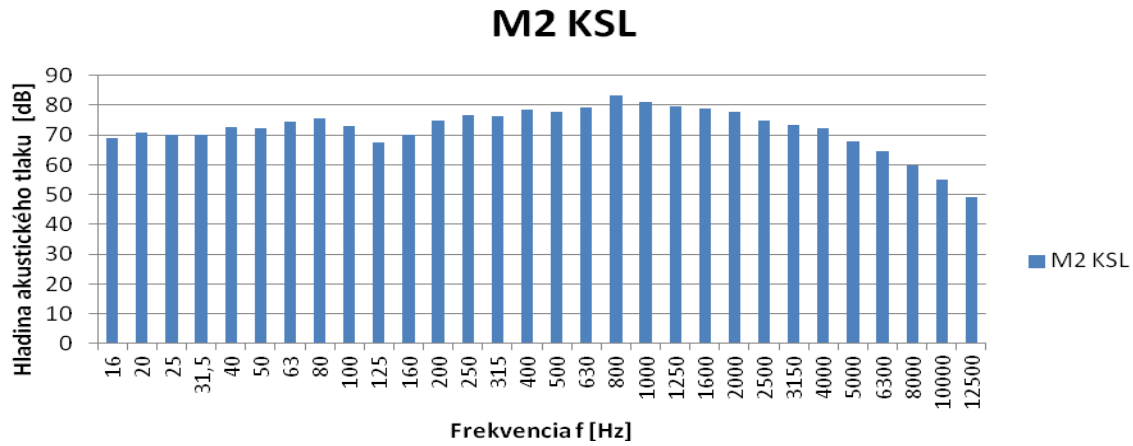


Graf B.1.32 LEO Express; 5 vozňov; v=139 km/h;M2

Nákladný vlak; lokomotíva 363; 28 vozňov; v = 79 km/h

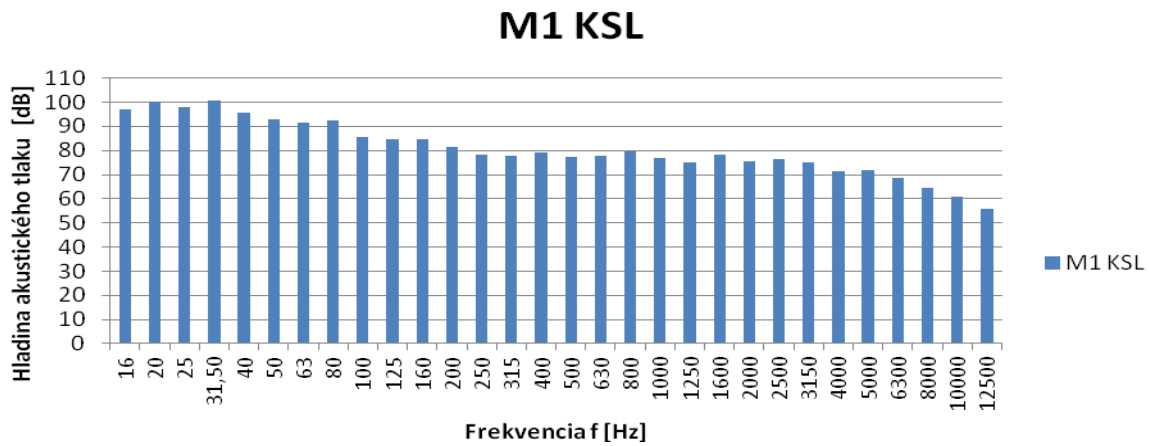


Graf B.1.33 Nákladný vlak; lokomotíva 363; 28 vozňov; v = 79 km/h; M1

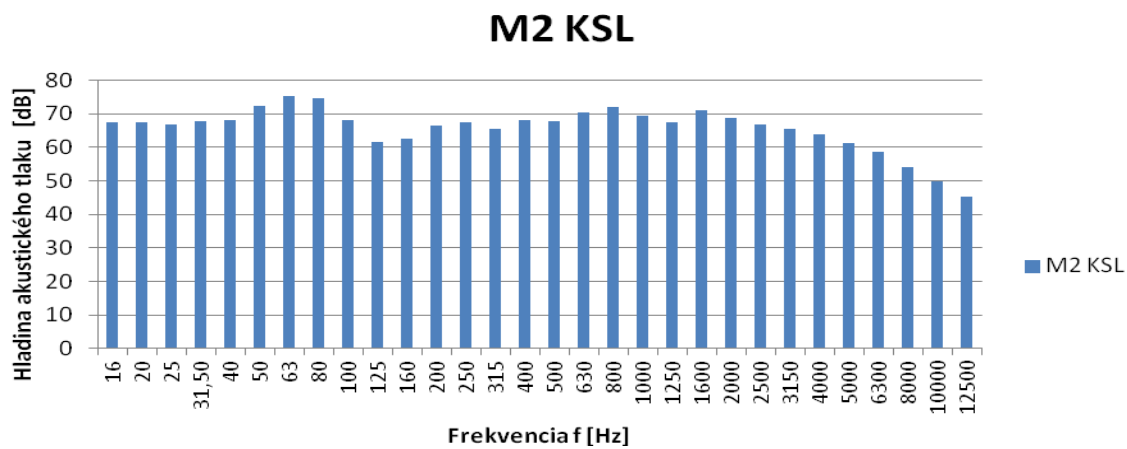


Graf B.1.34 Nákladný vlak; lokomotíva 363; 28 vozňov;  $v = 79$  km/h; M2

Rýchlik; lokomotíva 151; 4 vozne;  $v = 130$  km/h



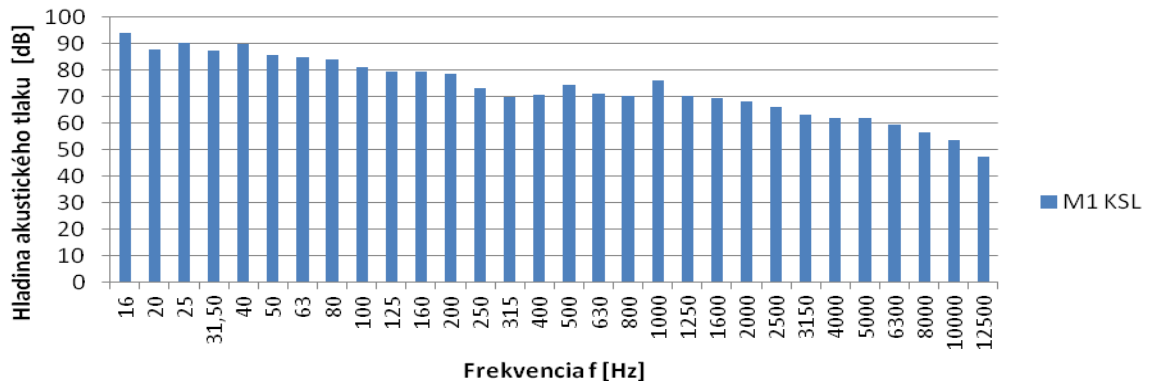
Graf B.1.35 Rýchlik; lokomotíva 151; 4 vozne;  $v = 130$  km/h; M1



Graf B.1.36 Rýchlik; lokomotíva 151; 4 vozne;  $v = 130$  km/h; M2

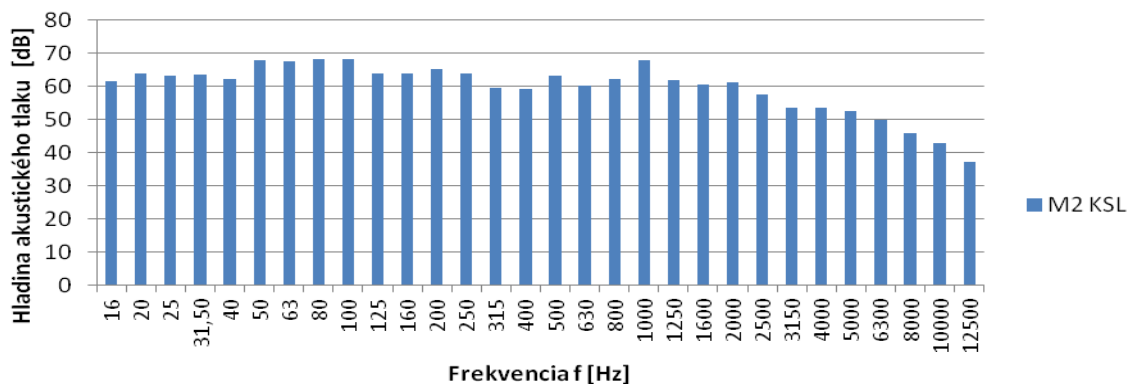
**Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň;  $v = 120 \text{ km/h}$**

**M1 KSL**



*Graf B.1.37 Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň;  $v = 120 \text{ km/h}$ ; M1*

**M2 KSL**



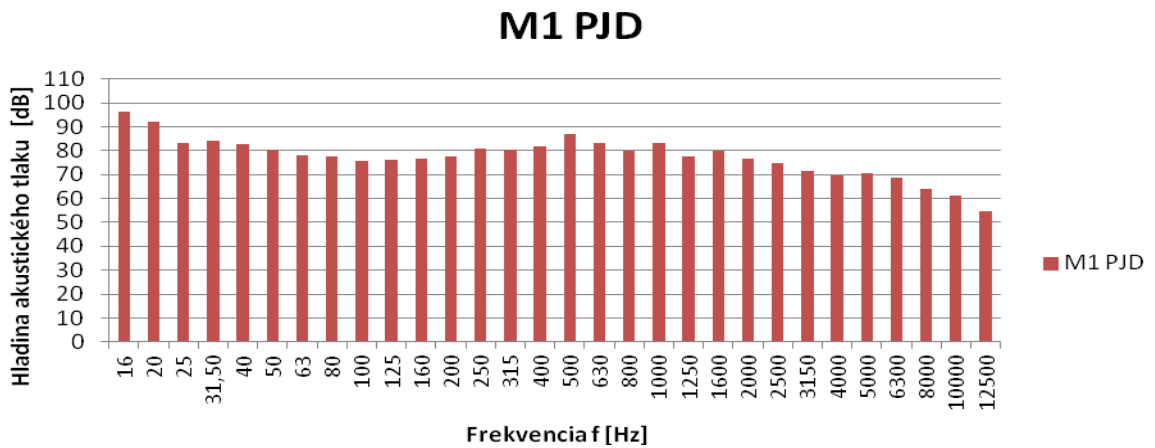
*Graf B.1.38 Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň;  $v = 120 \text{ km/h}$ ; M2*

# **PRÍLOHA B.2**

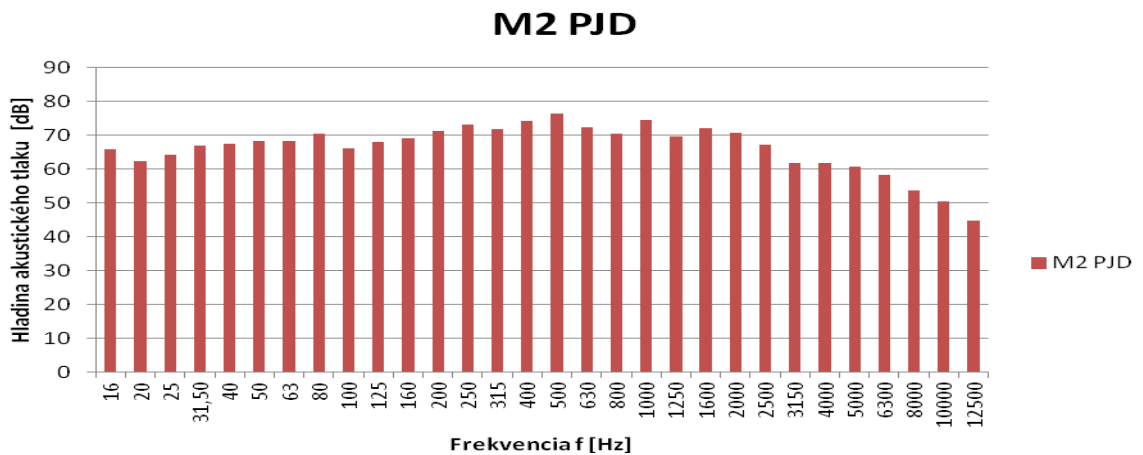
TRETINOOKTÁVOVÁ ANALÝZA PREMERNÝCH HLADÍN  
AKUSTICKEHO TLAKU

Úsek s pevnou jazdnou dráhou

**Nákladný vlak; lokomotíva 123; 28 vozňov; v = 78 km/h**

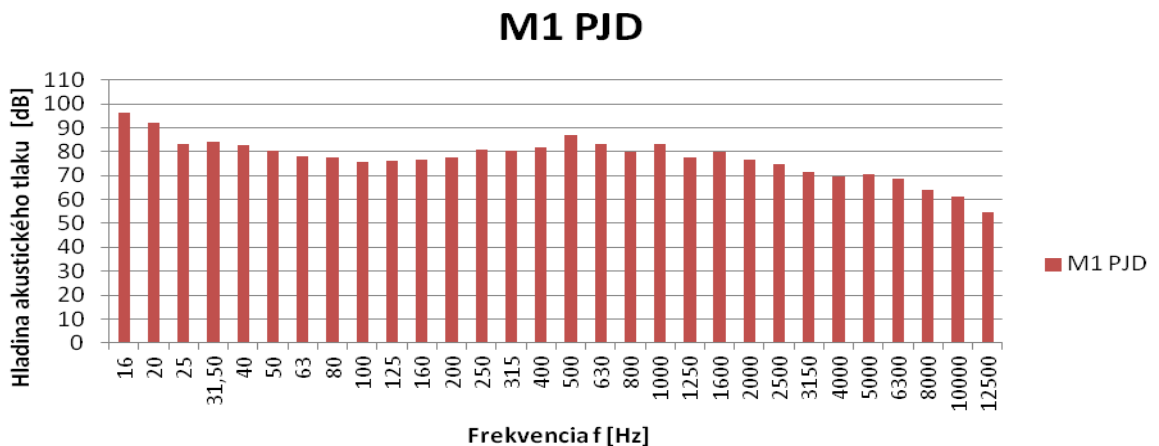


*Graf B.2.1 Nákladný vlak; lokomotíva 123; 28 vozňov; v = 78 km/h; M1*

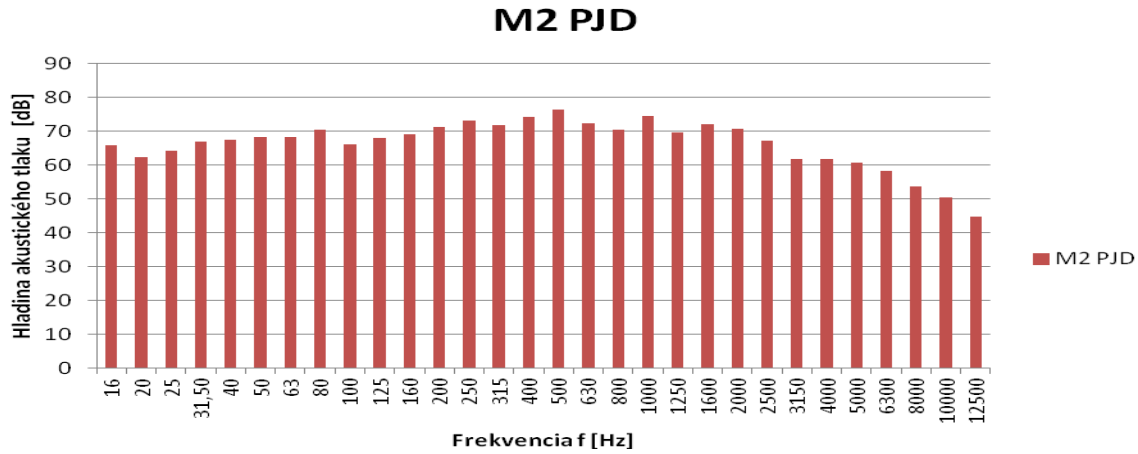


*Graf B.2.2 Nákladný vlak; lokomotíva 123; 28 vozňov; v = 78 km/h; M2*

**Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň; v = 110 km/h**

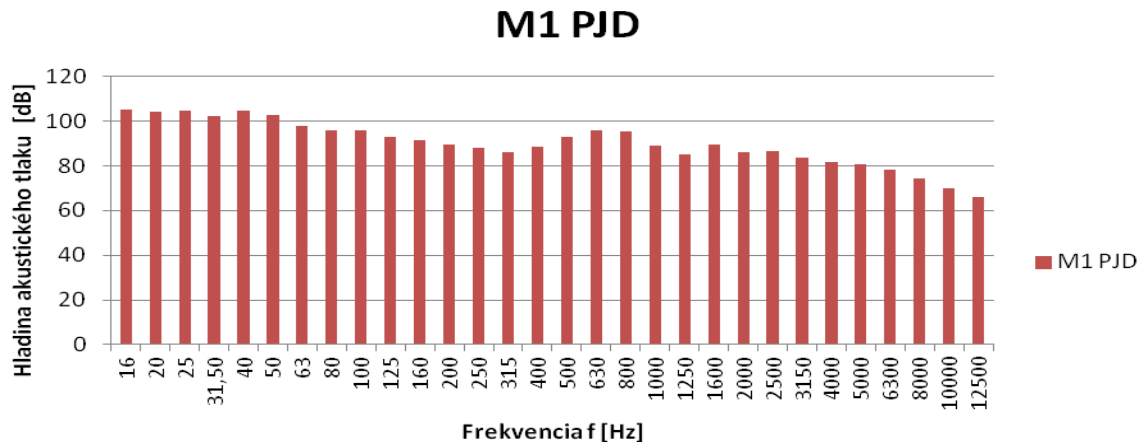


*Graf B.2.3 Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň; v = 110 km/h; M1*

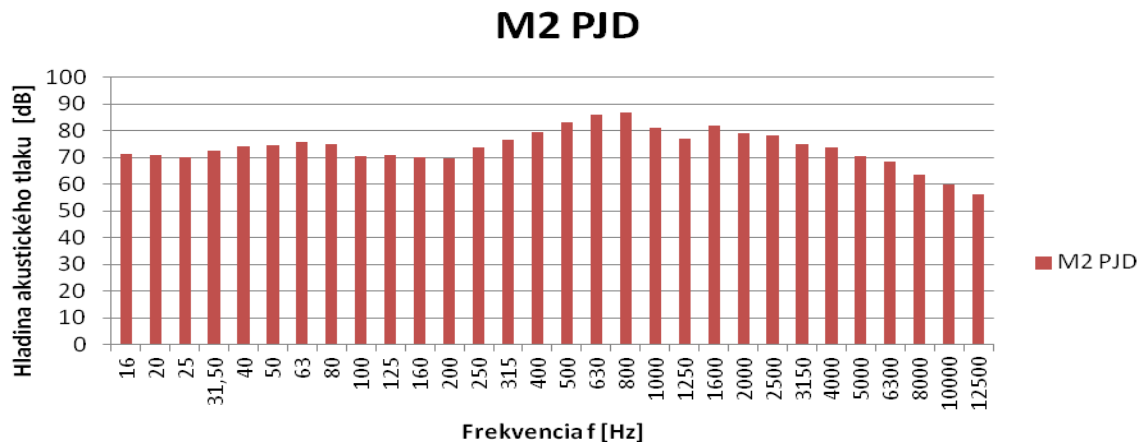


Graf B.2.4 Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň;  $v = 110$  km/h; M2

Rýchlik; lokomotíva 151; 4 vozne;  $v = 127$  km/h

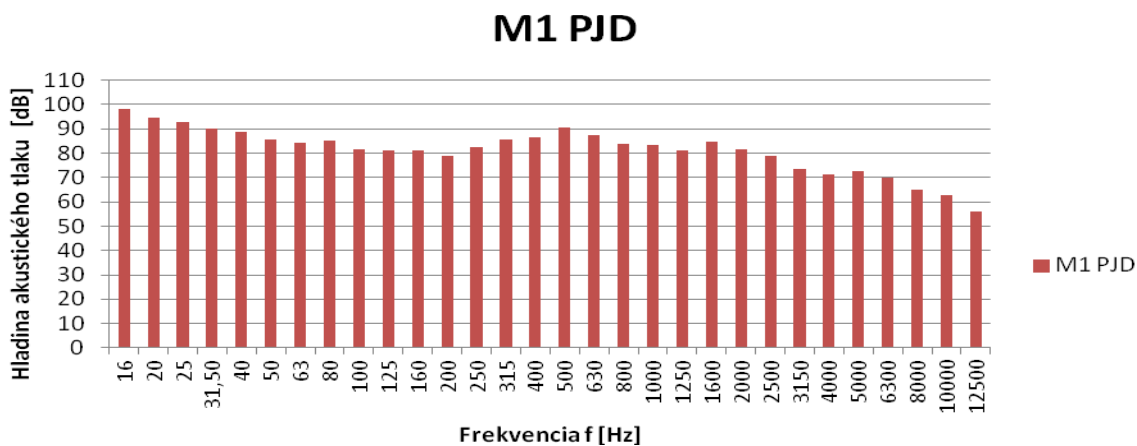


Graf B.2.5 Rýchlik; lokomotíva 151; 4 vozne;  $v = 127$  km/h; M1

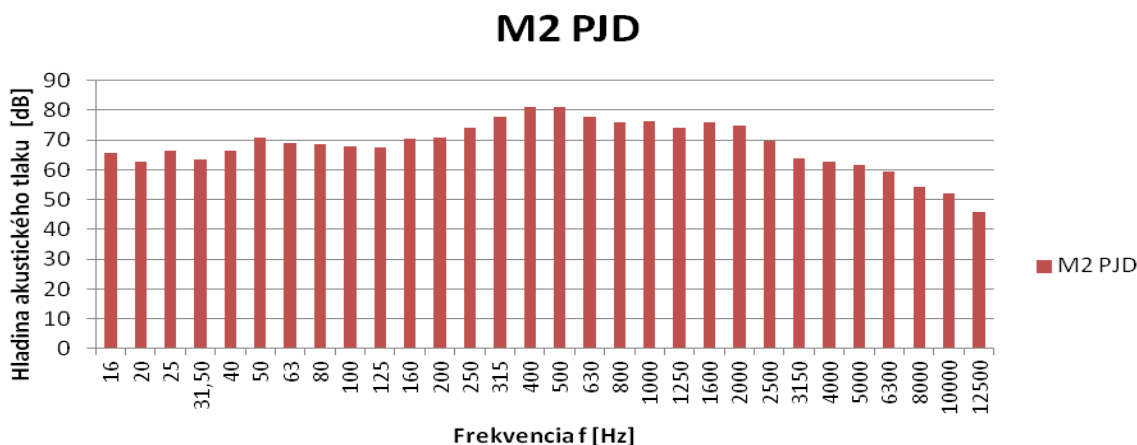


Graf B.2.6 Rýchlik; lokomotíva 151; 4 vozne;  $v = 127$  km/h; M2

Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň;  $v = 111 \text{ km/h}$

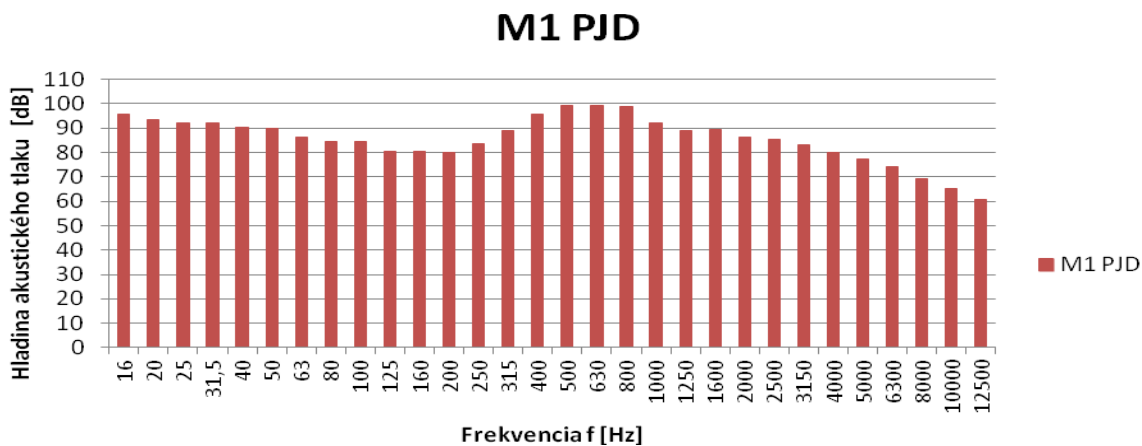


Graf B.2.7 Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň;  $v = 111 \text{ km/h}$ ; M1

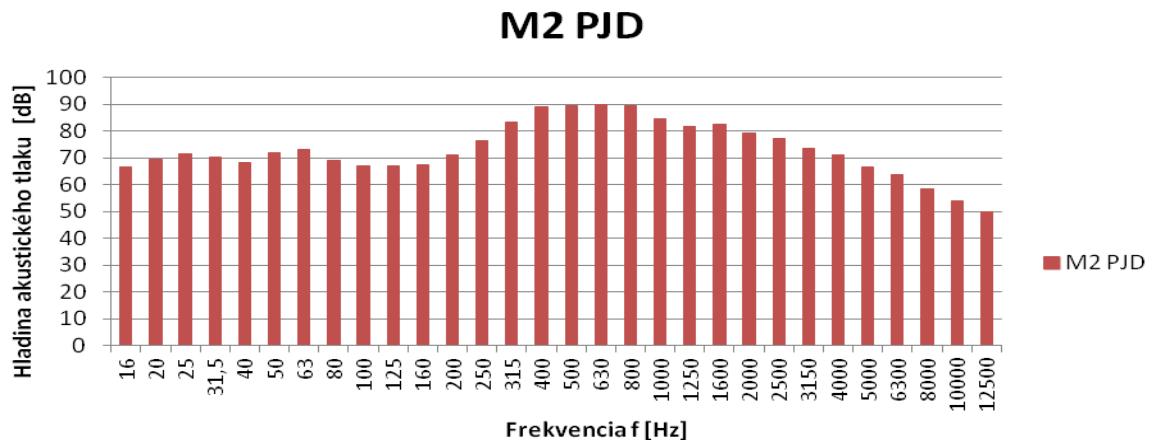


Graf B.2.8 Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň;  $v = 111 \text{ km/h}$ ; M2

Nákladný vlak; lokomotíva 122; 38 vozňov;  $v = 77 \text{ km/h}$

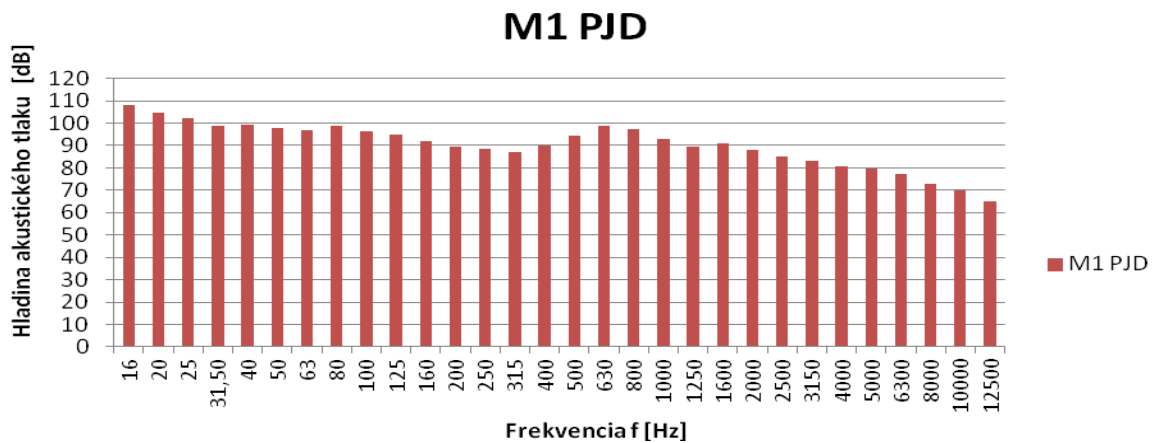


Graf B.2.9 Nákladný vlak; lokomotíva 122; 38 vozňov;  $v = 77 \text{ km/h}$ ; M1

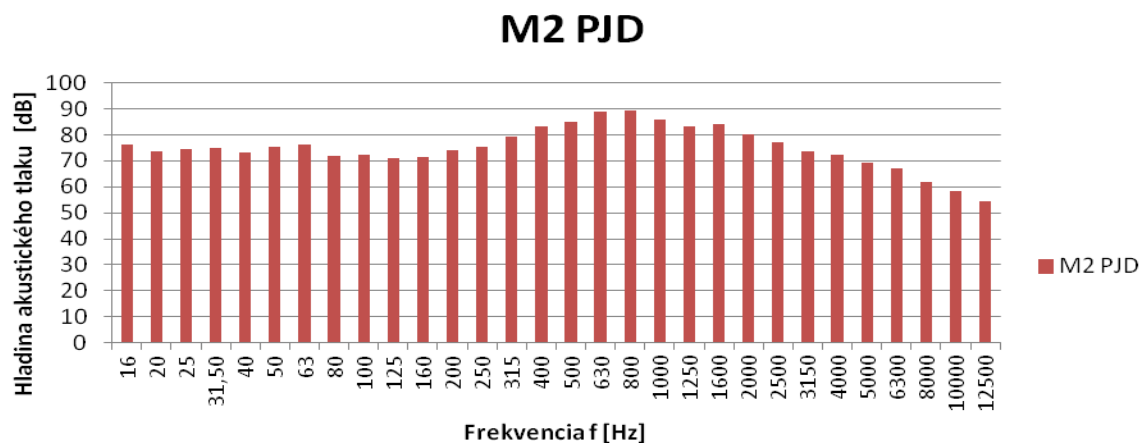


Graf B.2.10 Nákladný vlak; lokomotíva 122; 38 vozňov;  $v = 77$  km/h; M2

**Rýchlik; lokomotíva 380; 8 vozňov;  $v = 132$  km/h**



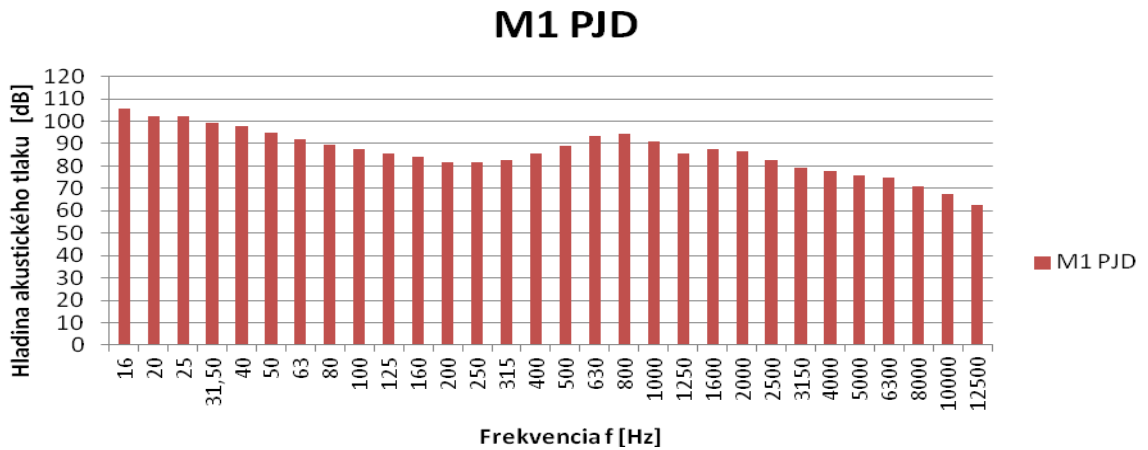
Graf B.2.11 Rýchlik; lokomotíva 380; 8 vozňov;  $v = 132$  km/h; M1



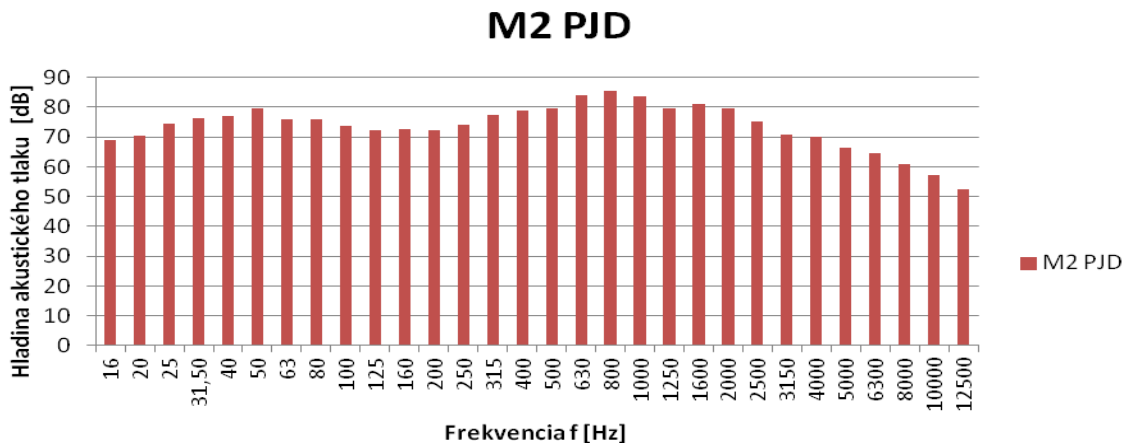
Graf B.2.12 Rýchlik; lokomotíva 380; 8 vozňov;  $v = 132$  km/h; M2



**SC Pendolino; lokomotíva 681; 7 vozňov; v = 133 km/h**

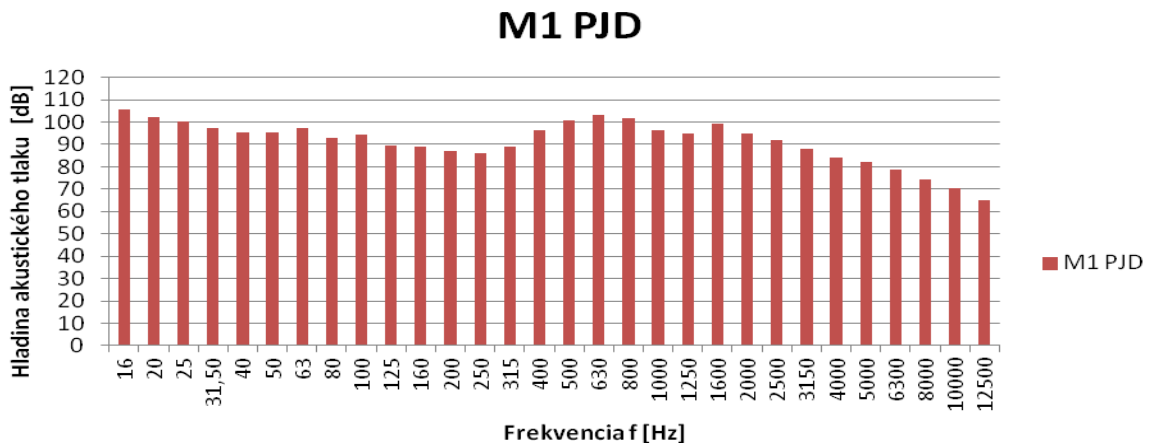


*Graf B.2.13 SC Pendolino; lokomotíva 681; 7 vozňov; v = 133 km/h; M1*

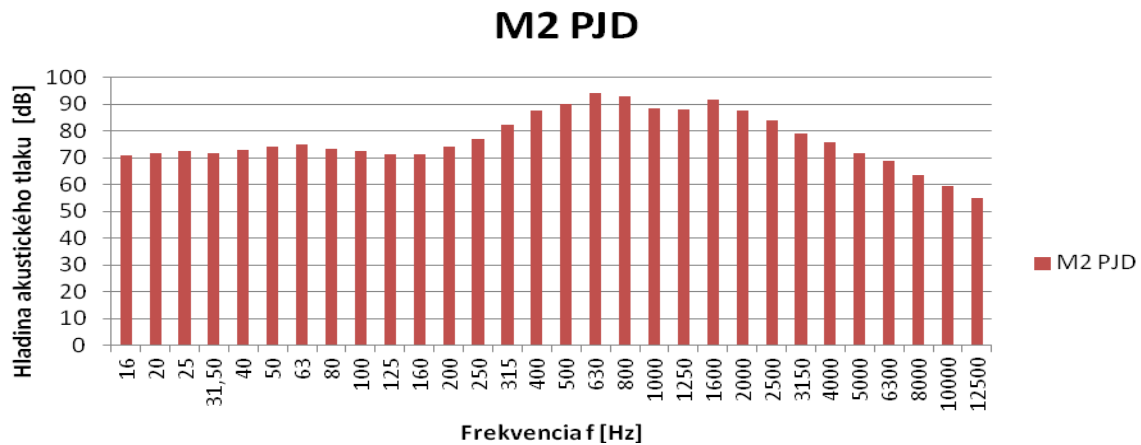


*Graf B.2.14 SC Pendolino; lokomotíva 681; 7 vozňov; v = 133 km/h; M2*

**RegioJet; 7 vozňov; v = 116 km/h**

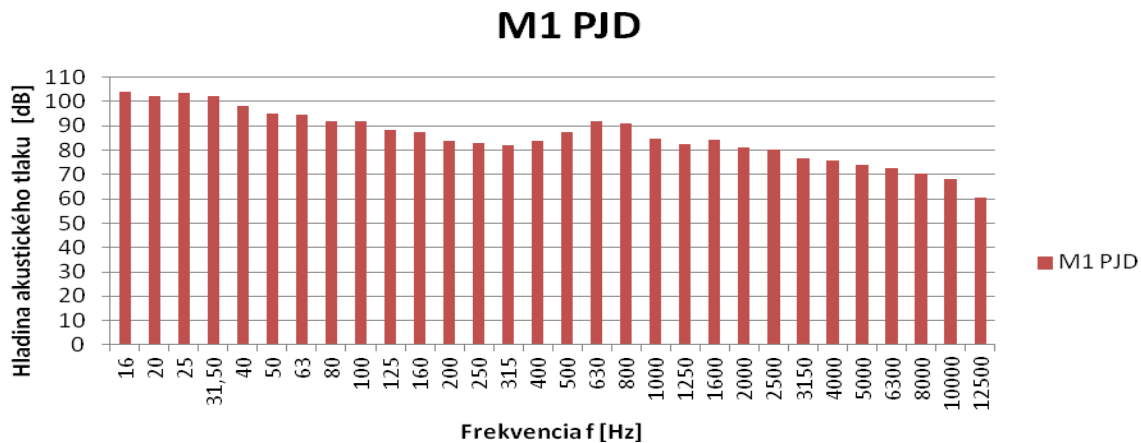


*Graf B.2.15 RegioJet; 7 vozňov; v = 116 km/h; M1*

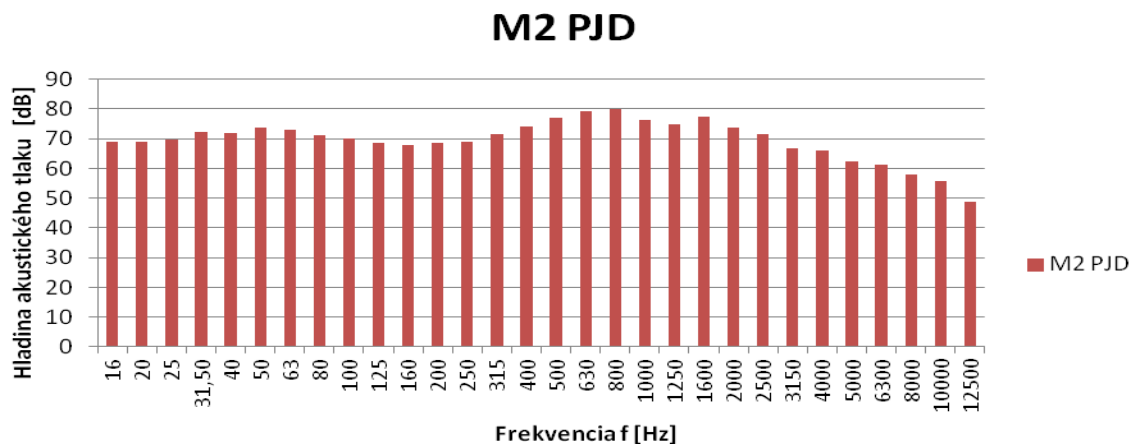


*Graf B.2.16 RegioJet; 7 vozňov; v = 116 km/h; M2*

**LEO Express; 5 vozňov; v=113 km/h**

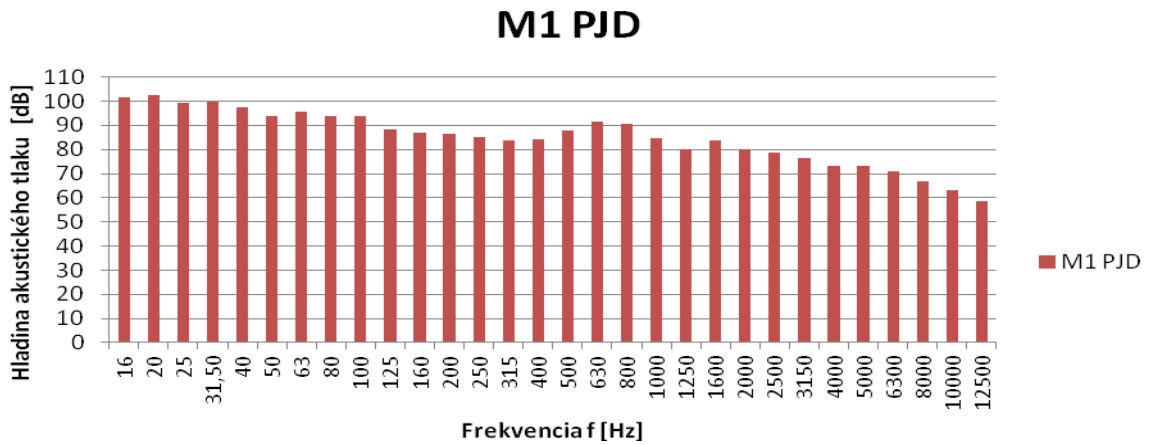


*Graf B.2.17 LEO Express; 5 vozňov; v=113 km/h; M1*

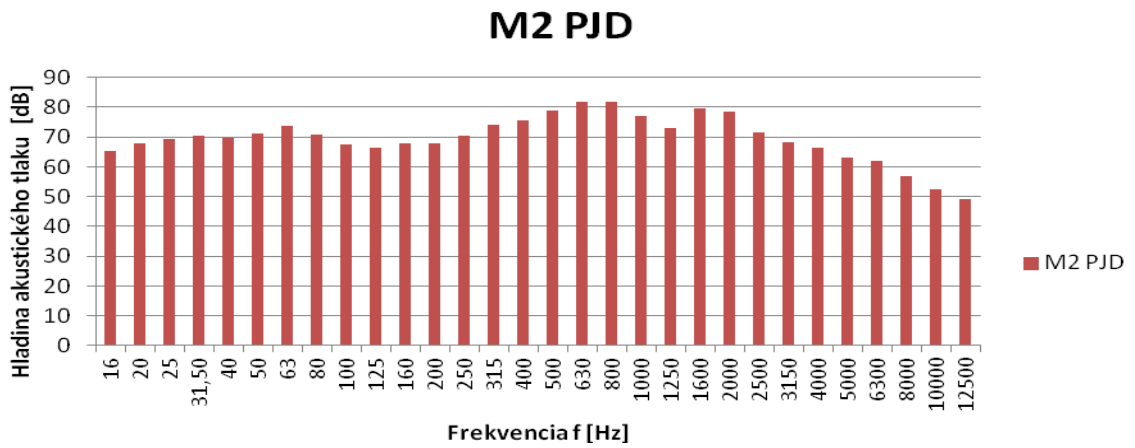


*Graf B.2.18 LEO Express; 5 vozňov; v=113 km/h; M2*

**Rýchlik; lokomotíva 151; 4 vozne; v = 114 km/h**

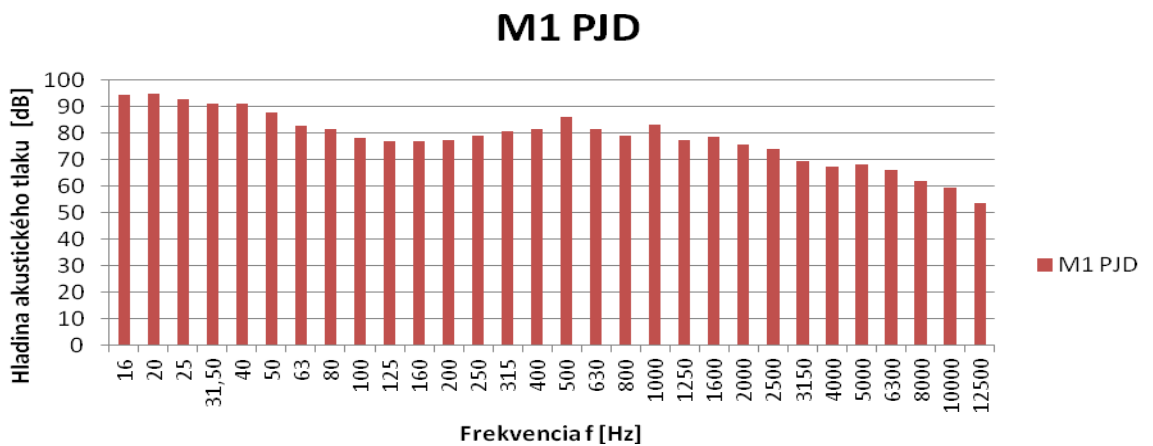


*Graf B.2.19 Rýchlik; lokomotíva 151; 4 vozne; v = 114 km/h; M1*

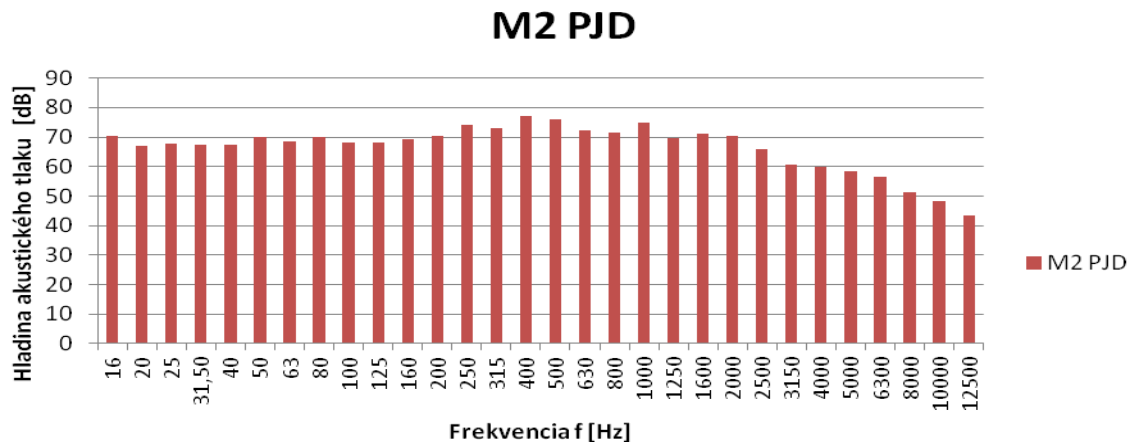


*Graf B.2.20 Rýchlik; lokomotíva 151; 4 vozne; v = 114 km/h; M2*

**Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň; v = 121 km/h**



*Graf B.2.21 Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň; v = 121 km/h; M1*



*Graf B.2.22 Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň; v = 121 km/h; M2*

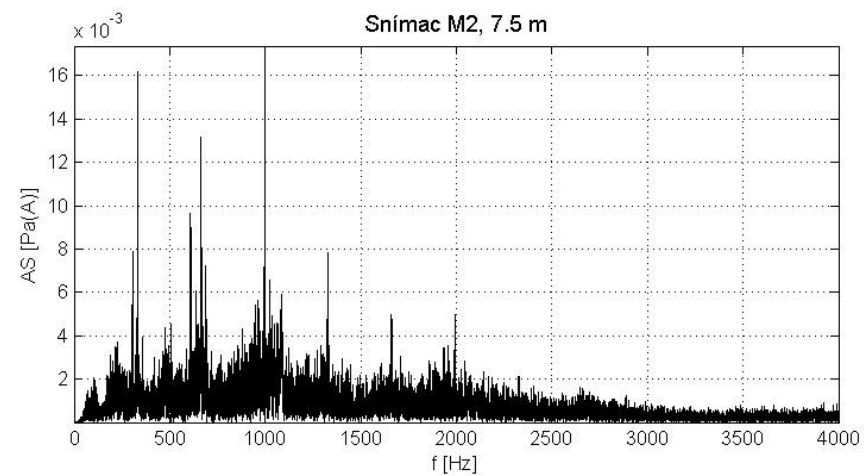
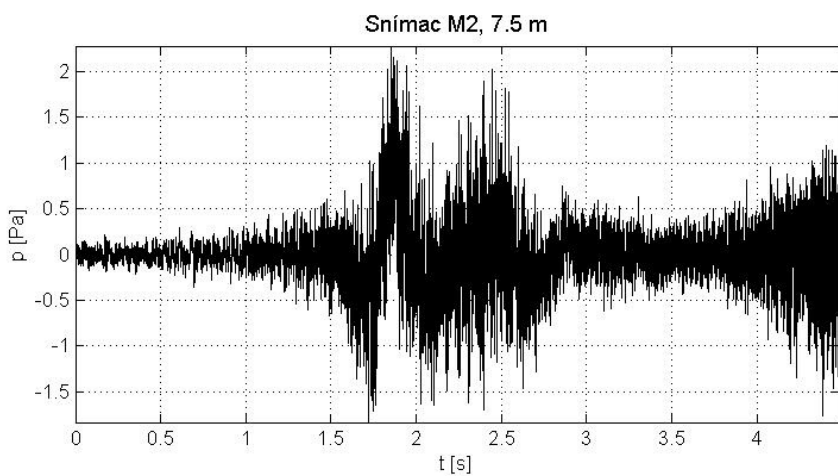
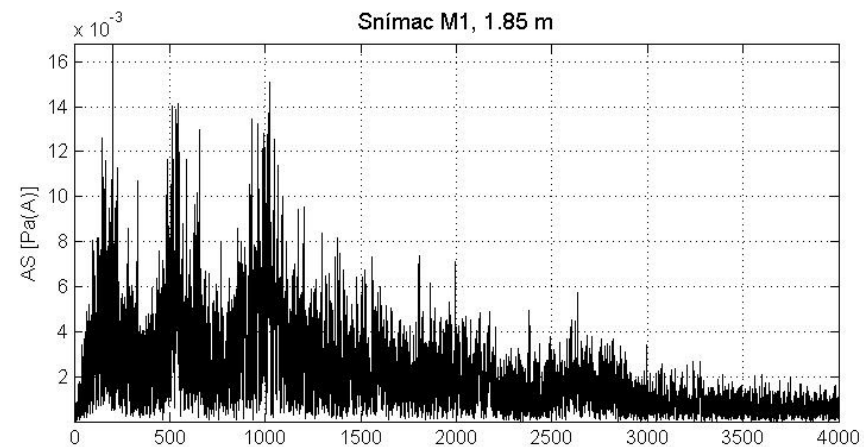
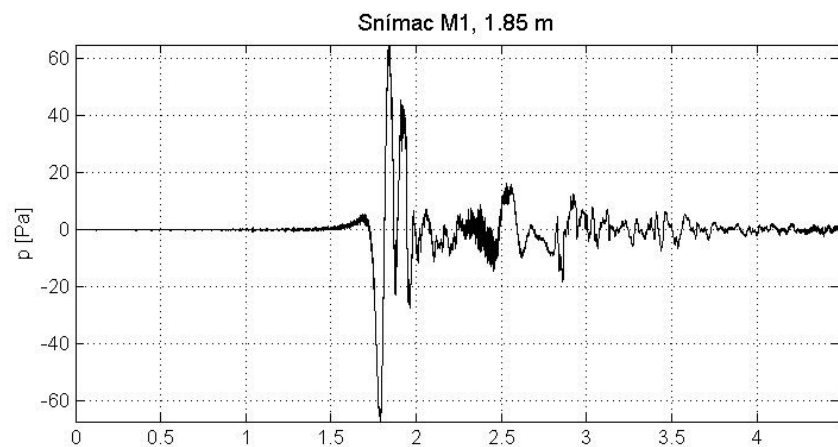


# **PRÍLOHA C**

Grafy akustickej odozvy



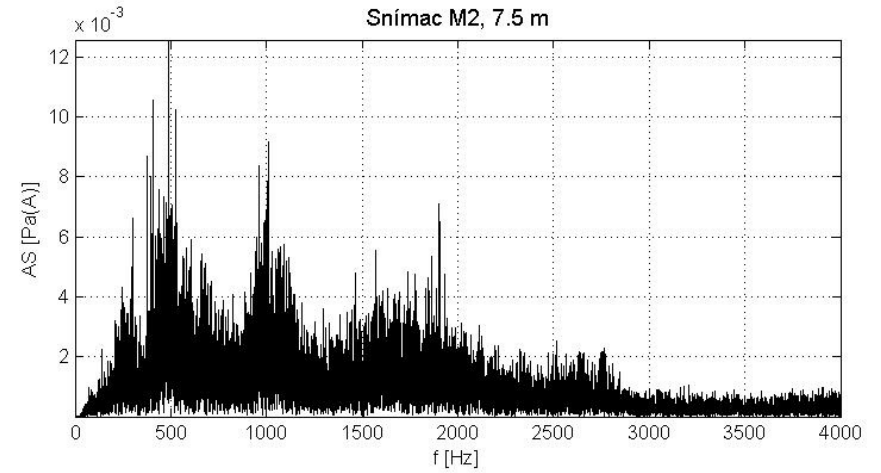
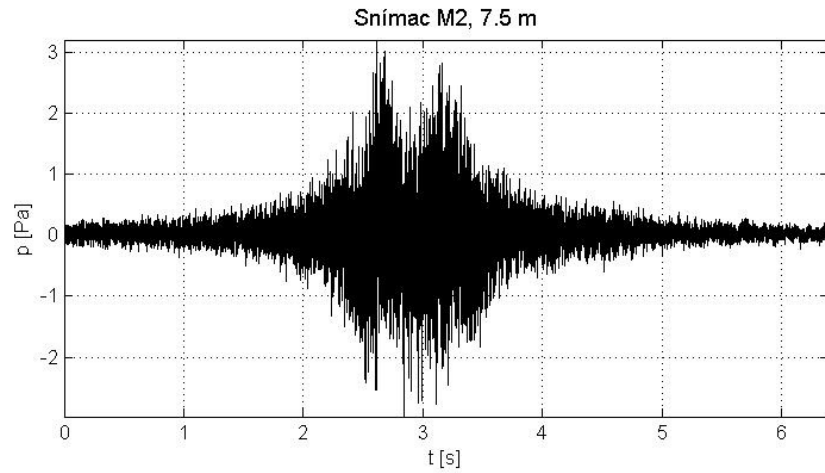
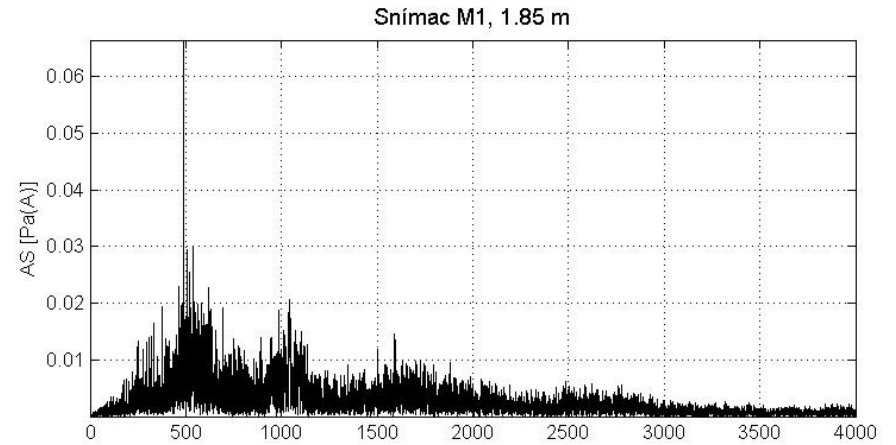
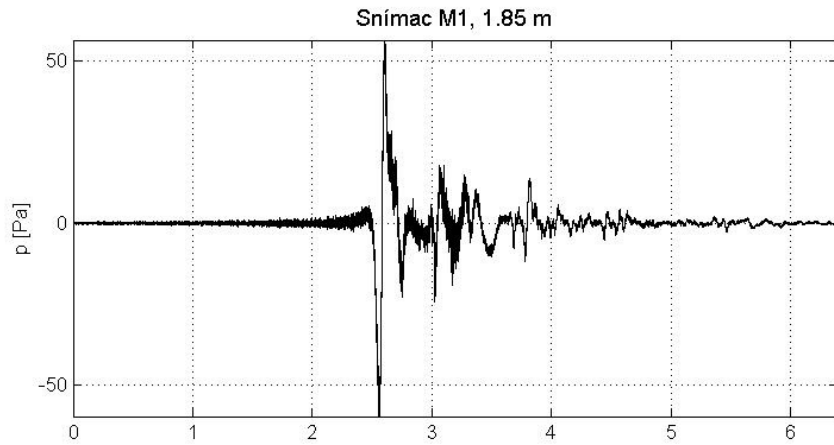
Porovnávané dvojice:



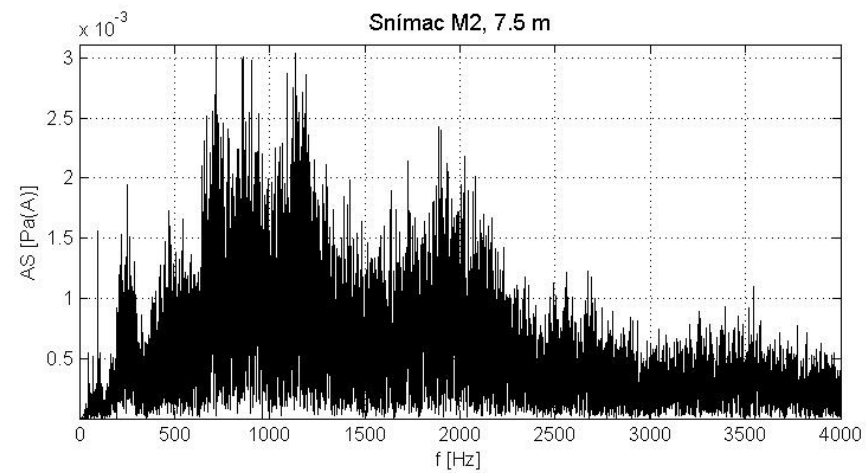
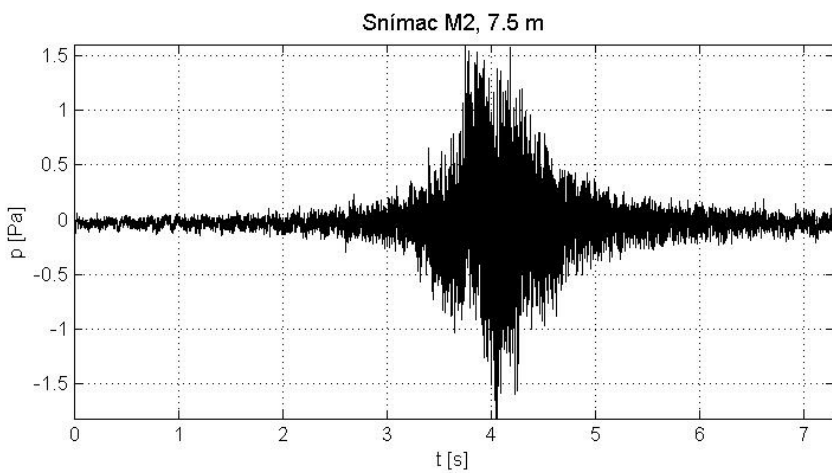
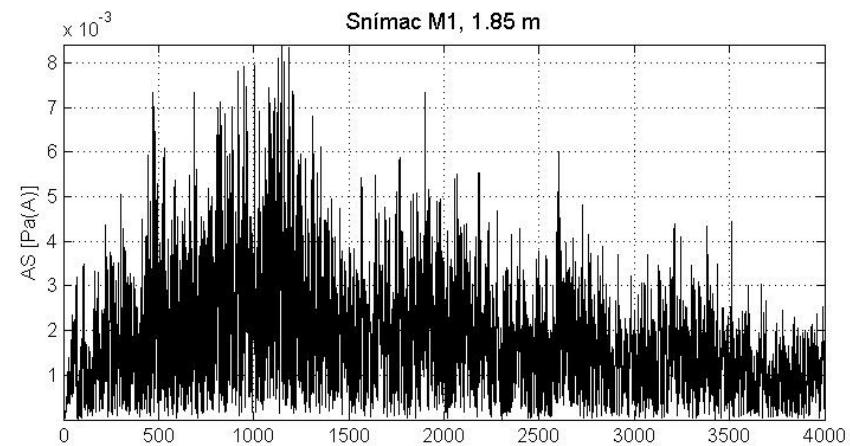
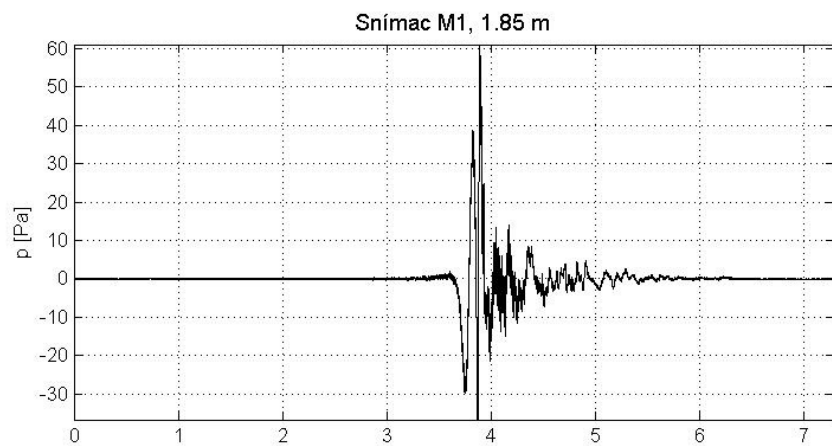
120

Graf C.1 Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň;  $v = 119$  km/h; KSL

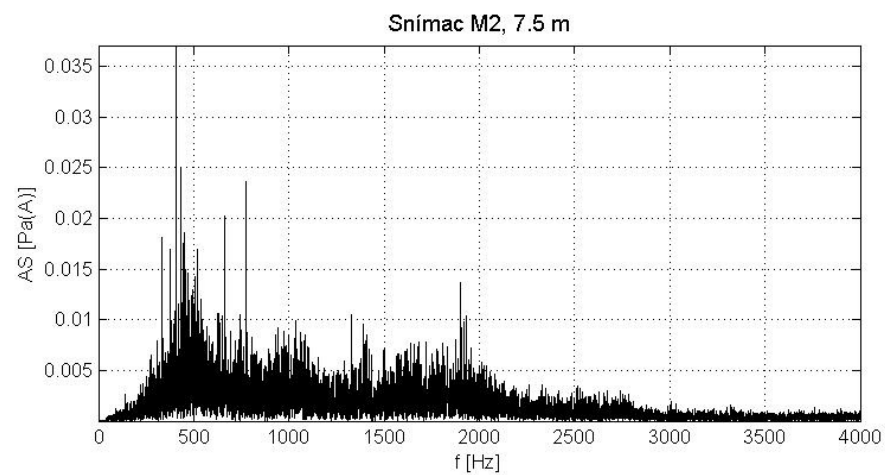
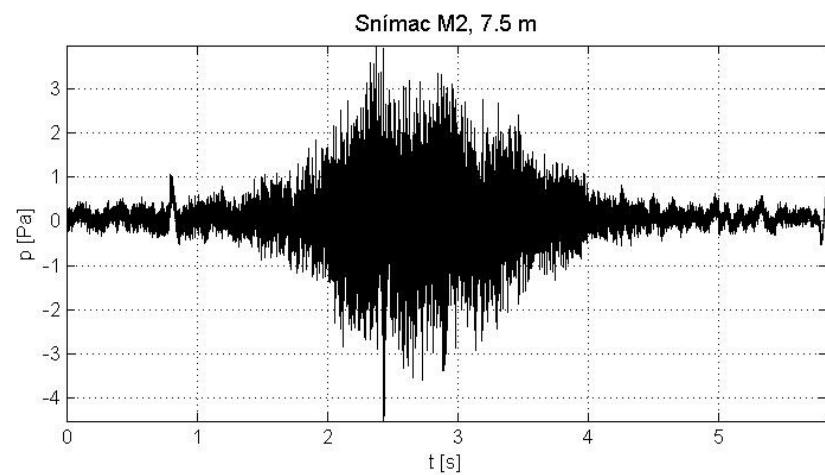
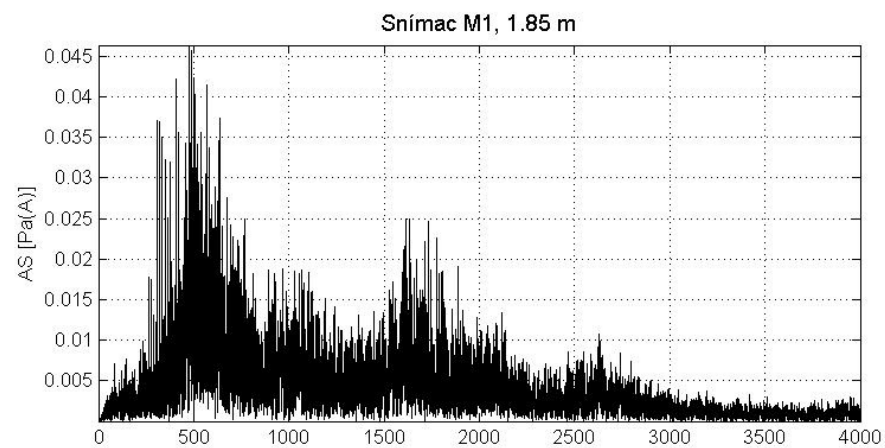
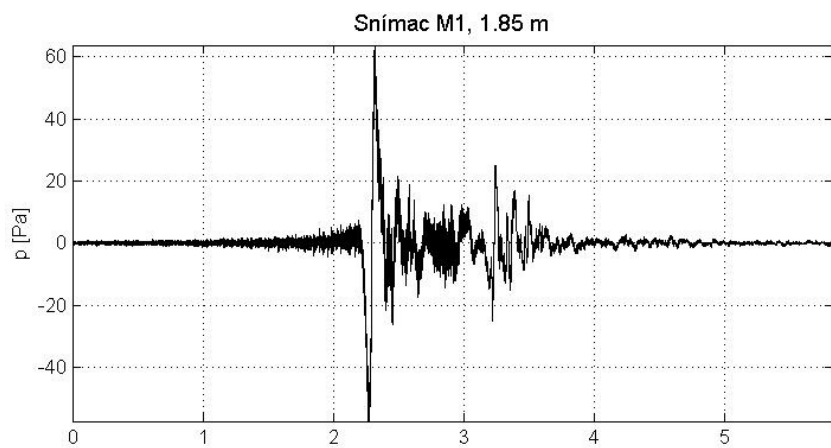




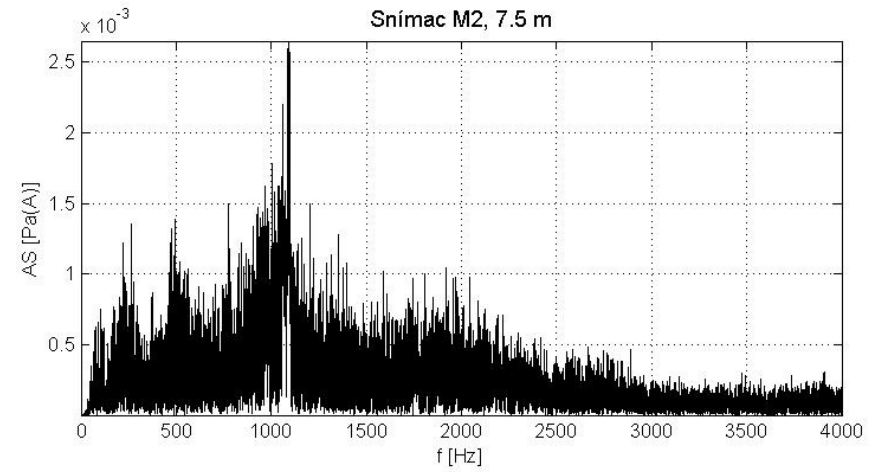
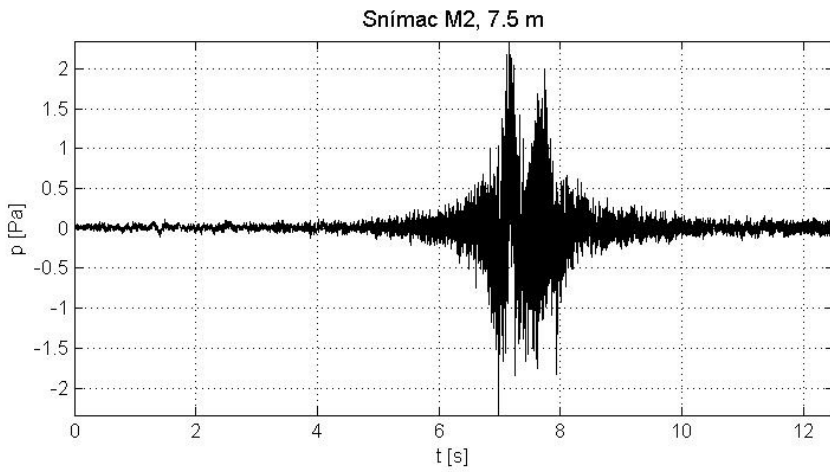
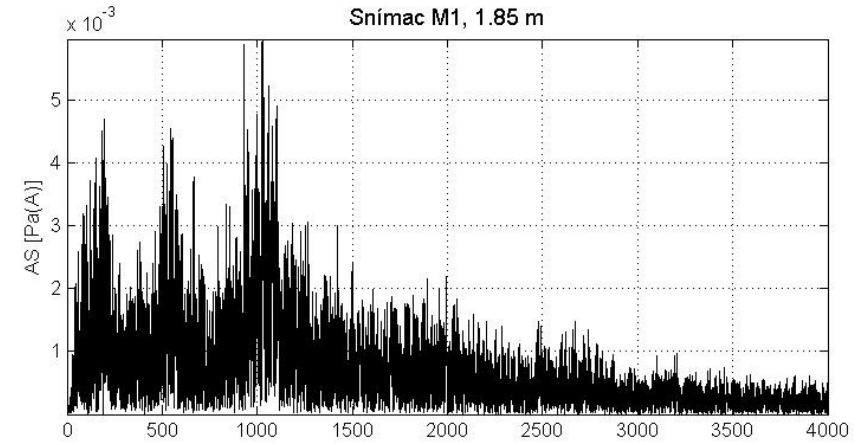
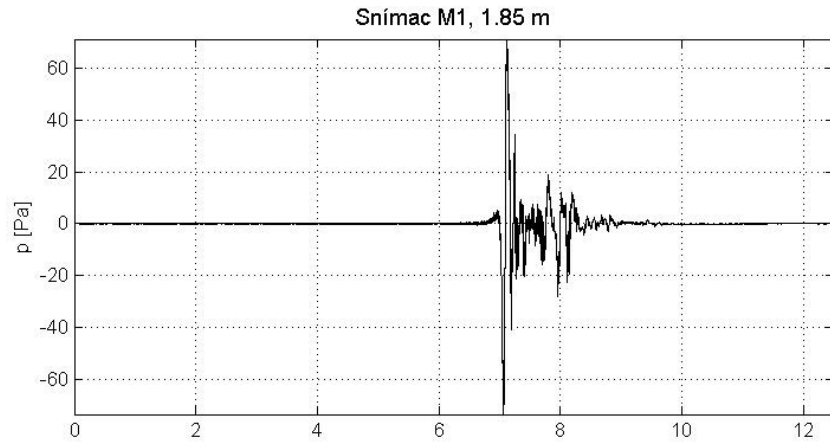
Graf C.2 Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň;  $v = 110$  km/h; PJD



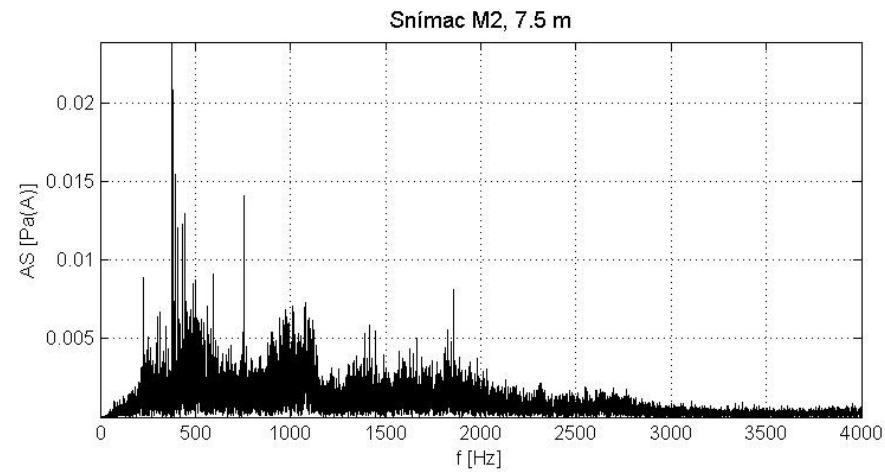
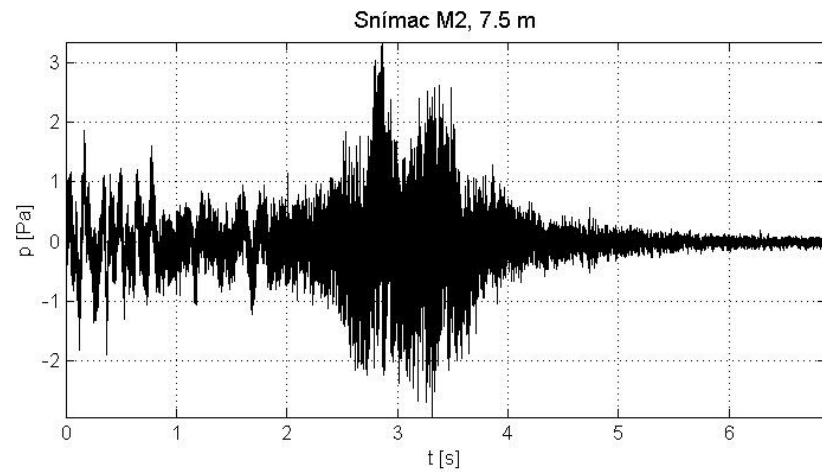
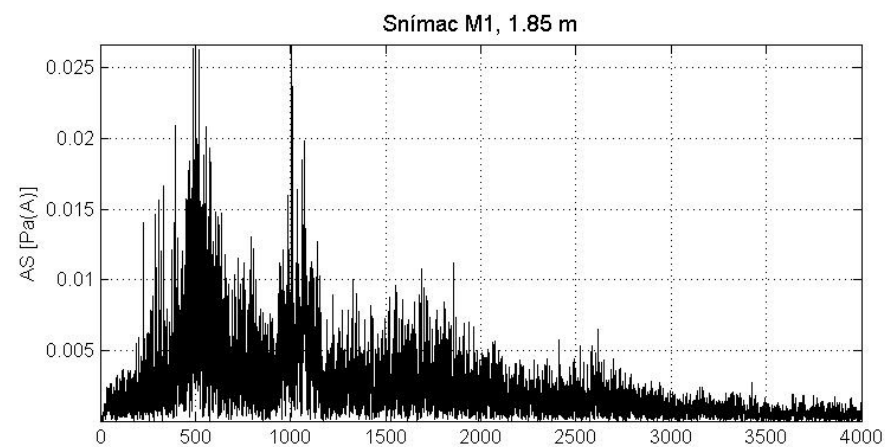
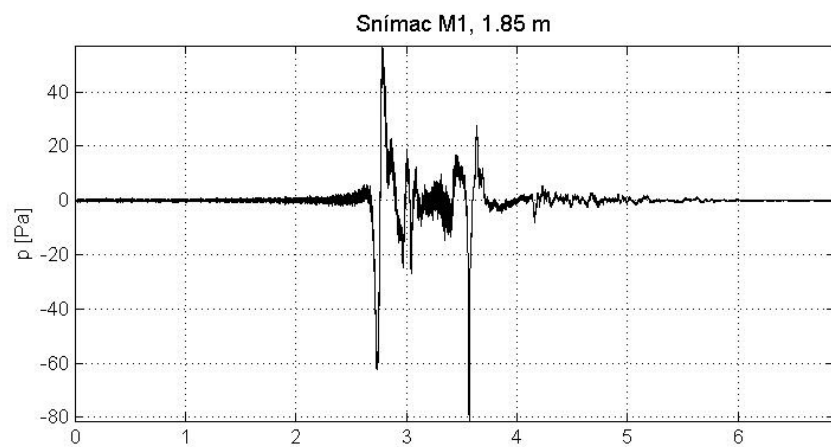
Graf C.3 Osobný vlak; lokomotíva 810; 1 vozeň;  $v = 85$  km/h; KSL



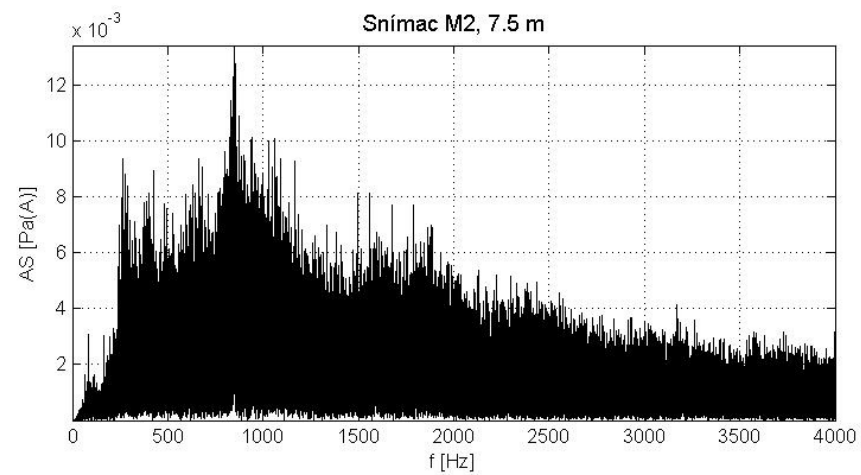
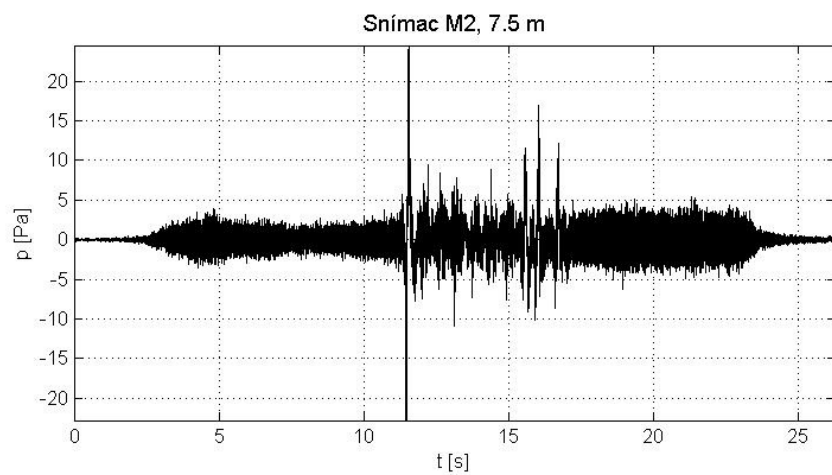
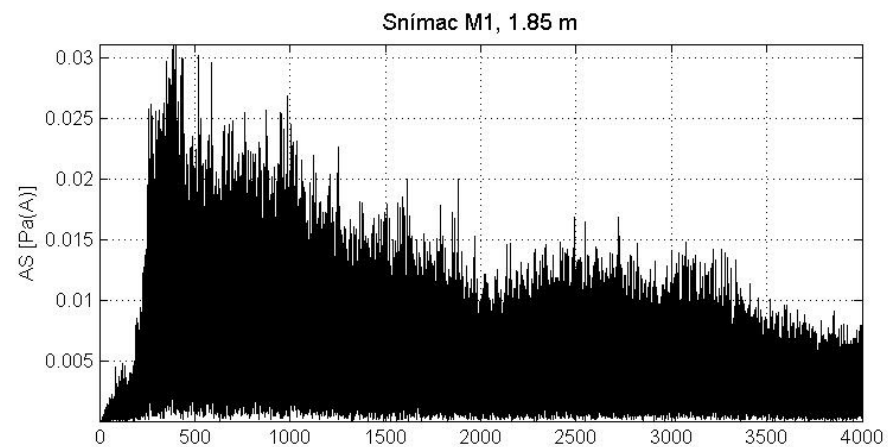
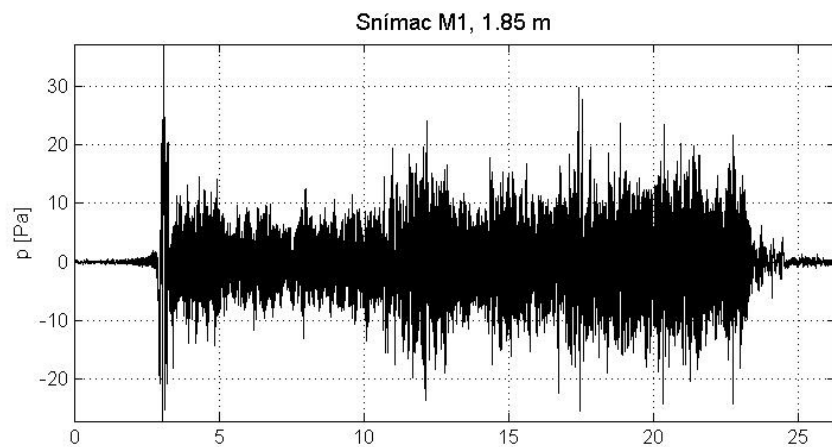
Graf C.4 Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň;  $v = 111$  km/h; PJD



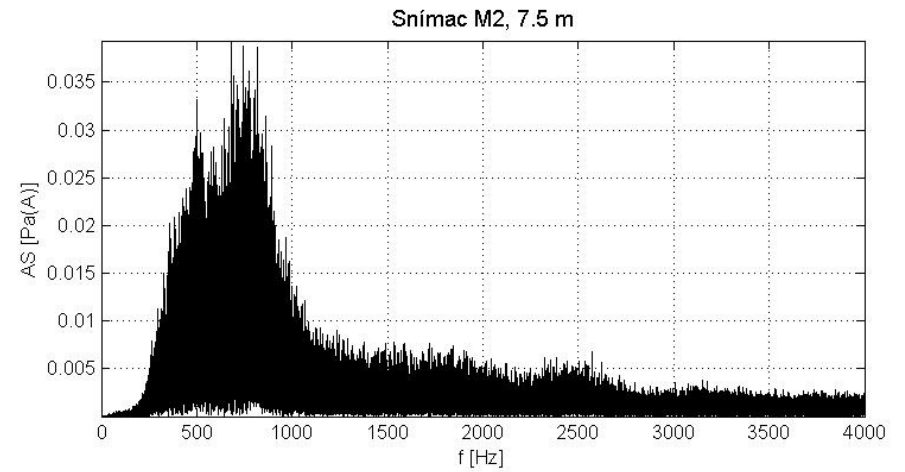
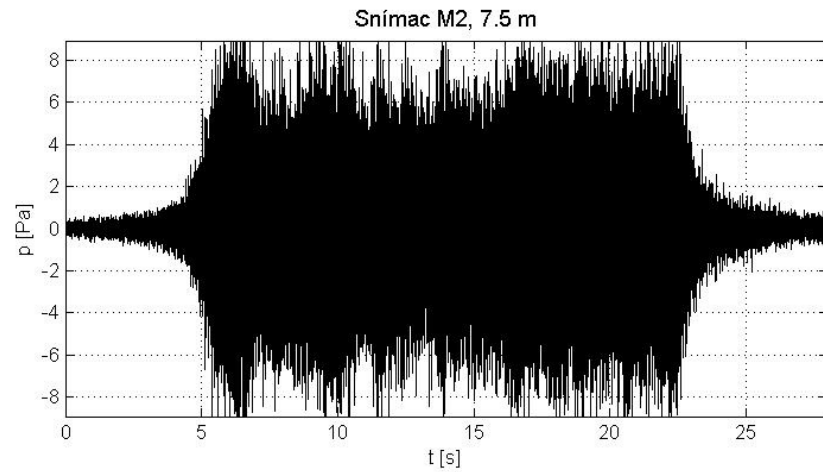
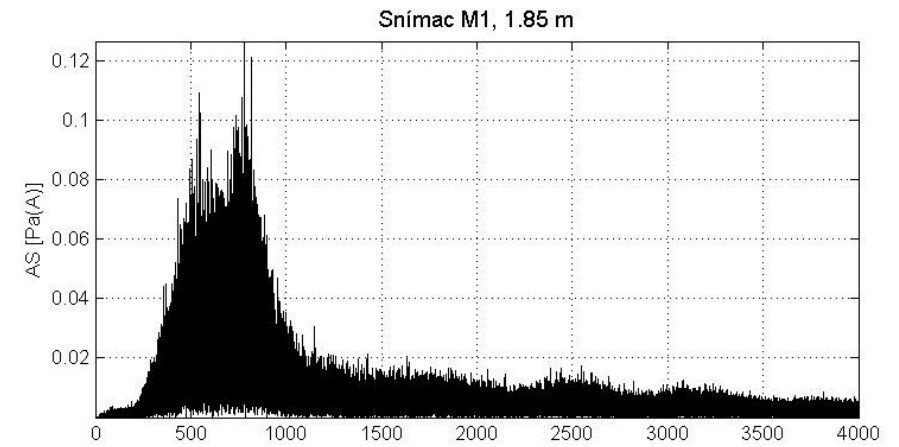
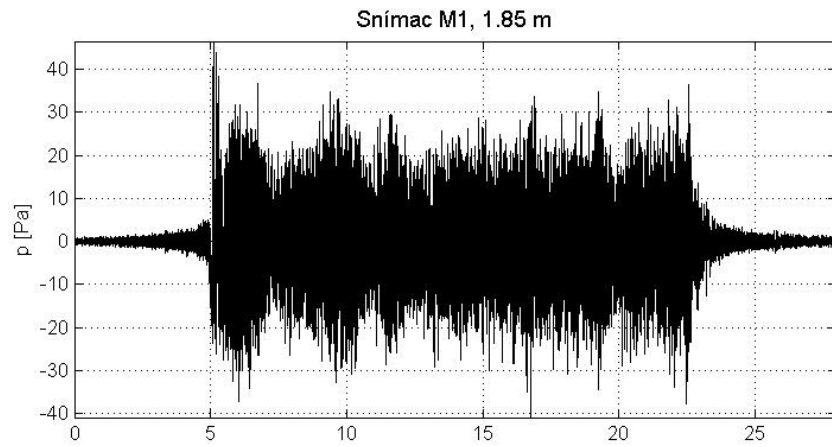
Graf C.5 Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň;  $v = 120$  km/h; KSL



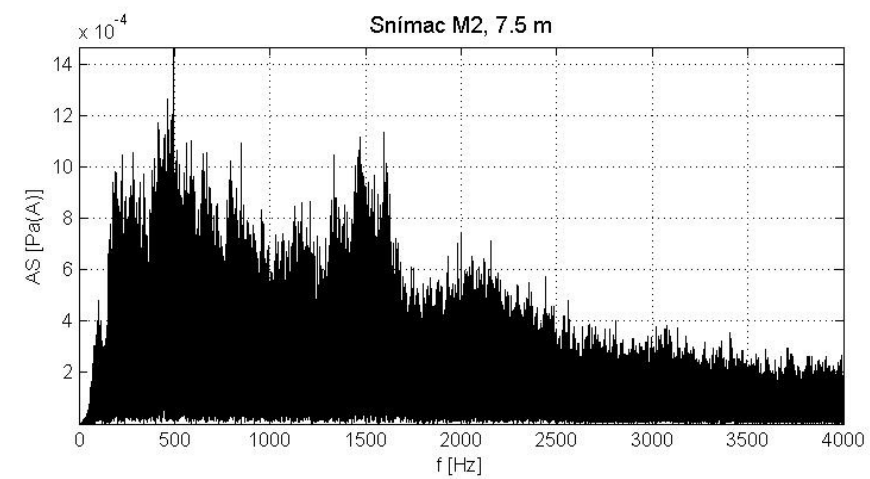
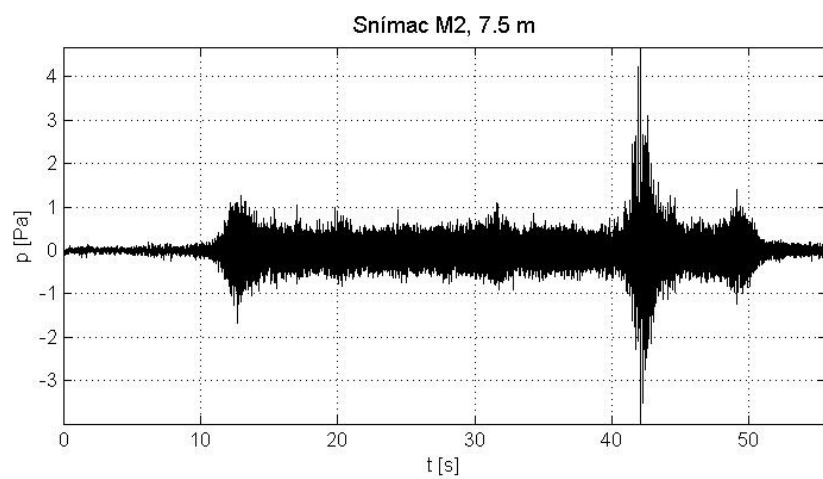
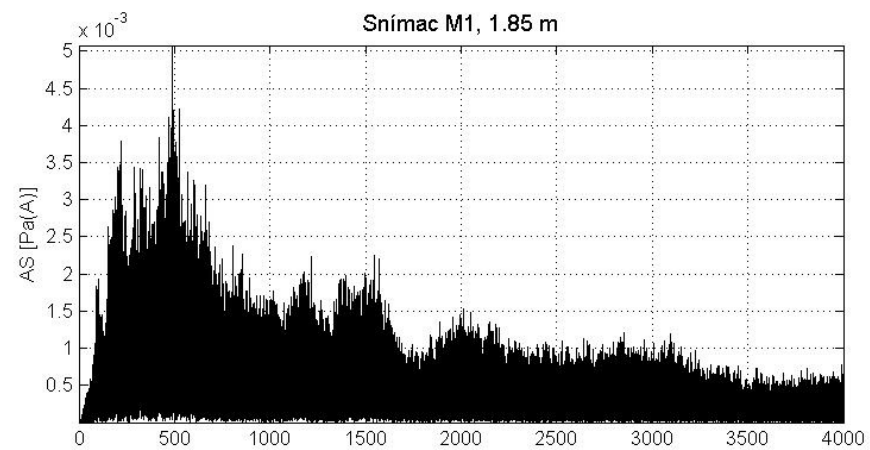
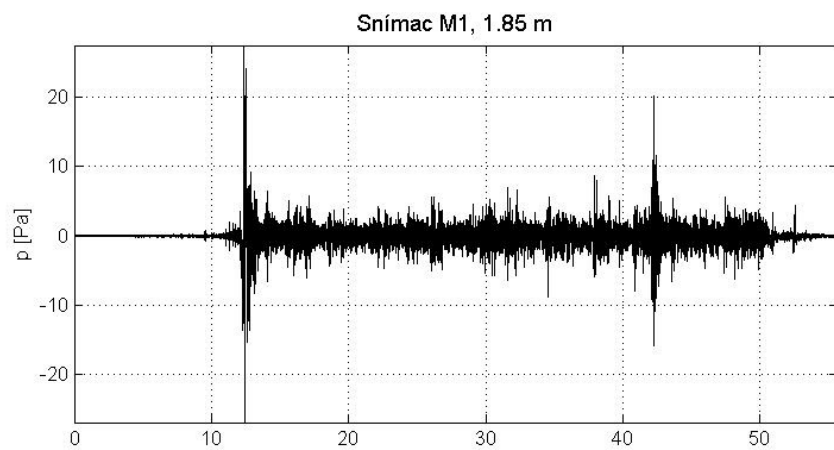
Graf C.6 Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň;  $v = 121$  km/h; PJD



Graf C.7 Nákladný vlak; lokomotíva 363; 28 vozňov;  $v = 72$  km/h; KSL

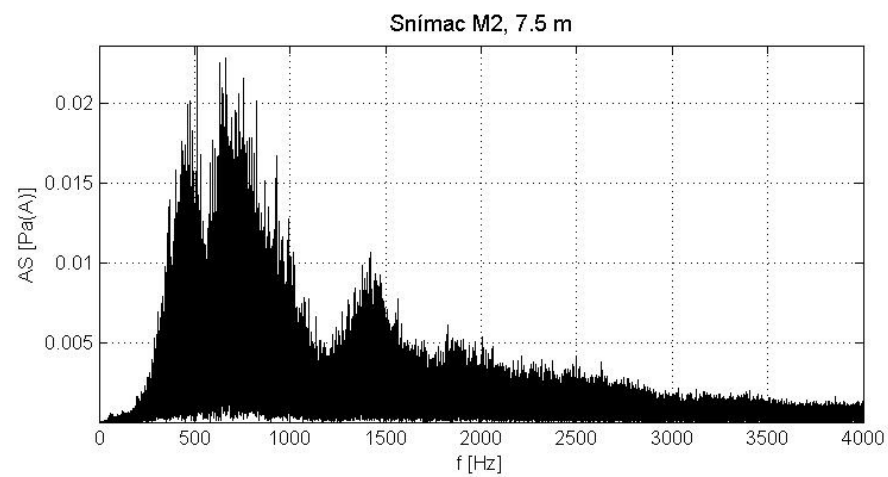
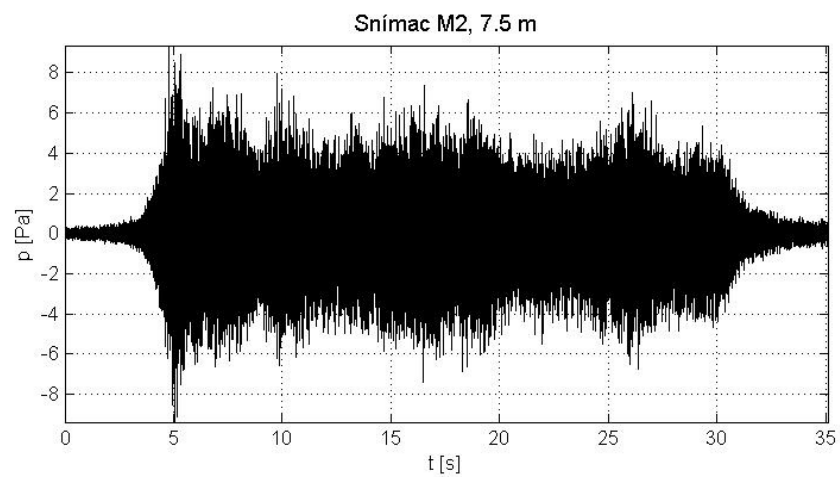
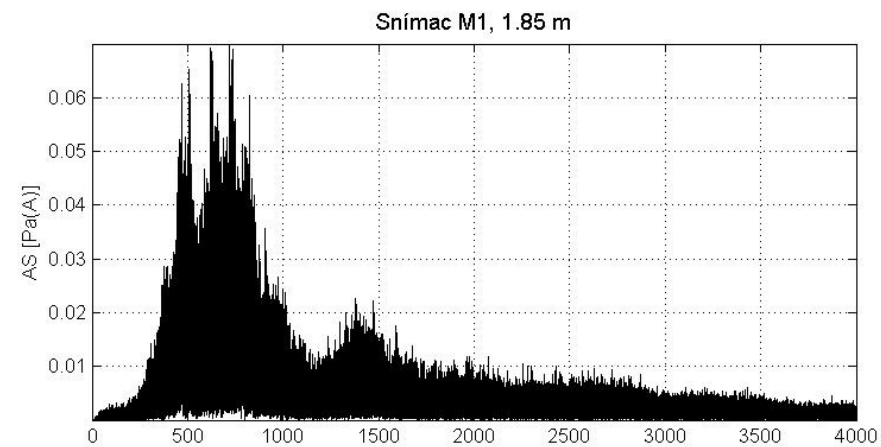
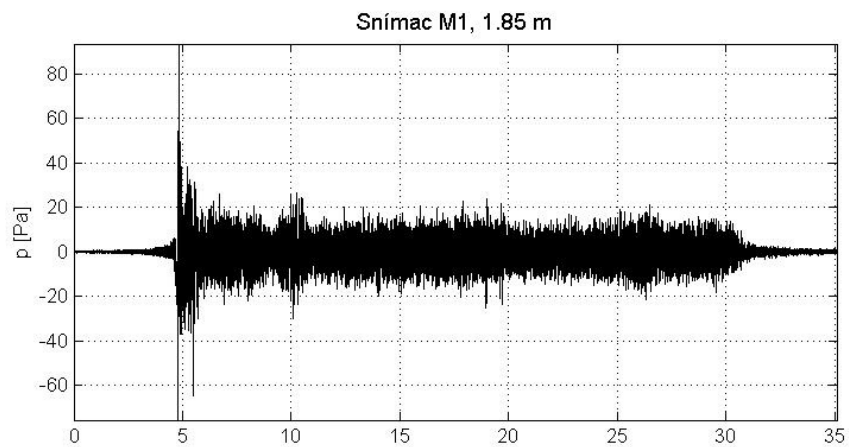


Graf C.8 Nákladný vlak; lokomotíva 123; 28 vozňov;  $v = 78$  km/h; PJD

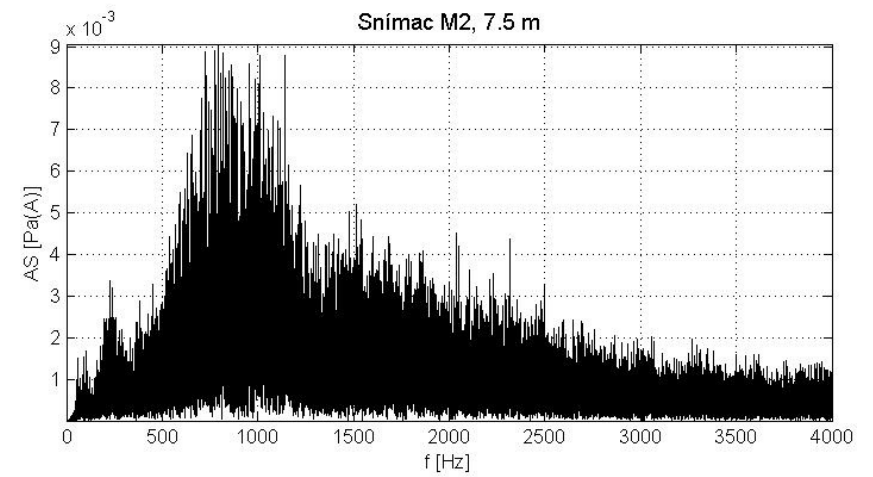
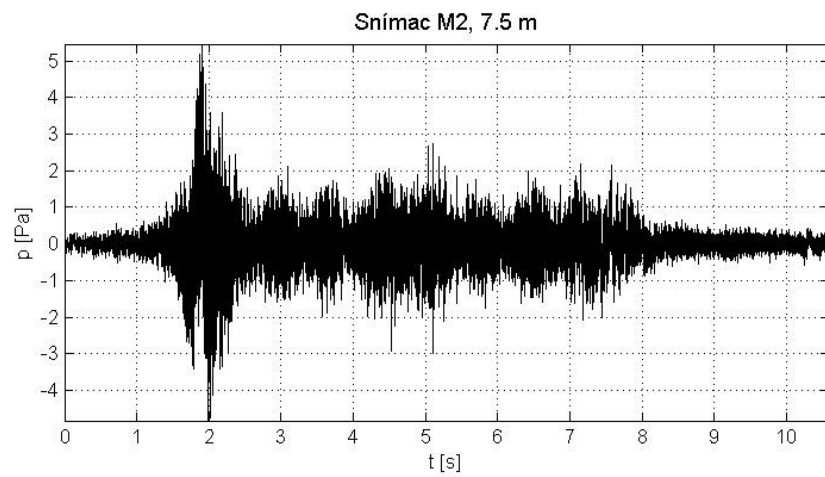
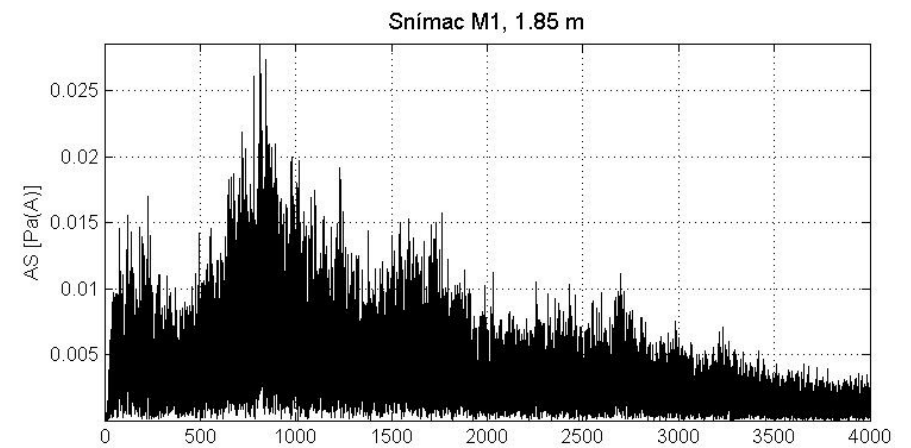
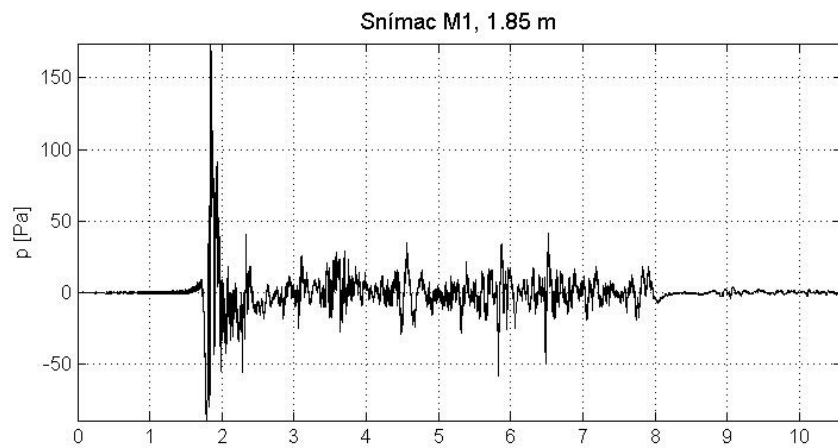


Graf C.9 Nákladný vlak; lokomotíva 363; 38 vozňov;  $v = 60$  km/h; KSL

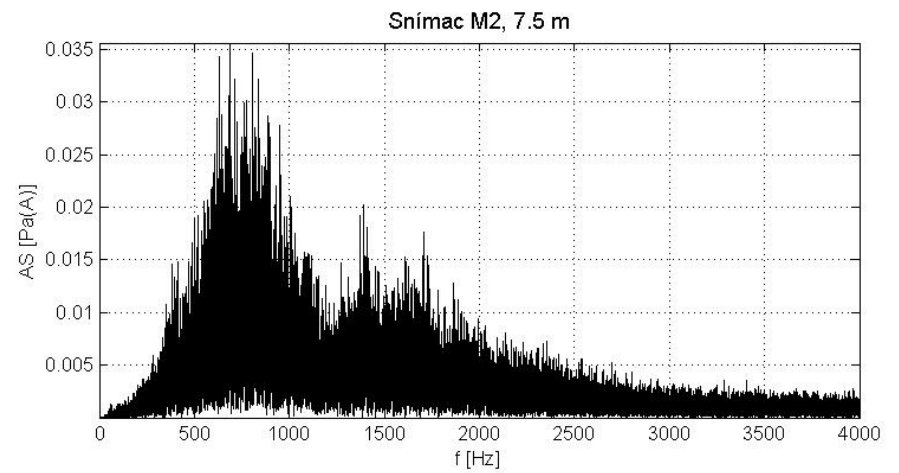
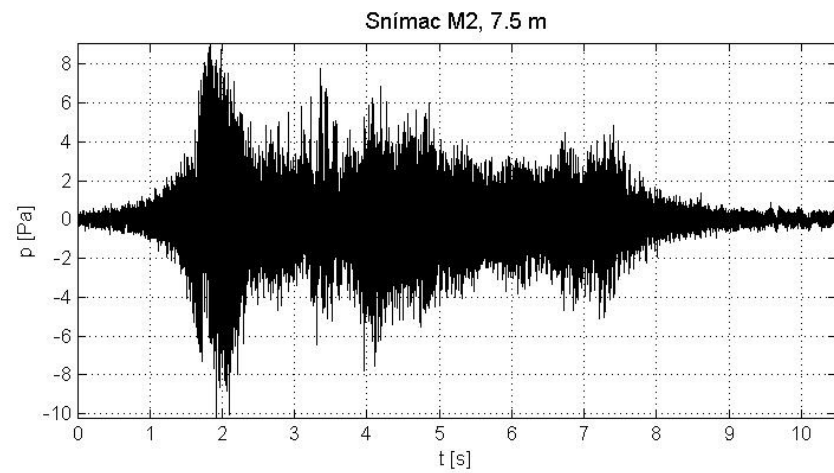
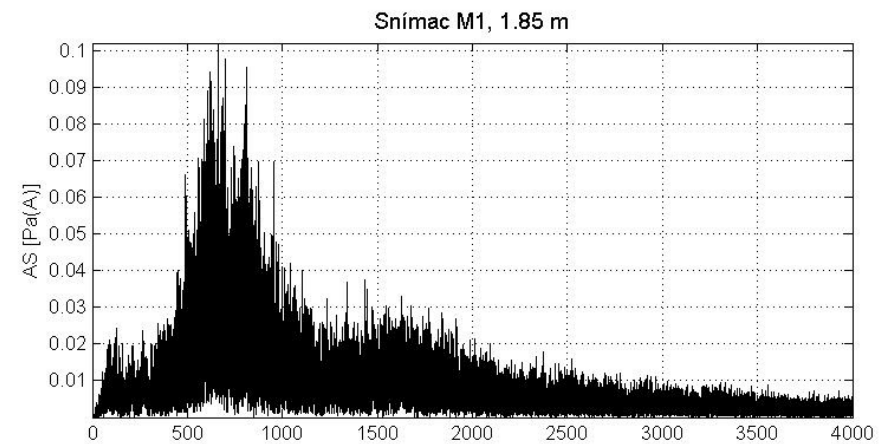
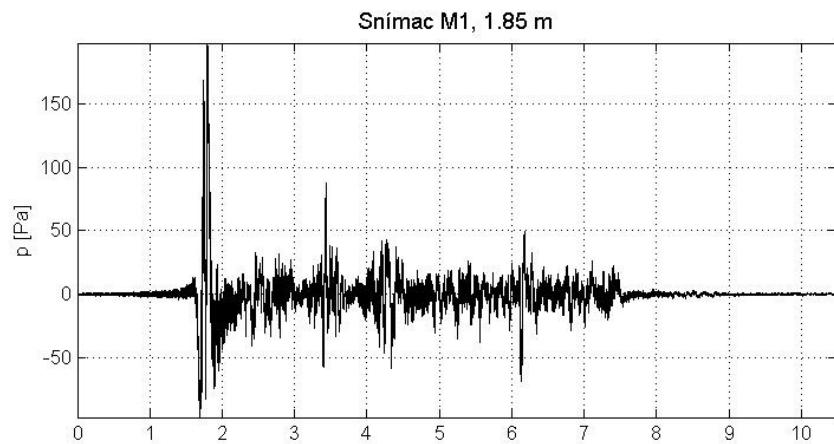




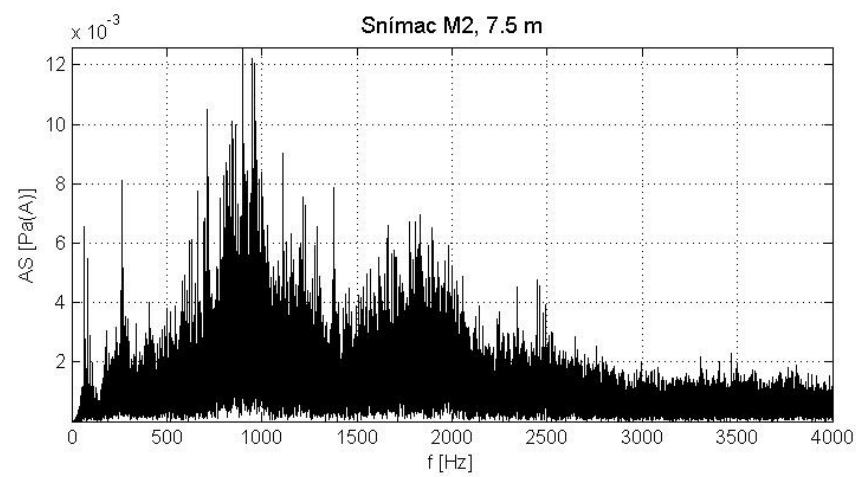
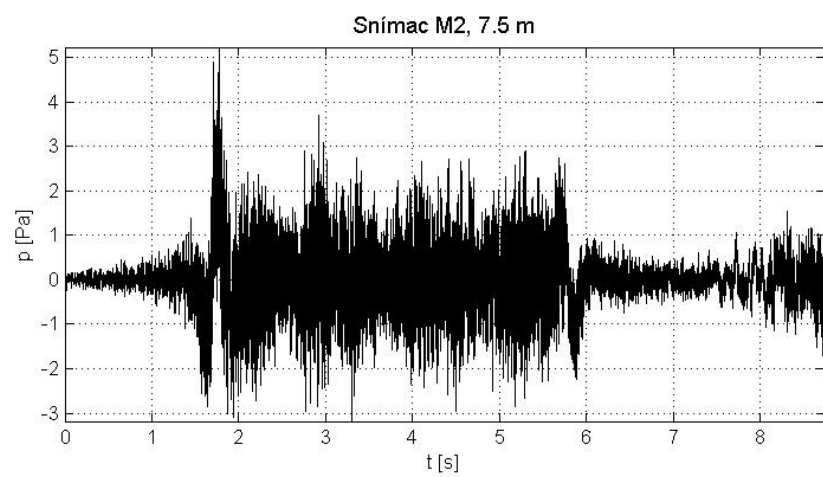
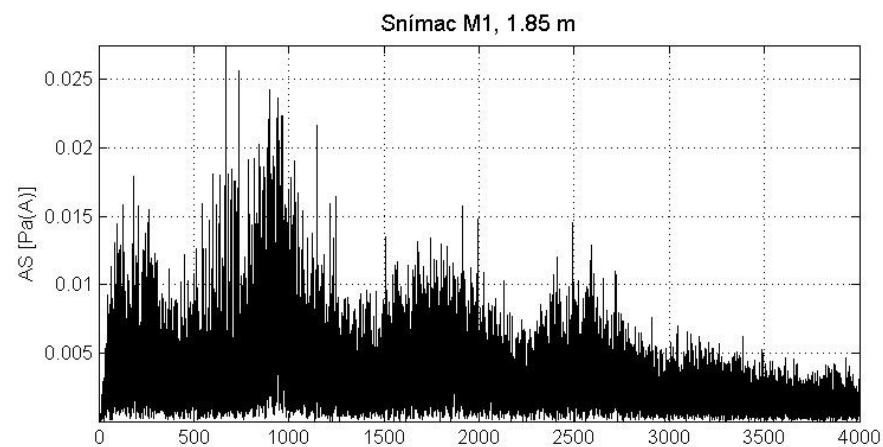
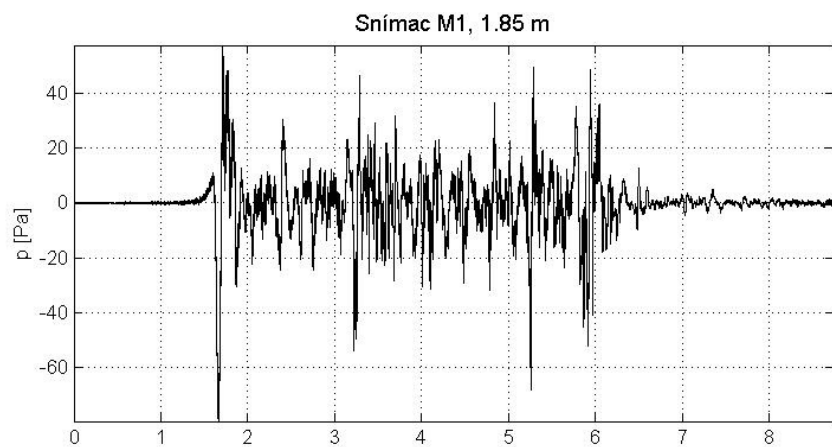
Graf C.10 Nákladný vlak; lokomotíva 122; 38 vozňov;  $v = 77$  km/h; PJD



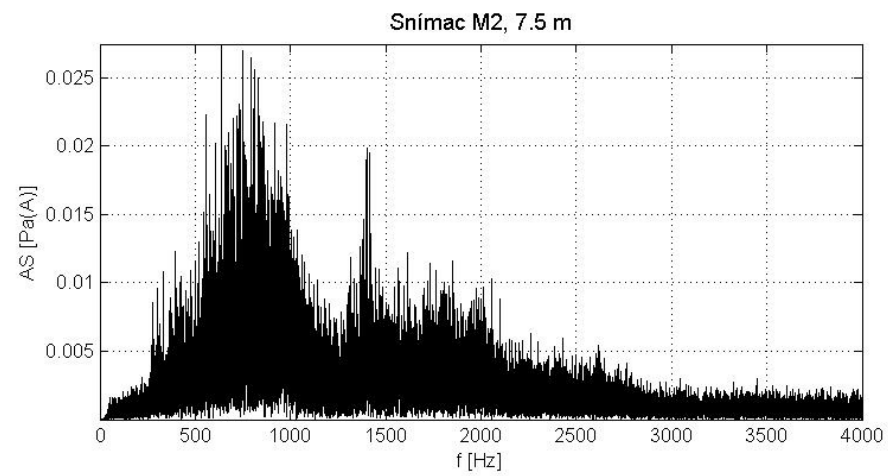
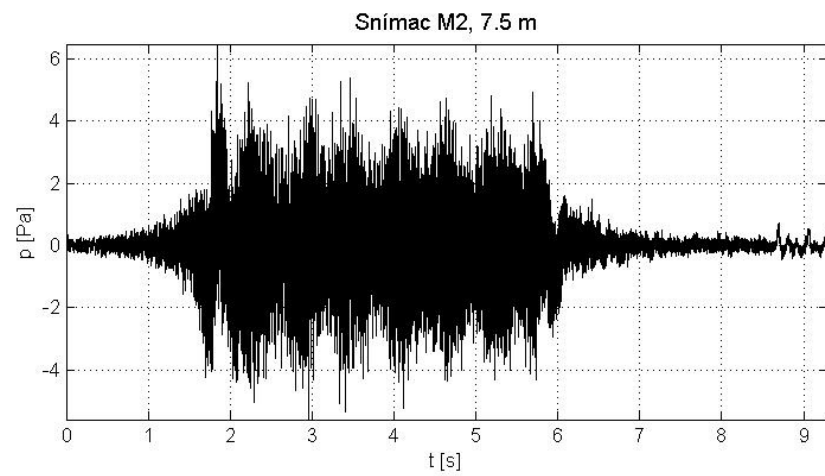
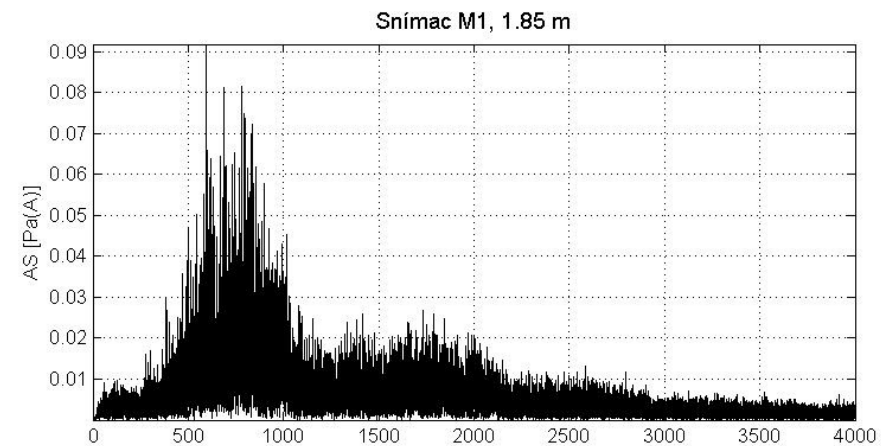
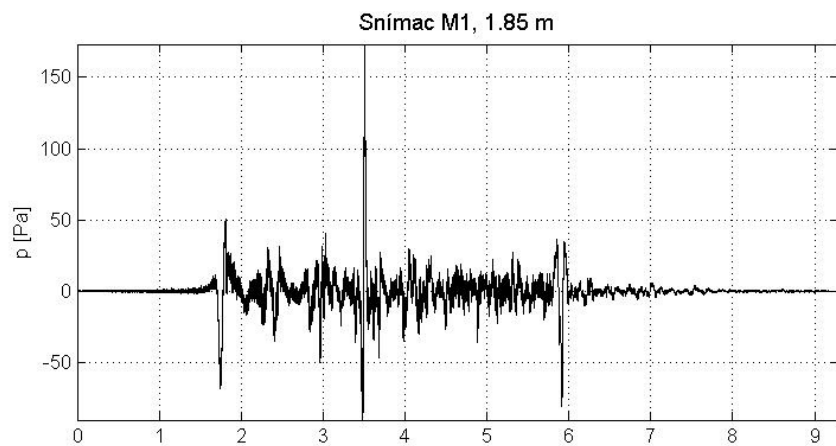
Graf C.11 Rýchlik; lokomotíva 380; 8 vozňov;  $v = 133$  km/h; KSL



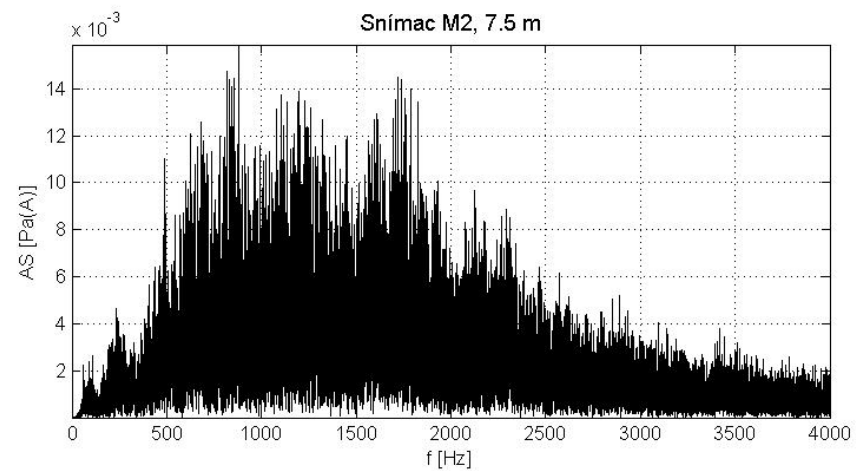
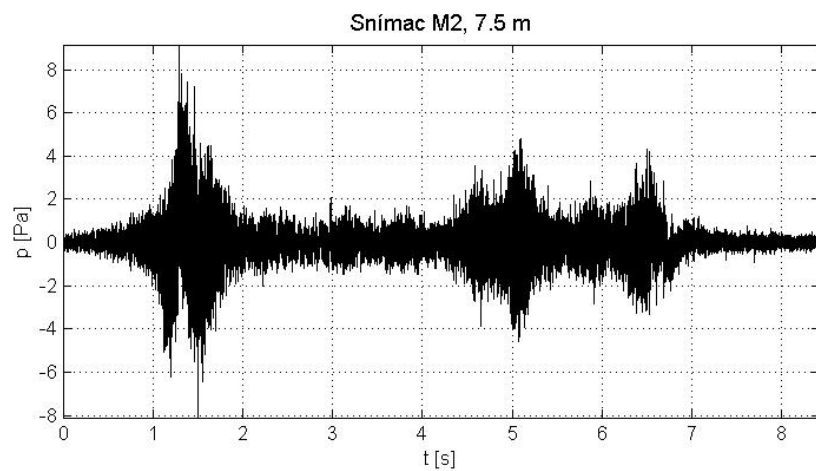
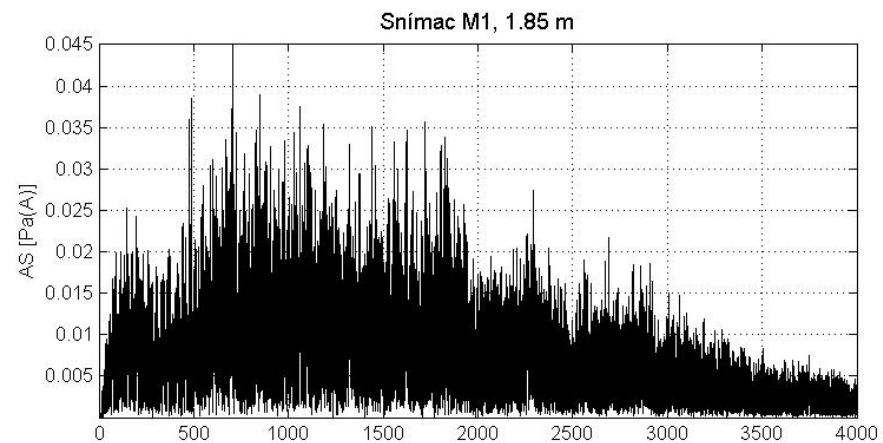
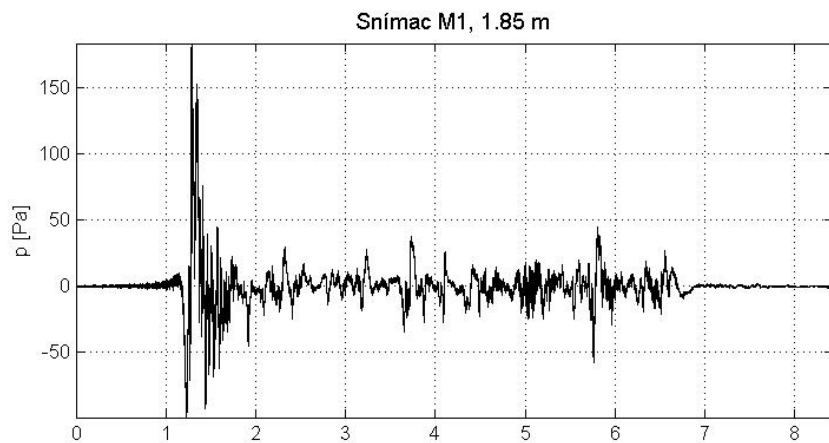
Graf C.12 Rýchlik; lokomotíva 380; 8 vozňov;  $v = 132$  km/h; PJD



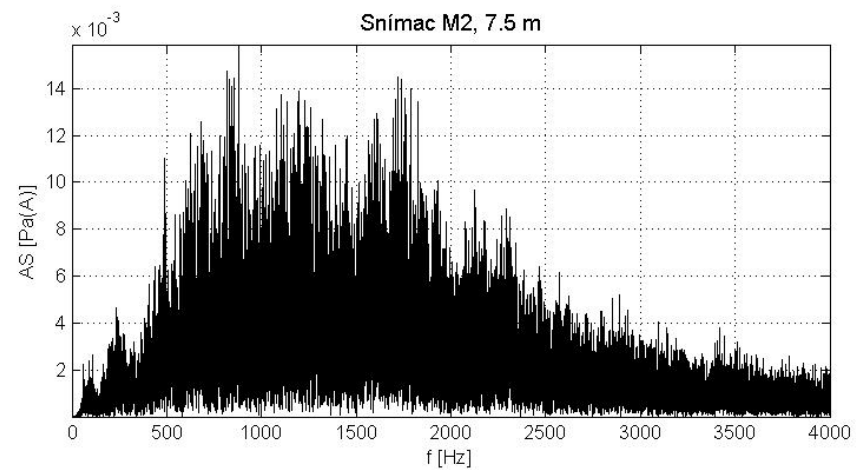
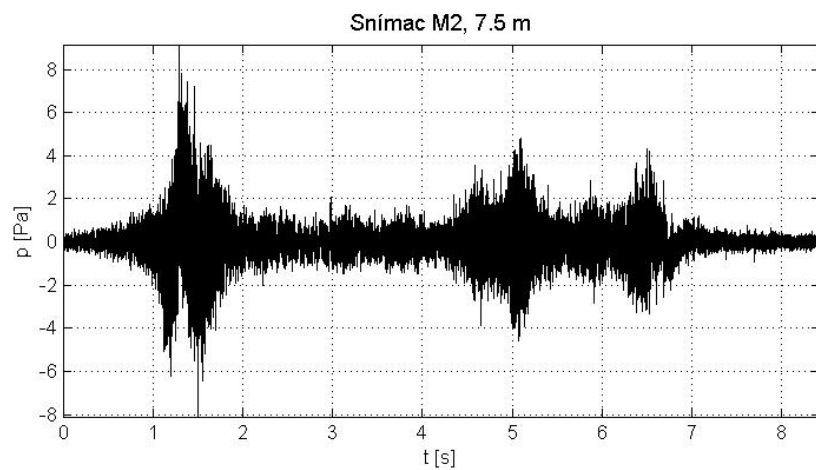
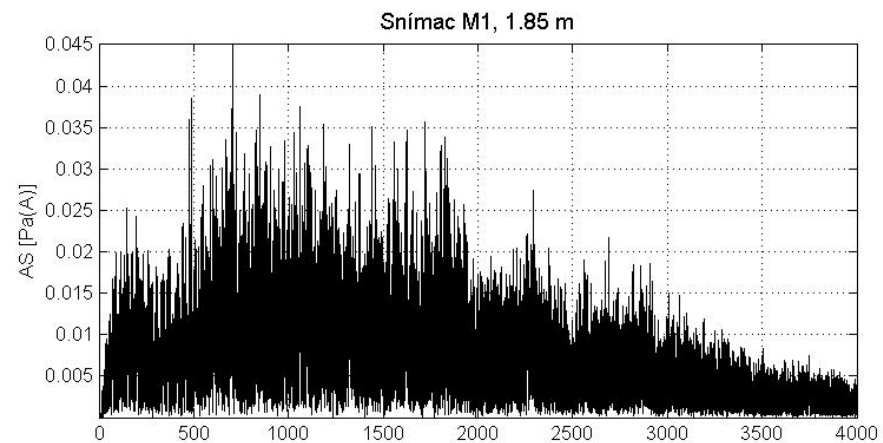
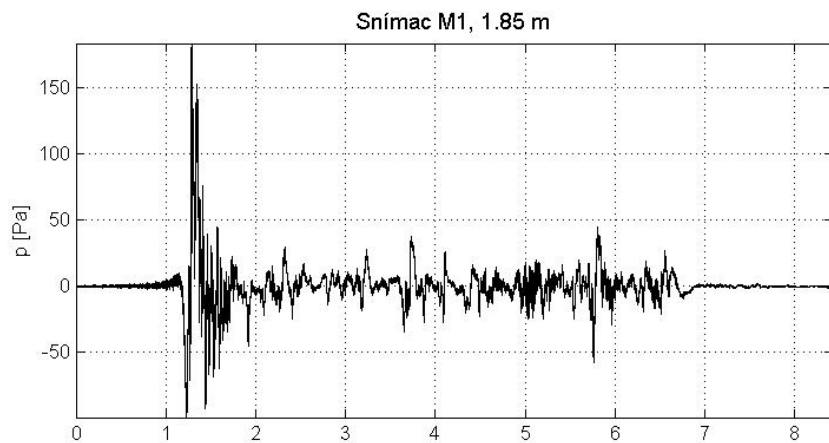
Graf C.13 SC Pendolino; 8 vozňov;  $v = 161$  km/h; KSL



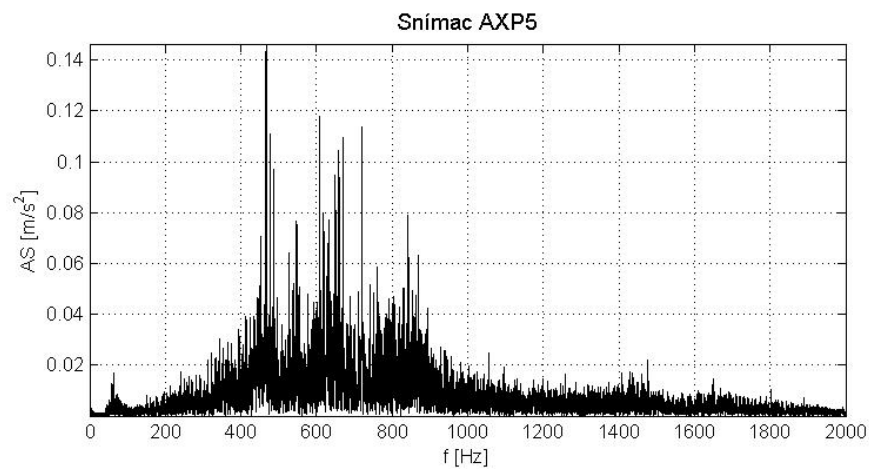
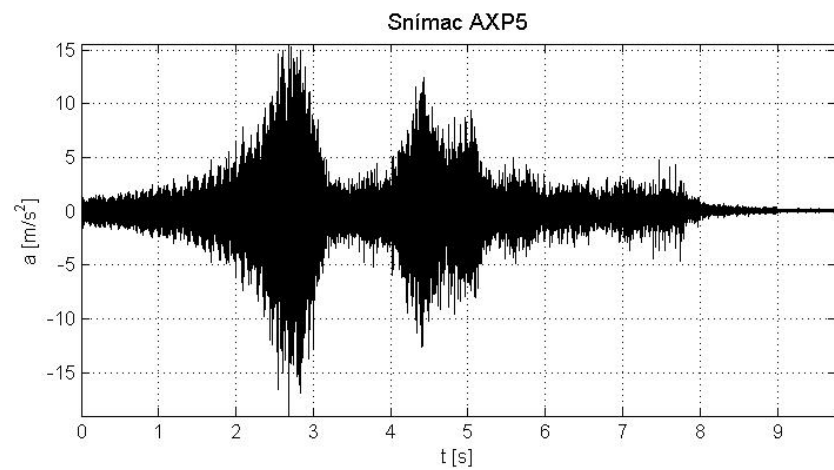
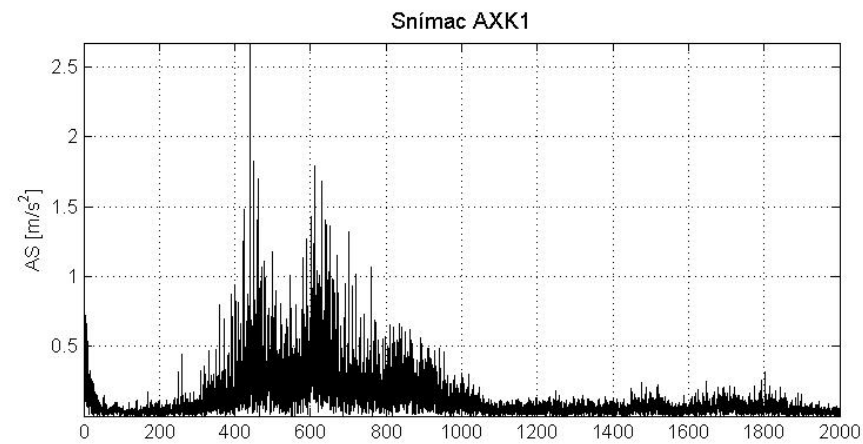
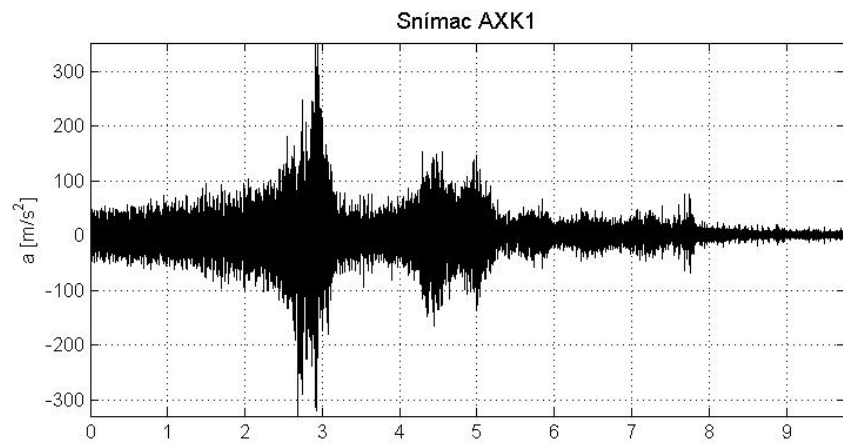
Graf C.14 SC Pendolino; 7 vozňov;  $v = 133$  km/h; PJD



Graf C.14 SC Pendolino; 7 vozňov;  $v = 133$  km/h; KSL

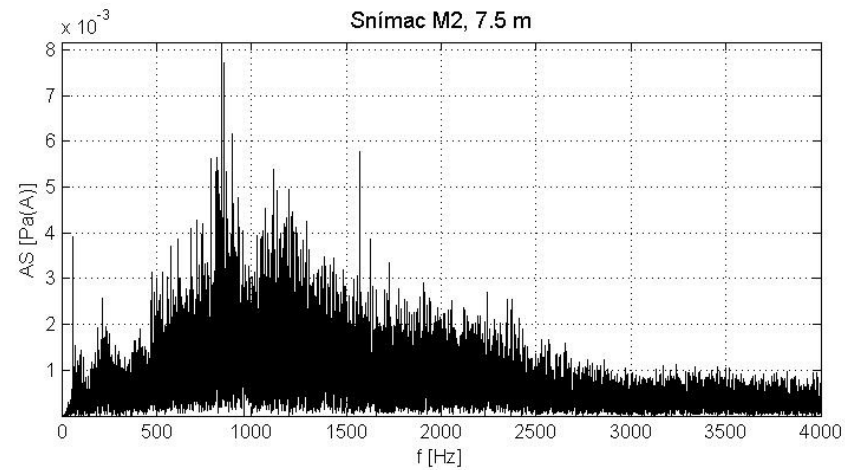
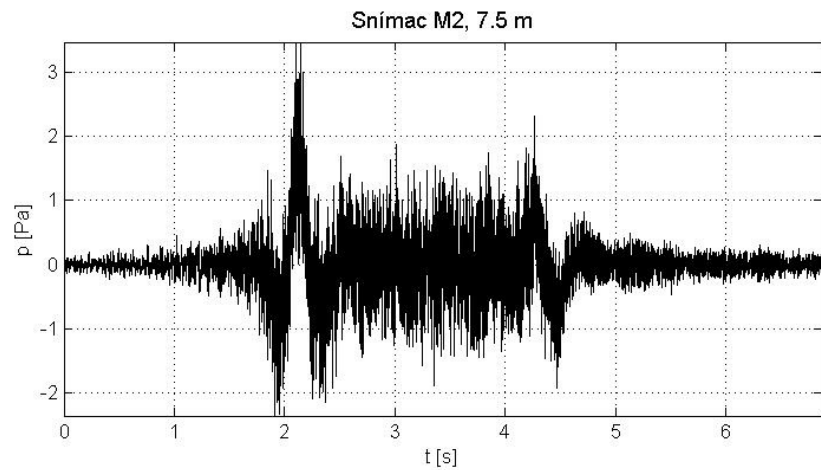
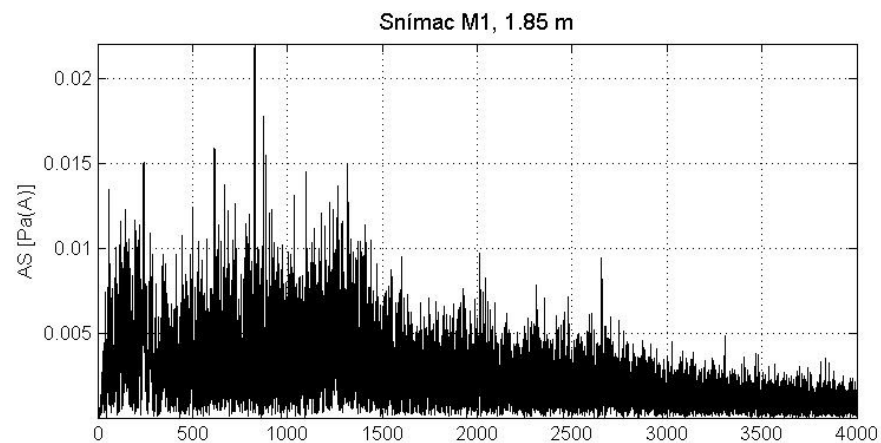
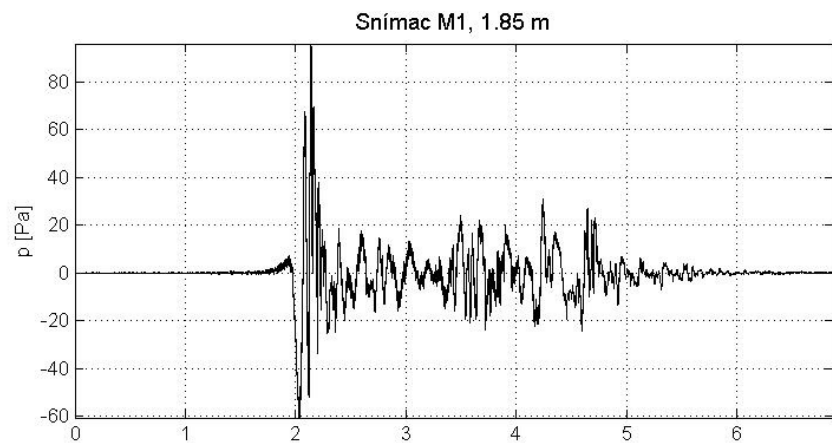


Graf C.15 RegioJet; 7 vozňov;  $v = 137$  km/h; KS

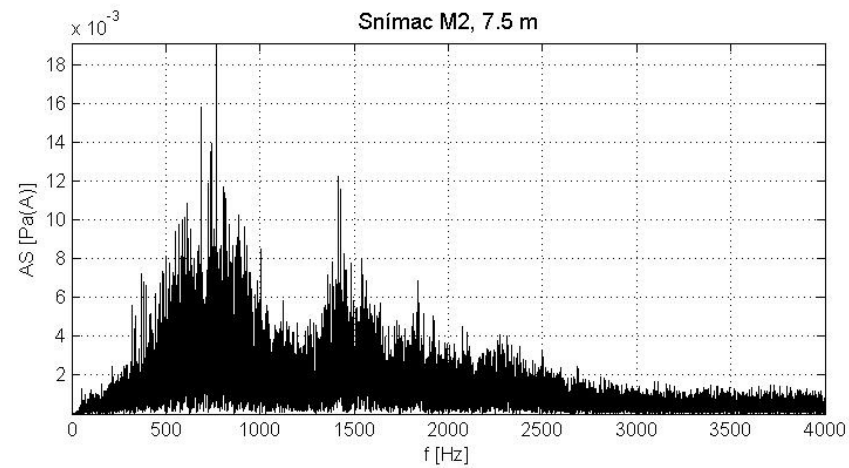
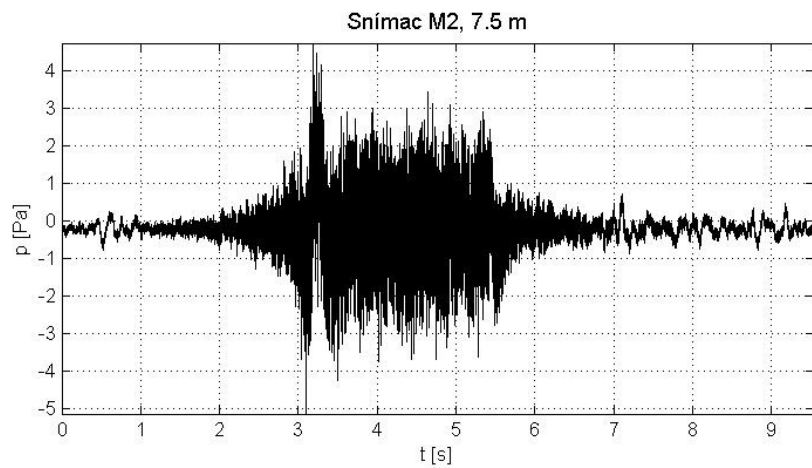
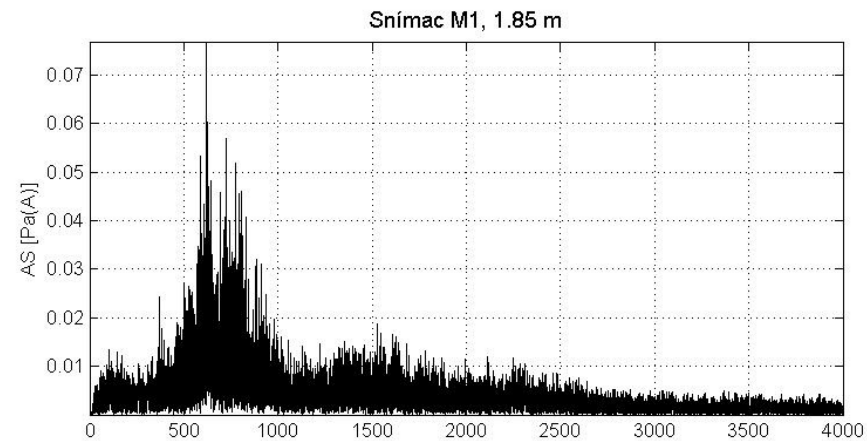
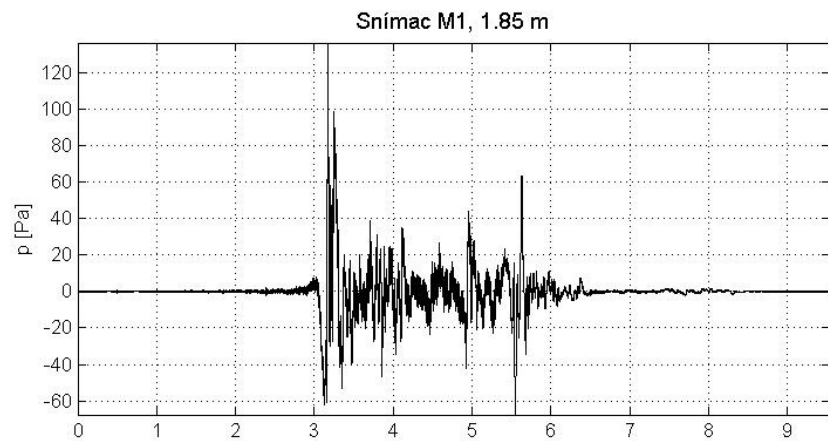


Graf C.16 RegioJet; 7 vozňov;  $v = 116$  km/h; PJD

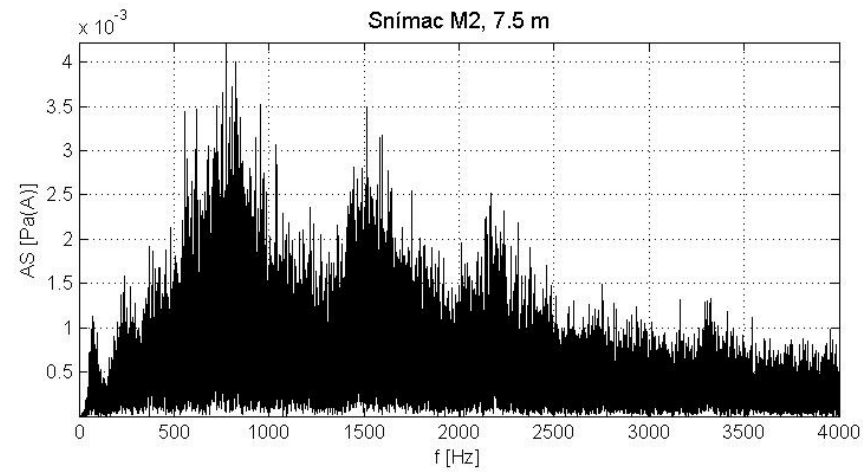
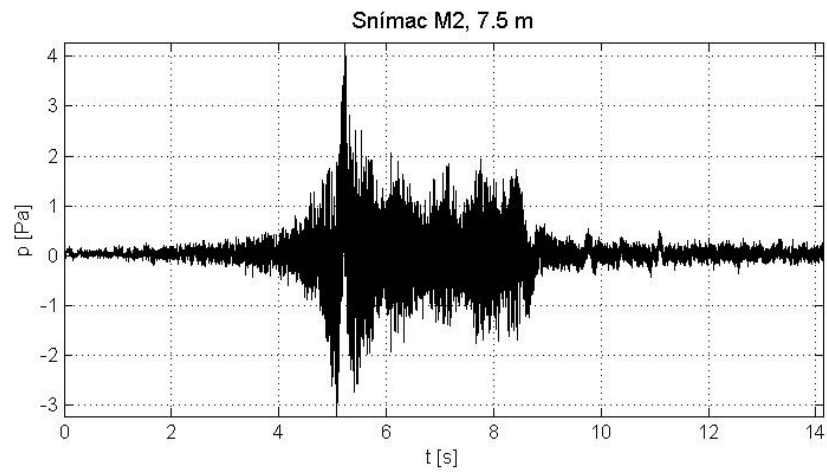
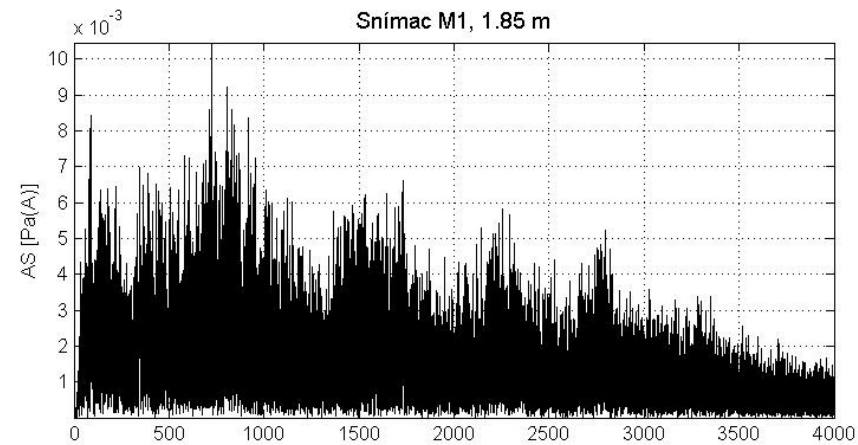
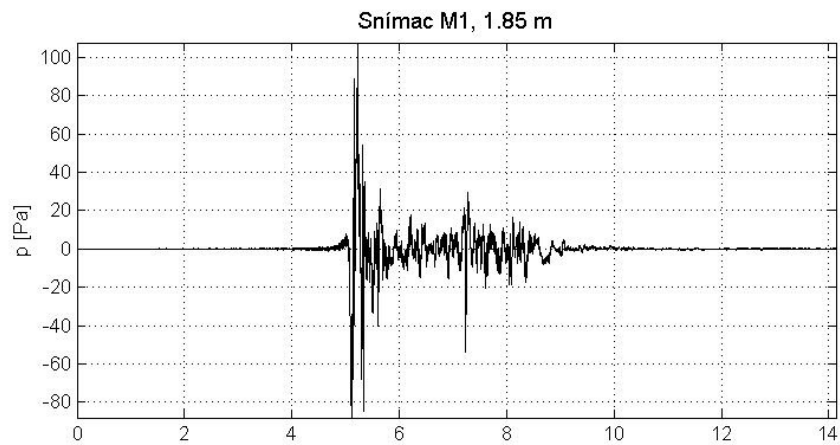




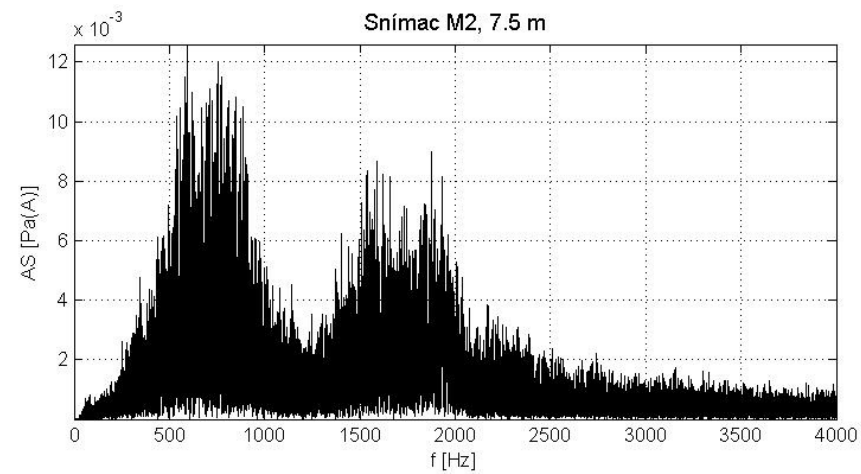
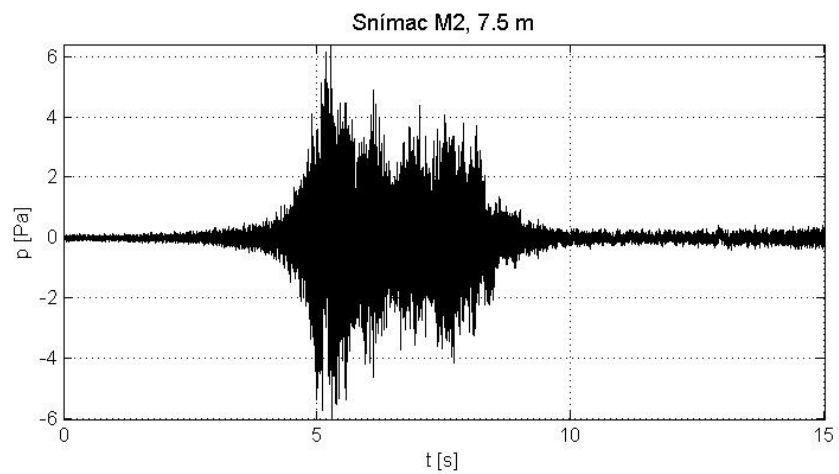
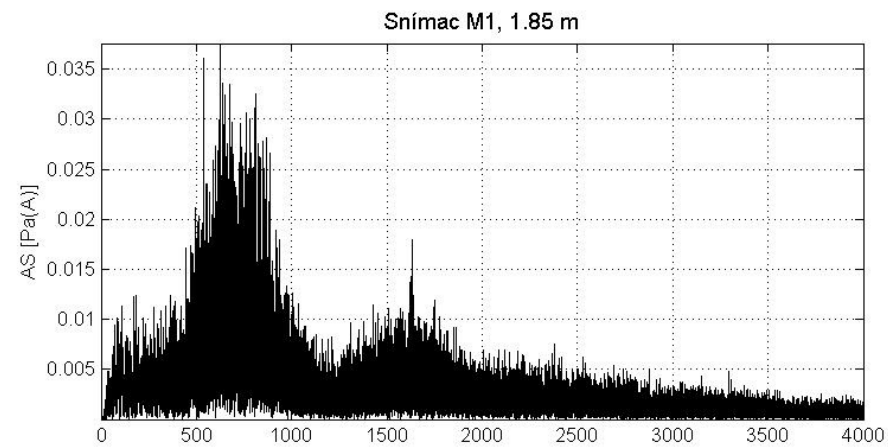
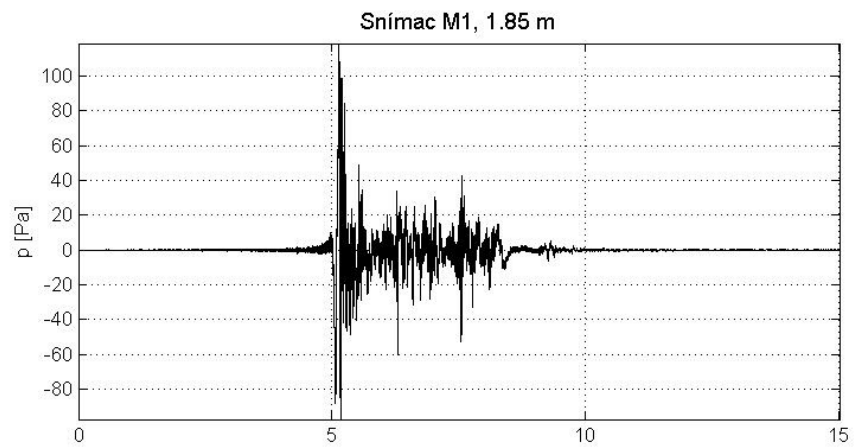
Graf C.17 LEO Express; 5 vozňov;  $v = 139$  km/h; KSL



Graf C.18 LEO Express; 5 vozňov;  $v = 113$  km/h; PJD

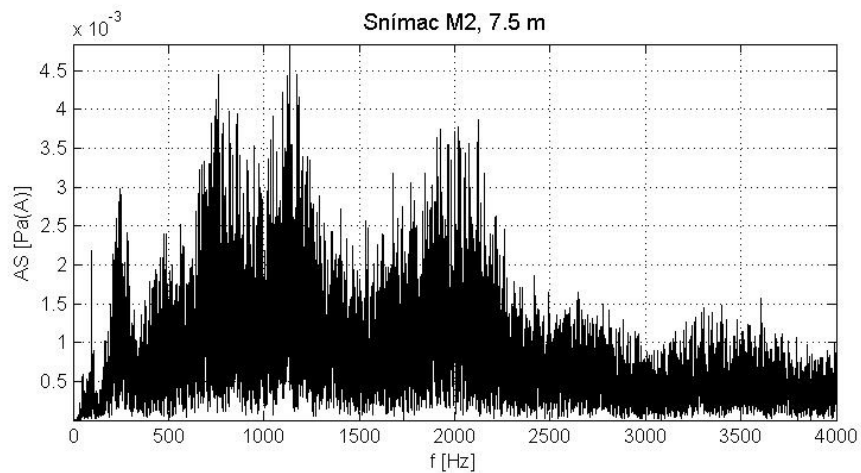
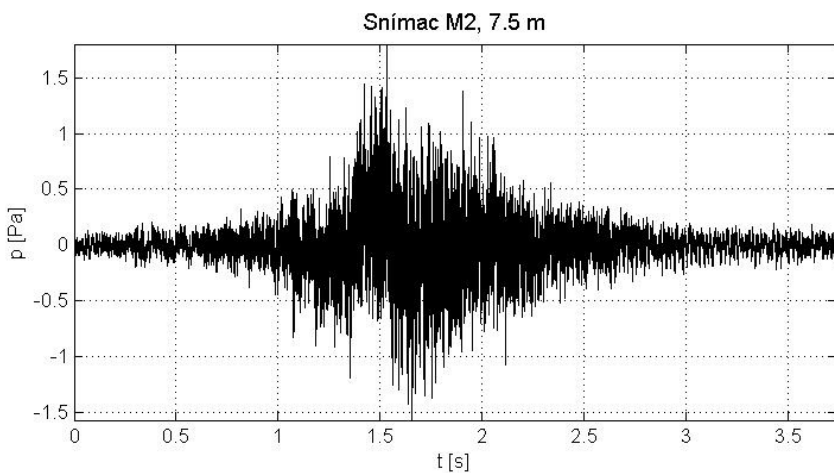
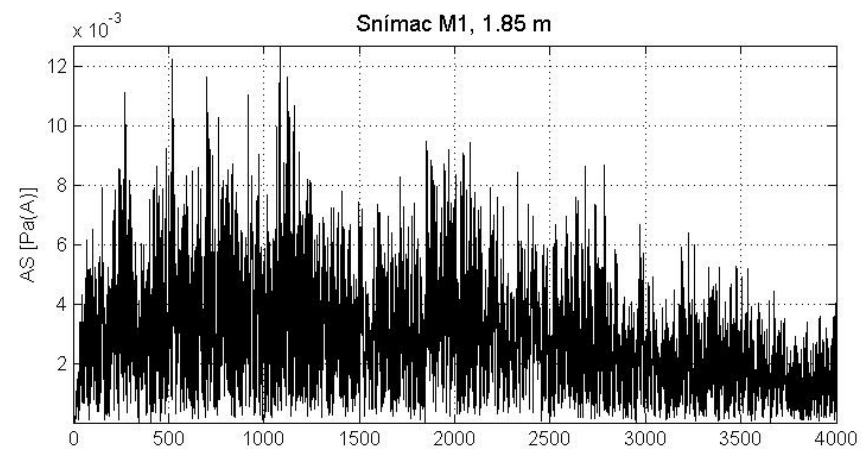
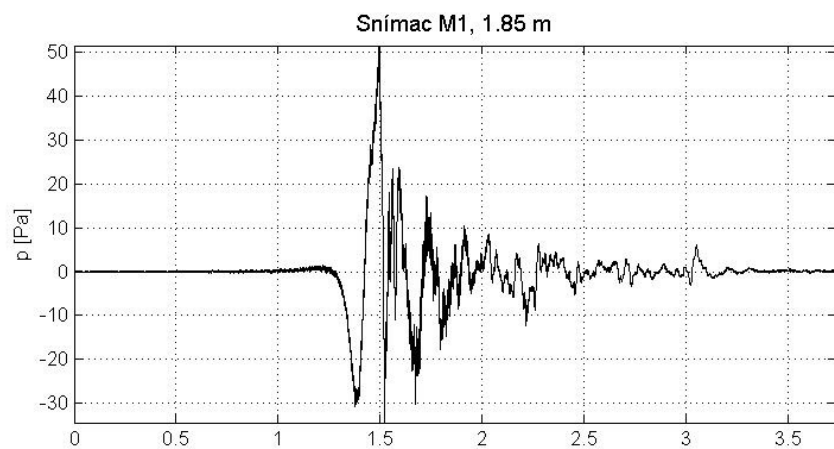


Graf C.19 Rýchlik; lokomotíva 151; 4 vozne;  $v = 130$  km/h; KSL

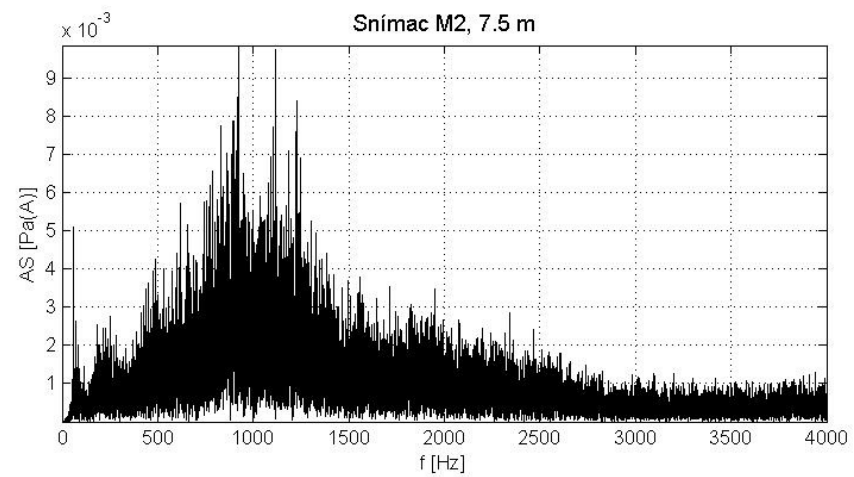
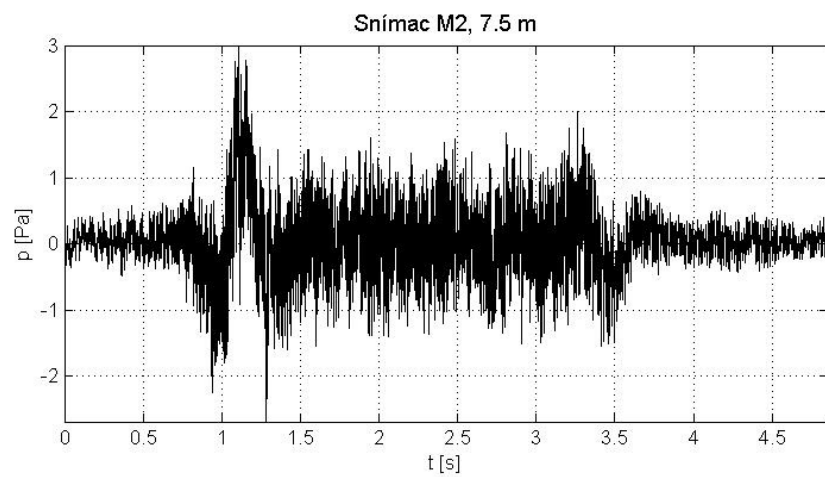
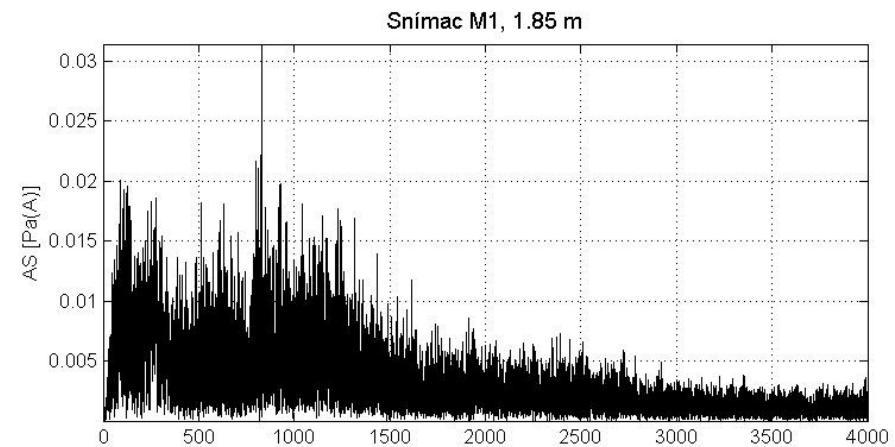
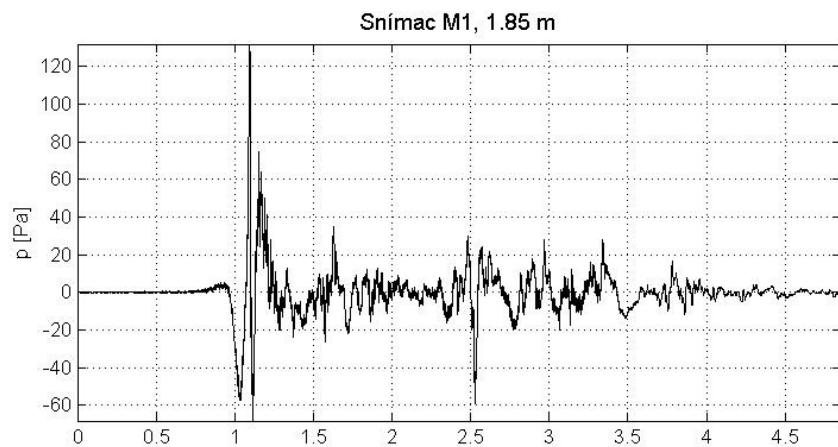


Graf C.20 Rýchlik; lokomotíva 151; 4 vozne;  $v = 130$  km/h; PJD

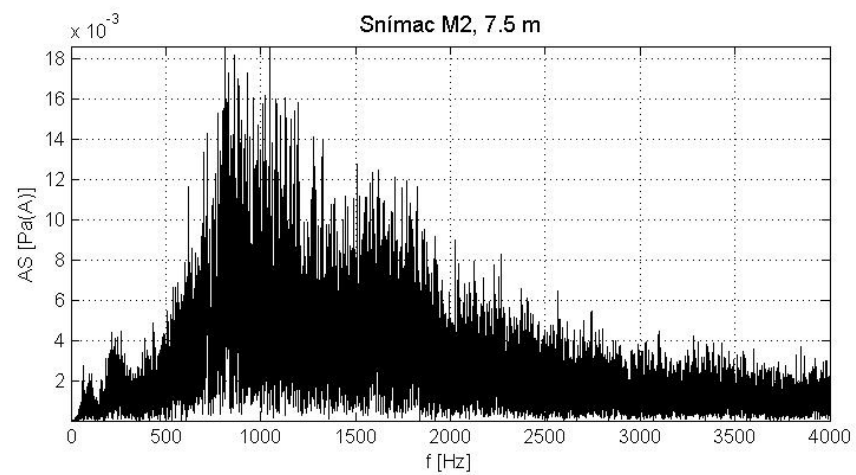
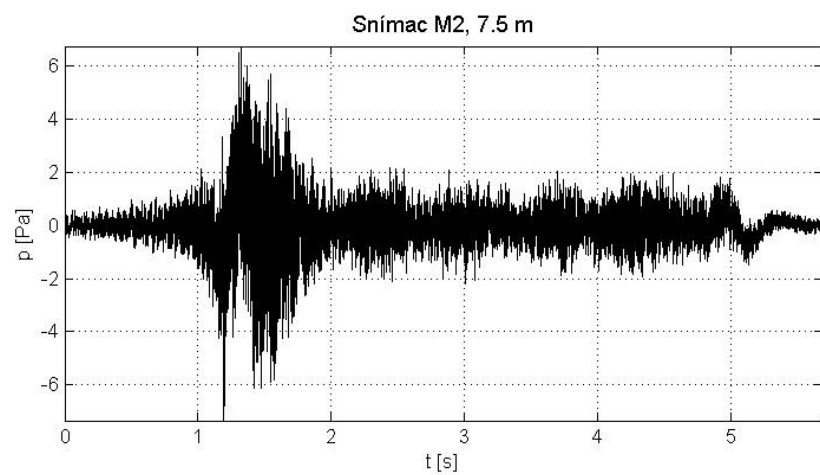
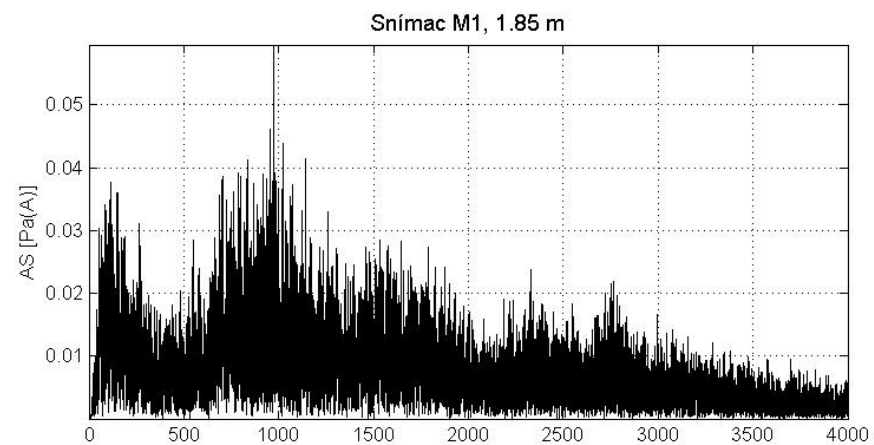
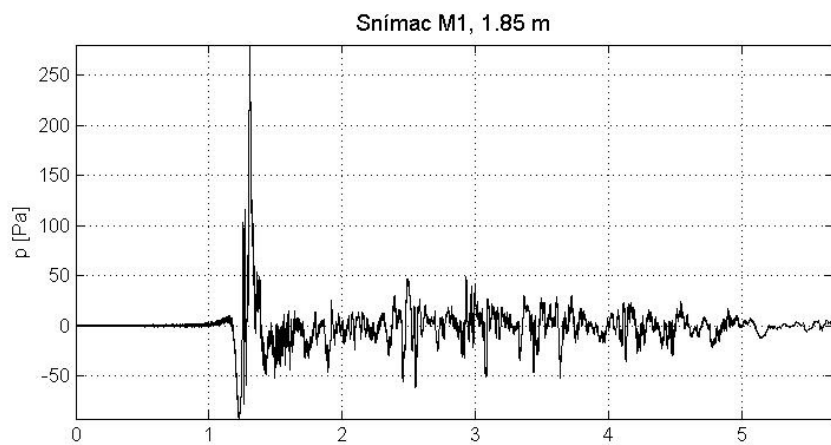
Ostatné vlakové súpravy:



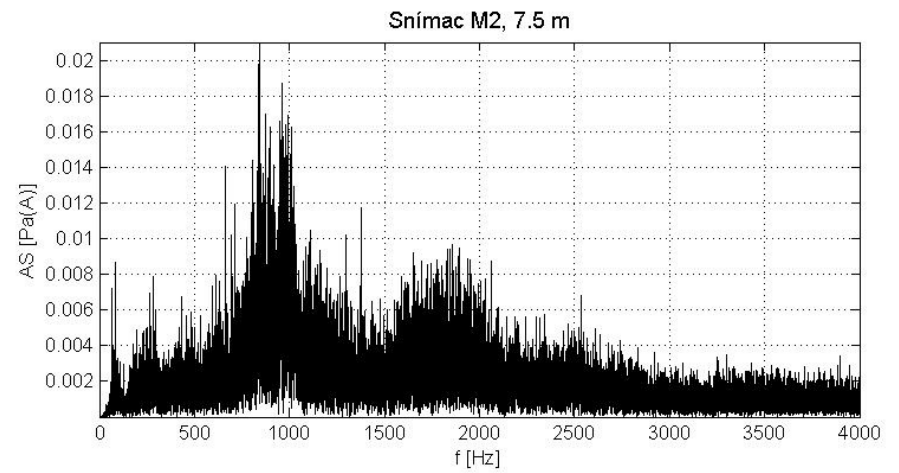
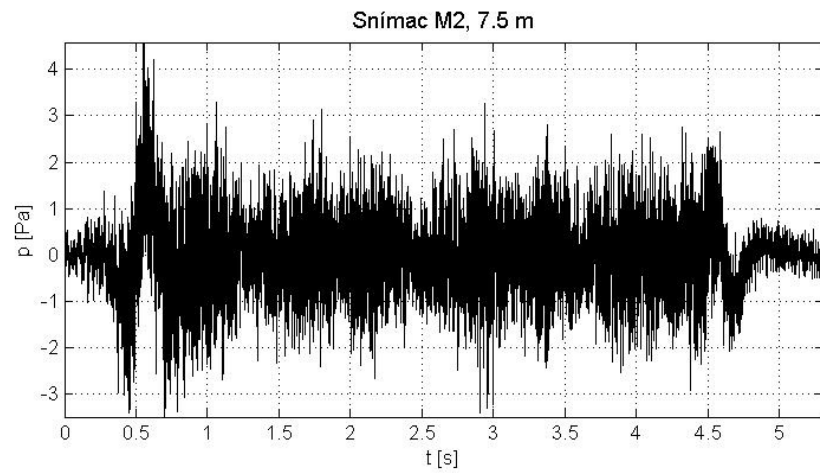
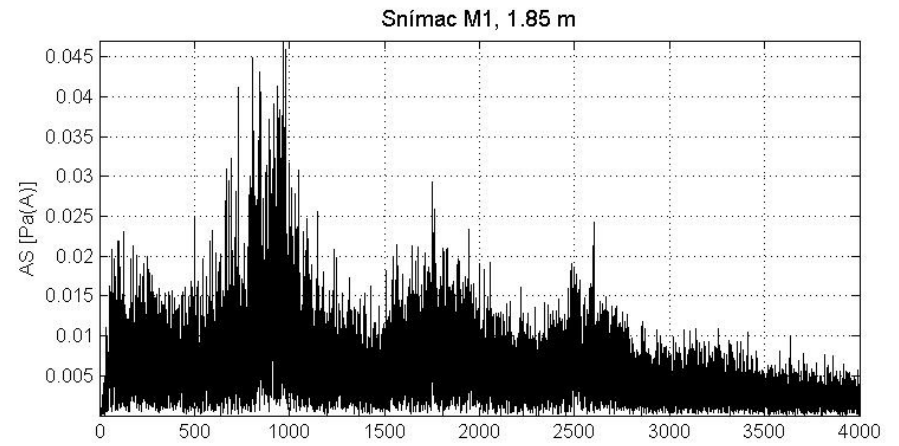
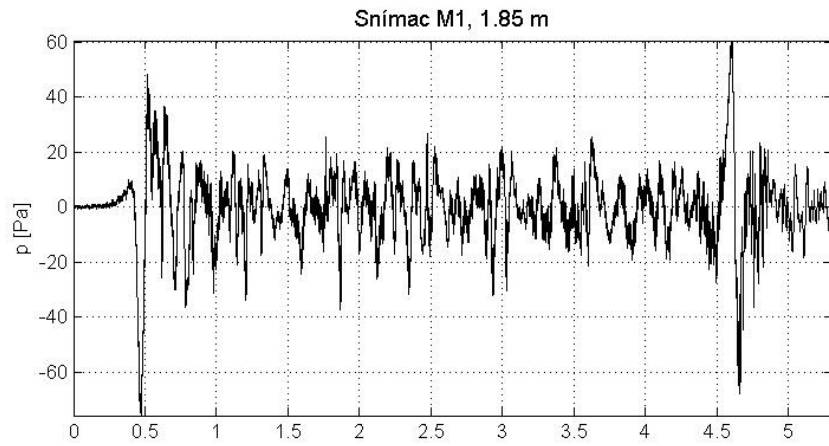
Graf C.21 Osobný vlak; lokomotíva 810; 1 vozeň;  $v = 84$  km/h; KSL



Graf C.22 LEO Express; 5 vozňov;  $v = 144$  km/h; KSL

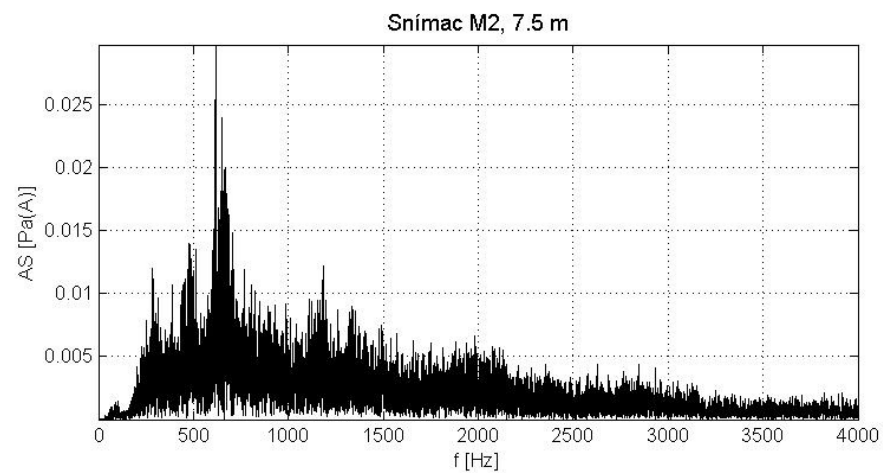
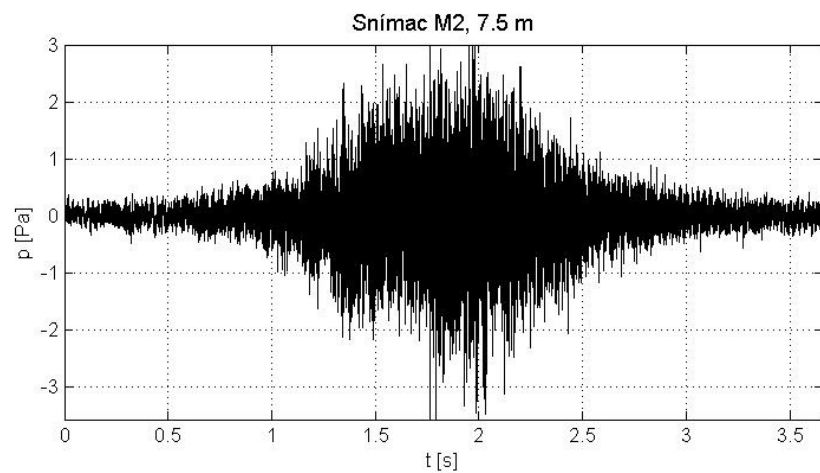
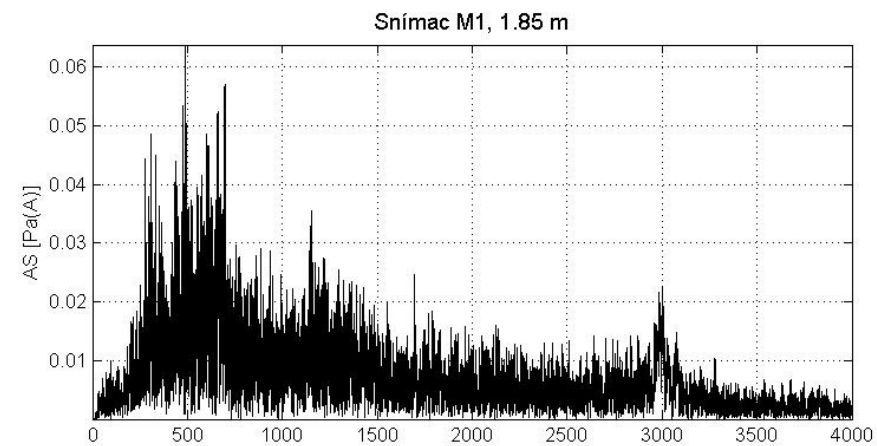
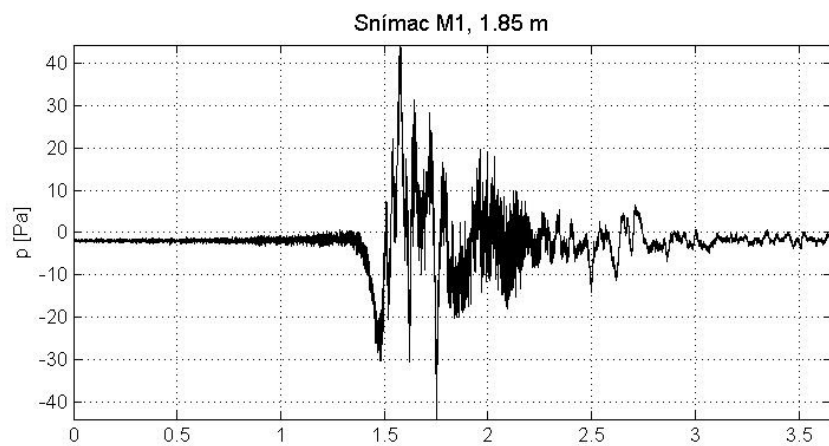


Graf C.23 Rýchlik; lokomotíva 380; 5 vozňov;  $v = 140$  km/h; KSL

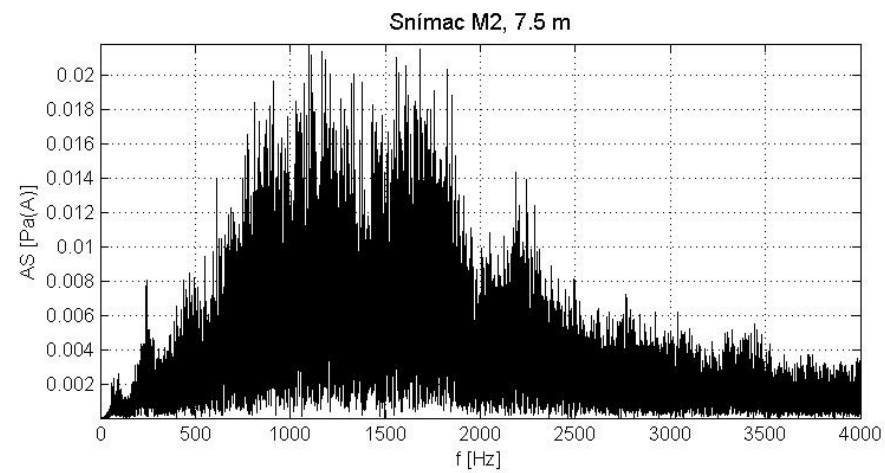
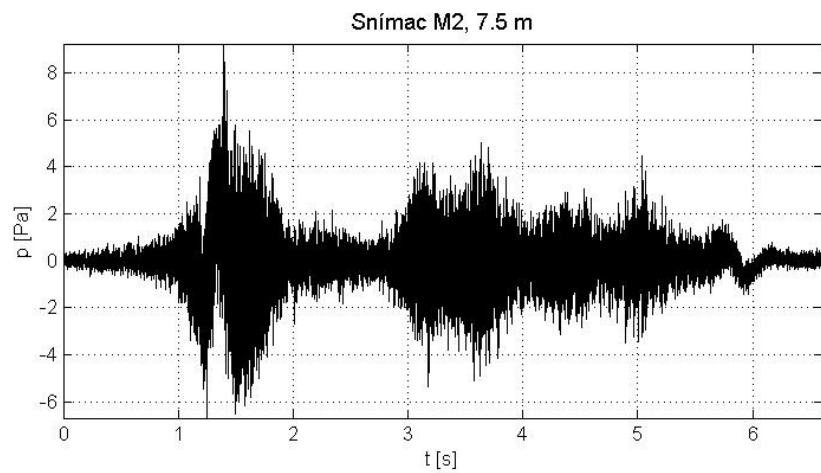
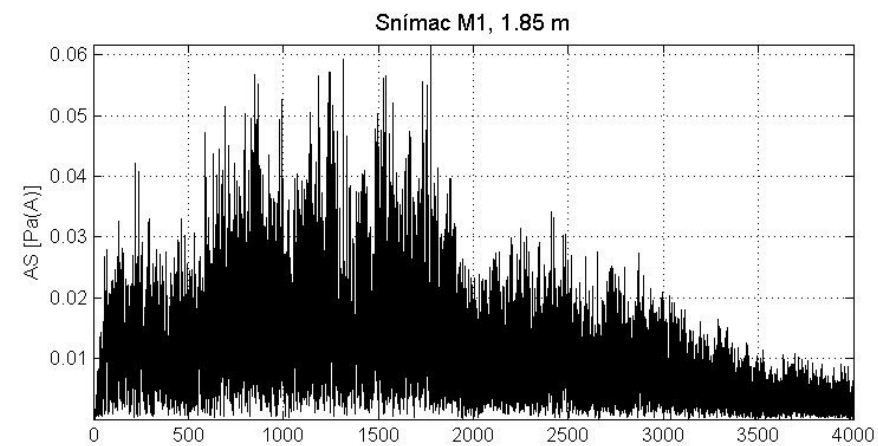
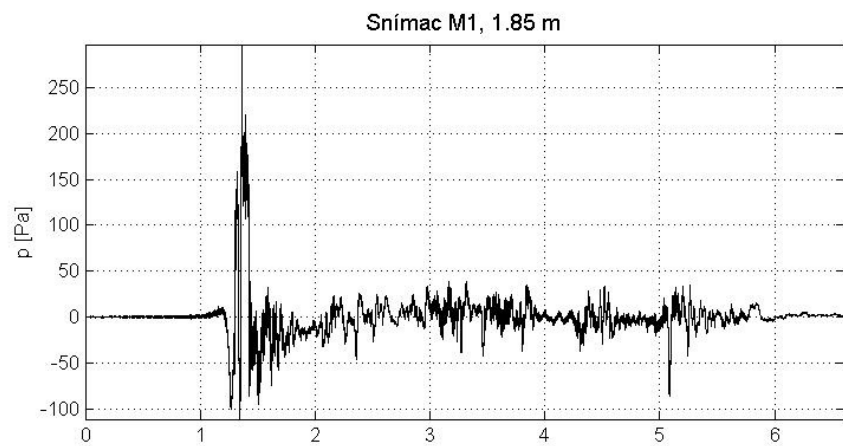


Graf C.24 SC Pendolino; lokomotíva 681; 7 vozňov;  $v = 160$  km/h; KSL

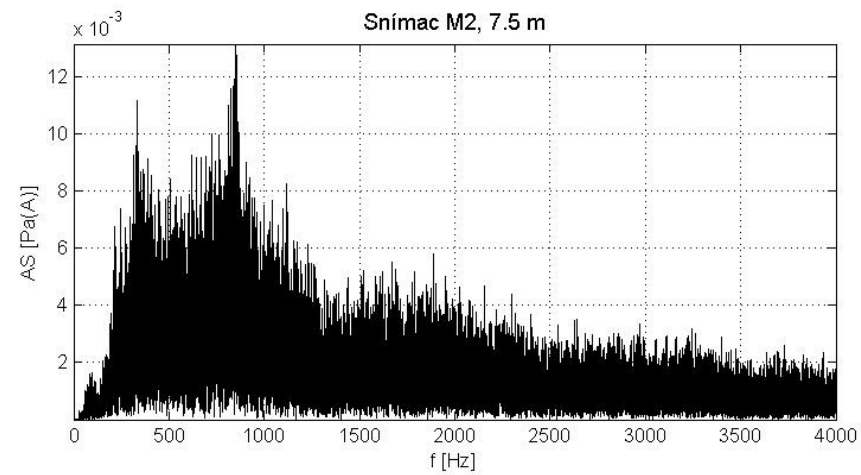
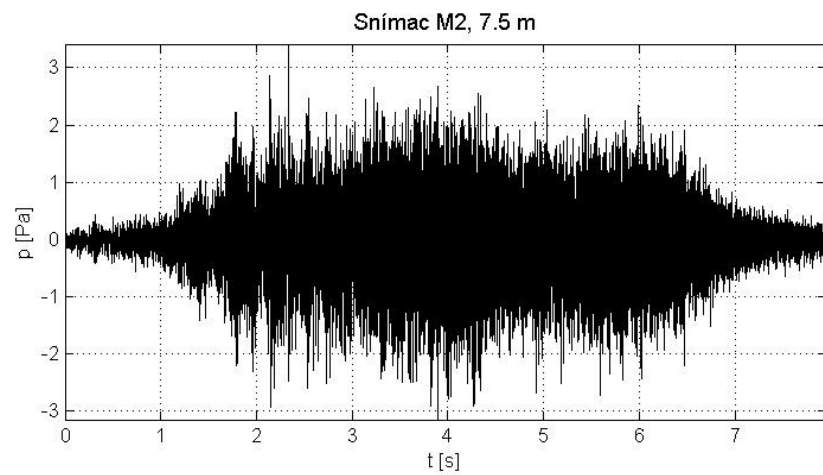
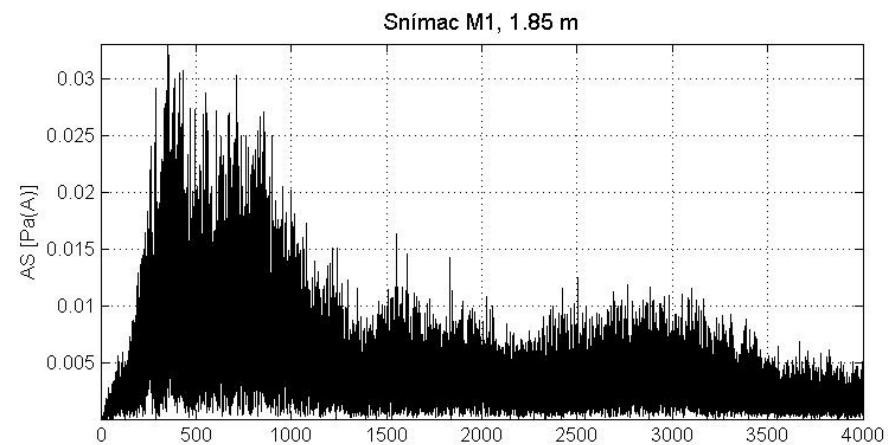
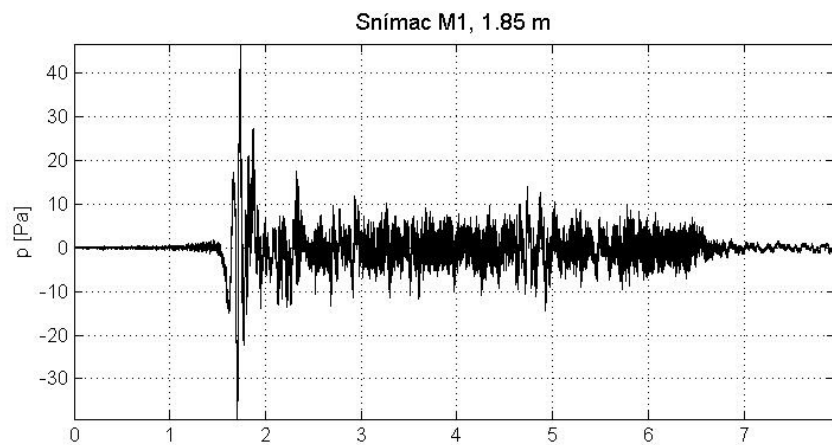




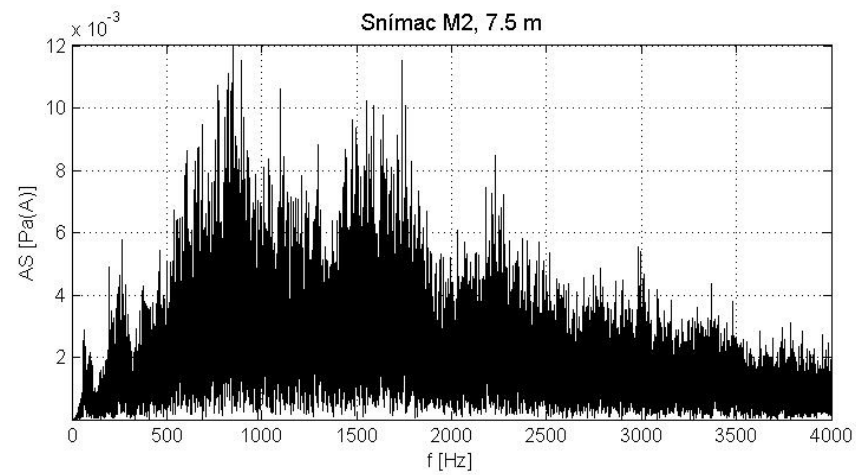
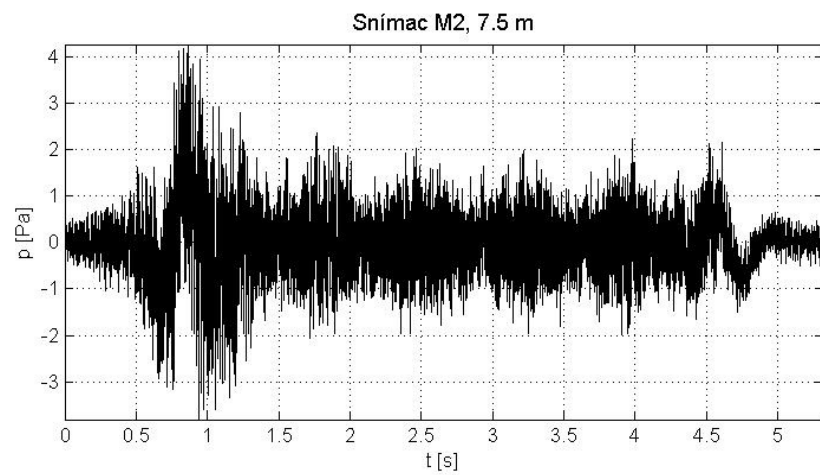
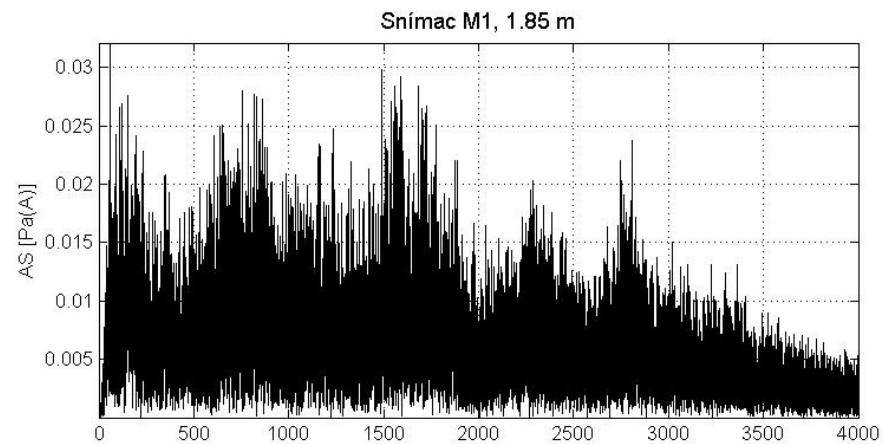
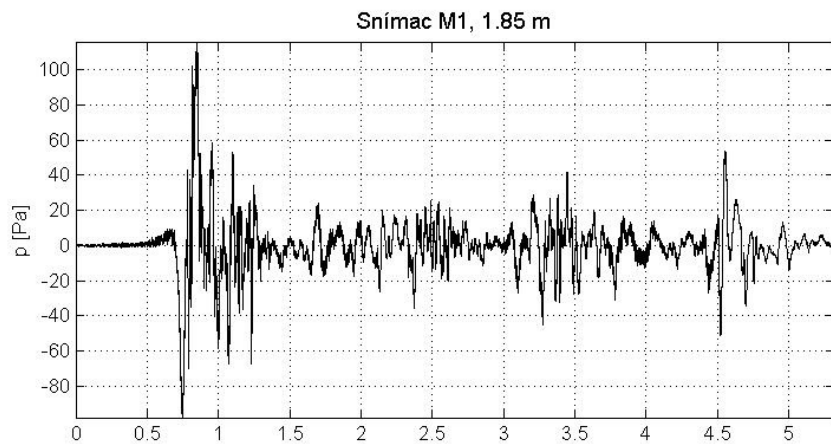
Graf C.25 Lokomotíva 363; bez vozňa;  $v = 79$  km/h; KSL



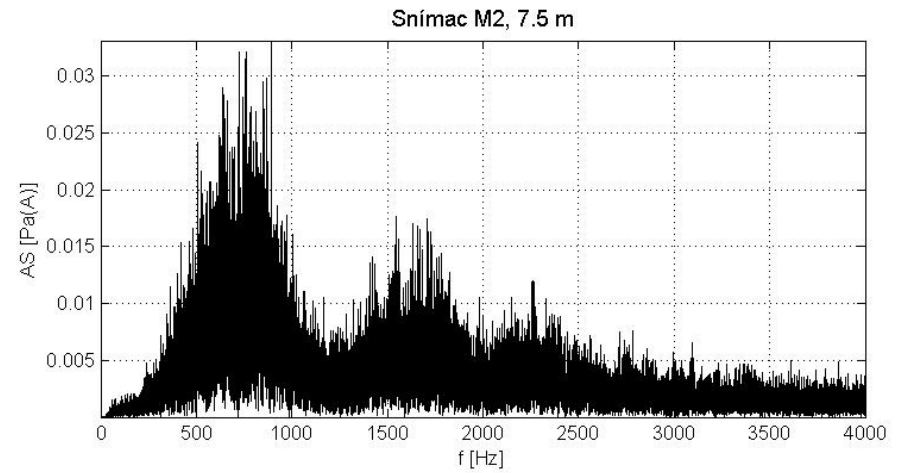
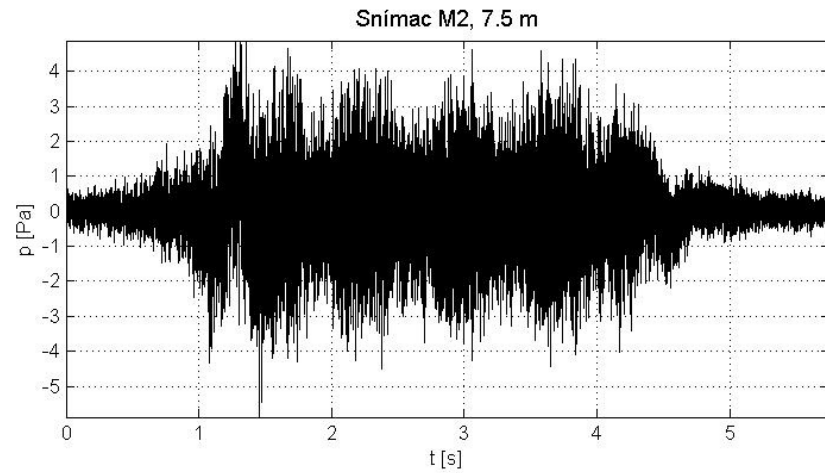
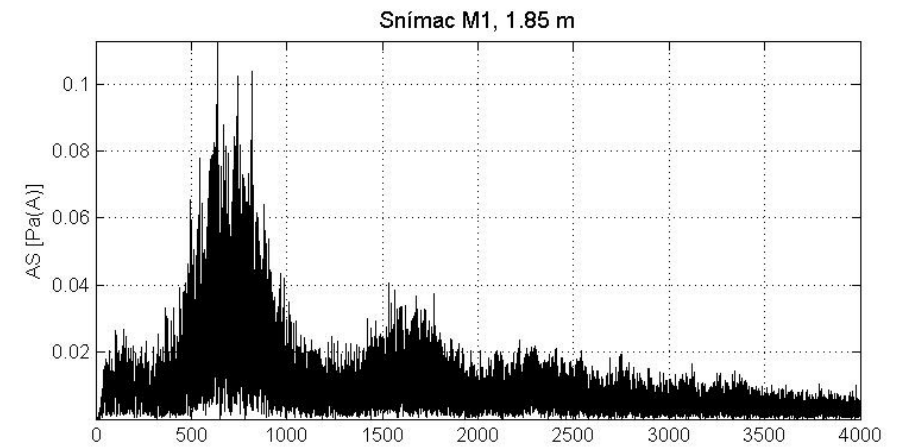
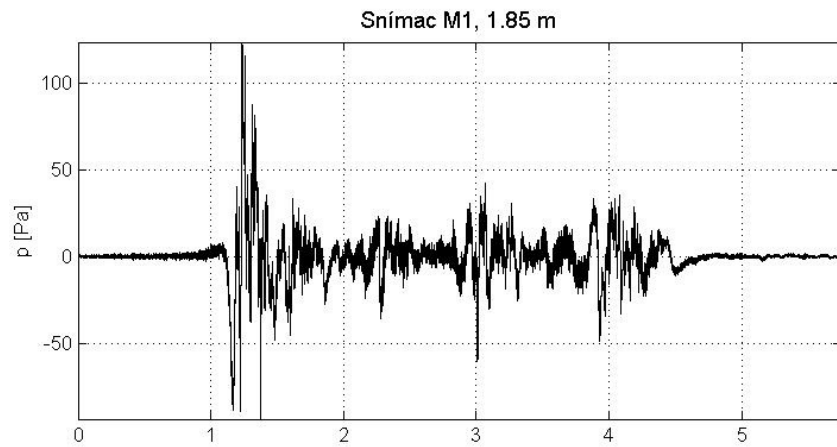
Graf C.26 RegoJet; 6 vozňov;  $v = 137$  km/h; KSL



Graf C.27 Nákladný vlak; lokomotíva 130; 6 vozňov;  $v = 70$  km/h; KSL



Graf C.28 Rýchlik; lokomotíva 151; 5 vozňov;  $v = 141$  km/h; KSL



Graf C.29 Rýchlik; lokomotíva 151; 4 vozne;  $v = 127$  km/h; PJD



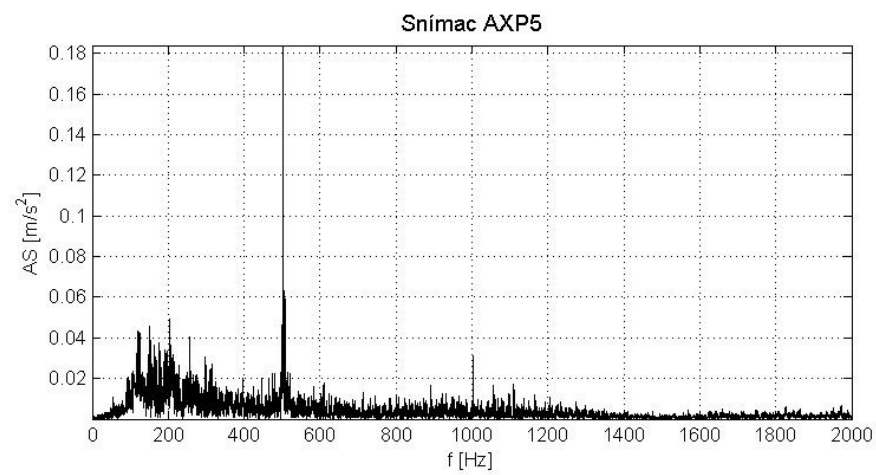
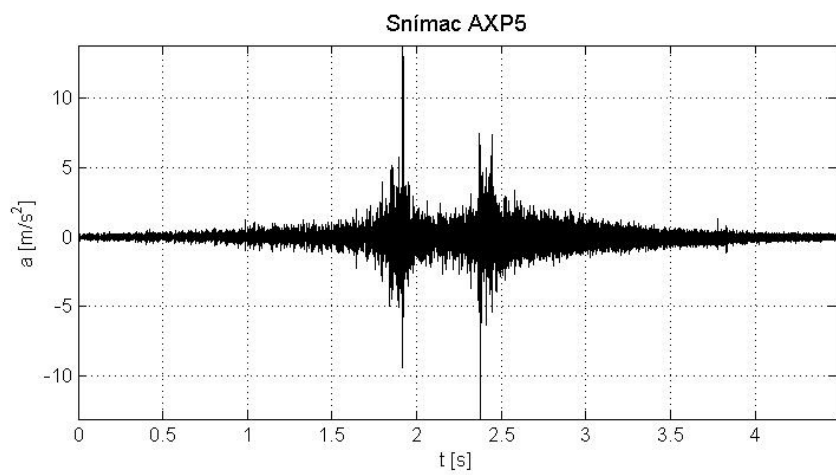
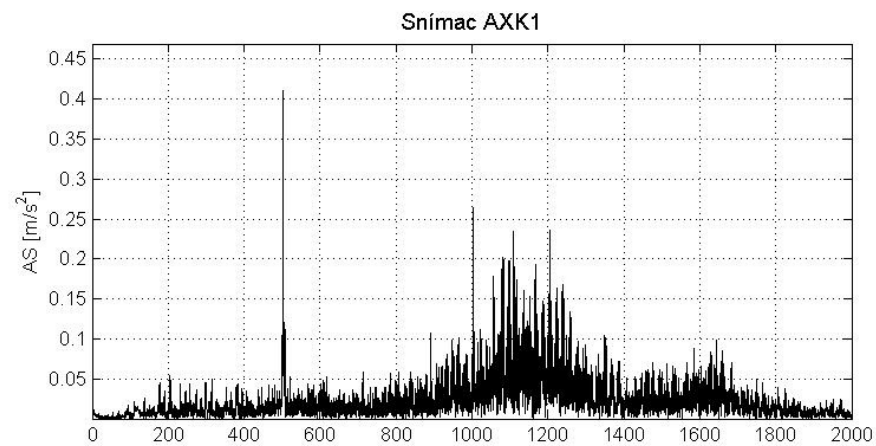
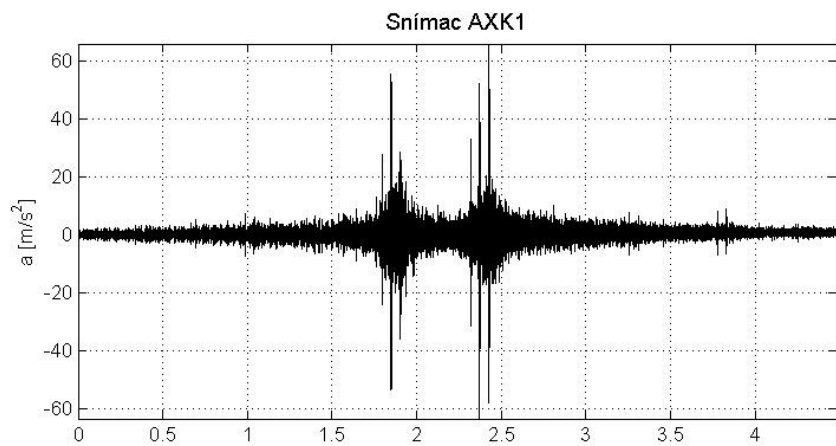
# **PRÍLOHA D**

Grafy dynamickej odozvy



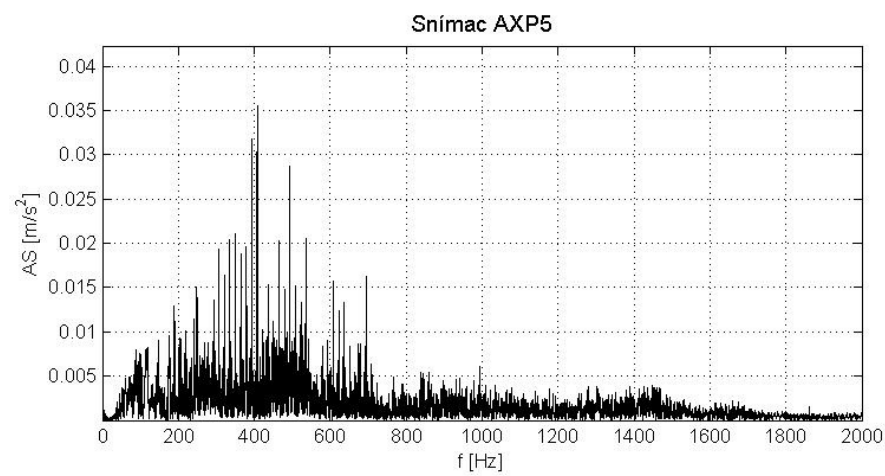
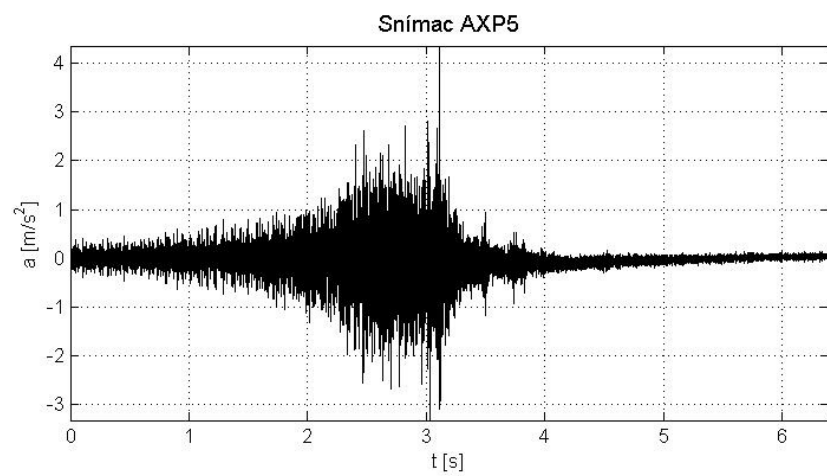
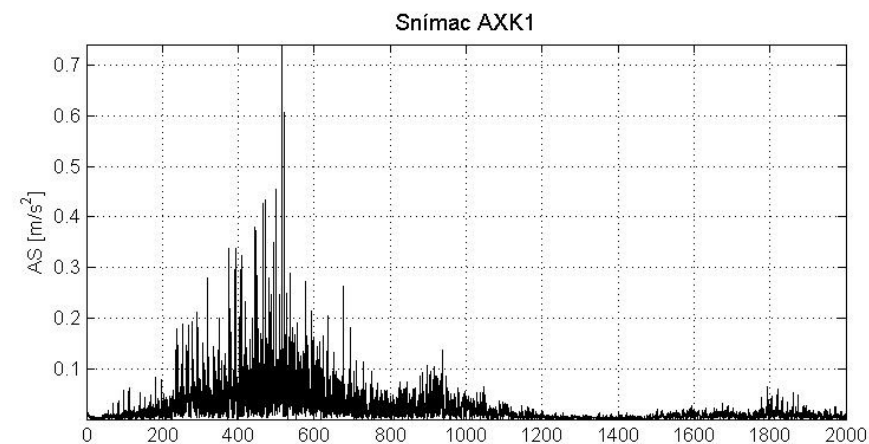
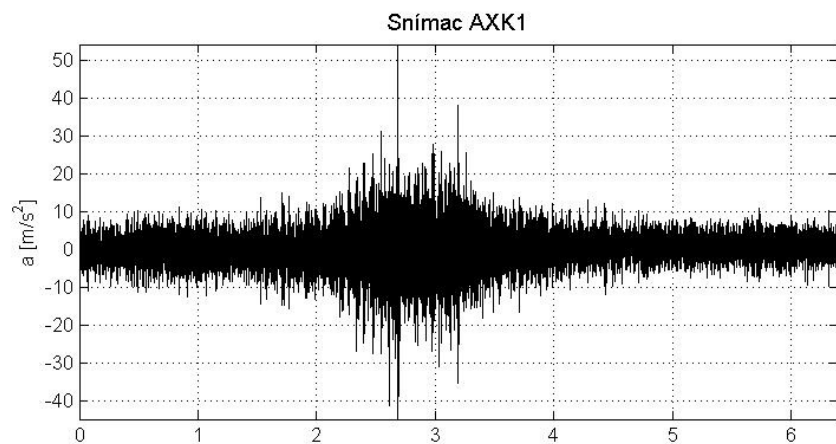


Porovnávané dvojice:

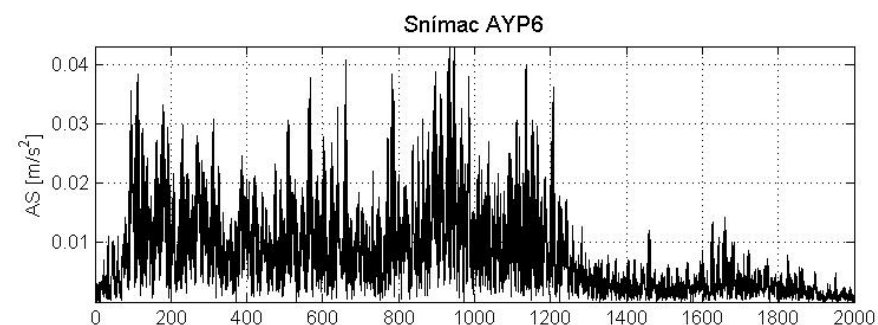
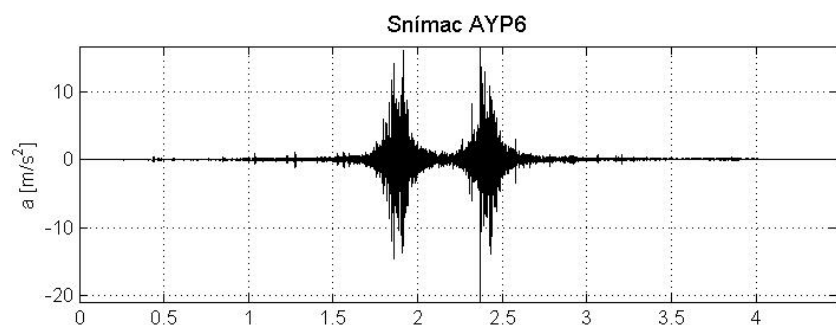
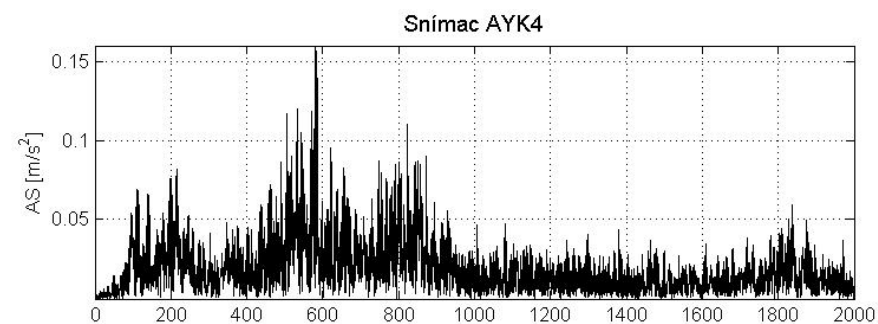
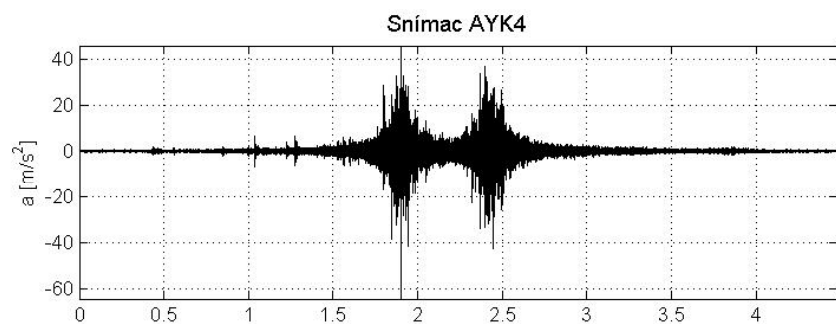
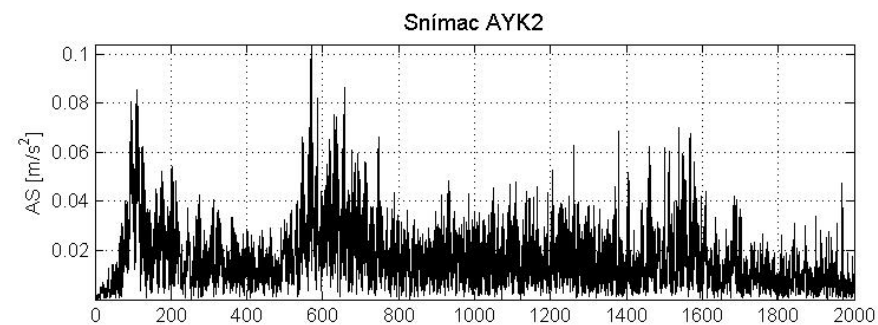
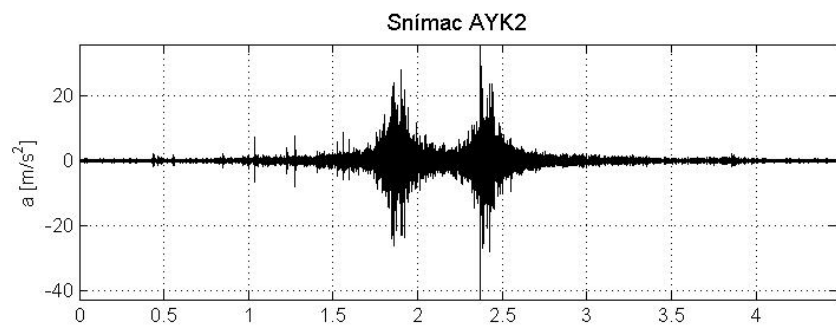


152

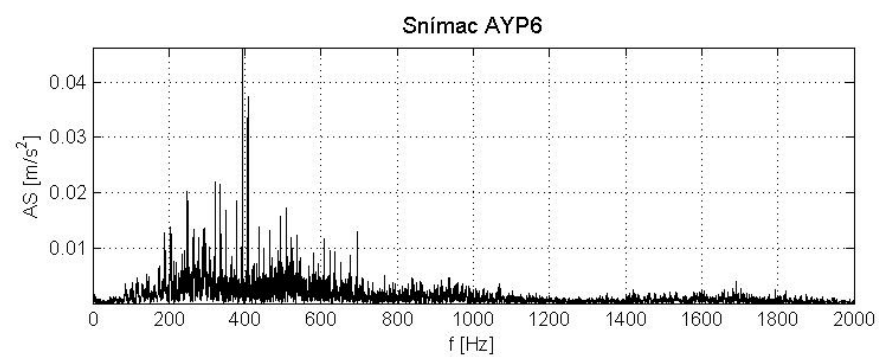
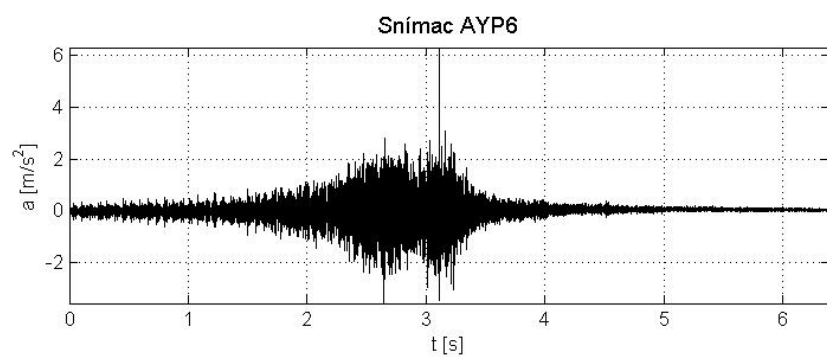
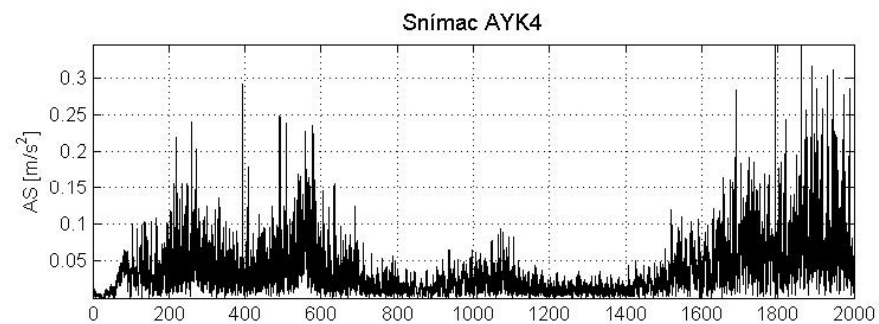
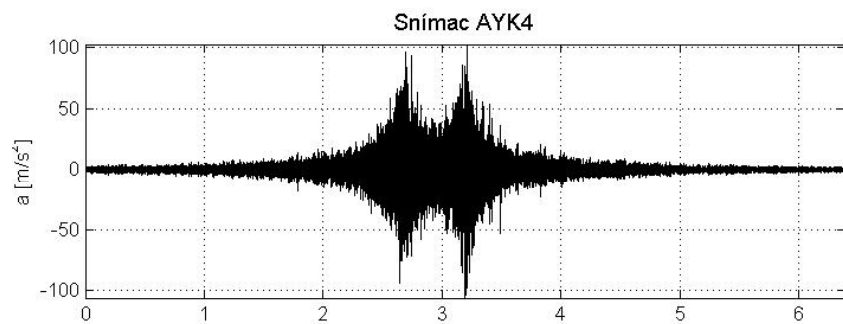
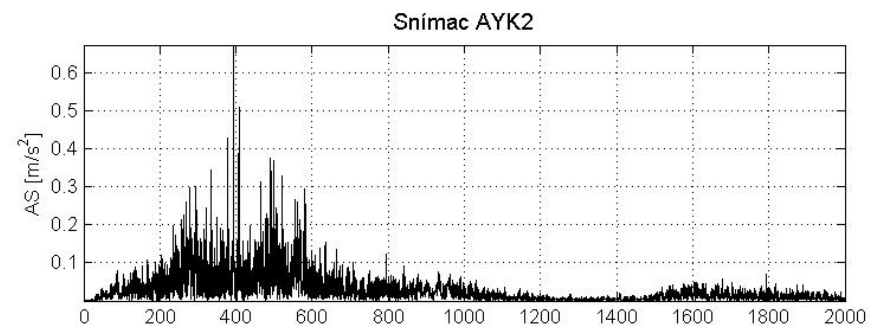
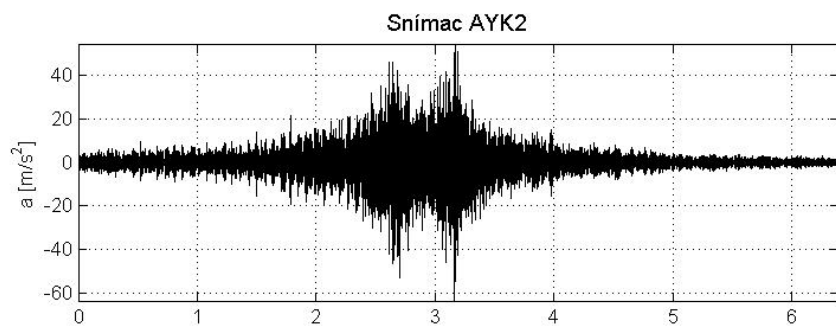
Graf D.1 Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň;  $v = 119$  km/h; KSL; pozdĺžny smer



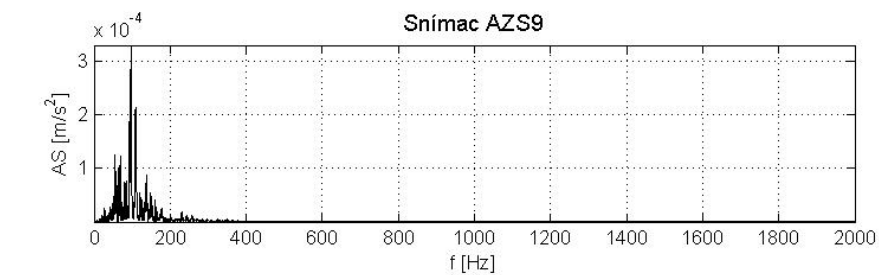
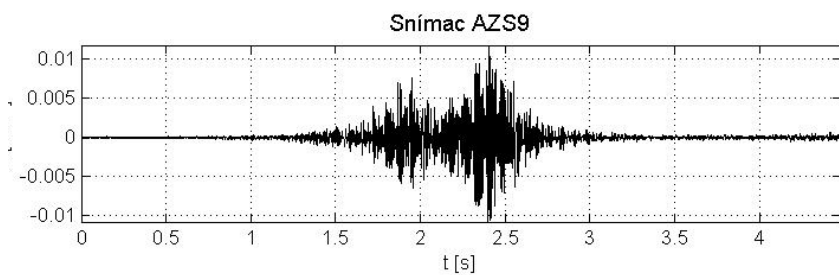
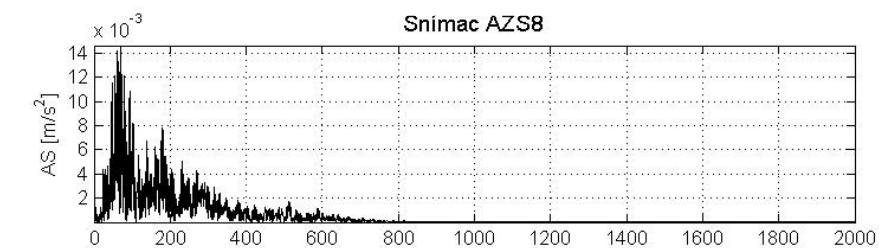
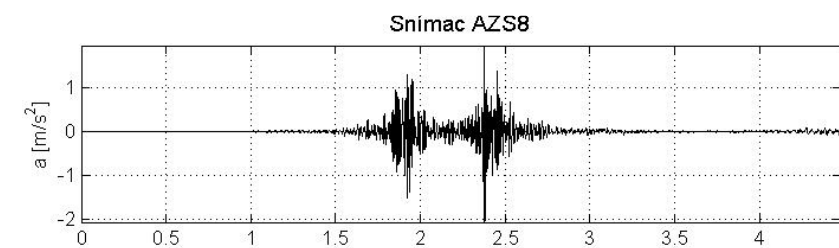
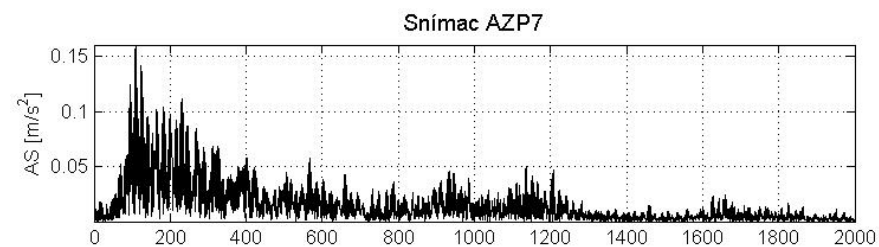
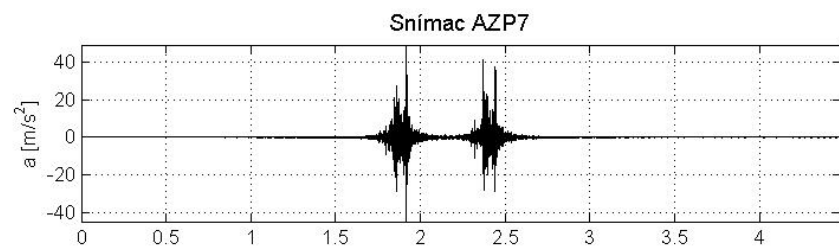
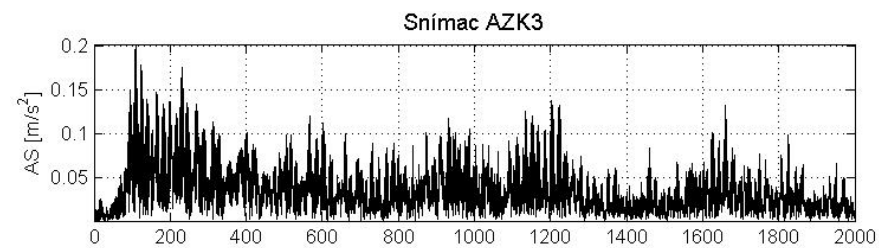
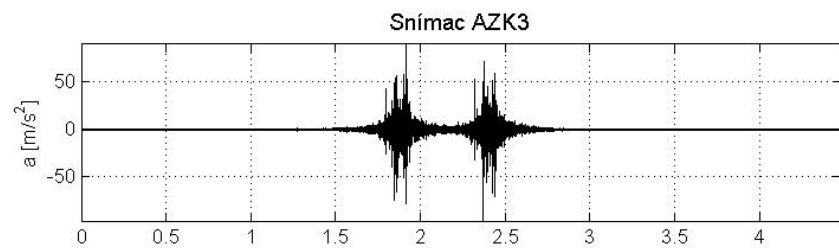
Graf D.2 Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň;  $v = 110$  km/h; PJD; pozdĺžny smer



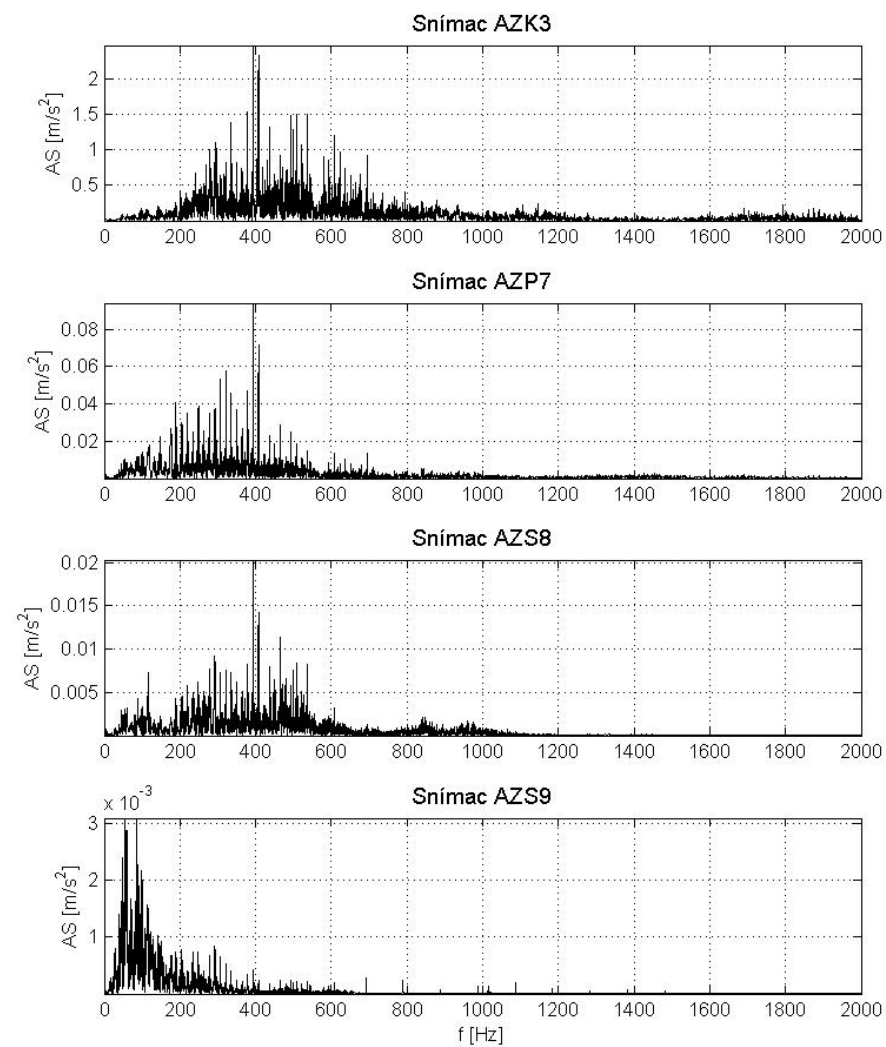
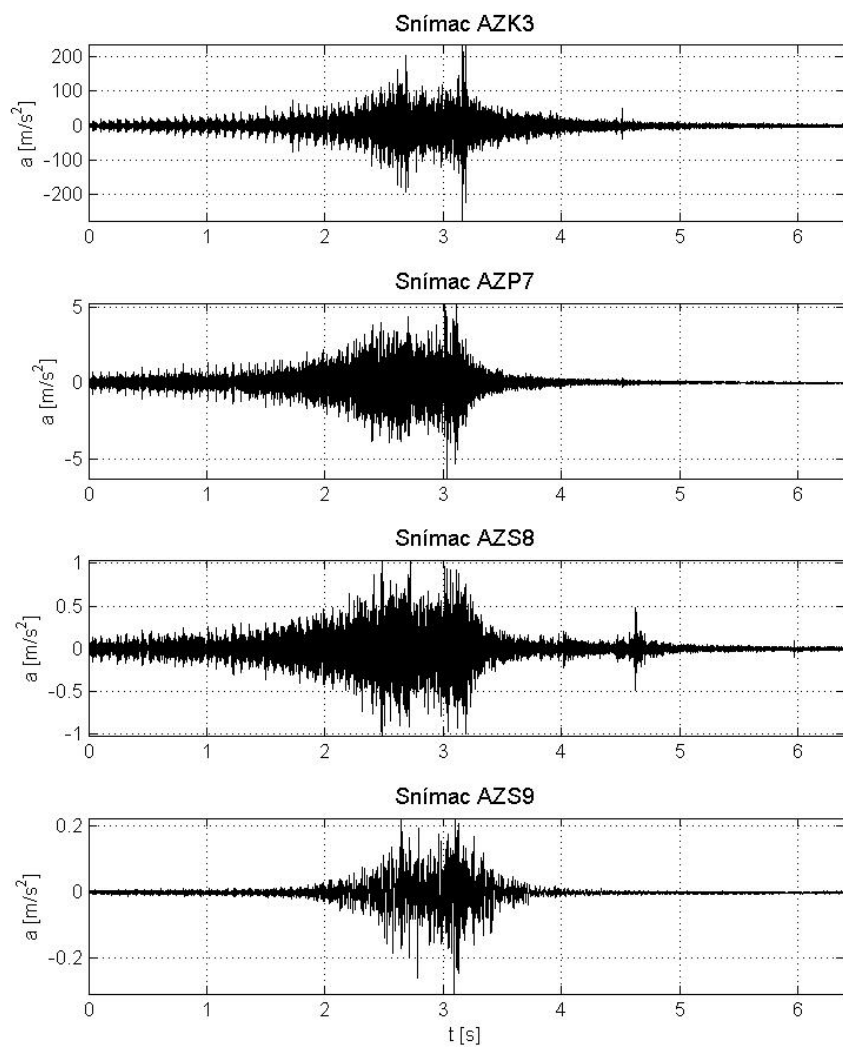
Graf D.3 Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň;  $v = 119$  km/h; KSL; priečny smer



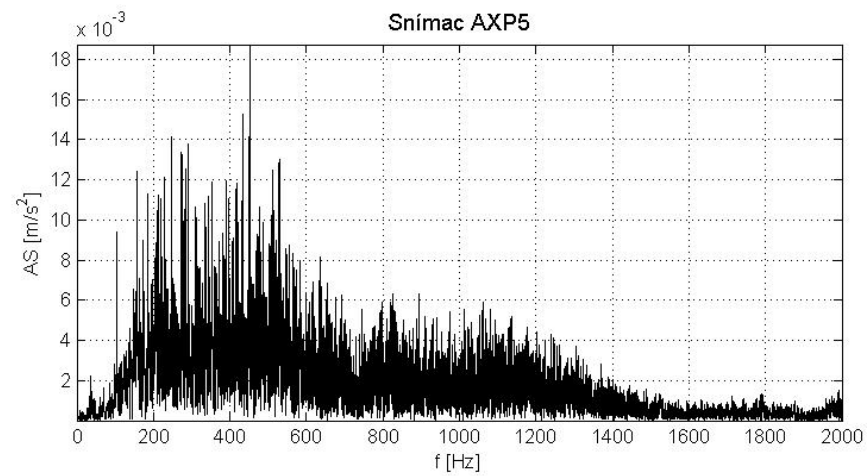
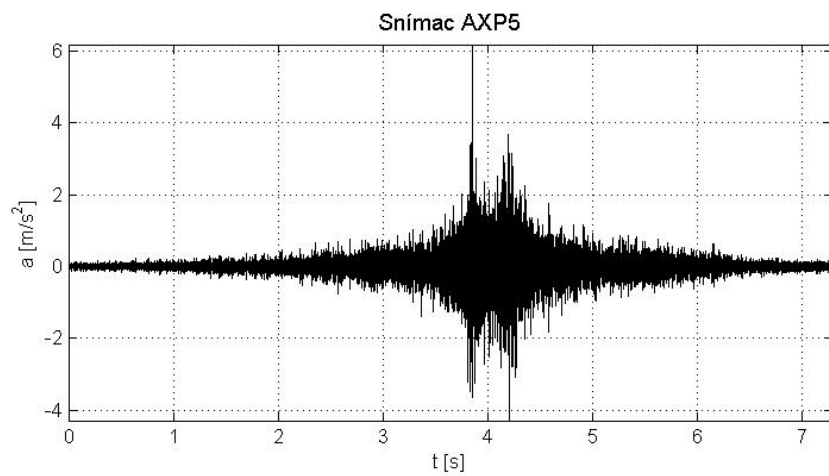
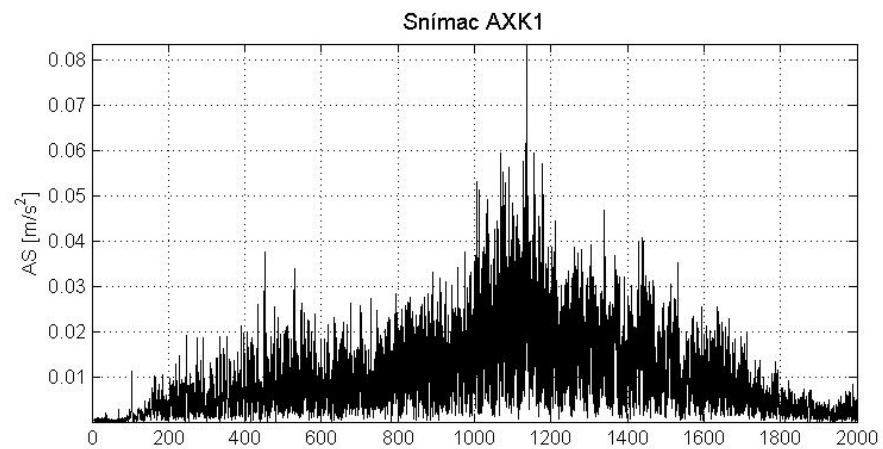
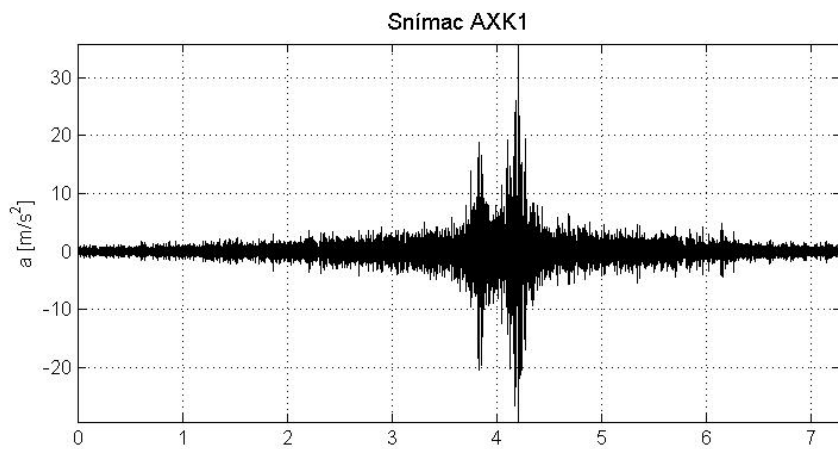
Graf D.4 Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň;  $v = 110$  km/h; PJD; priečny smer



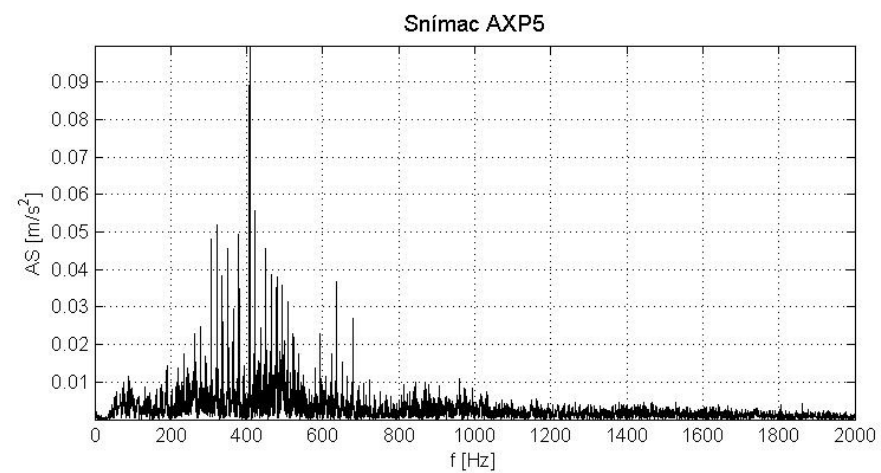
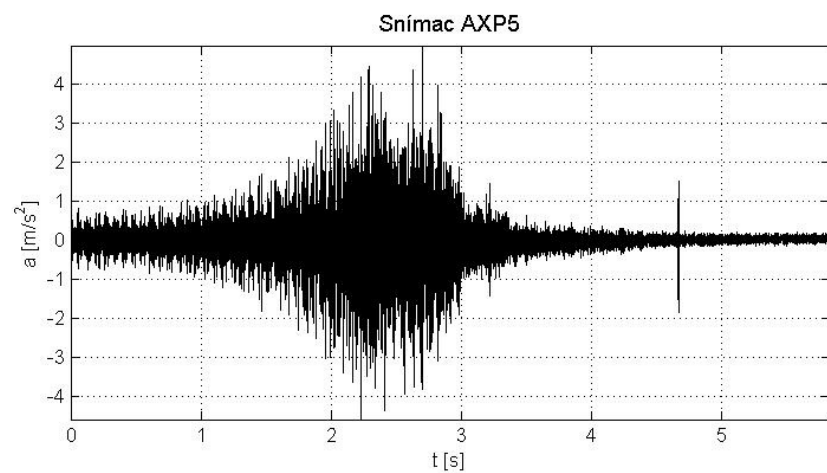
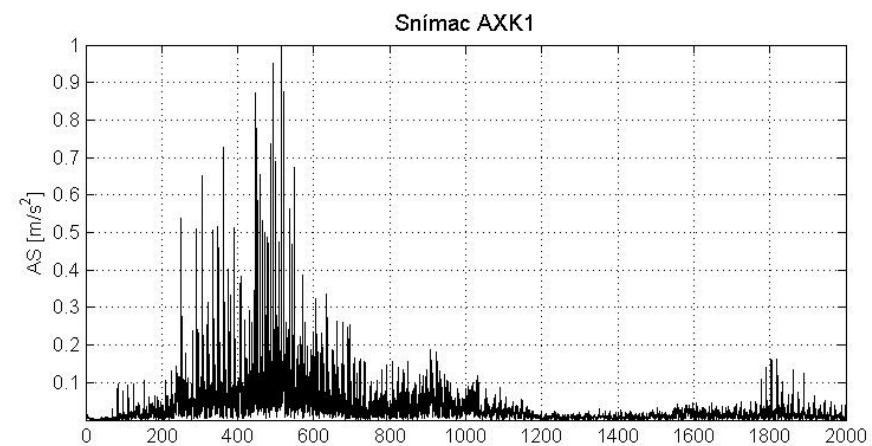
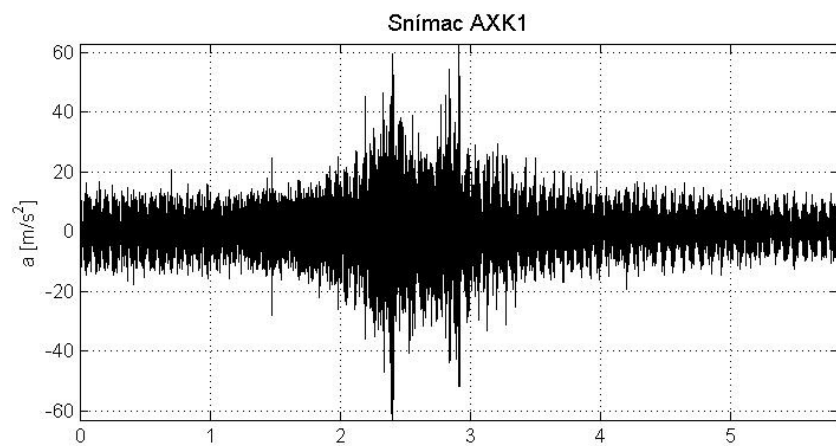
Graf D.5 Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň;  $v = 119$  km/h; KSL; zvislý smer



Graf D.6 Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň;  $v = 110$  km/h; PJD; zvislý smer

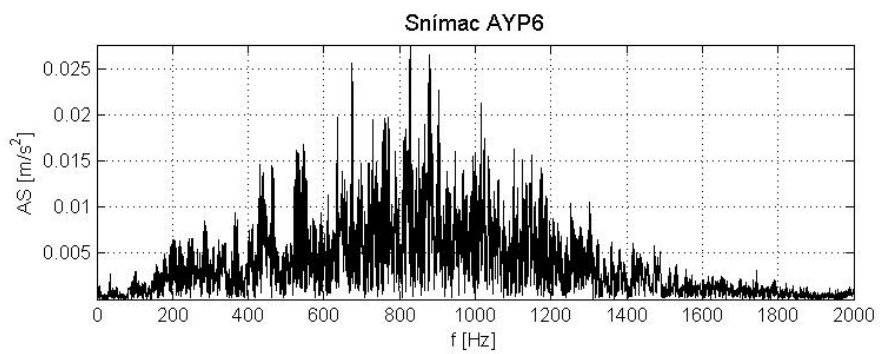
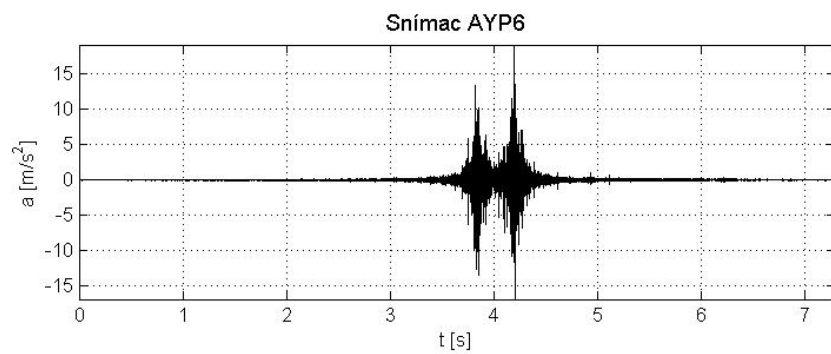
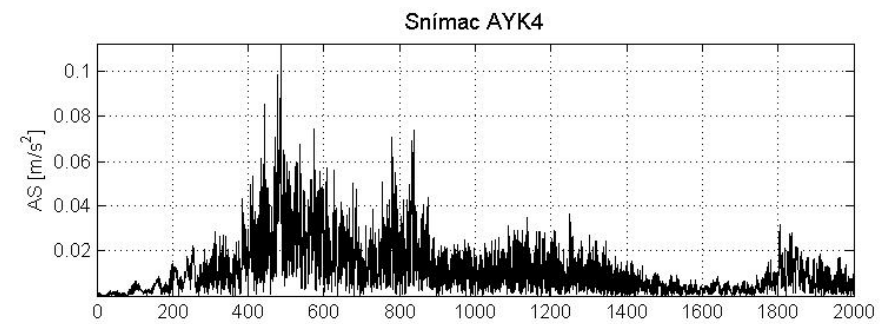
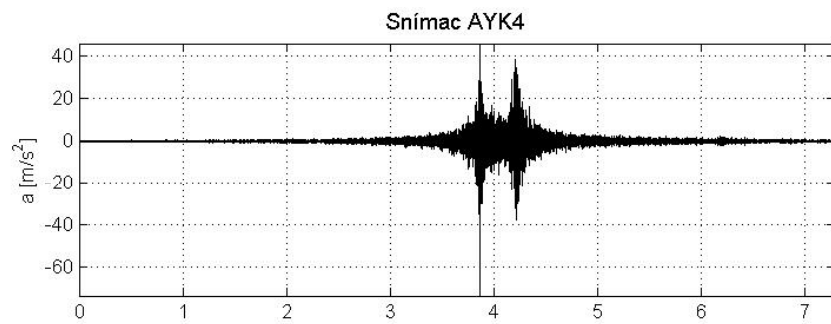
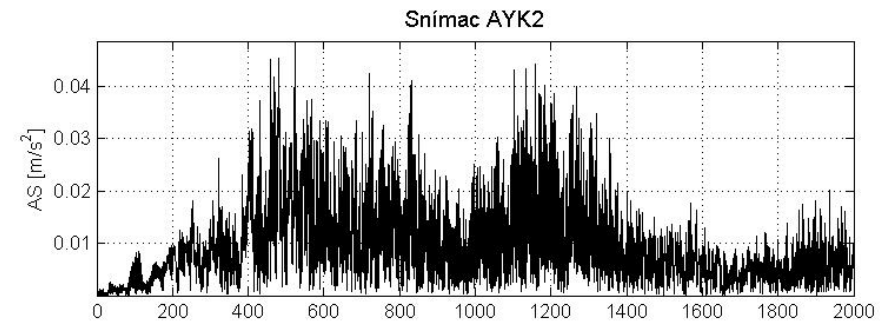
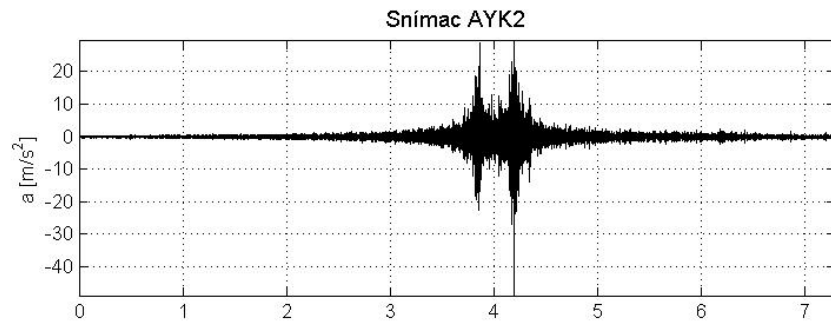


Graf D.7 Osobný vlak; lokomotíva 810; 1 vozeň;  $v = 85$  km/h; KSL; pozdĺžny smer

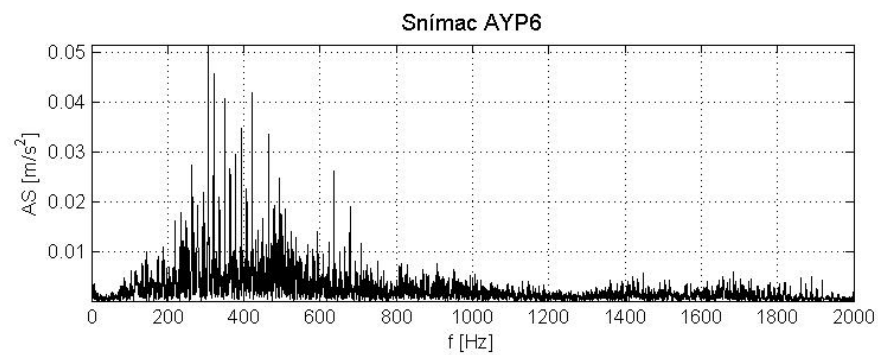
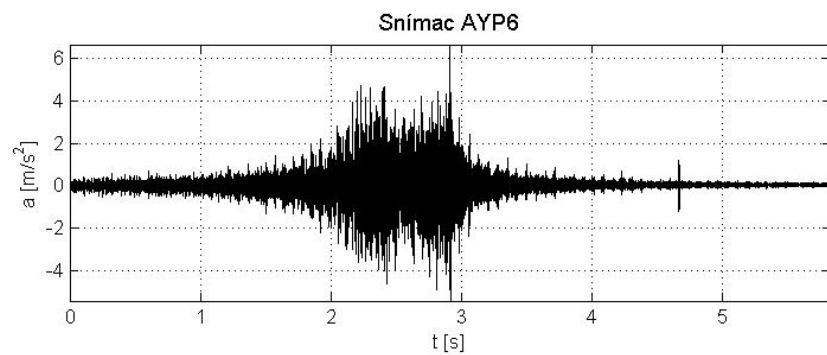
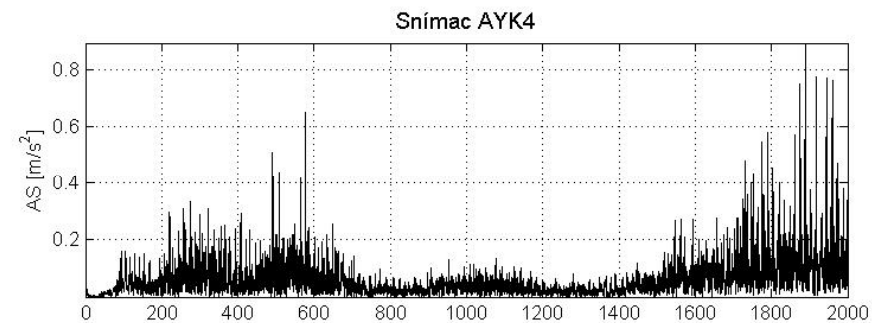
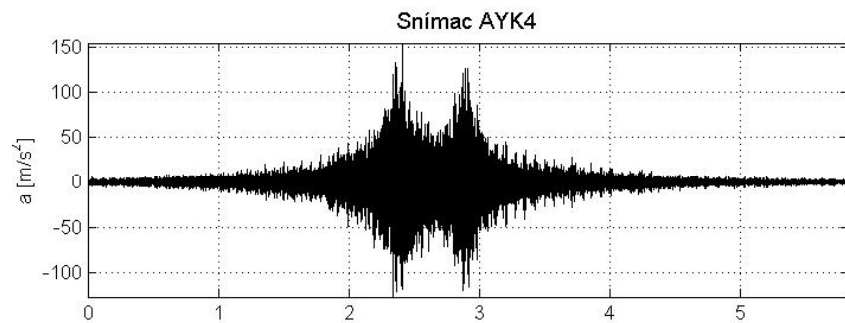
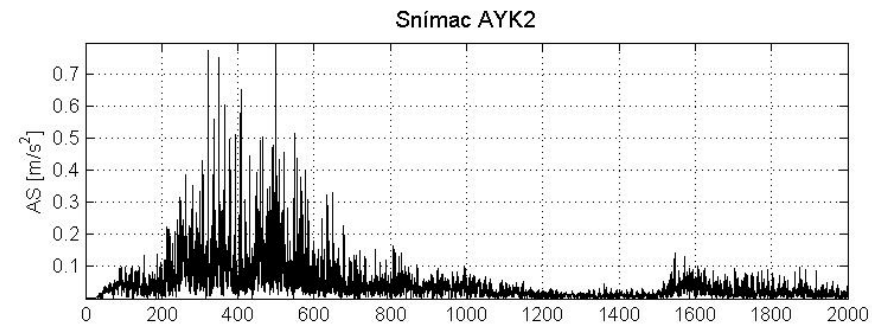
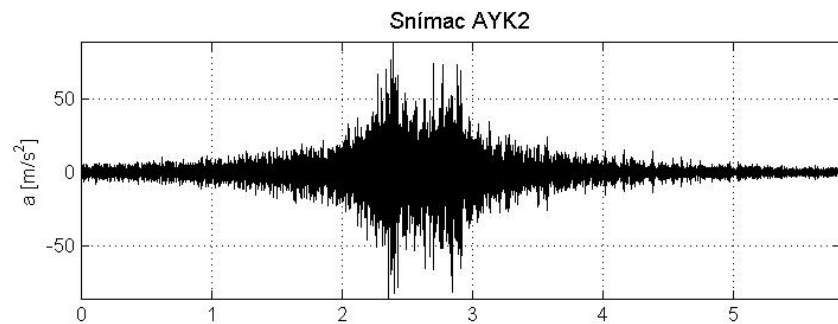


Graf D.8 Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň;  $v = 111$  km/h; PJD; pozdĺžny smer

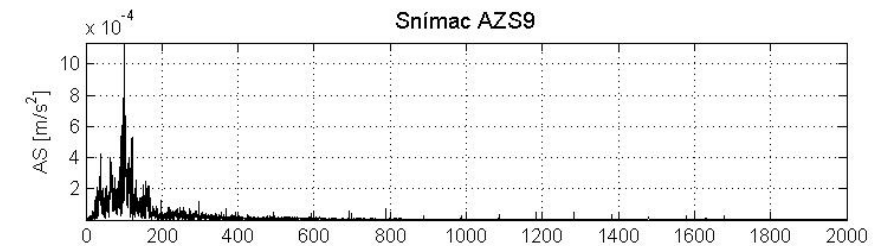
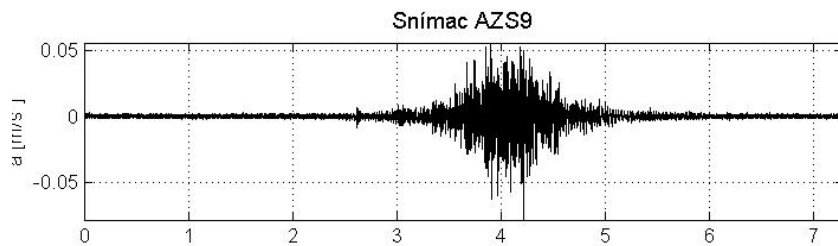
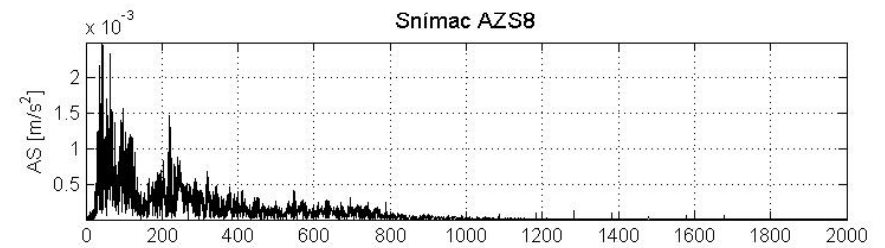
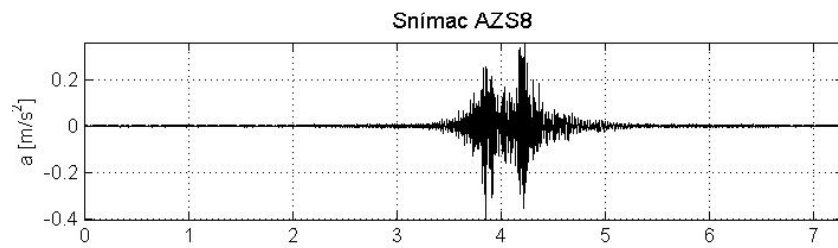
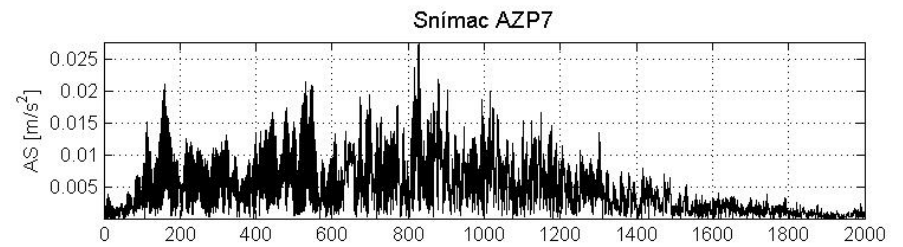
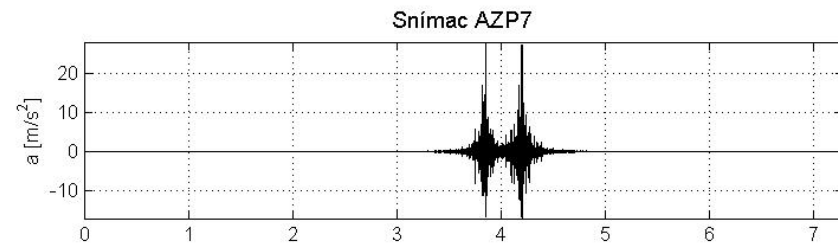
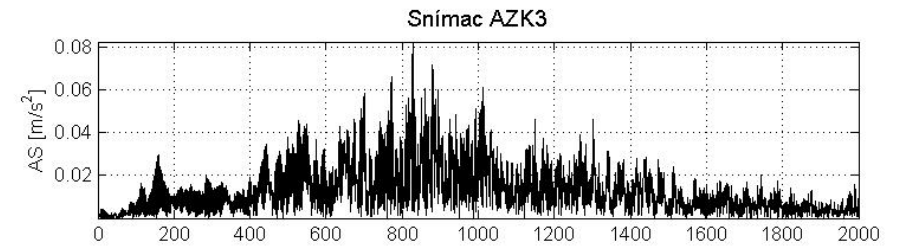
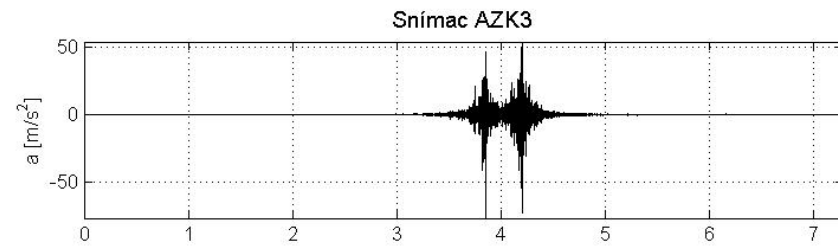




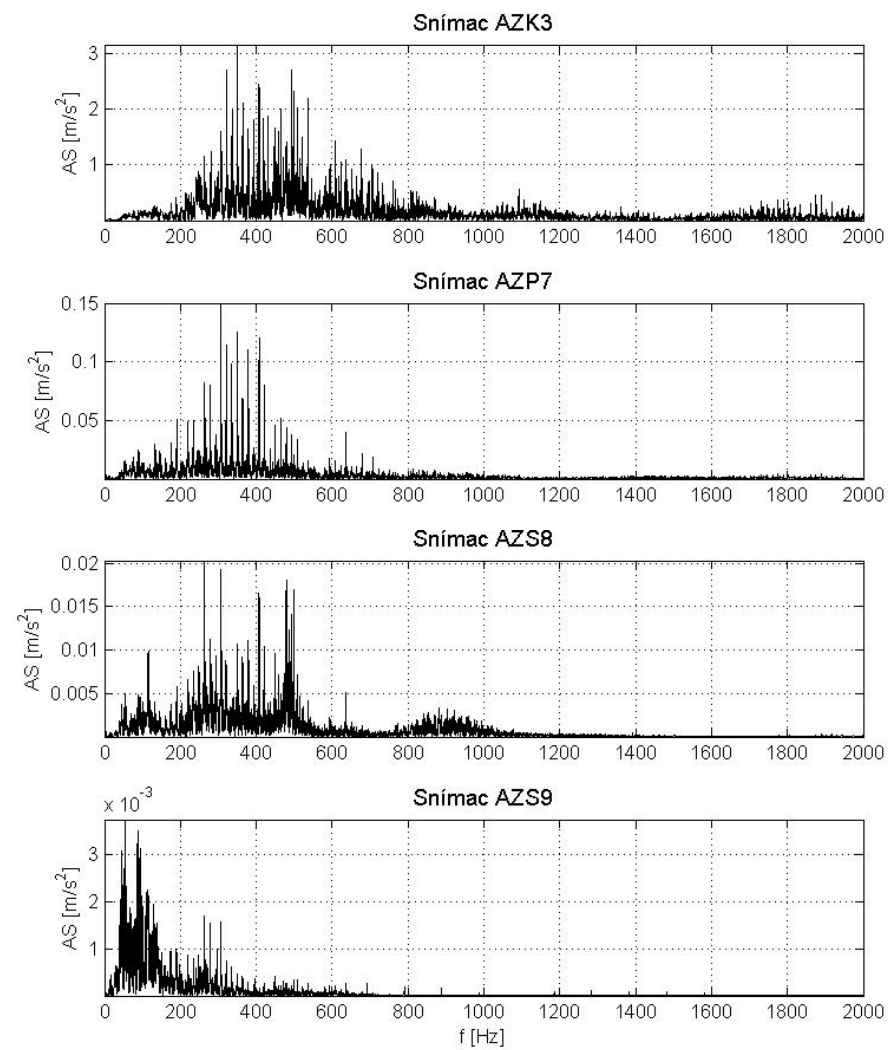
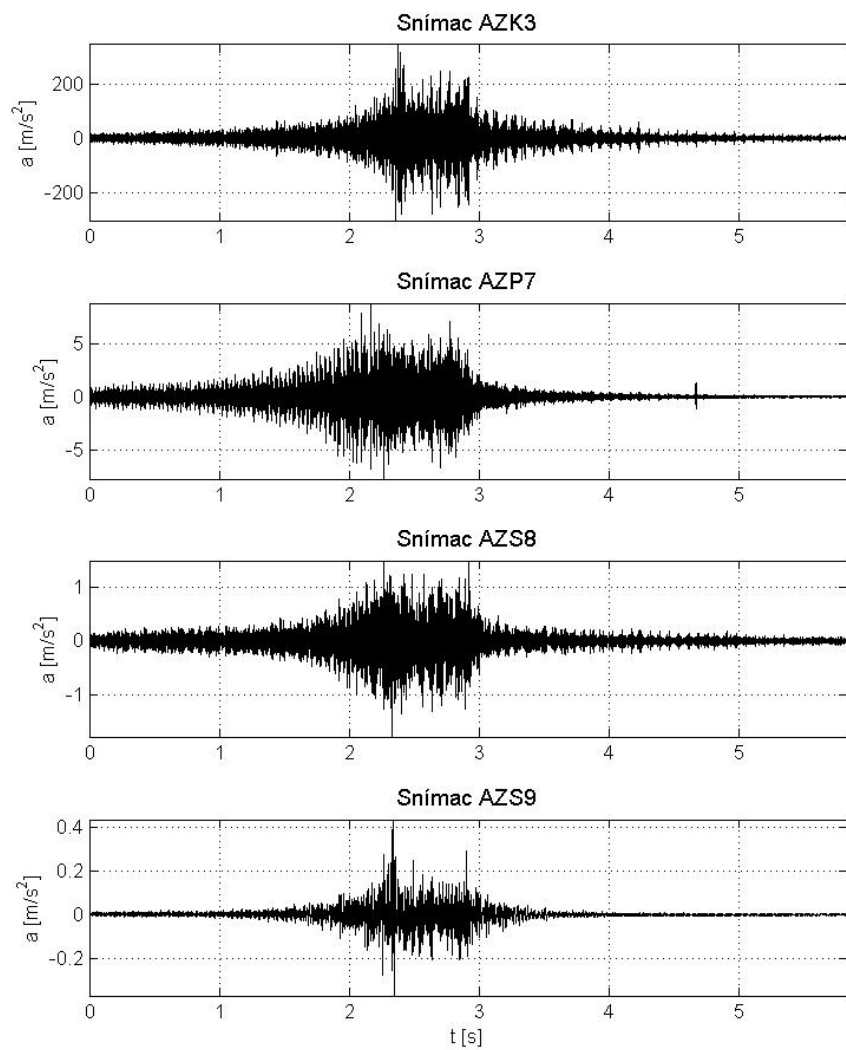
Graf D.9 Osobný vlak; lokomotíva 810; 1 vozeň;  $v = 85$  km/h; KSL; priečný smer



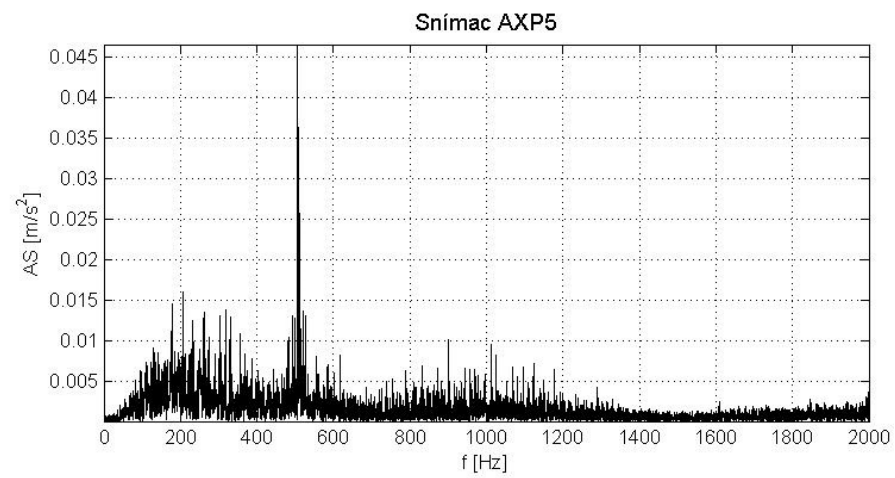
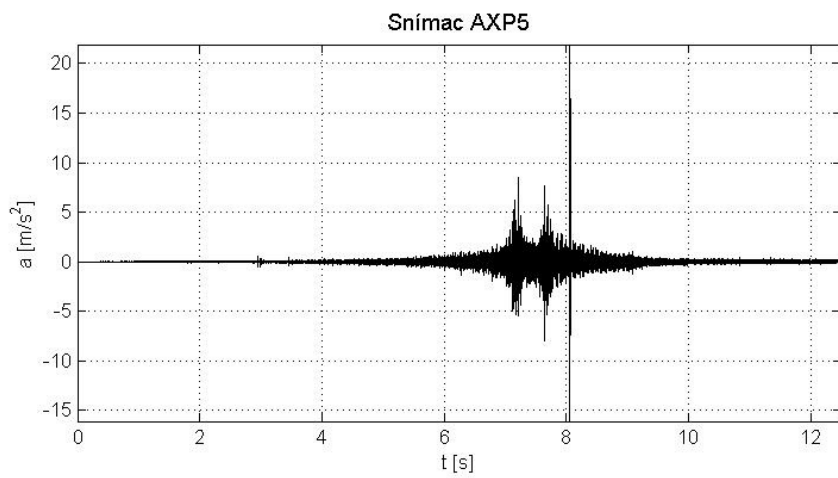
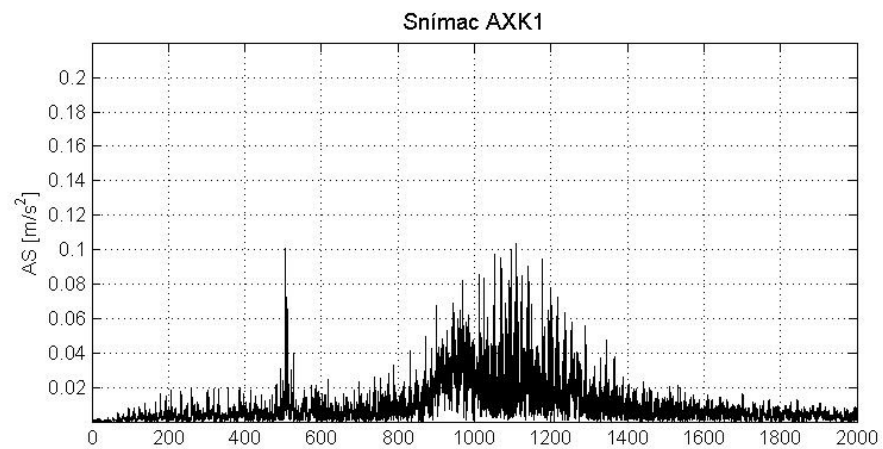
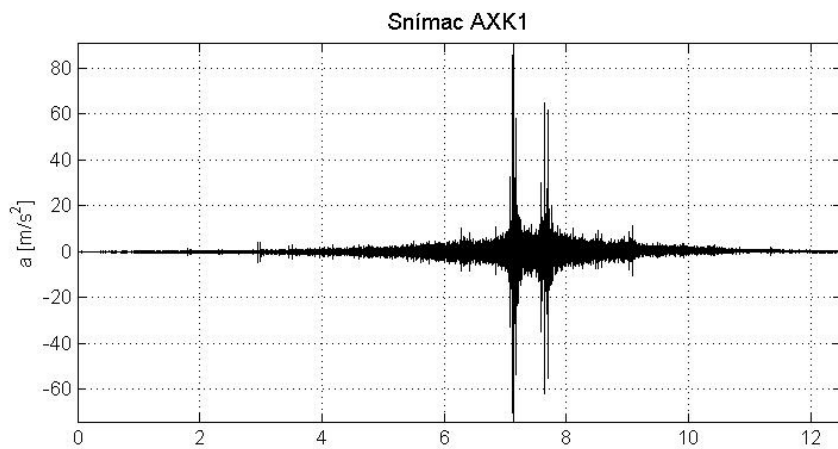
Graf D.10 Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň;  $v = 111$  km/h; PJD; priečny smer



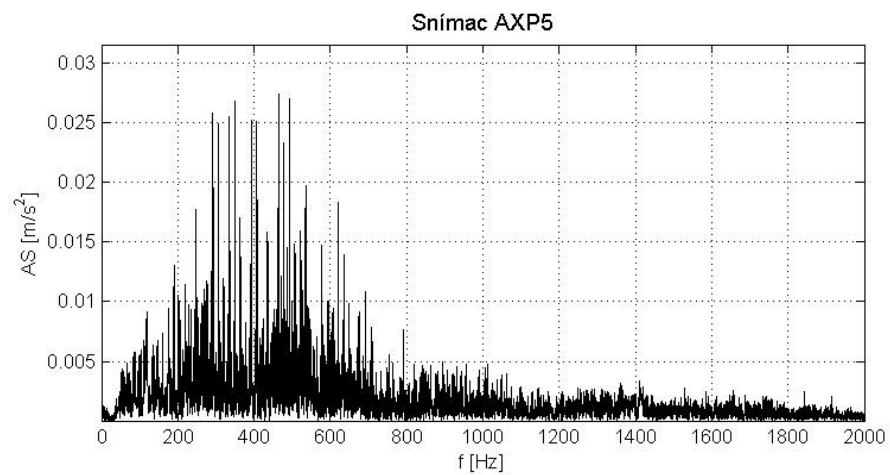
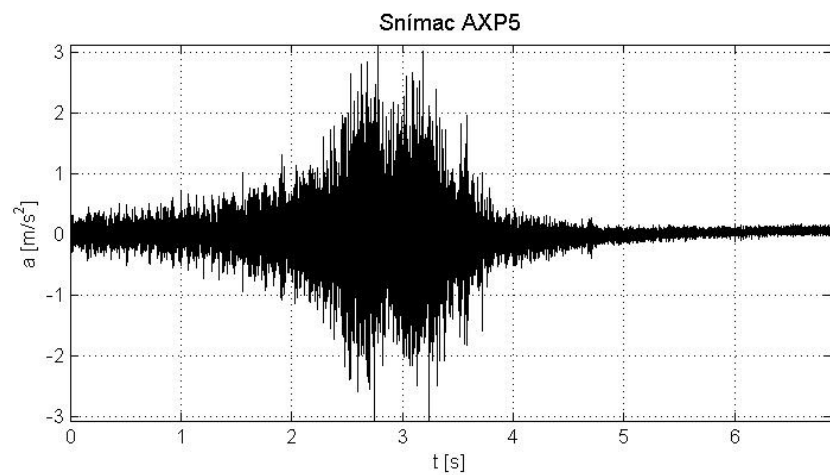
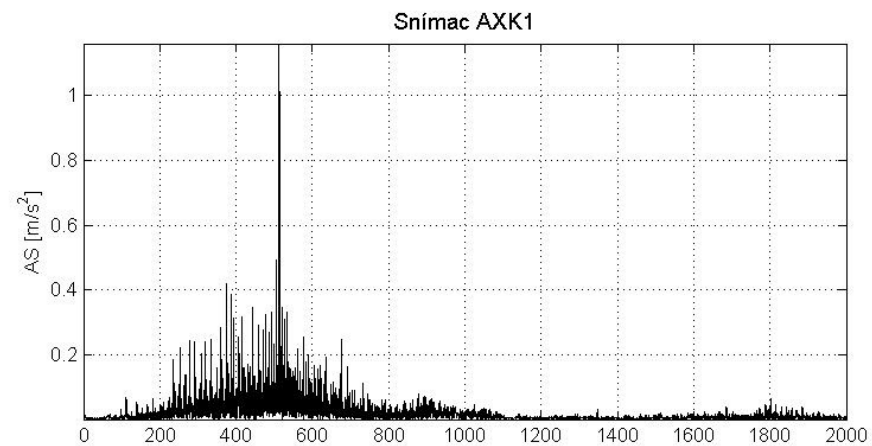
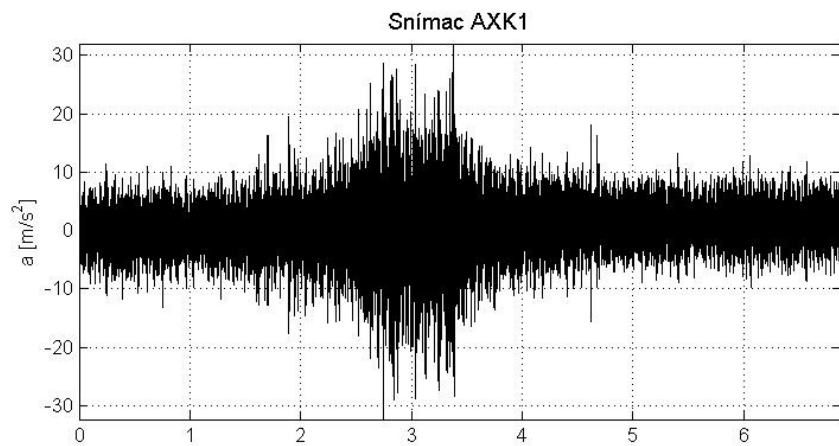
Graf D.11 Osobný vlak; lokomotíva 810; 1 vozeň;  $v = 85$  km/h; KSL; zvislý smer



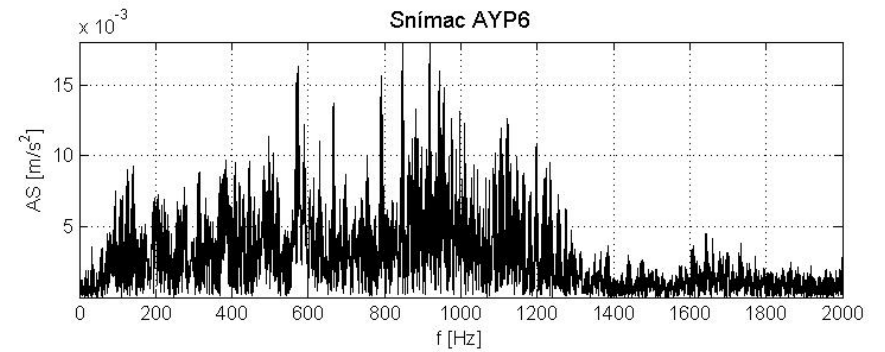
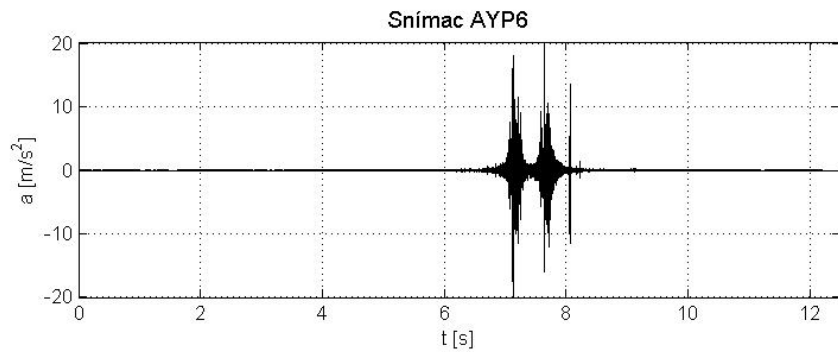
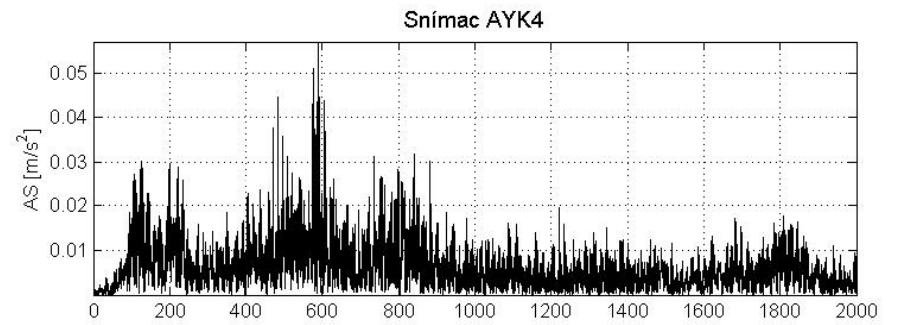
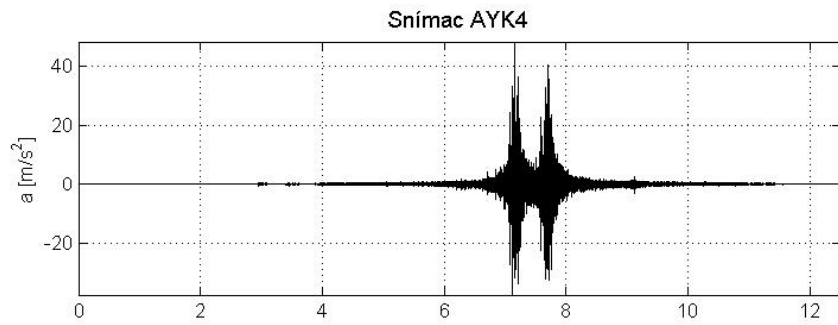
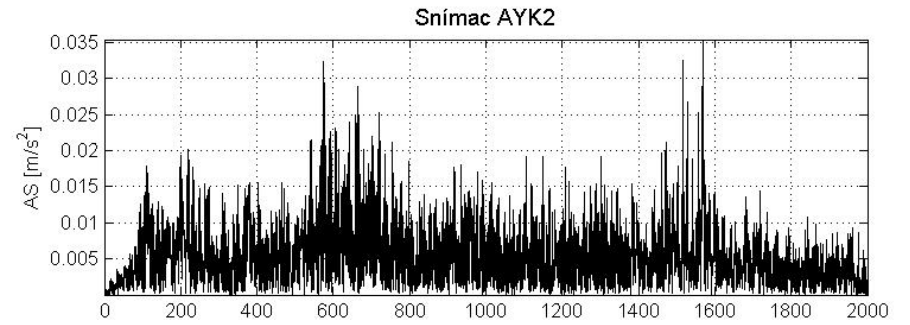
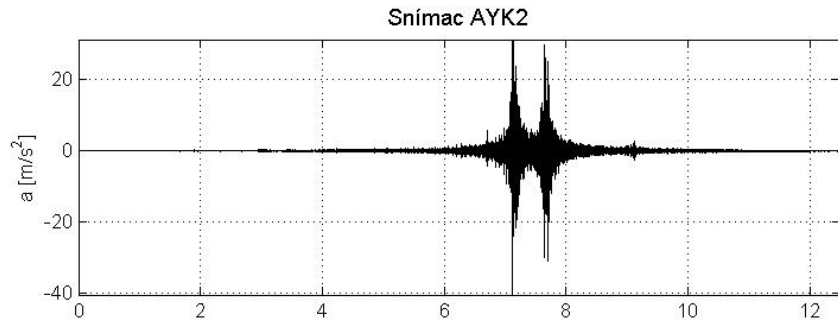
Graf D.12 Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň;  $v = 111$  km/h; PJD; zvislý smer



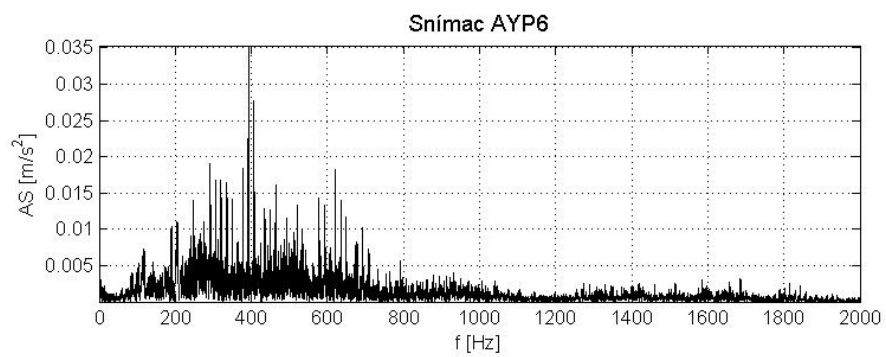
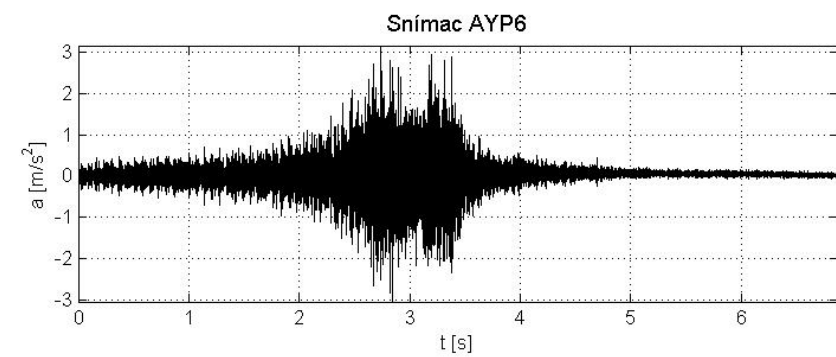
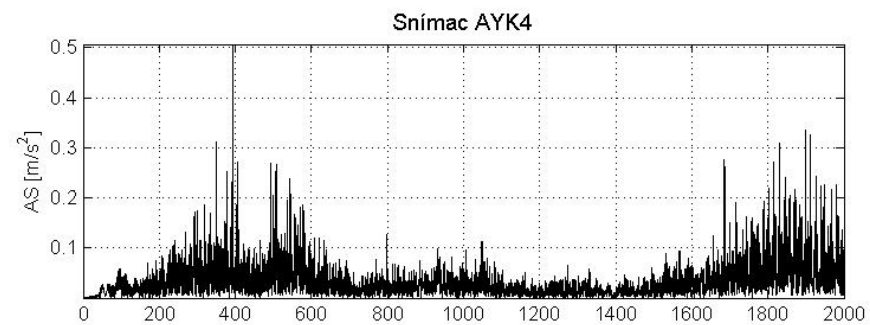
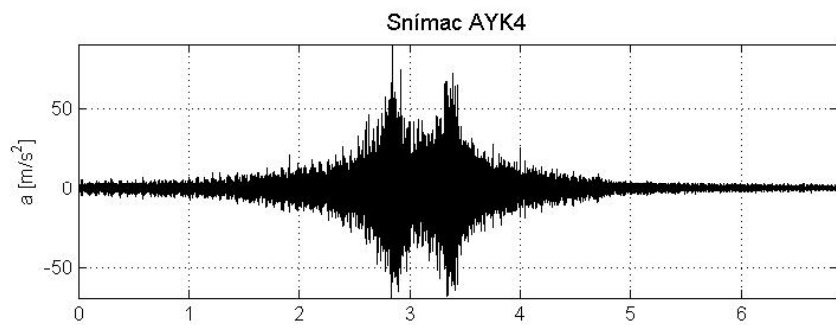
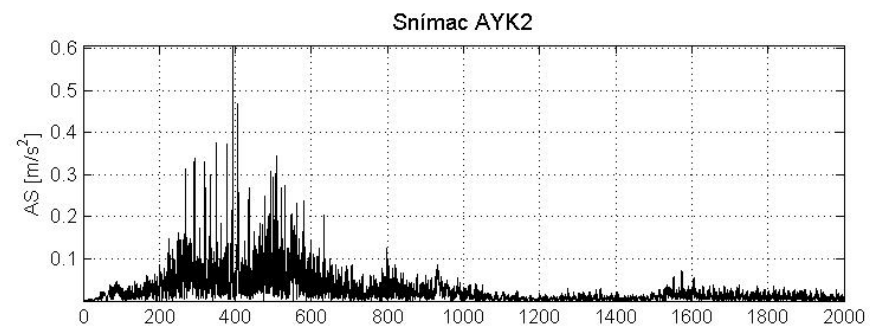
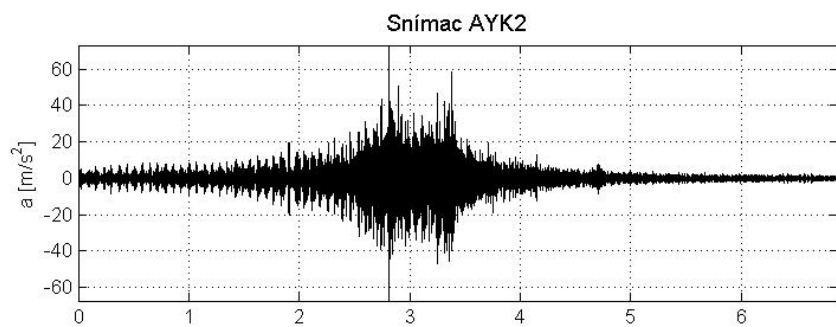
Graf D.13 Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň;  $v = 120$  km/h; KSL; pozdĺžny smer



Graf D.14 Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň;  $v = 121$  km/h; PJD; pozdĺžny smer

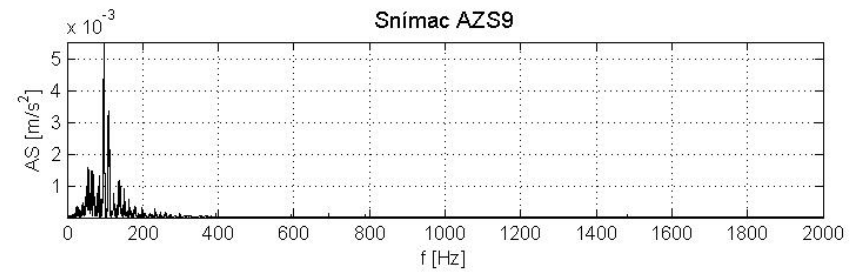
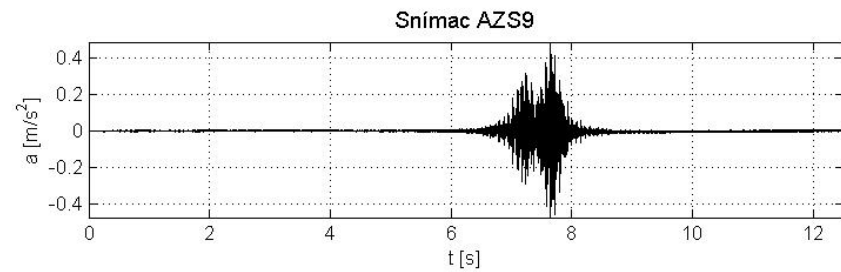
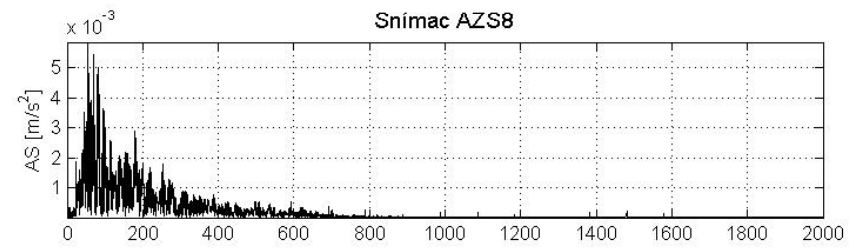
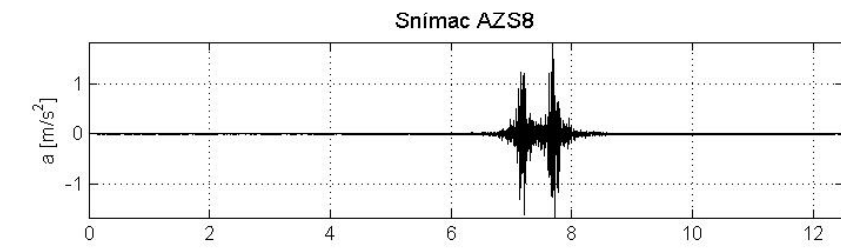
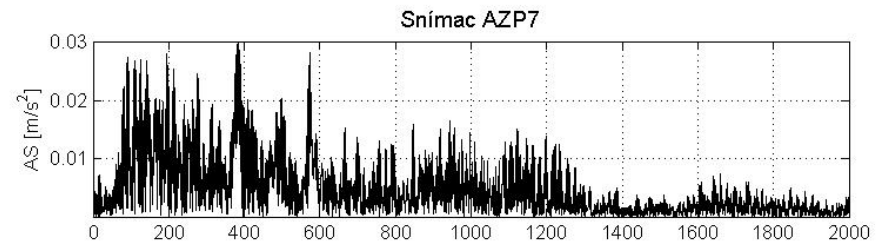
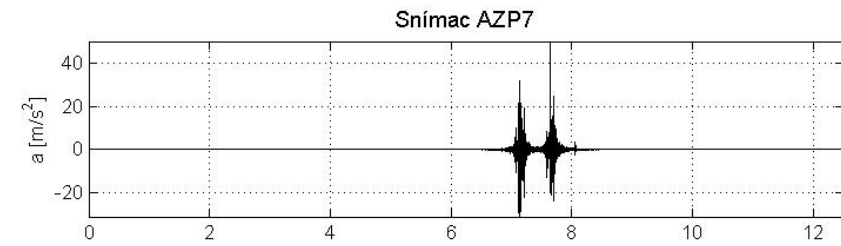
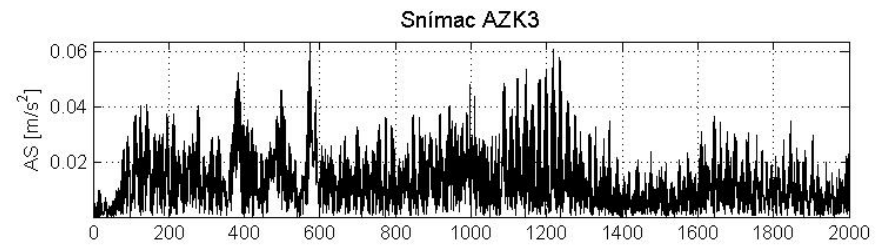
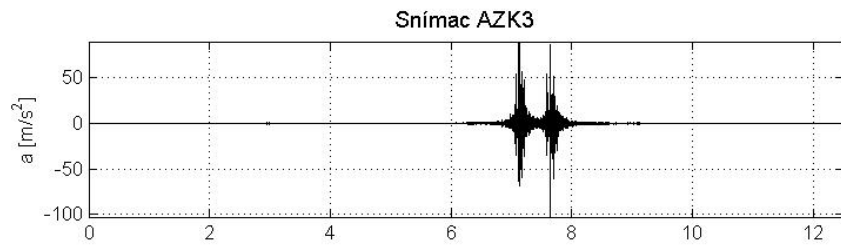


Graf D.15 Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň;  $v = 120 \text{ km/h}$ ; KSL; priečny smer

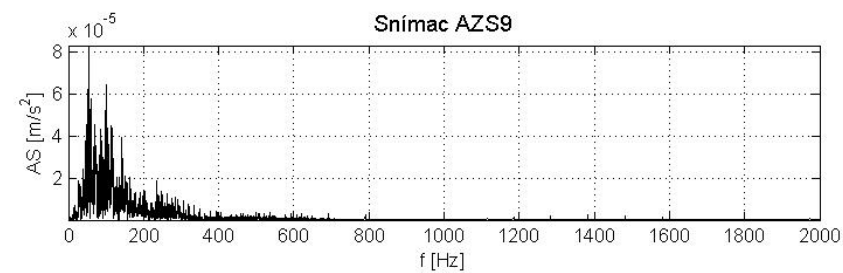
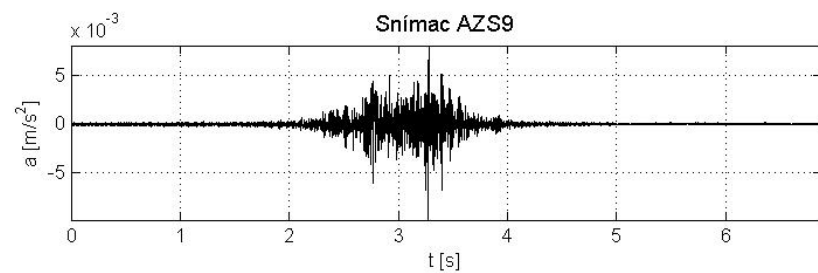
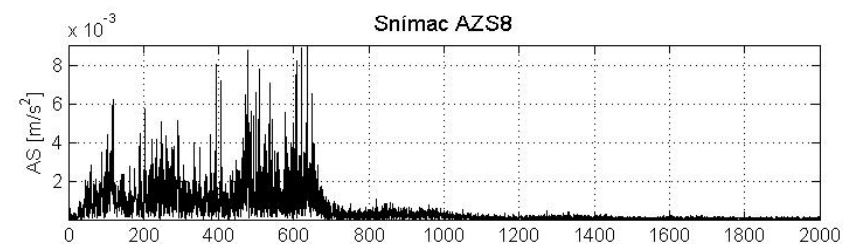
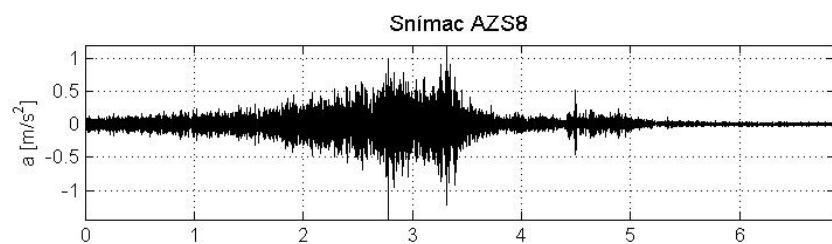
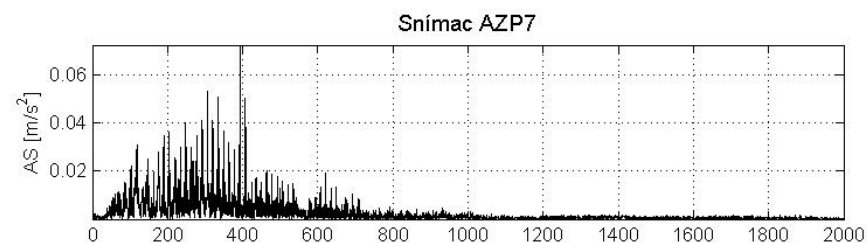
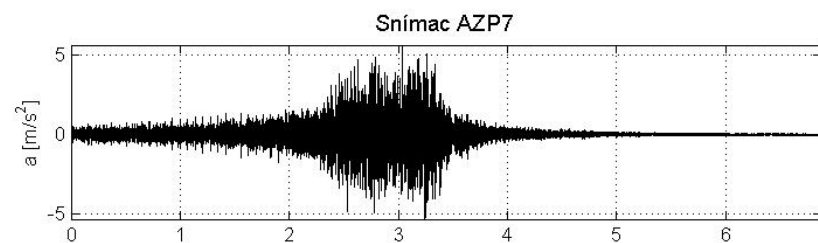
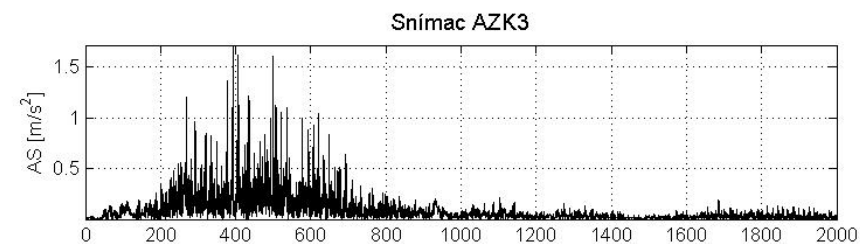
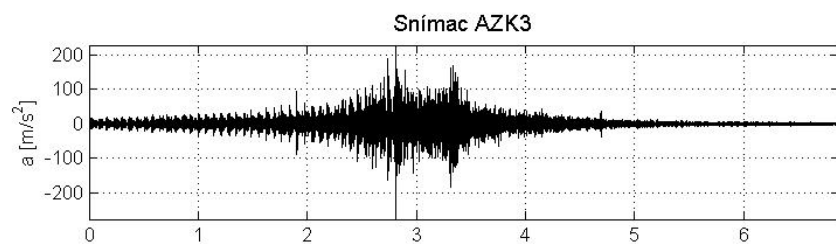


Graf D.16 Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň;  $v = 121$  km/h; PJD; priečny smer

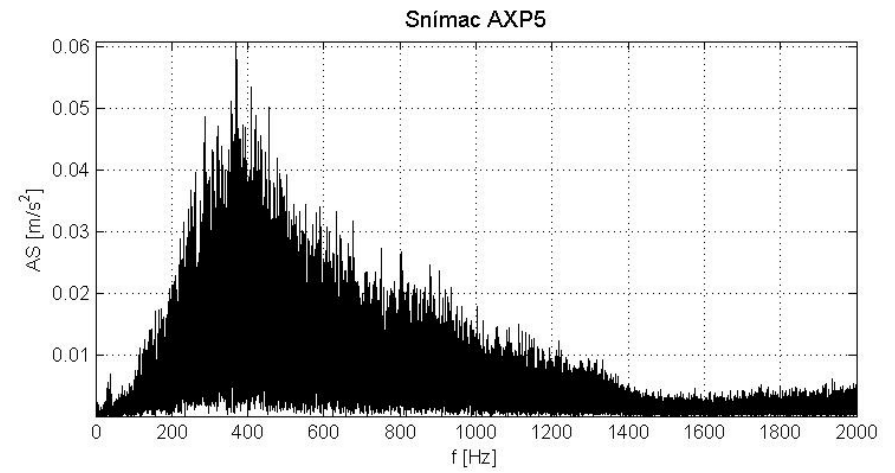
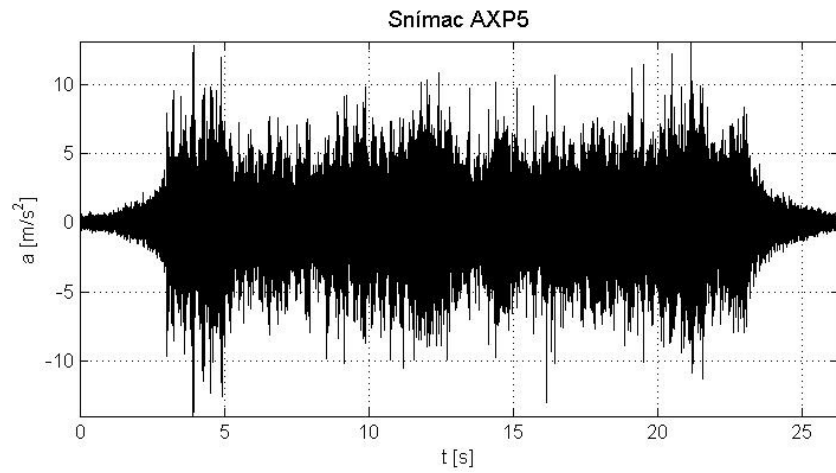
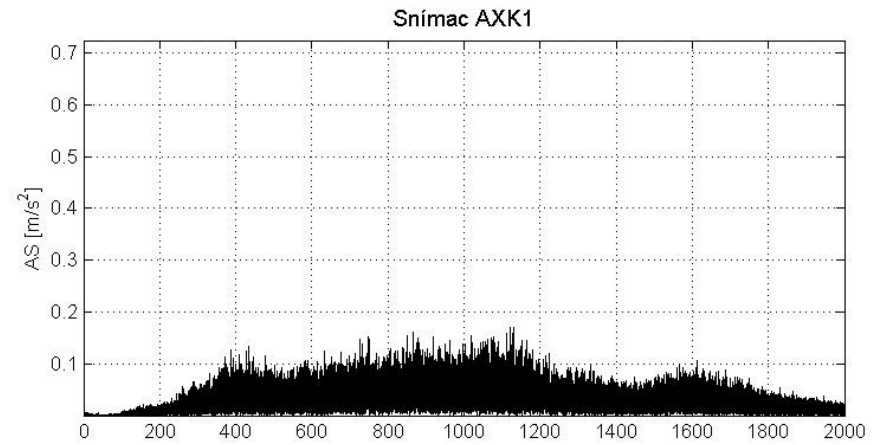
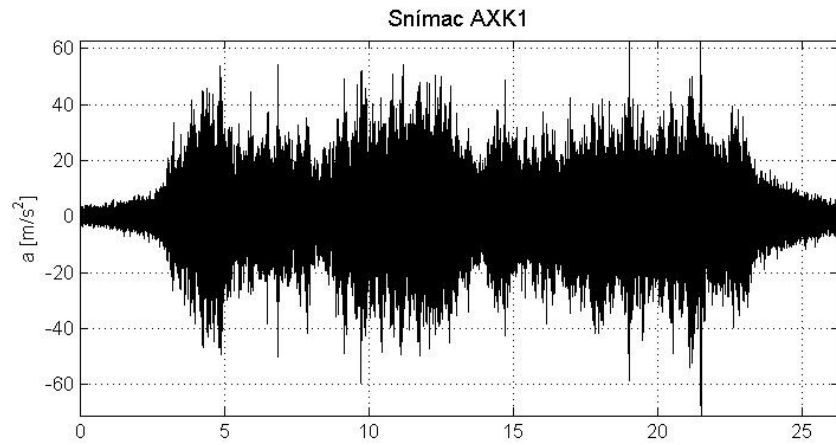




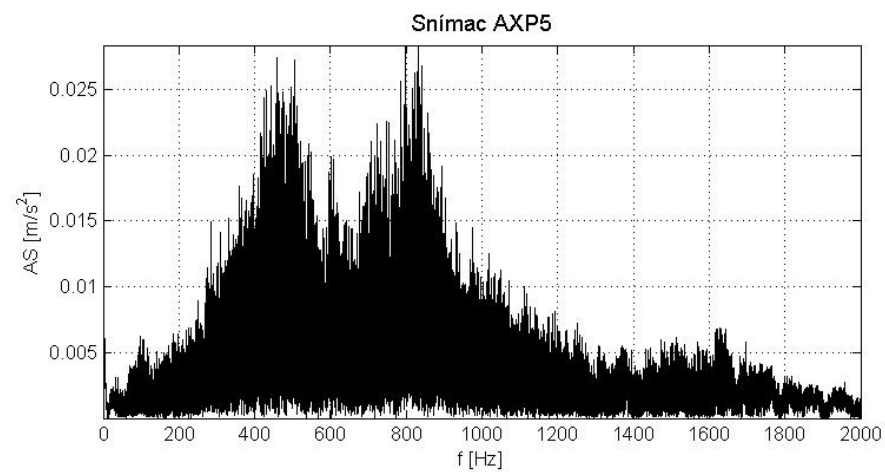
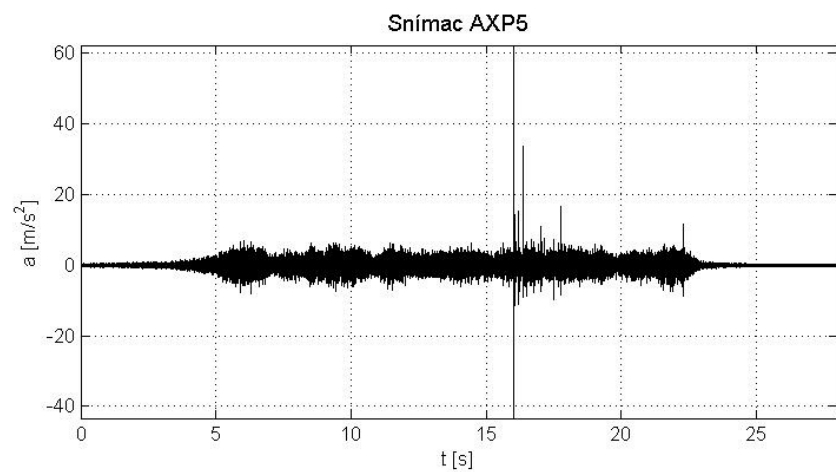
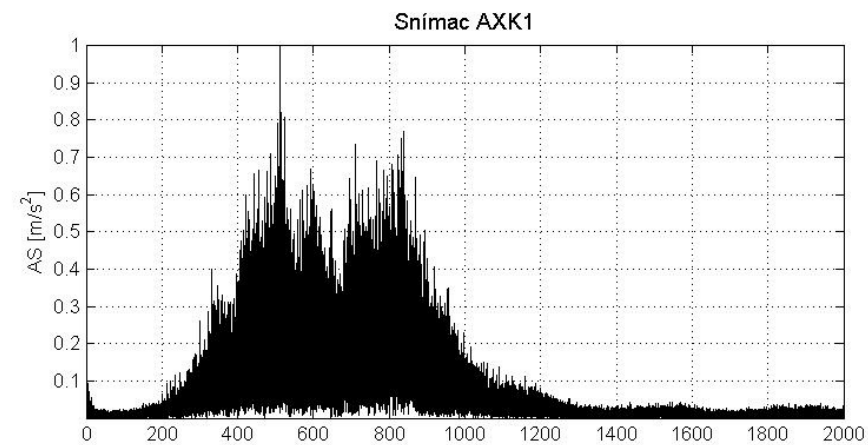
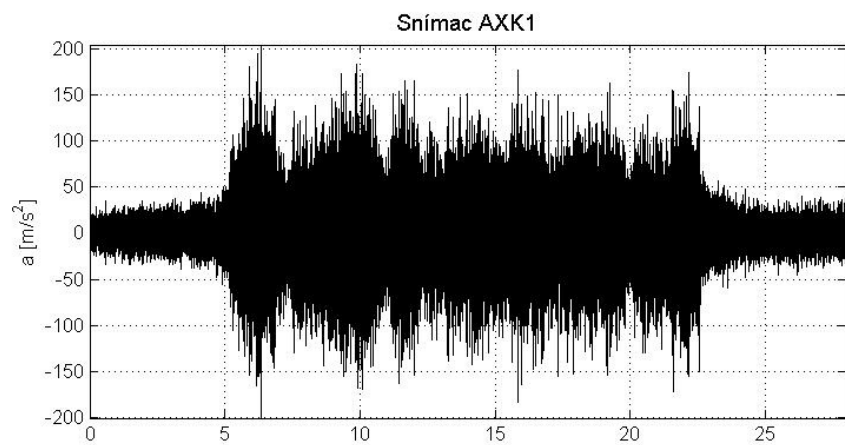
Graf D.17 Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň;  $v = 120$  km/h; KSL; zvislý smer



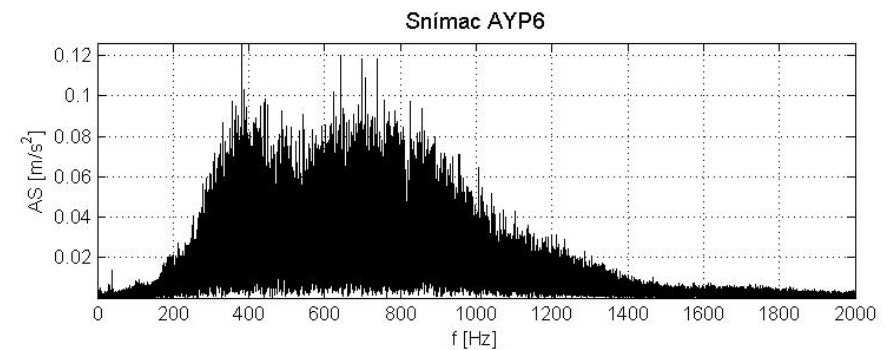
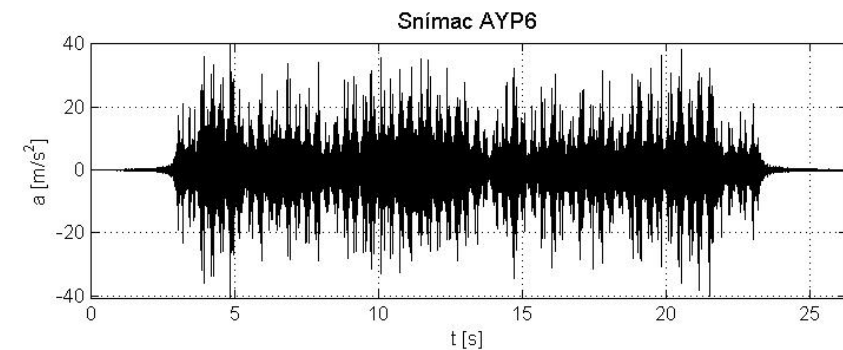
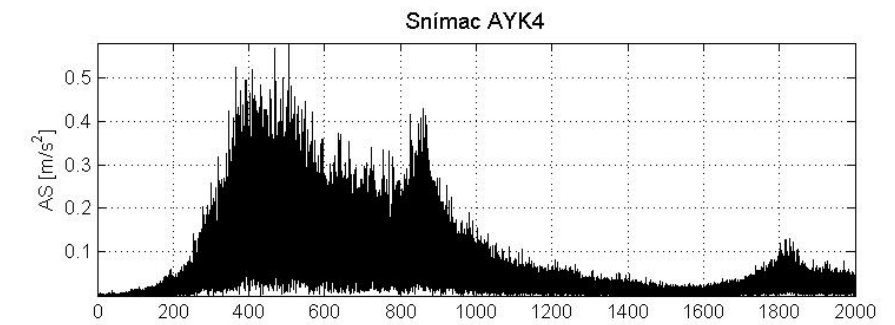
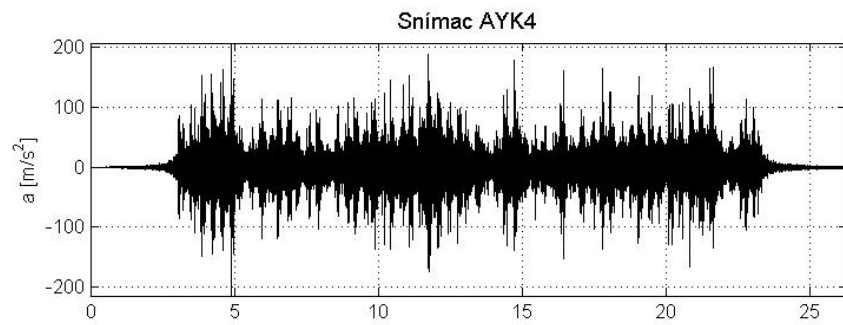
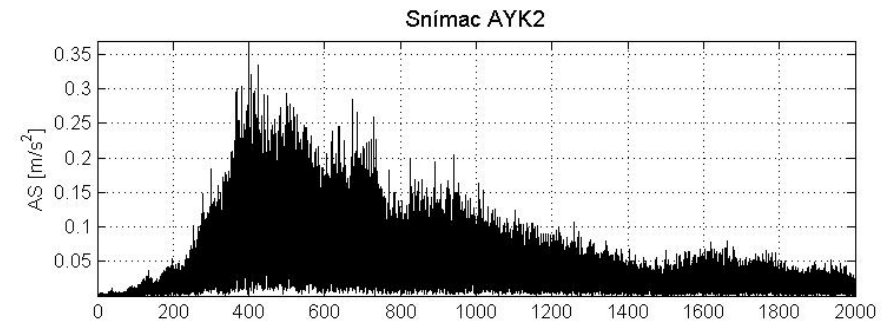
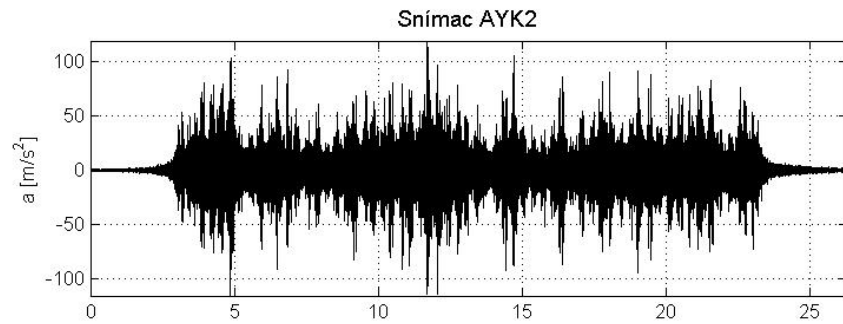
Graf D.18 Osobný vlak; lokomotíva 841; 1 vozeň;  $v = 121$  km/h; PJD; zvislý smer



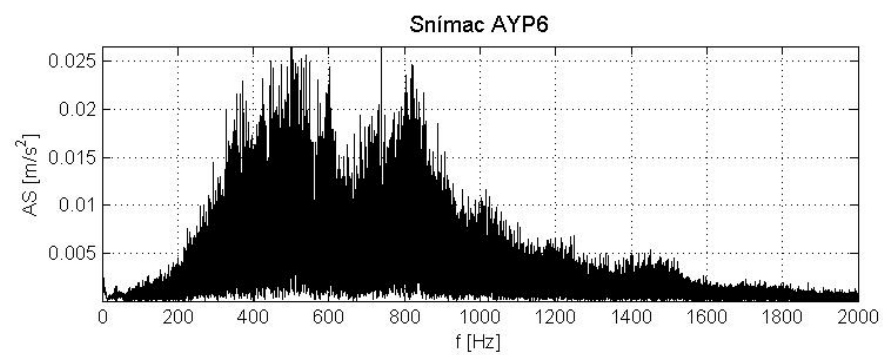
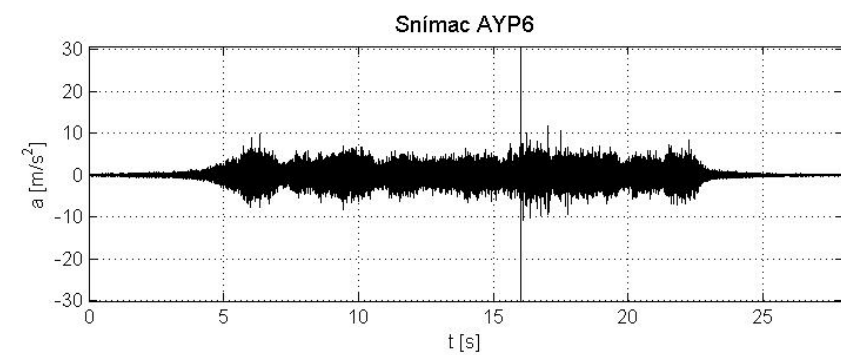
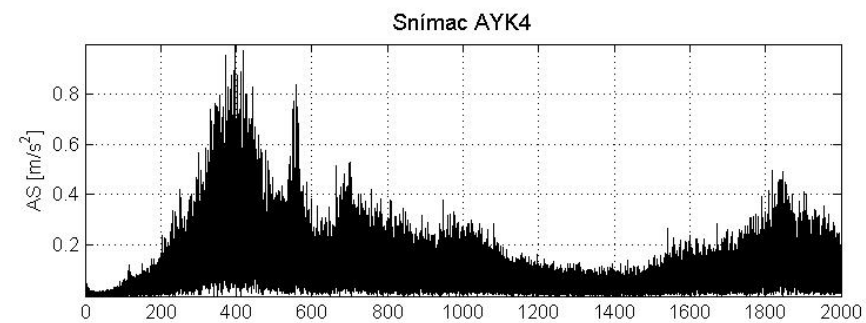
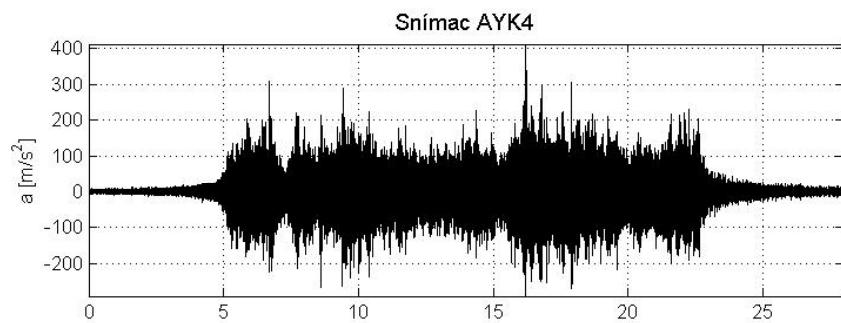
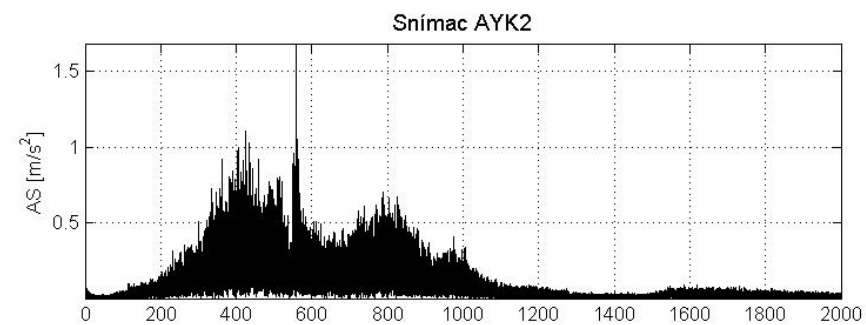
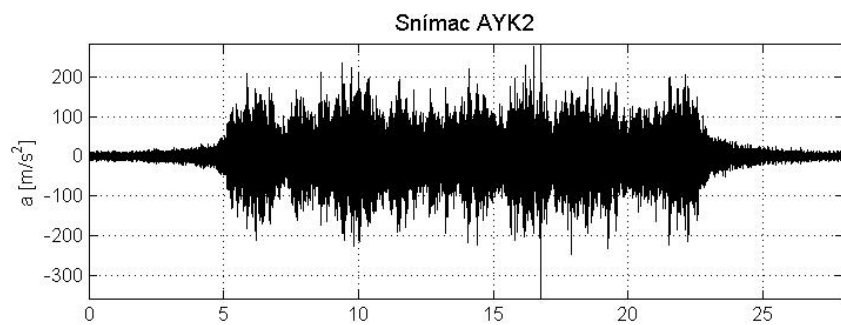
Graf D.19 Nákladný vlak; lokomotíva 363; 28 vozňov;  $v = 72$  km/h; KSL; pozdĺžny smer



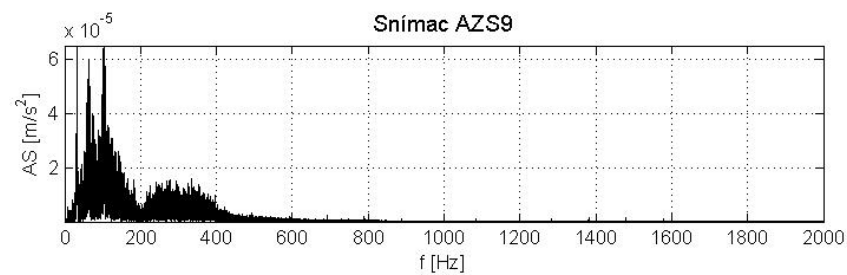
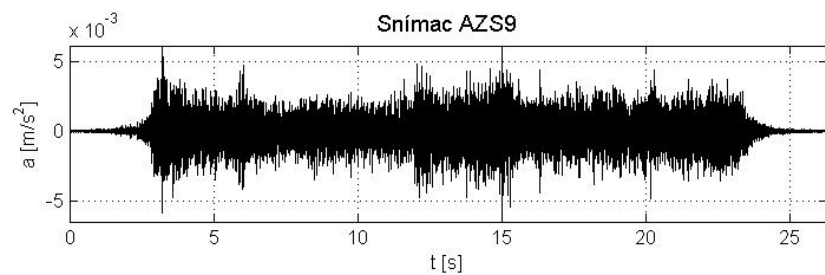
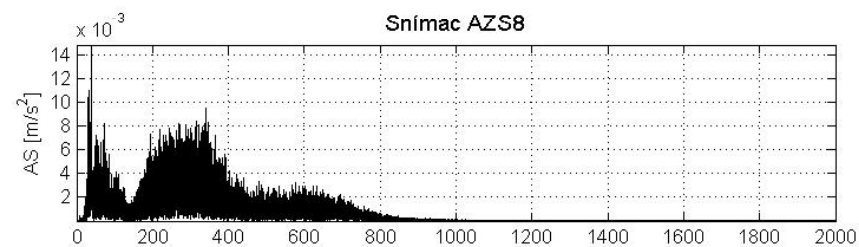
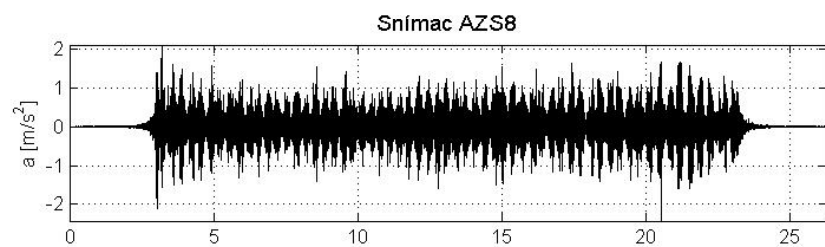
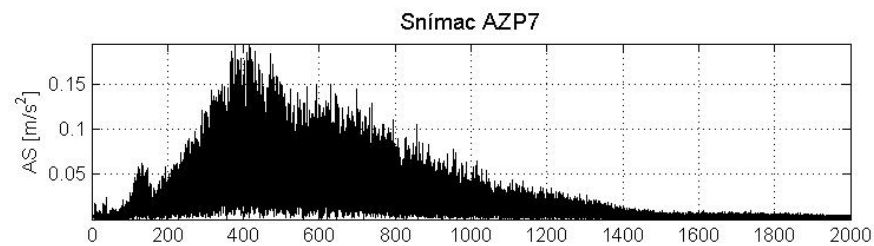
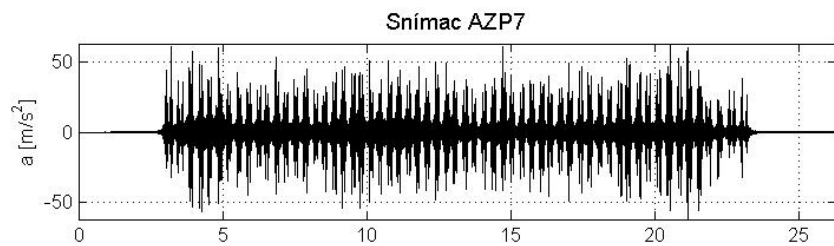
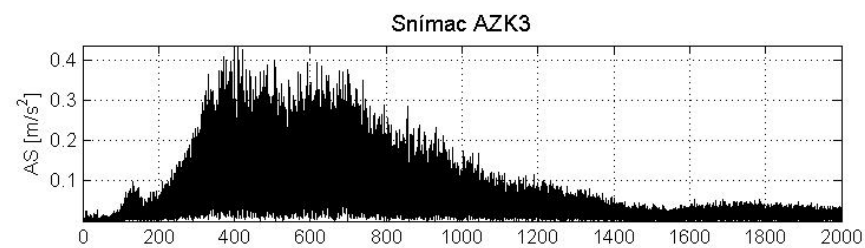
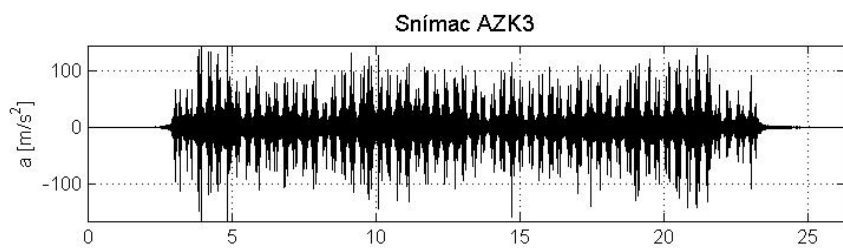
Graf D.20 Nákladný vlak; lokomotíva 123; 28 vozňov;  $v = 78$  km/h; PJD; pozdĺžny smer



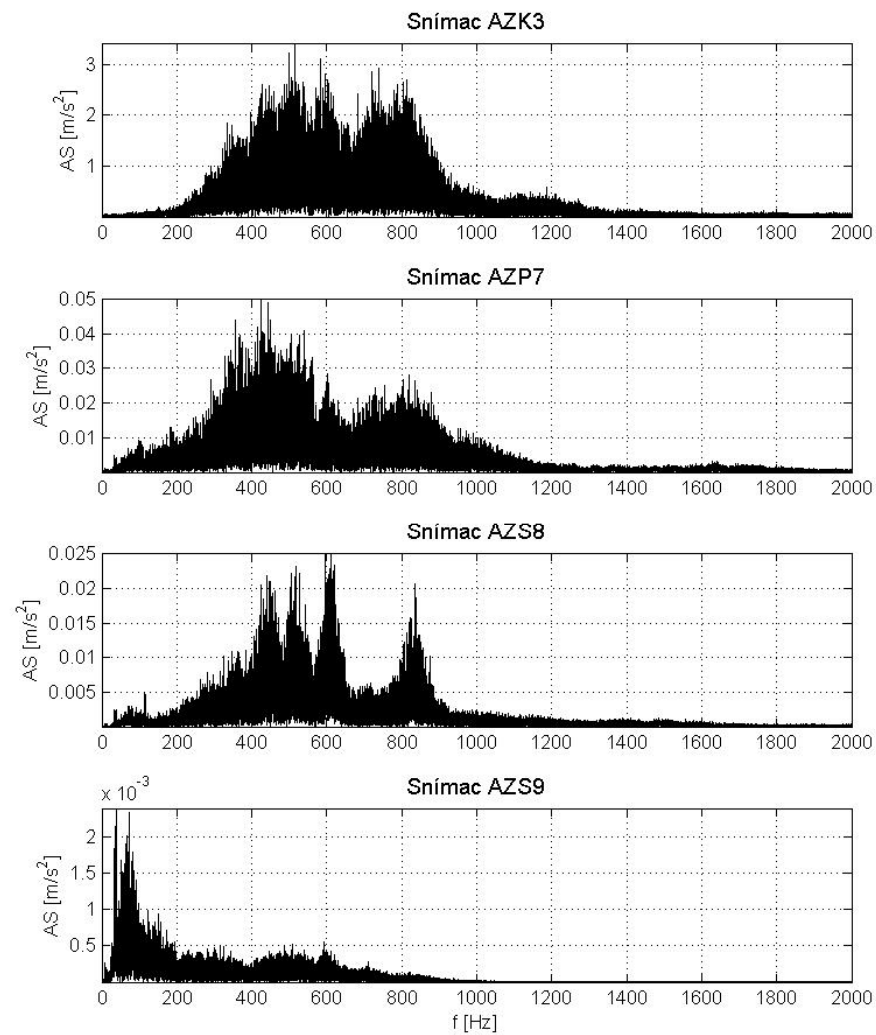
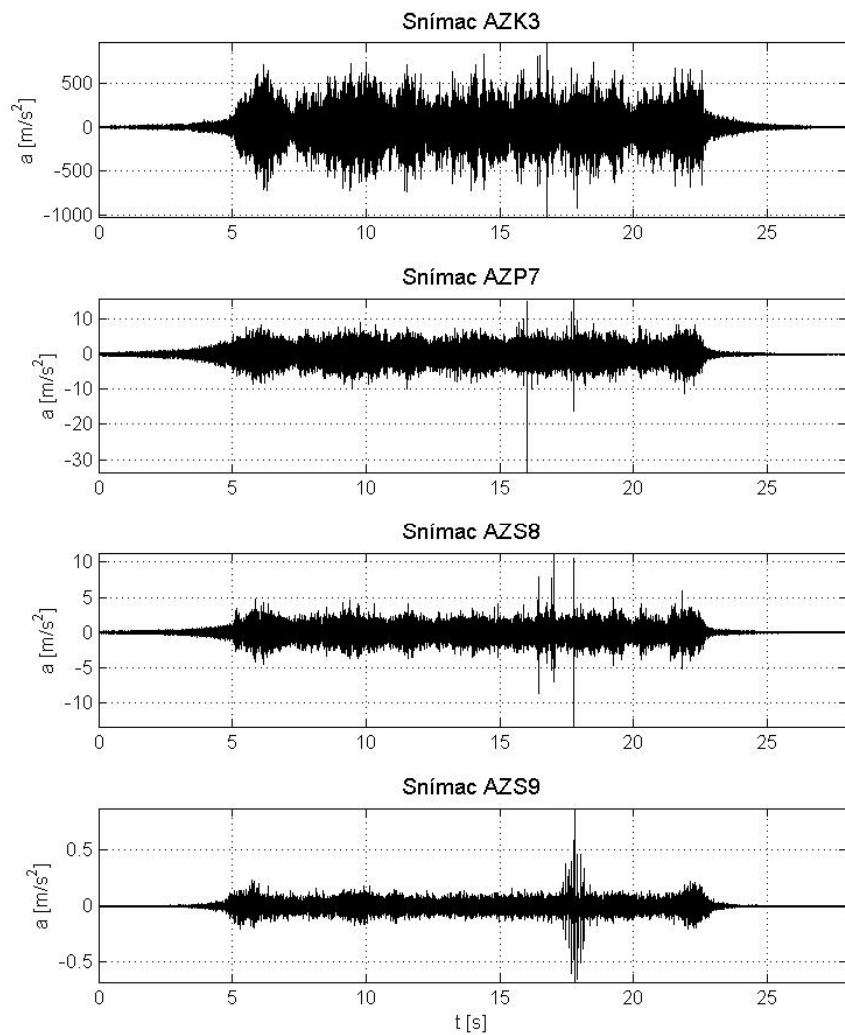
Graf D.21 Nákladný vlak; lokomotíva 363; 28 vozňov;  $v = 72$  km/h; KSL; priečny smer



Graf D.22 Nákladný vlak; lokomotíva 123; 28 vozňov;  $v = 78$  km/h; PJD; priečny smer

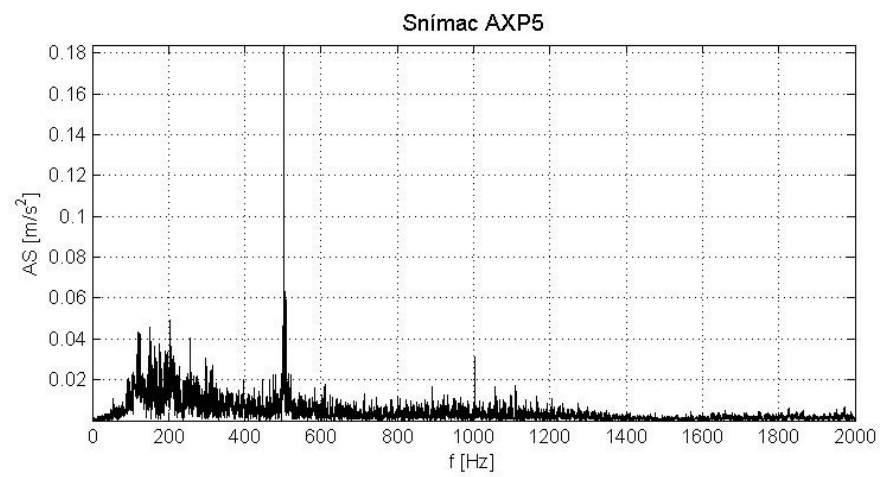
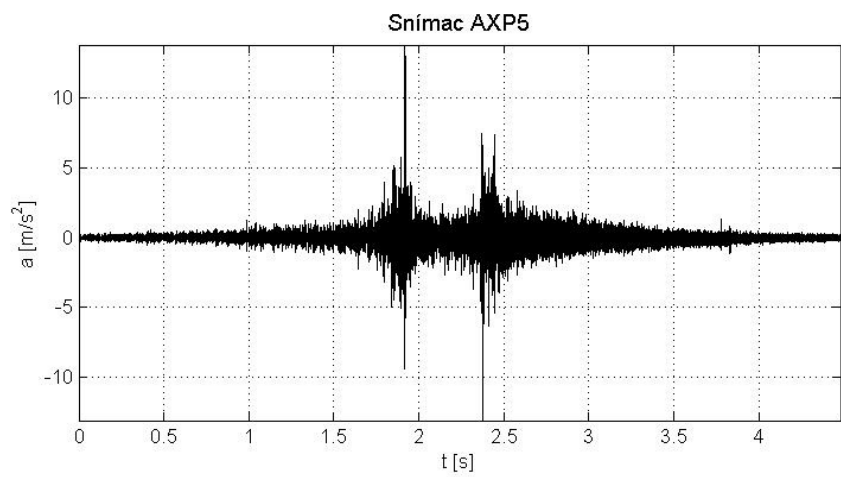
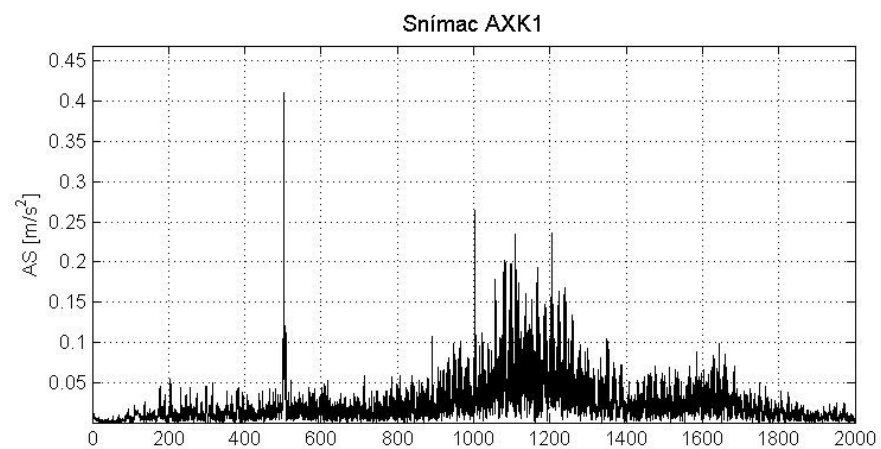
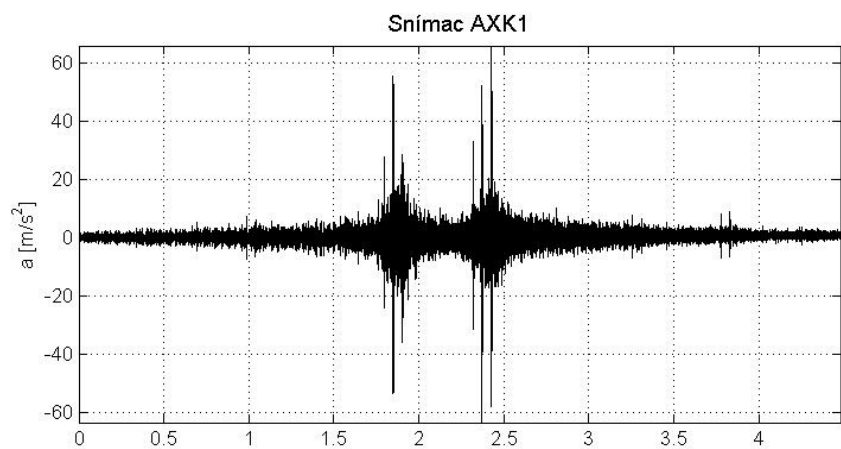


Graf D.23 Nákladný vlak; lokomotíva 363; 28 vozňov;  $v = 72$  km/h; KSL; zvislý smer

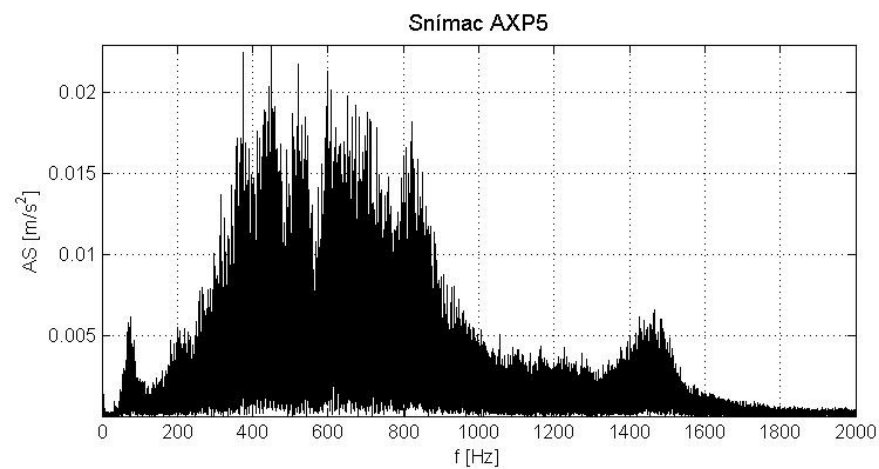
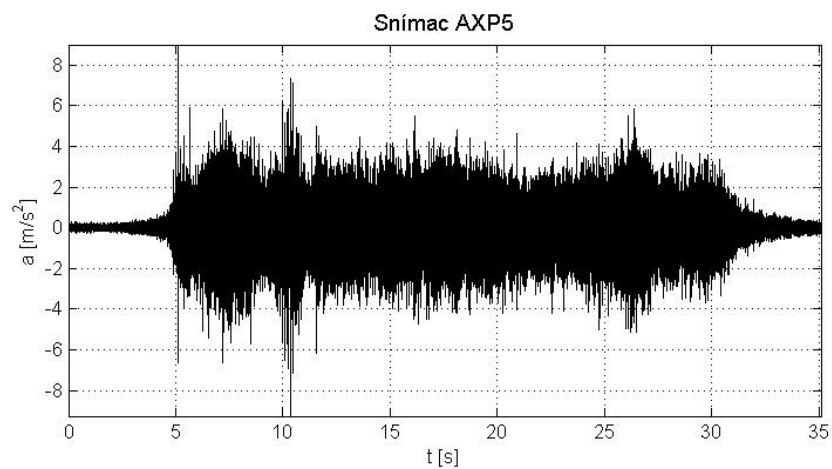
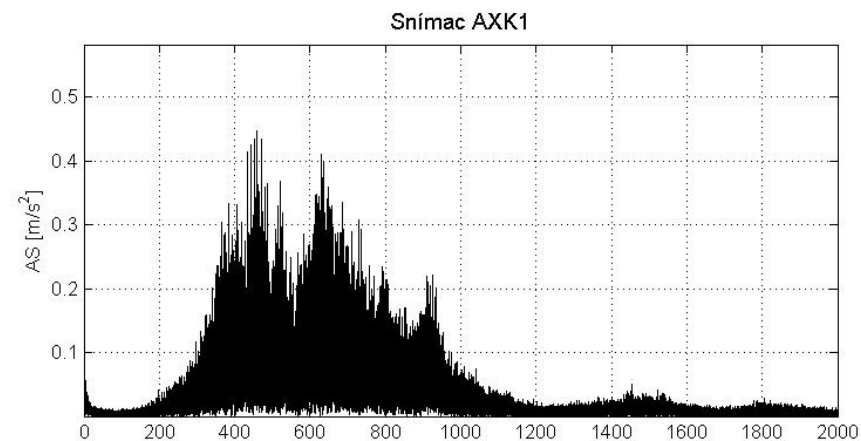
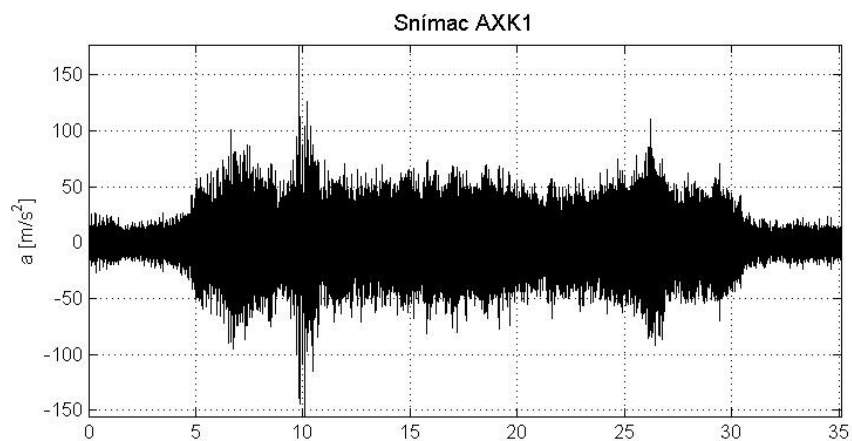


Graf D.24 Nákladný vlak; lokomotíva 123; 28 vozňov;  $v = 78$  km/h; PJD; zvislý smer

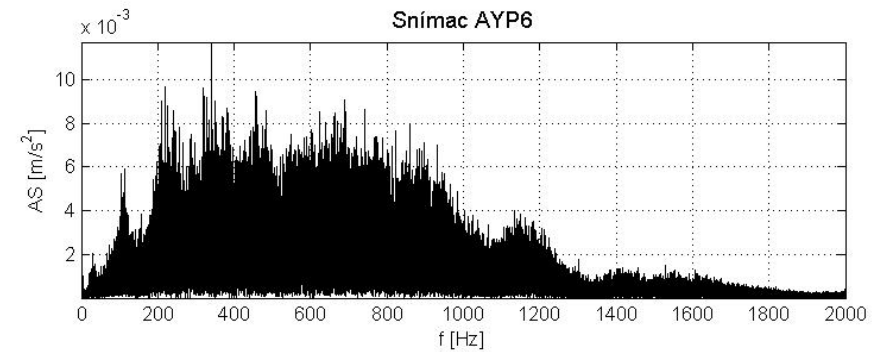
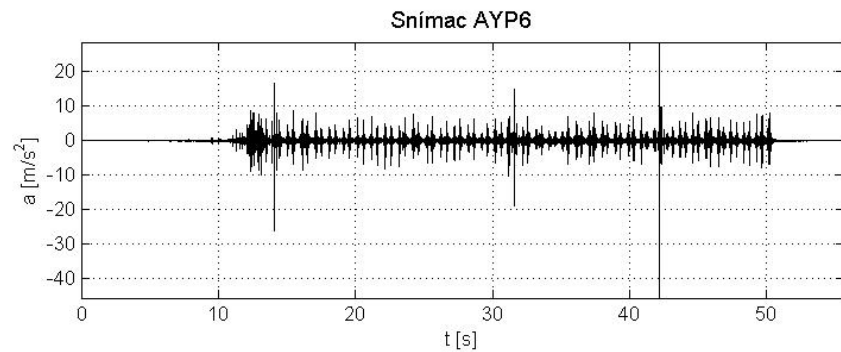
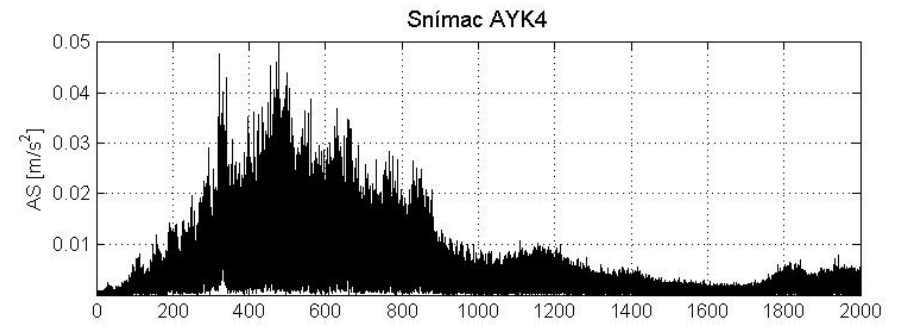
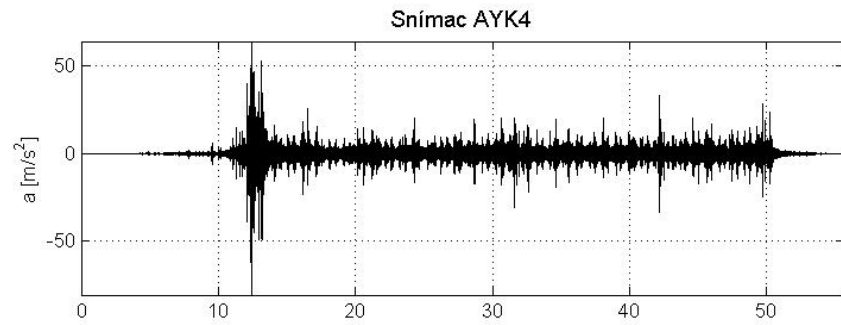
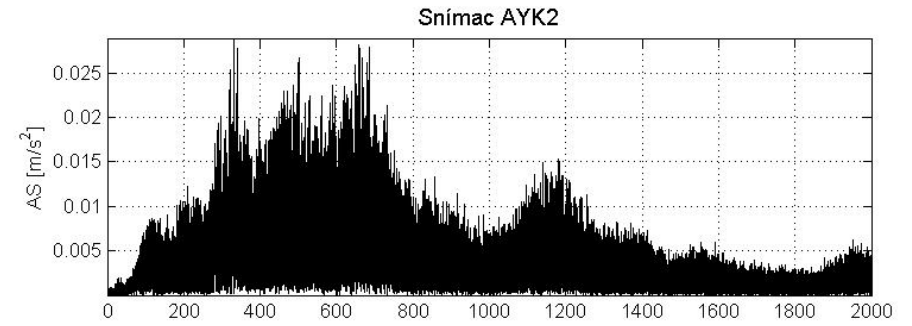
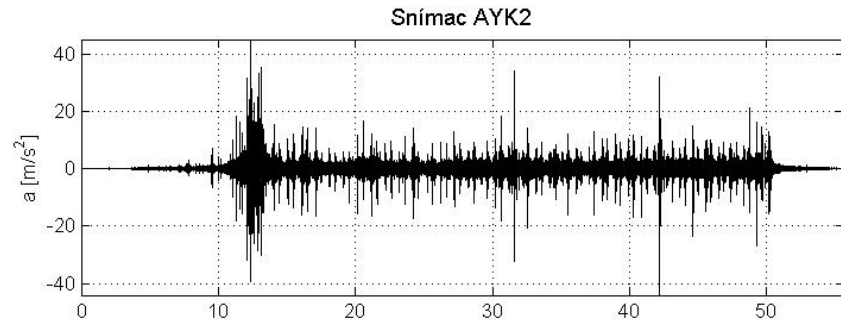




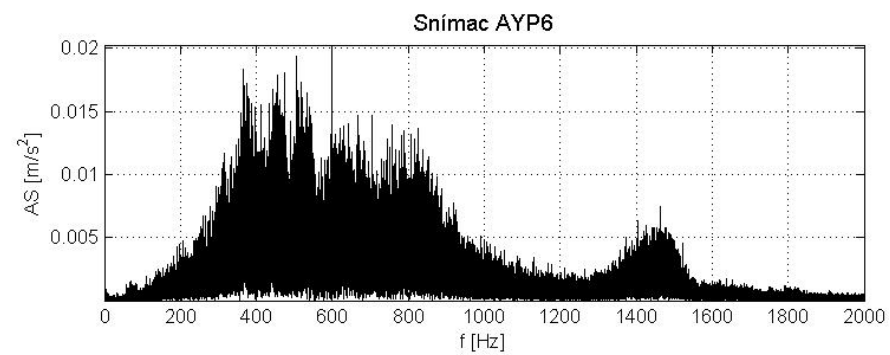
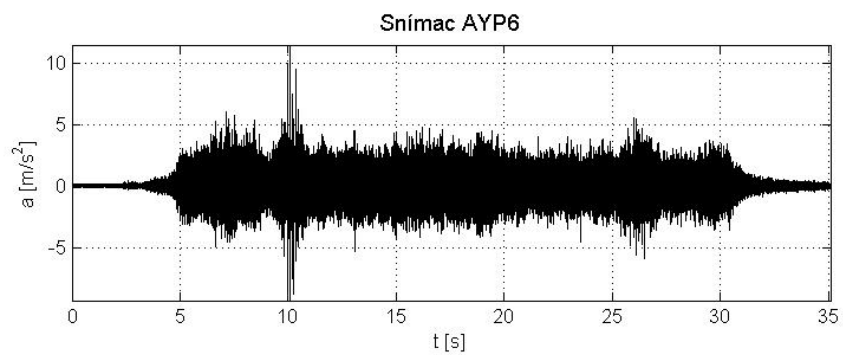
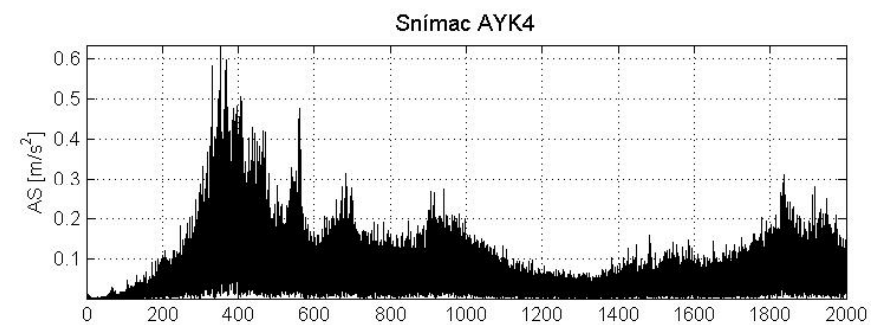
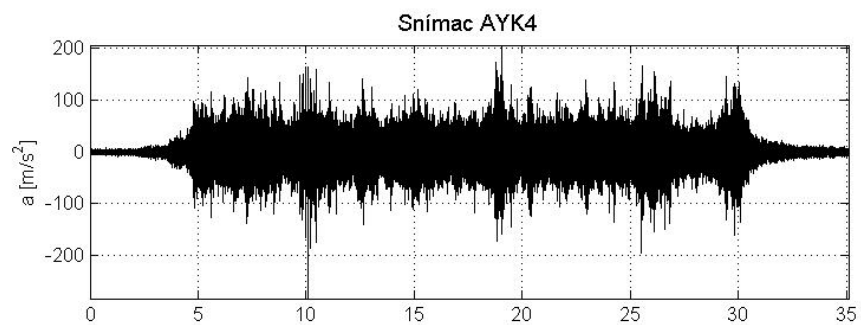
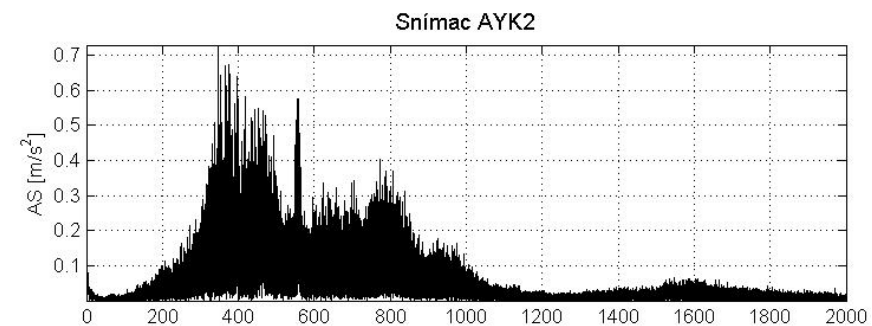
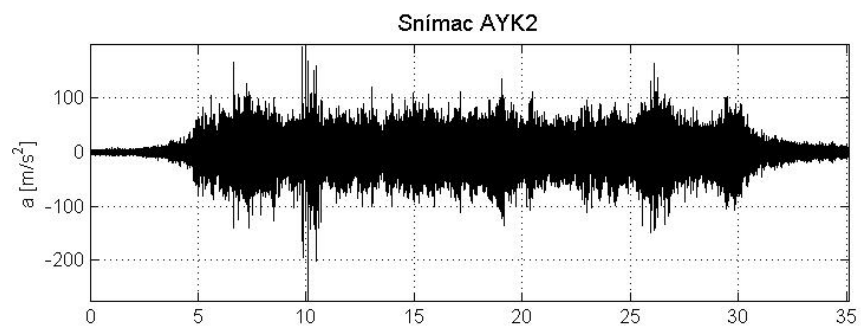
Graf D.25 Nákladný vlak; lokomotíva 363; 38 vozňov;  $v = 60$  km/h; KSL; pozdĺžny smer



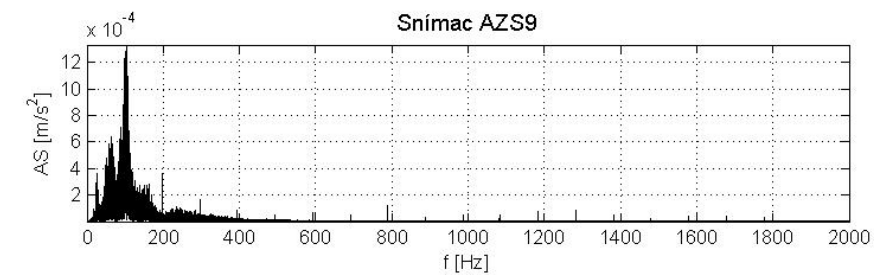
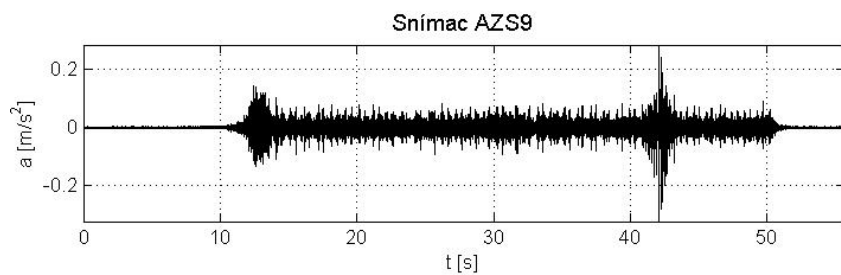
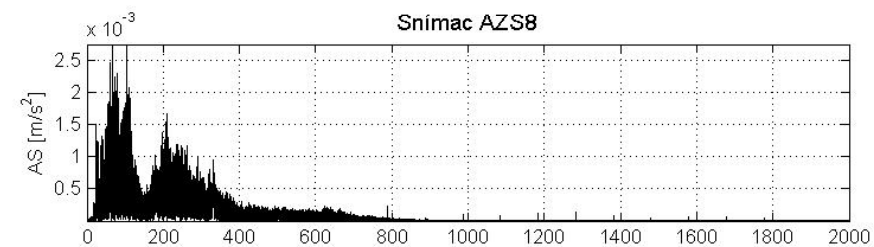
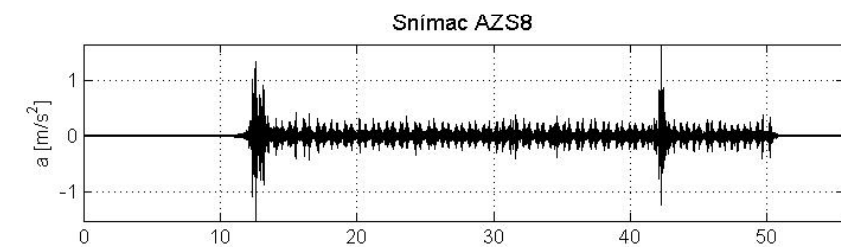
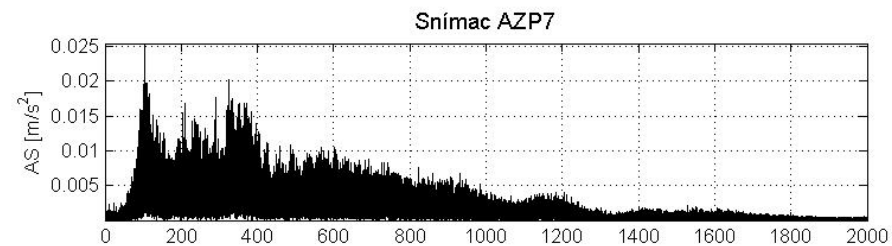
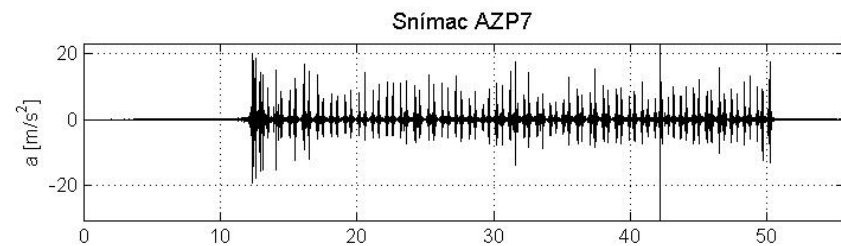
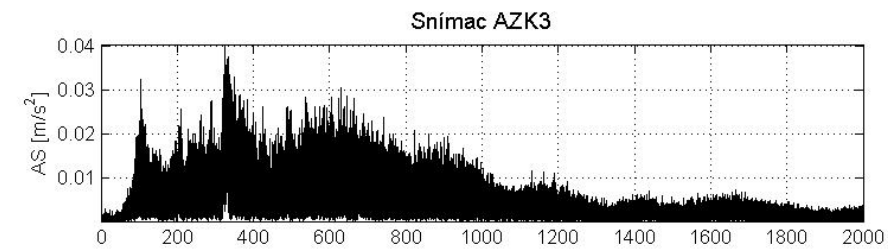
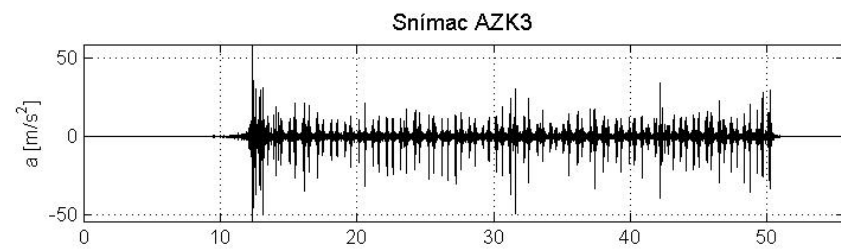
Graf D.26 Nákladný vlak; lokomotíva 122; 38 vozňov;  $v = 77$  km/h; PJD; pozdĺžny smer



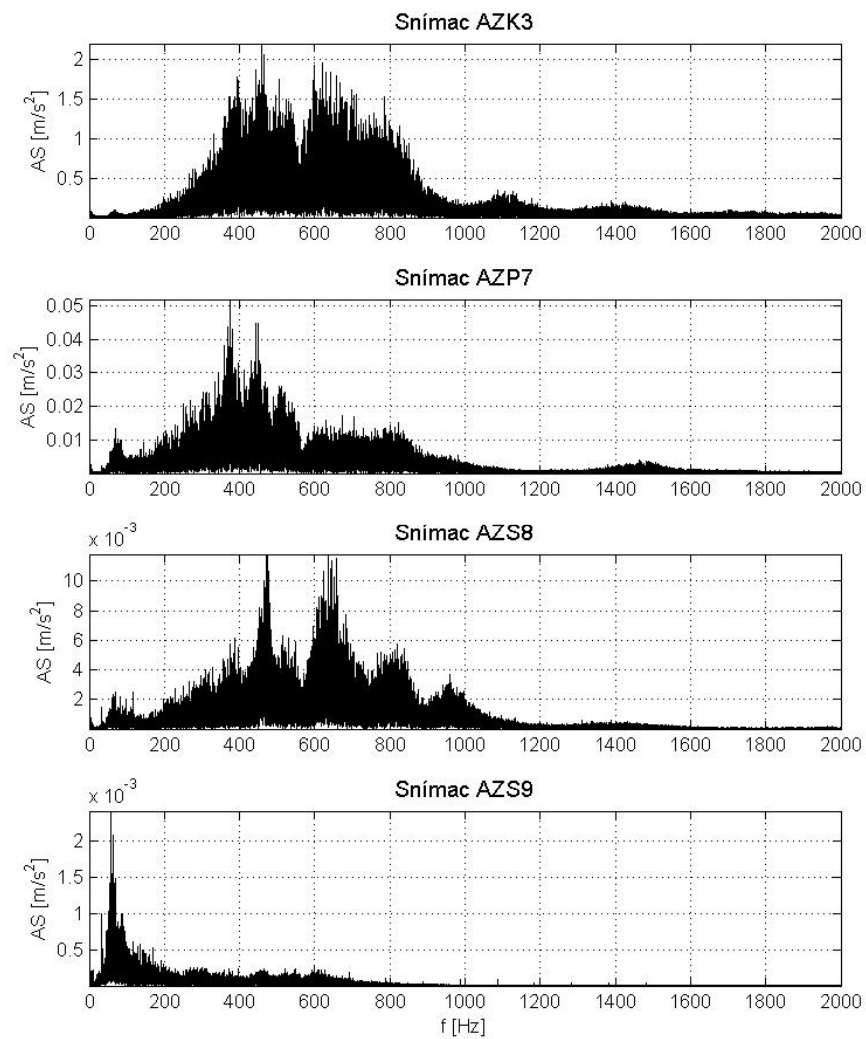
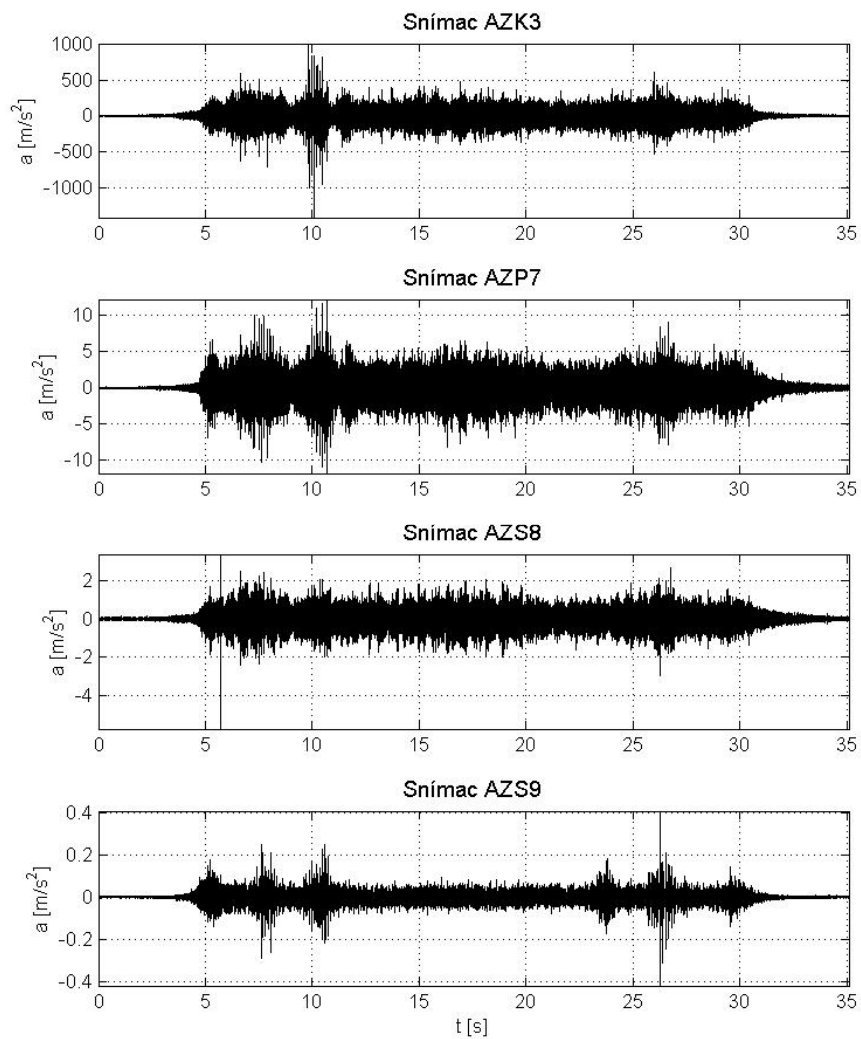
Graf D.27 Nákladný vlak; lokomotíva 363; 38 vozňov;  $v = 60$  km/h; KSL; priečny smer



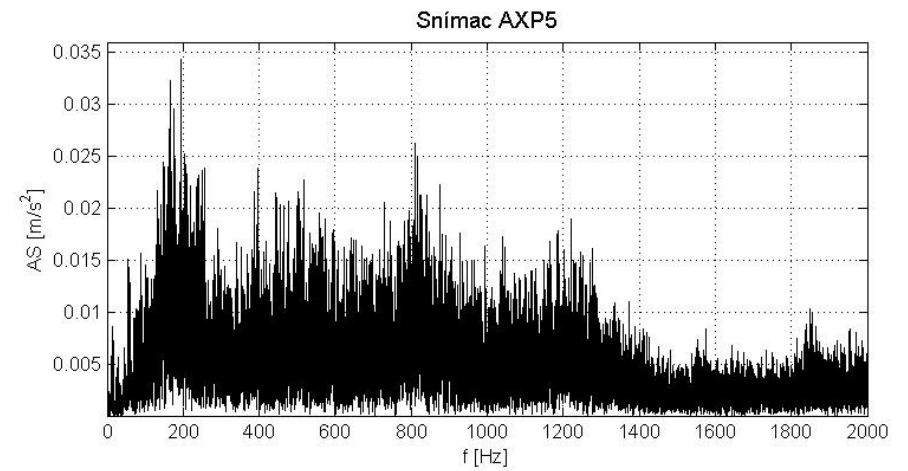
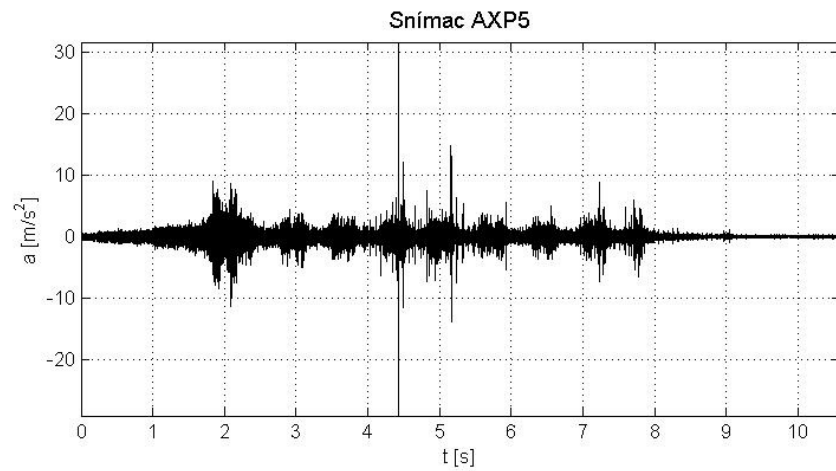
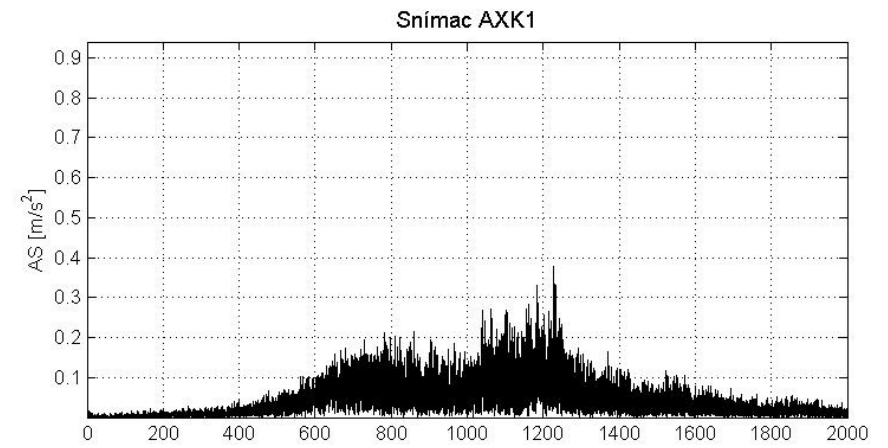
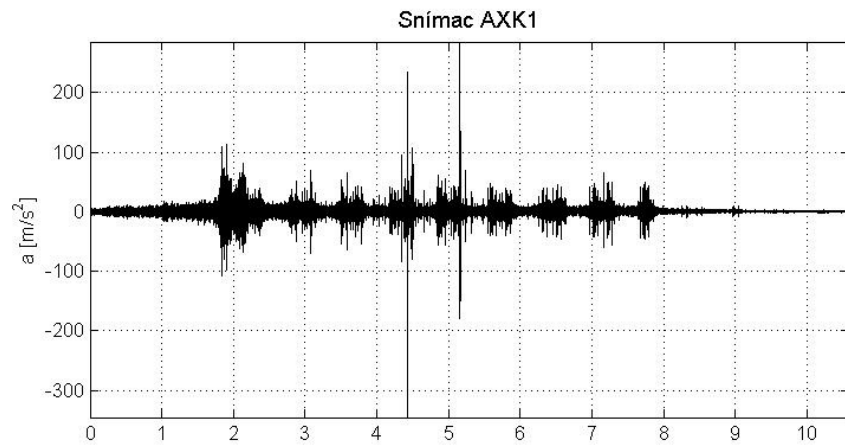
Graf D.28 Nákladný vlak; lokomotíva 122; 38 vozňov;  $v = 77$  km/h; PJD; priečny smer



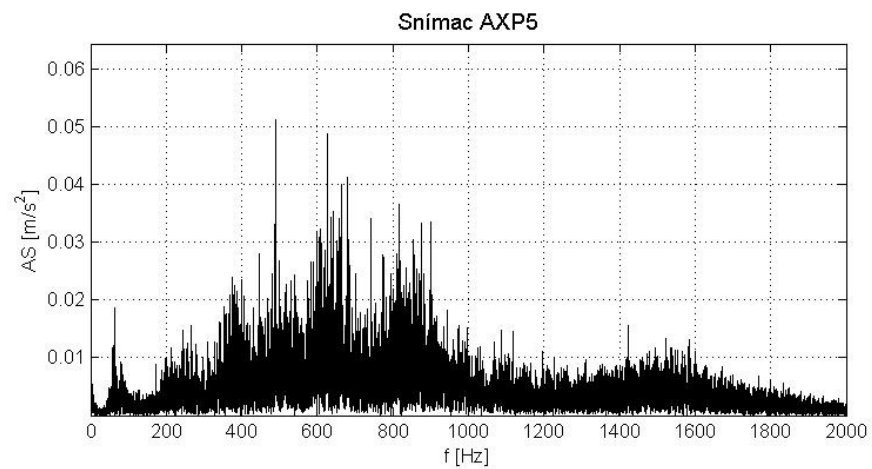
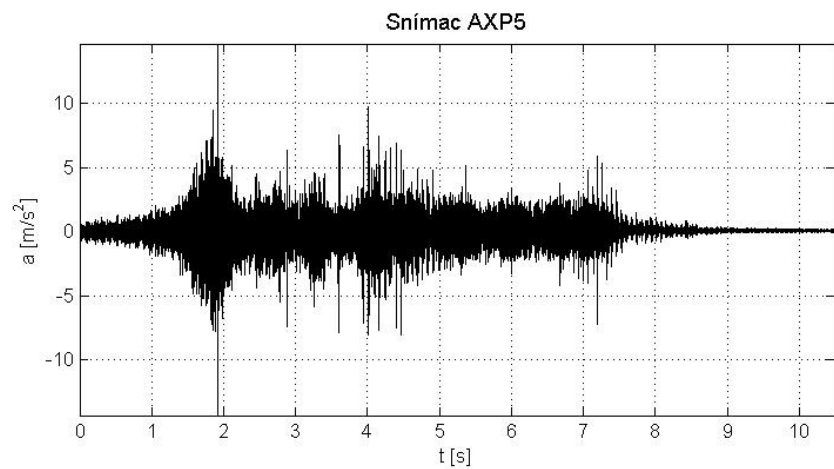
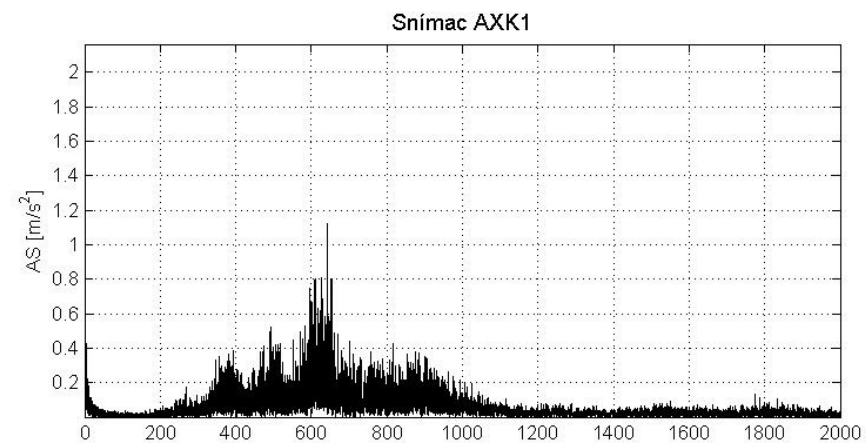
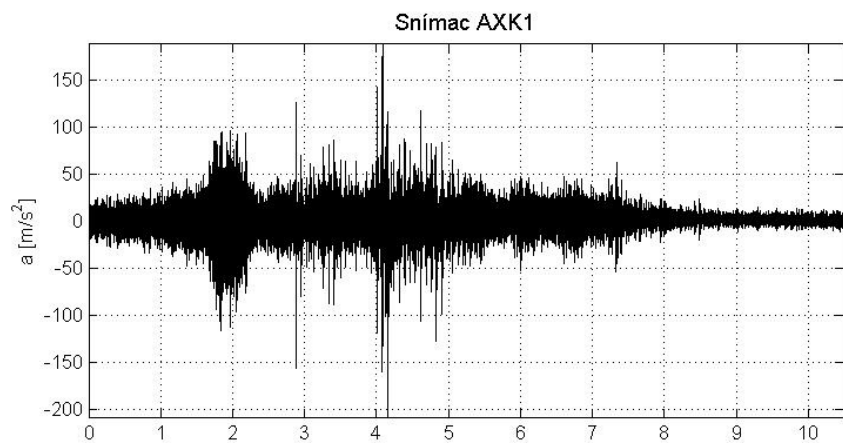
Graf D.29 Nákladný vlak; lokomotíva 363; 38 vozňov;  $v = 60$  km/h; KSL; zvislý smer



Graf D.30 Nákladný vlak; lokomotíva 122; 38 vozňov;  $v = 77$  km/h; PJD; zvislý smer

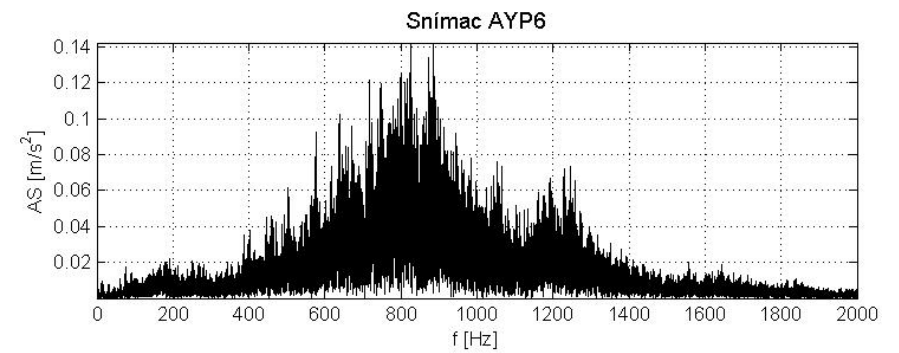
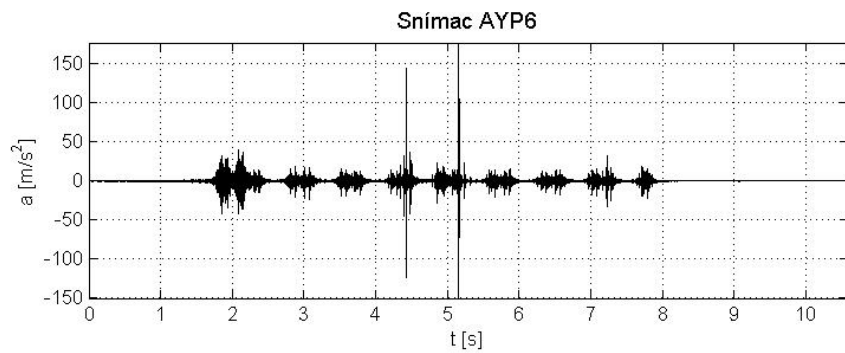
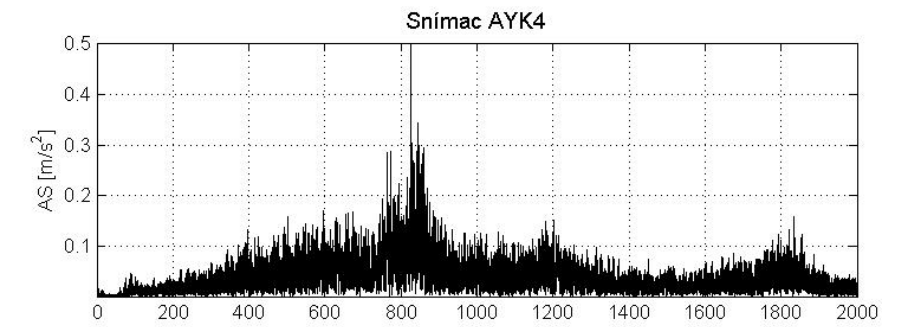
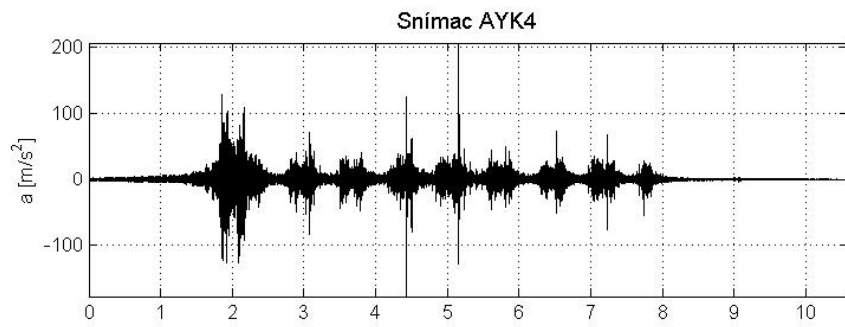
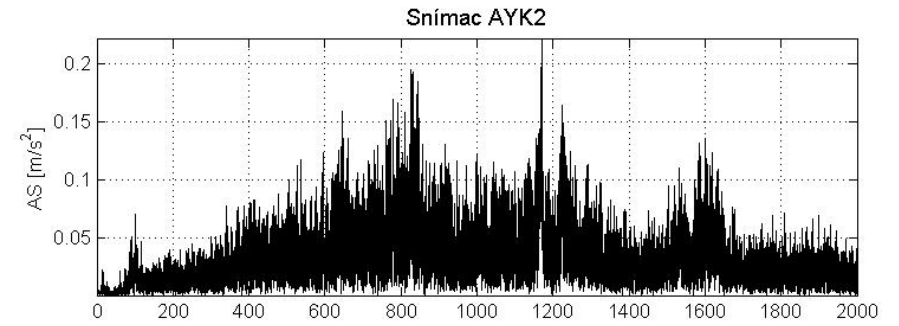
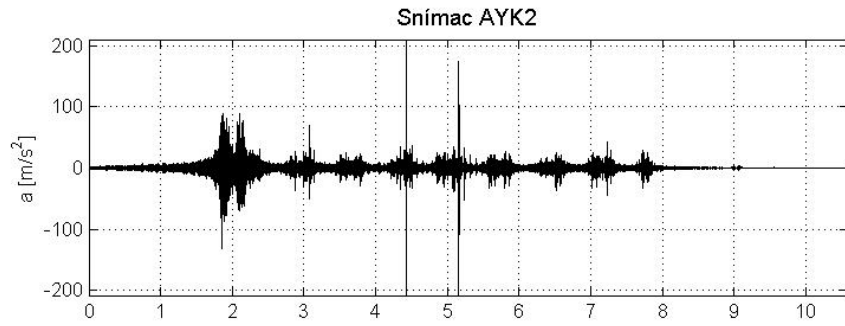


Graf D.31 Rýchlik; lokomotíva 380; 8 vozňov;  $v = 133$  km/h; KSL; pozdĺžny smer

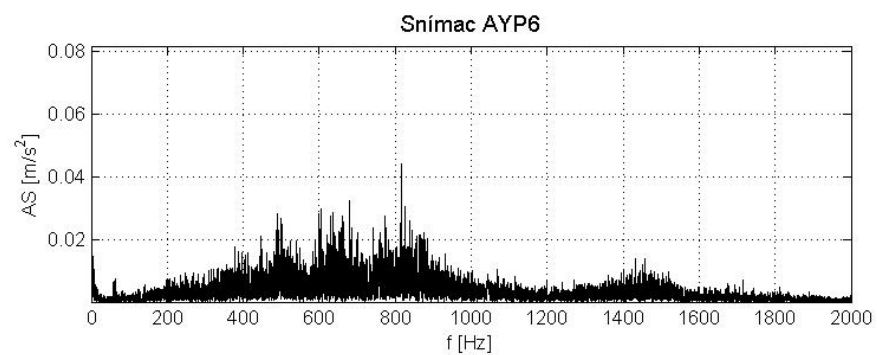
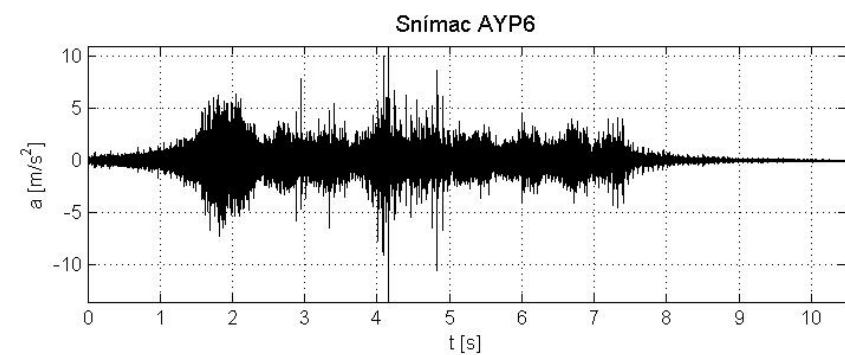
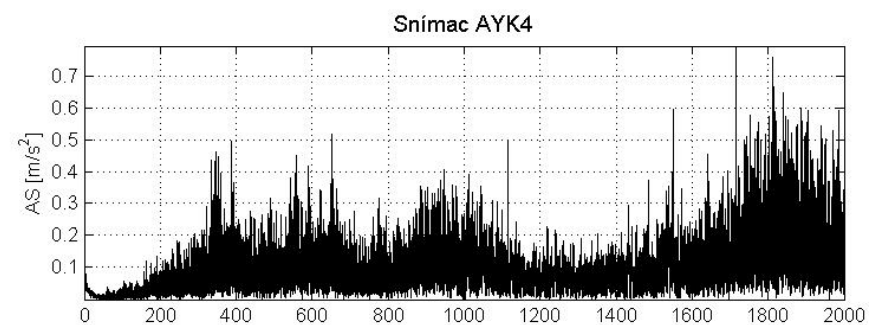
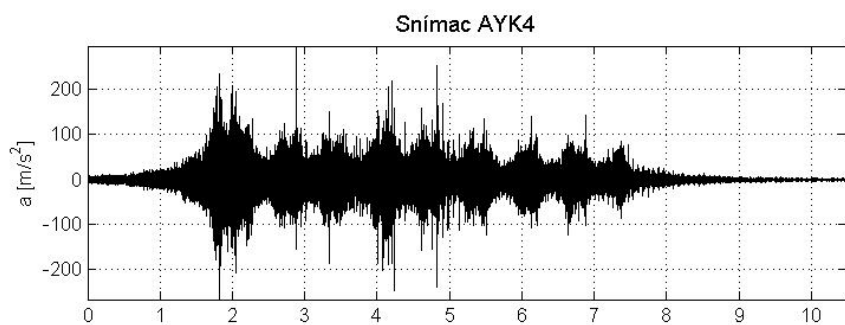
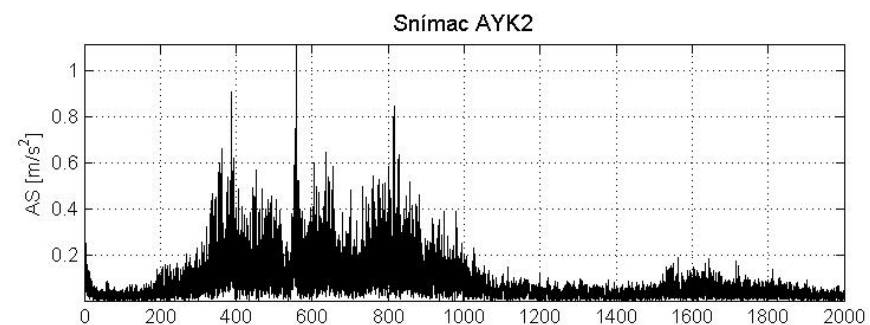
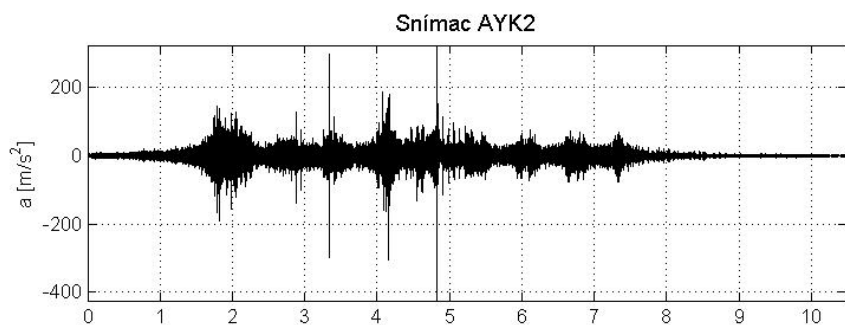


Graf D.32 Rýchlik; lokomotíva 380; 8 vozňov;  $v = 132$  km/h; PJD; pozdĺžny smer

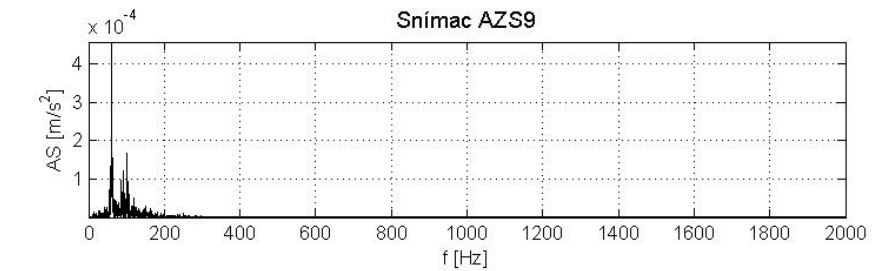
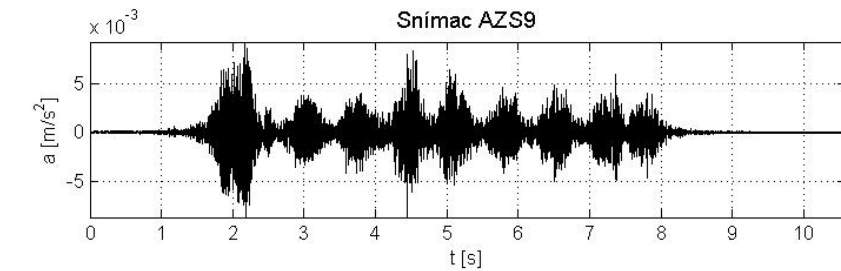
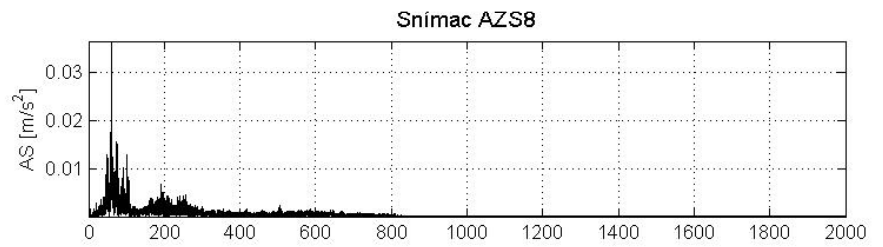
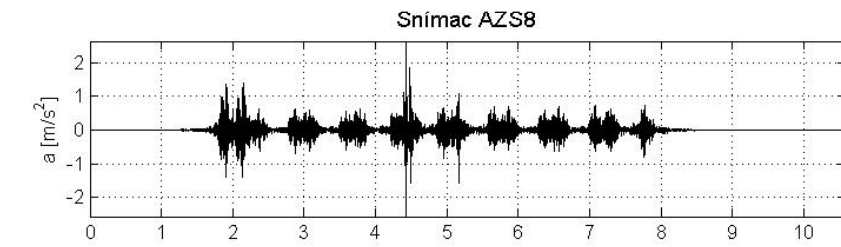
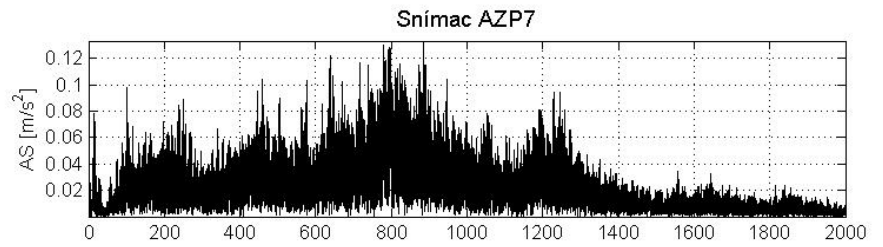
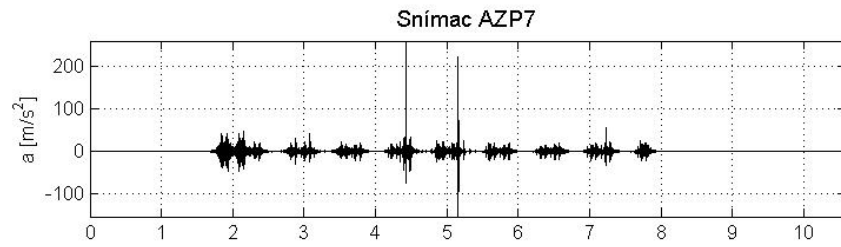
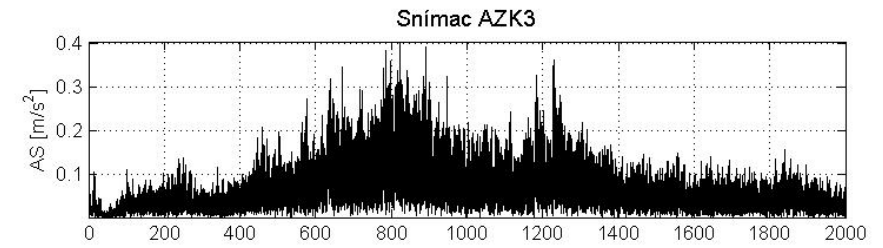
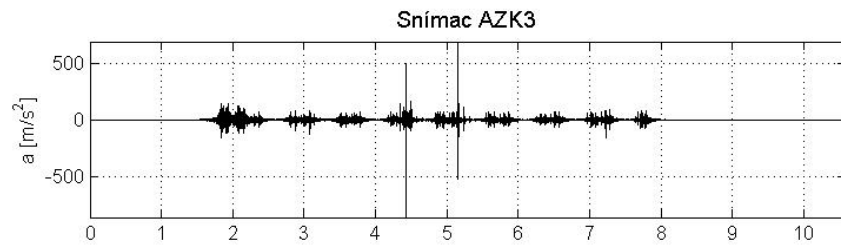




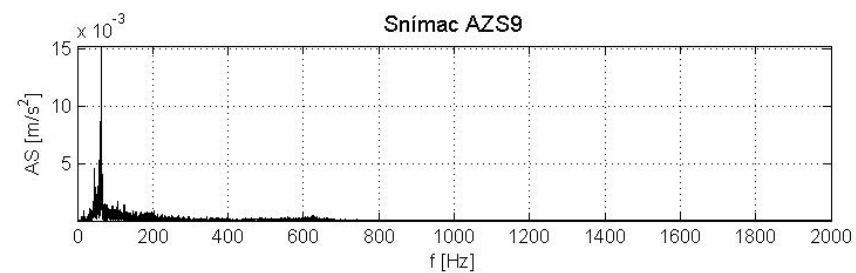
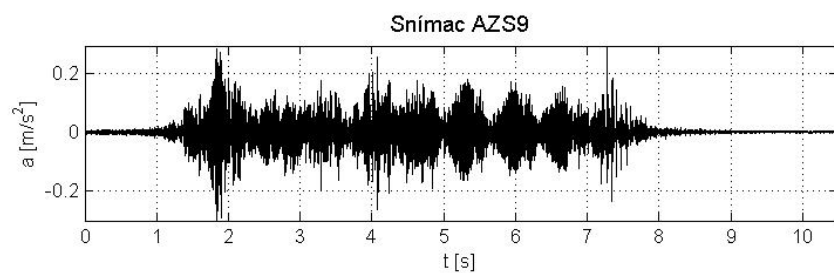
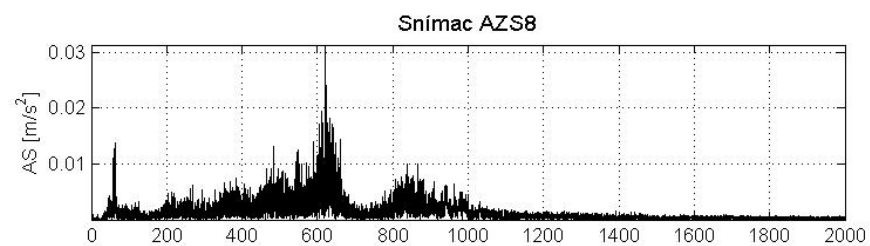
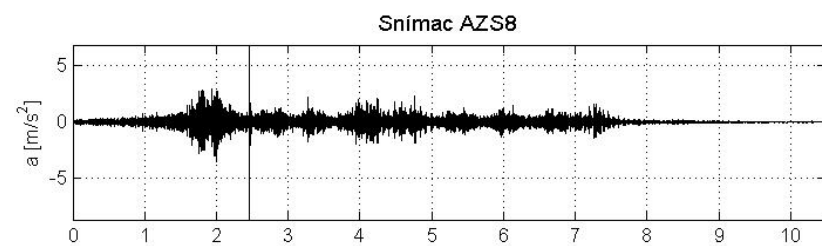
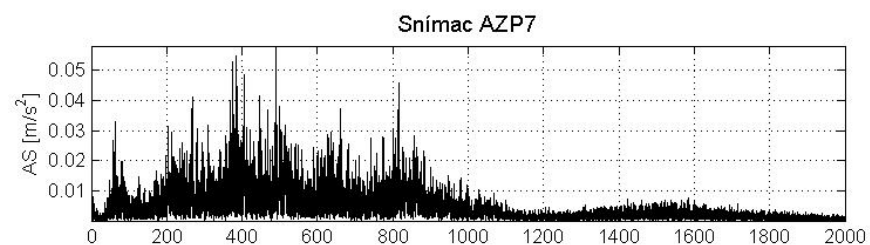
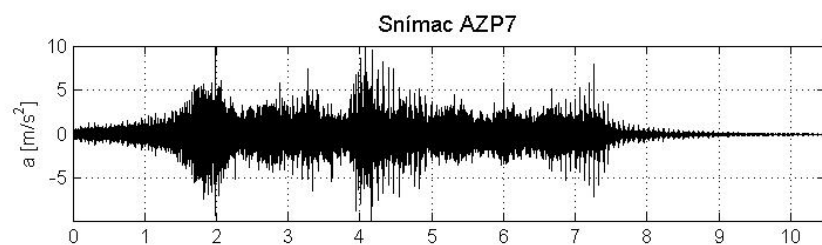
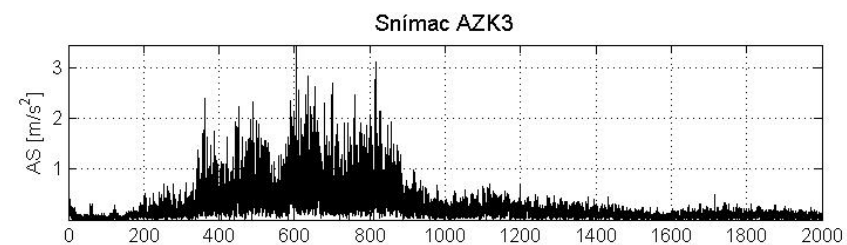
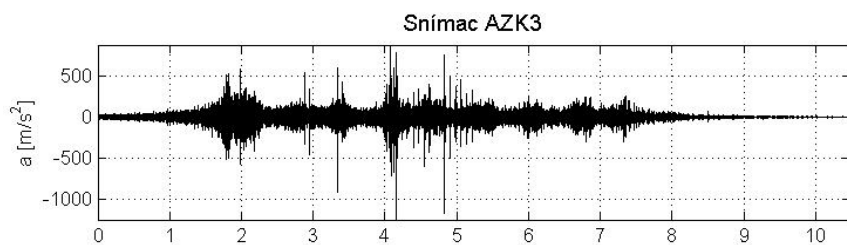
Graf D.33 Rýchlik; lokomotíva 380; 8 vozňov;  $v = 133 \text{ km/h}$ ; KSL; priečný smer



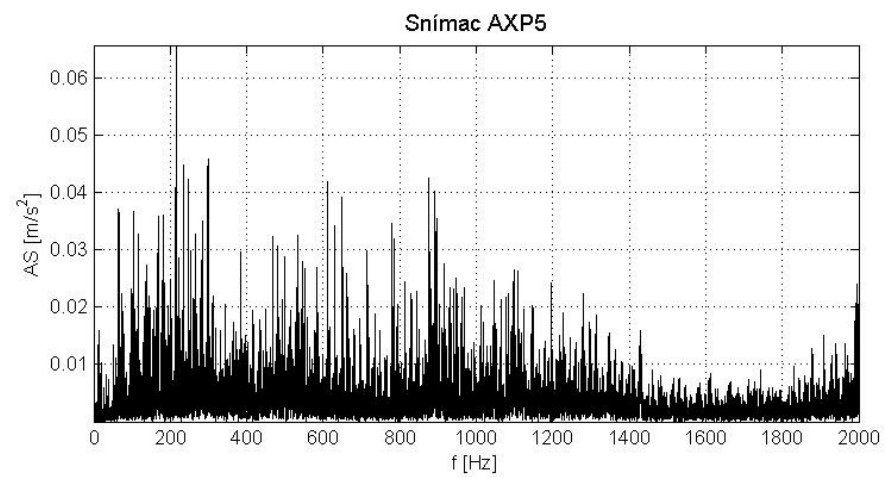
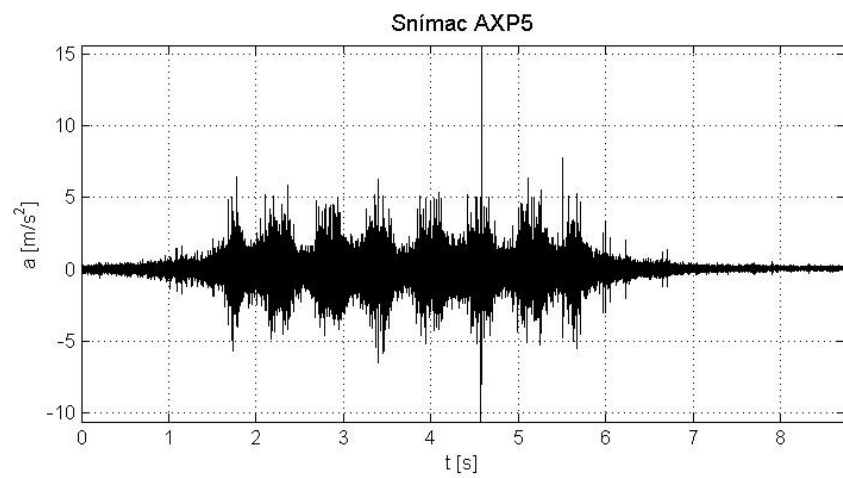
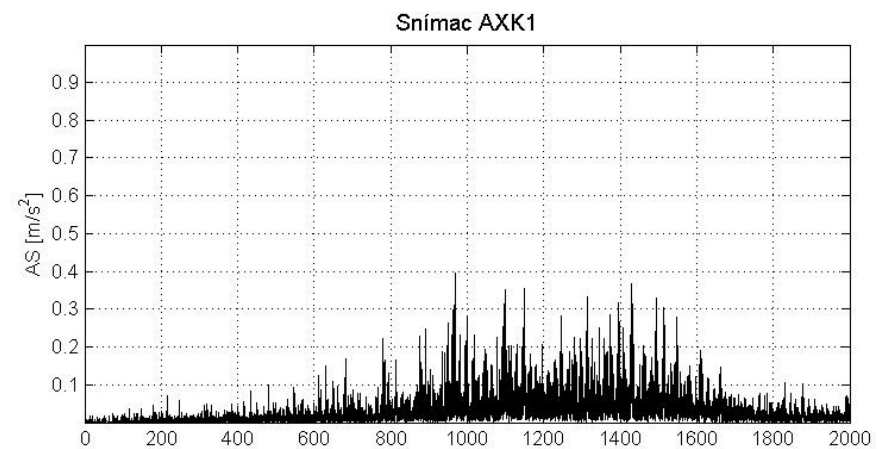
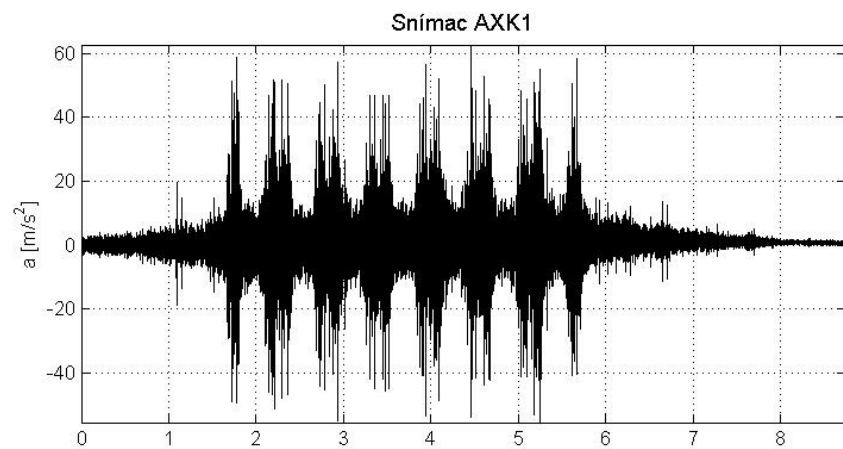
Graf D.34 Rýchlik; lokomotíva 380; 8 vozňov;  $v = 132$  km/h; PJD; priečny smer



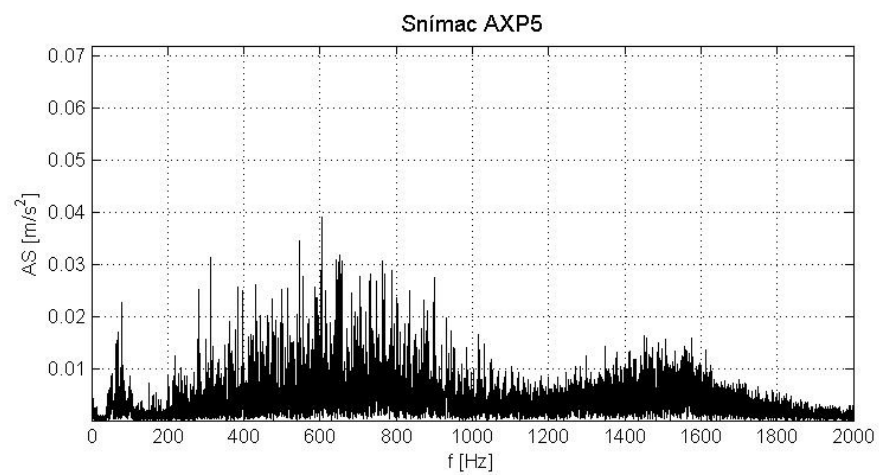
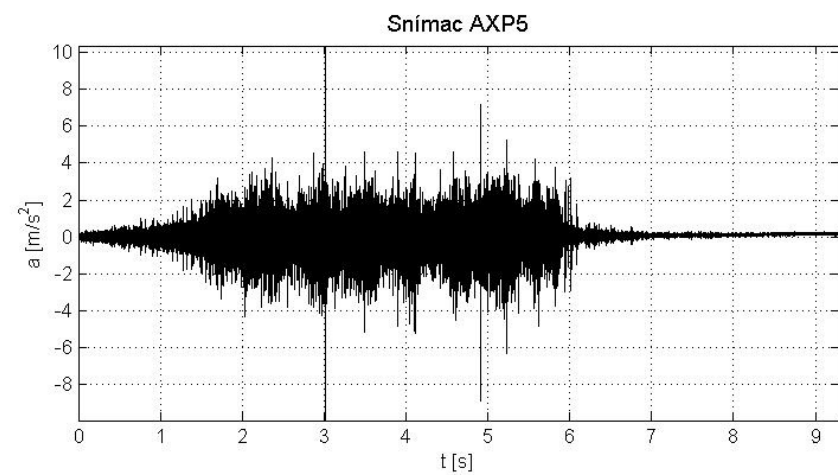
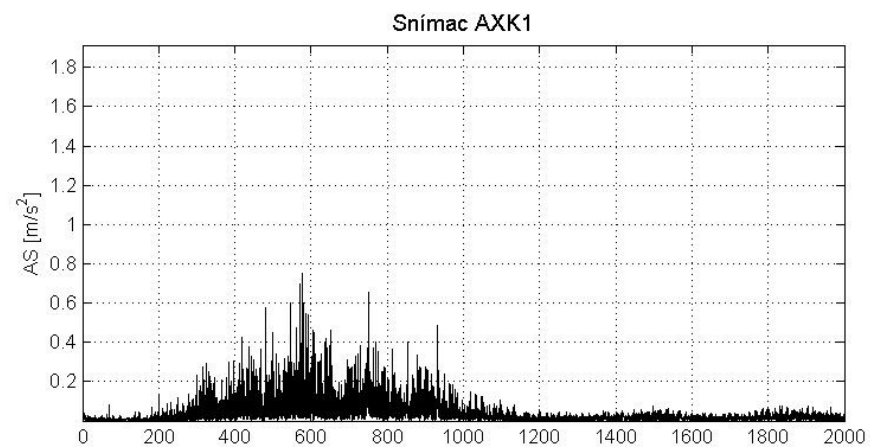
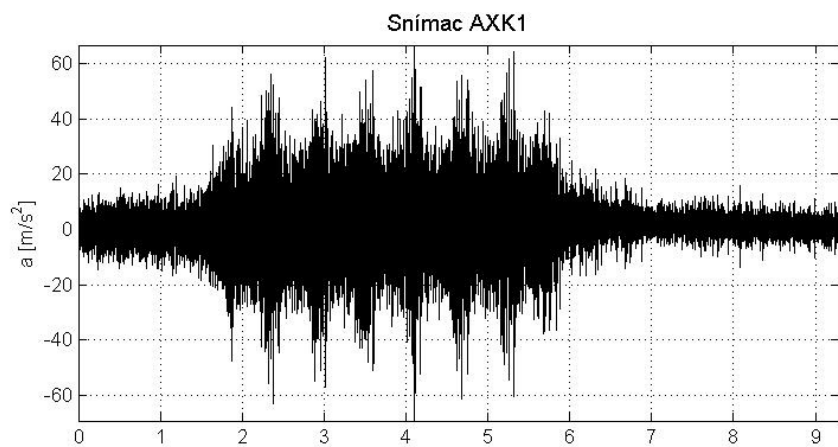
Graf D.35 Rýchlik; lokomotíva 380; 8 vozňov;  $v = 133$  km/h; KSL; zvislý smer



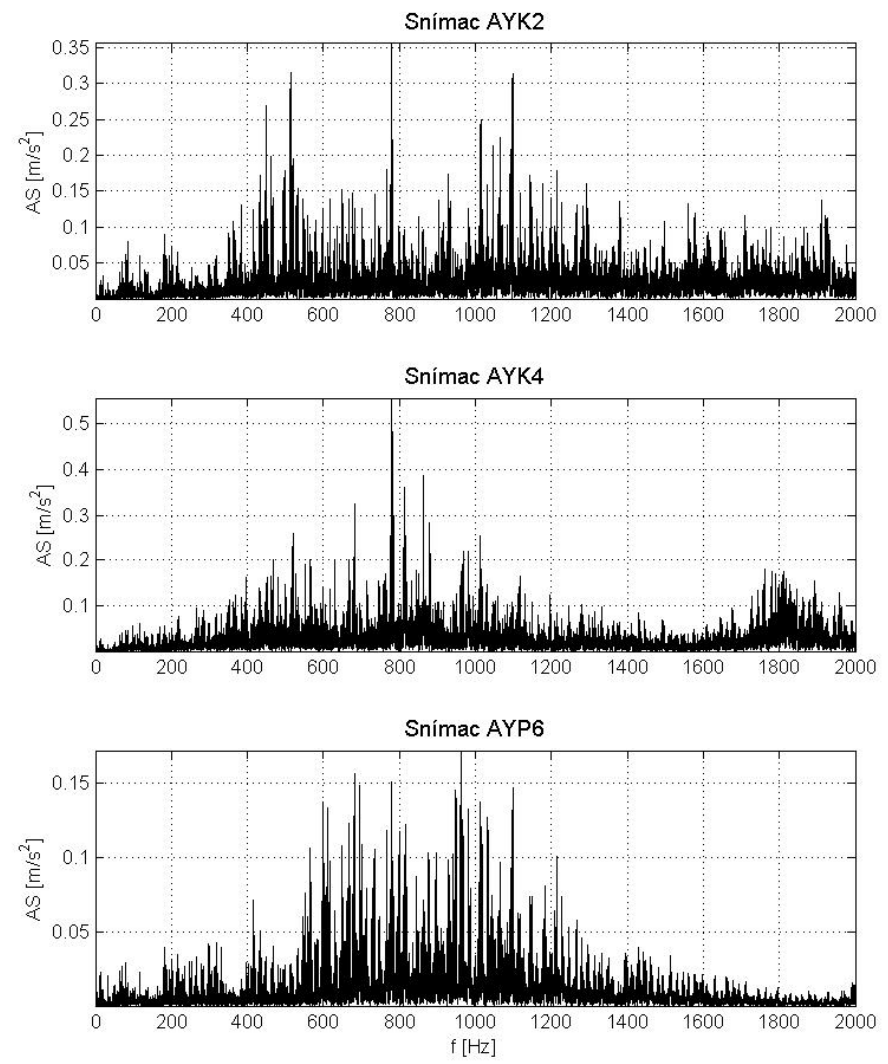
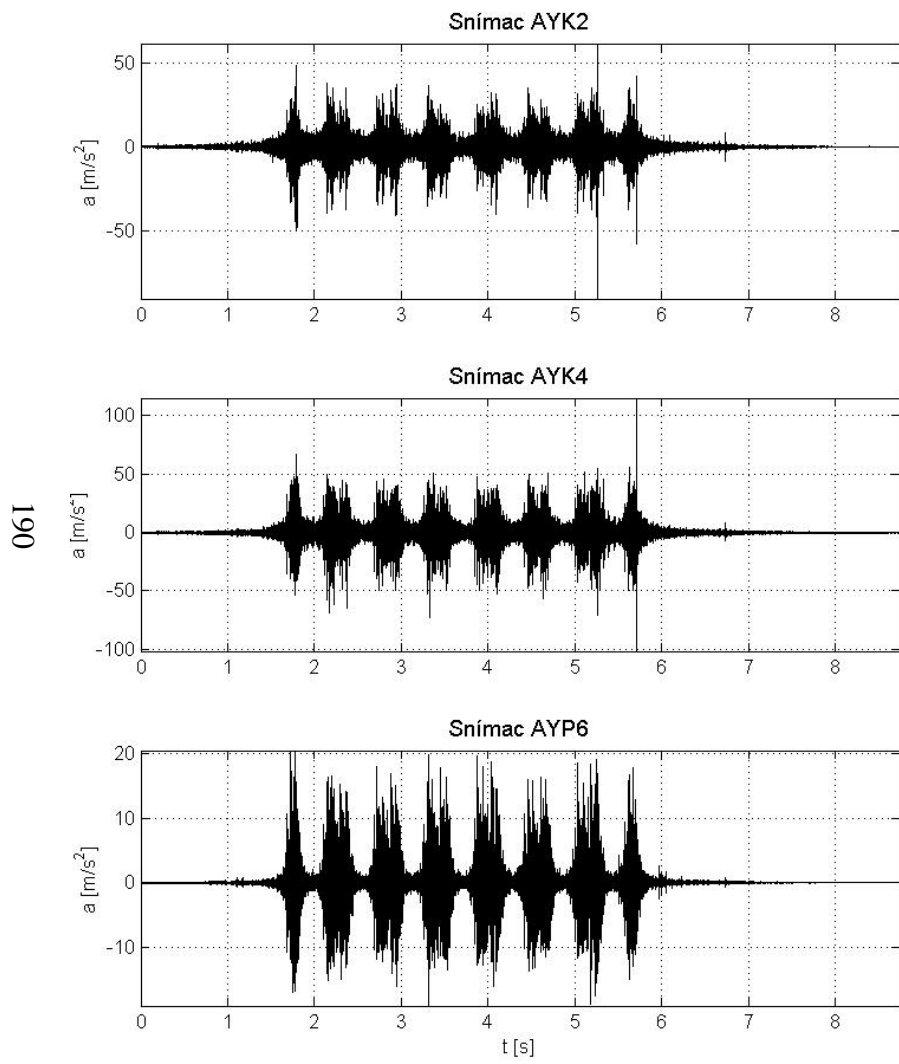
Graf D.36 Rýchlik; lokomotíva 380; 8 vozňov;  $v = 132$  km/h; PJD; zvislý smer



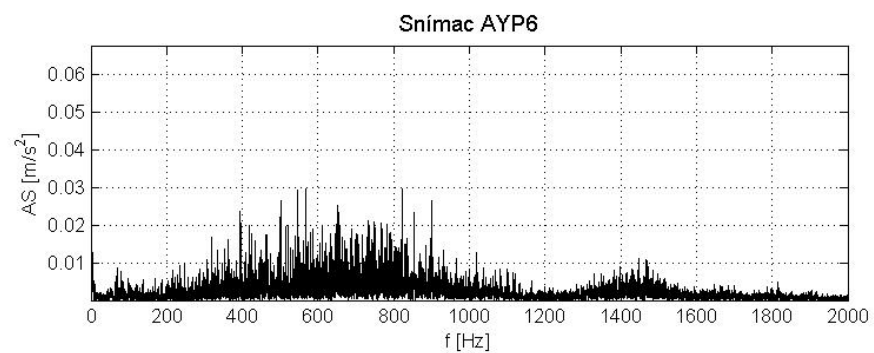
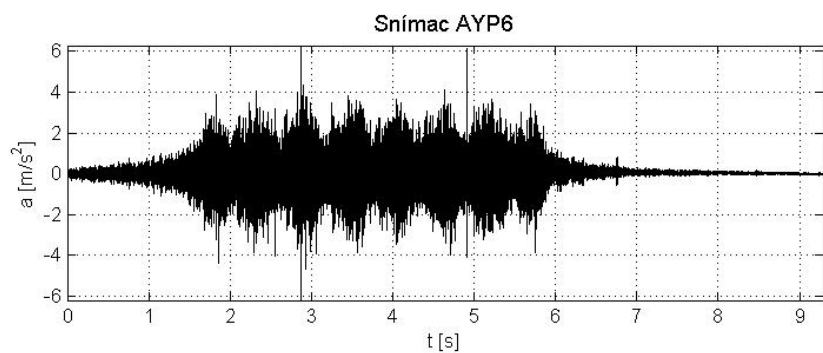
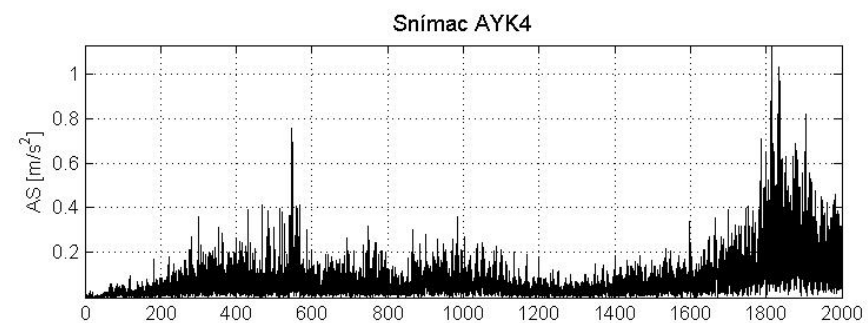
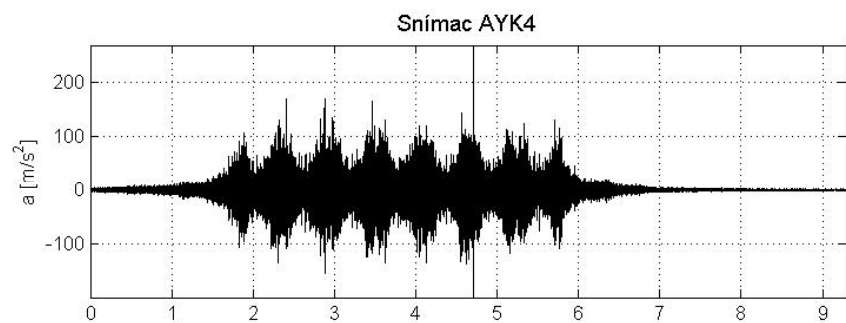
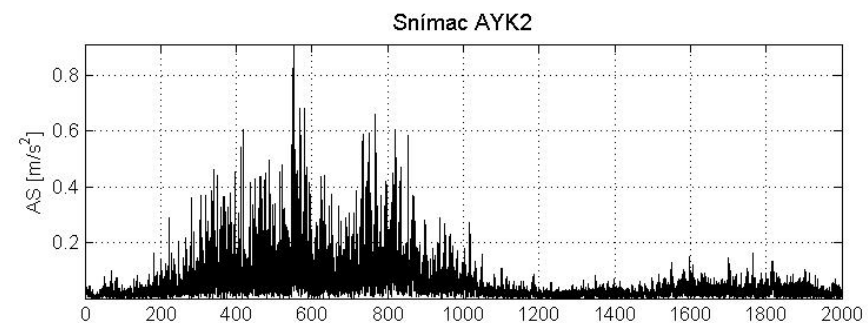
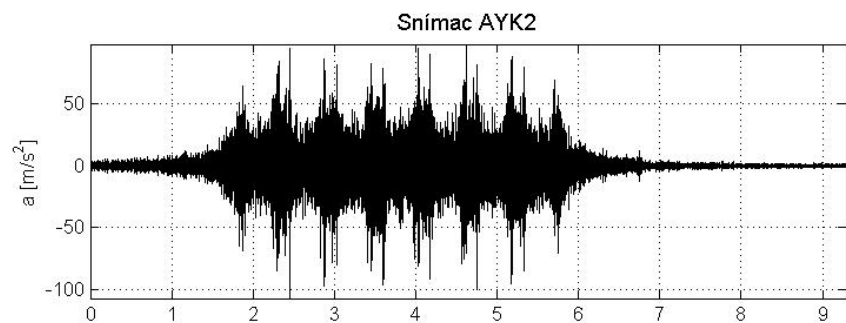
Graf D.37 SC Pendolino; 8 vozňov;  $v = 161$  km/h; KSL; pozdĺžny smer



Graf D.38 SC Pendolino; 7 vozňov;  $v = 133$  km/h; PJD; pozdĺžny smer

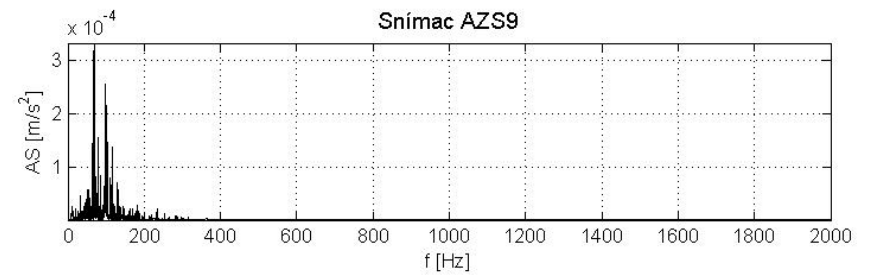
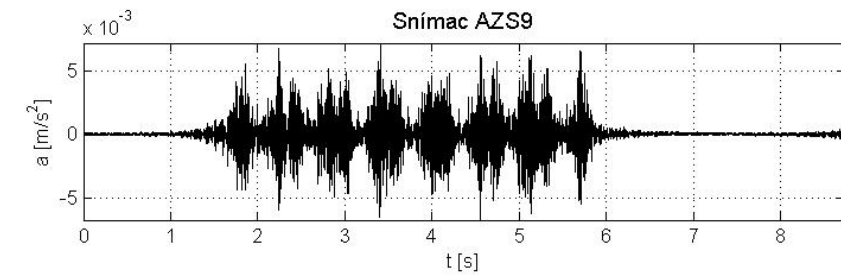
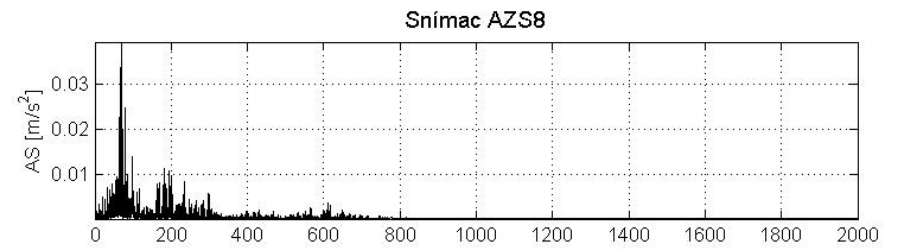
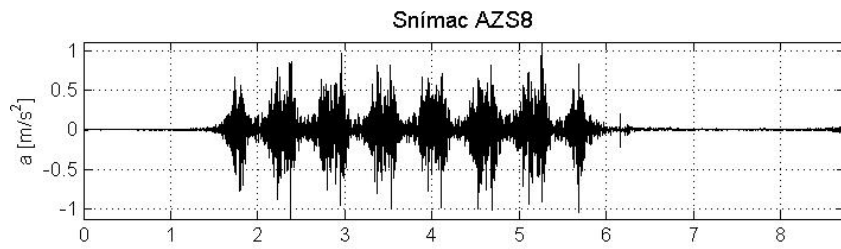
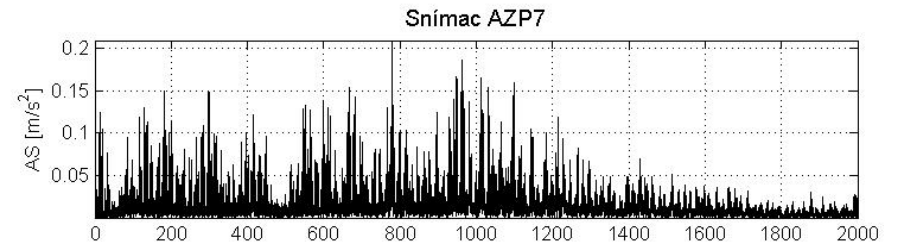
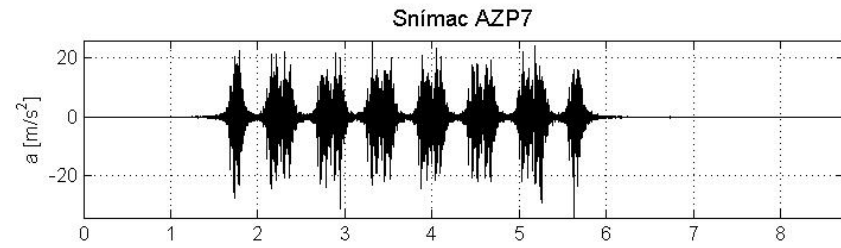
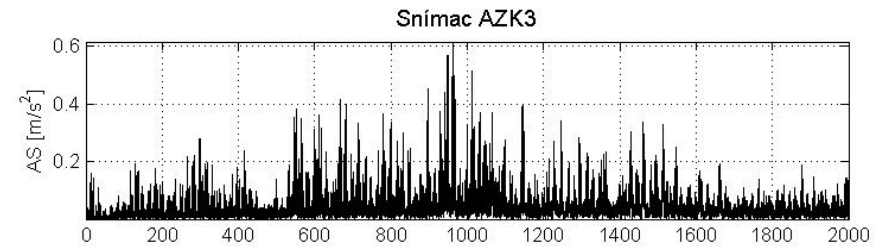
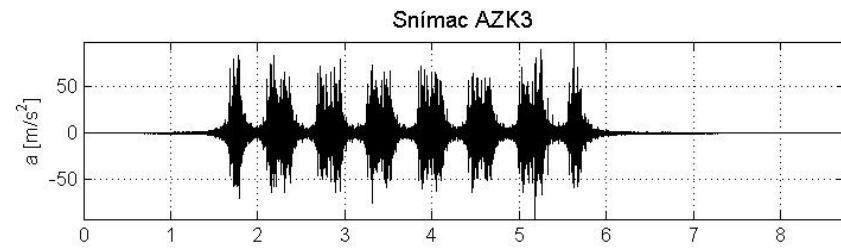


Graf D.39 SC Pendolino; 8 vozňov;  $v = 161$  km/h; KSL; priečny smer

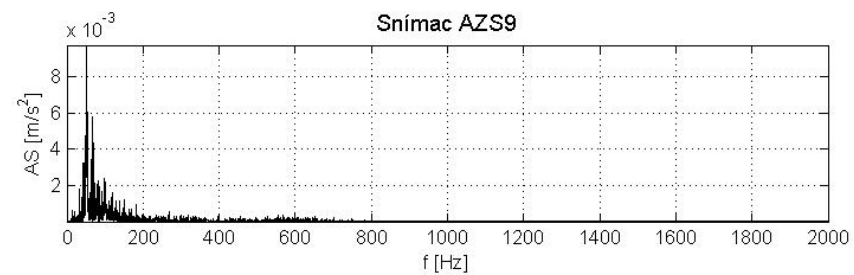
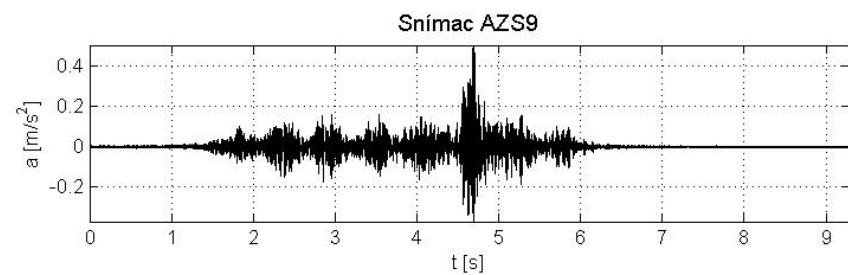
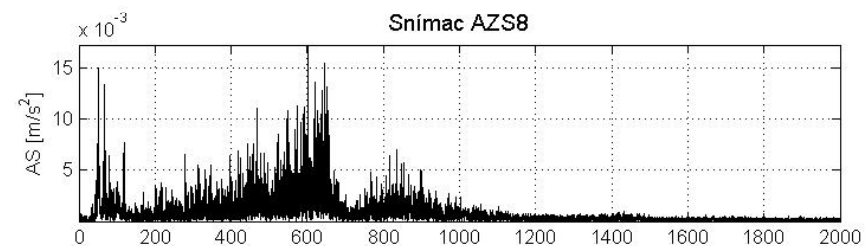
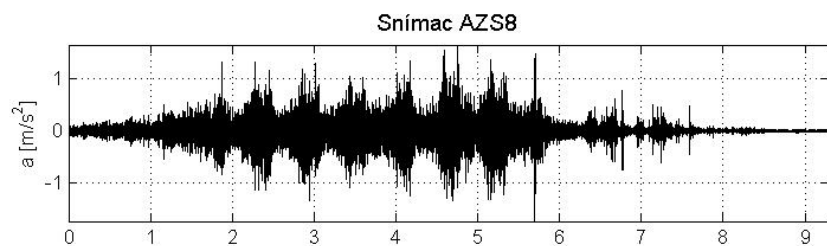
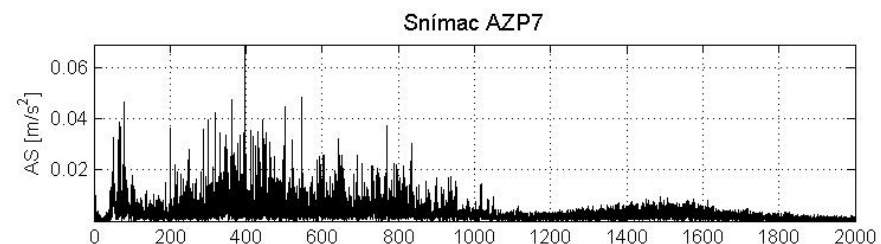
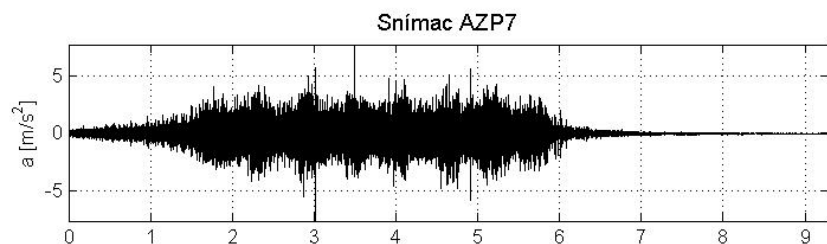
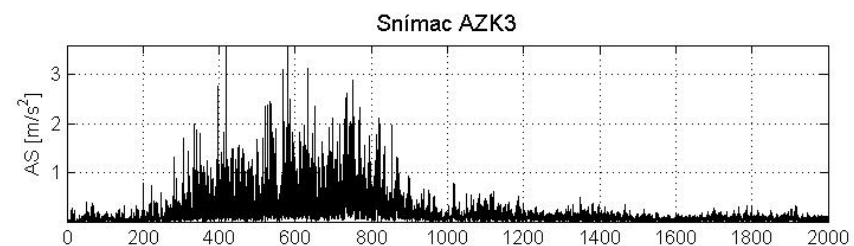
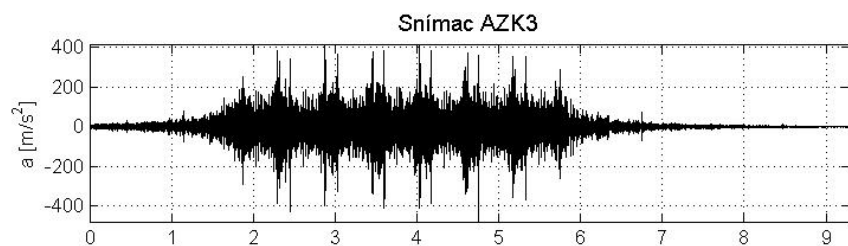


Graf D.40 SC Pendolino; 7 vozňov;  $v = 133$  km/h; PJD; priečny smer

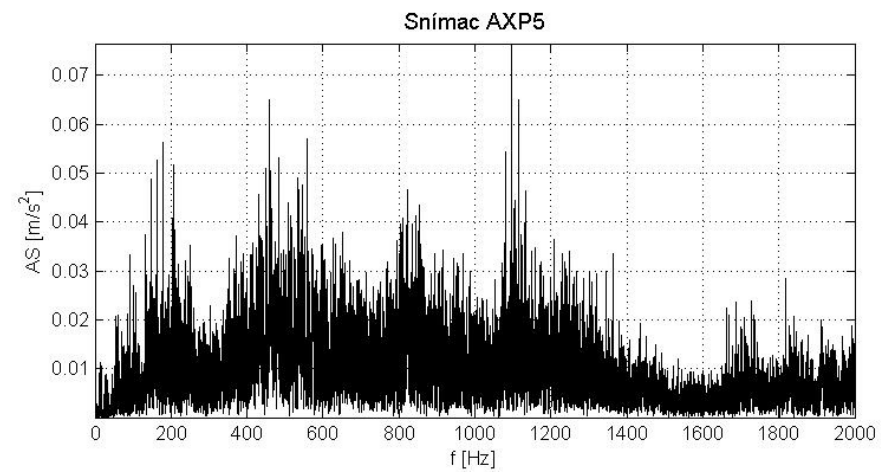
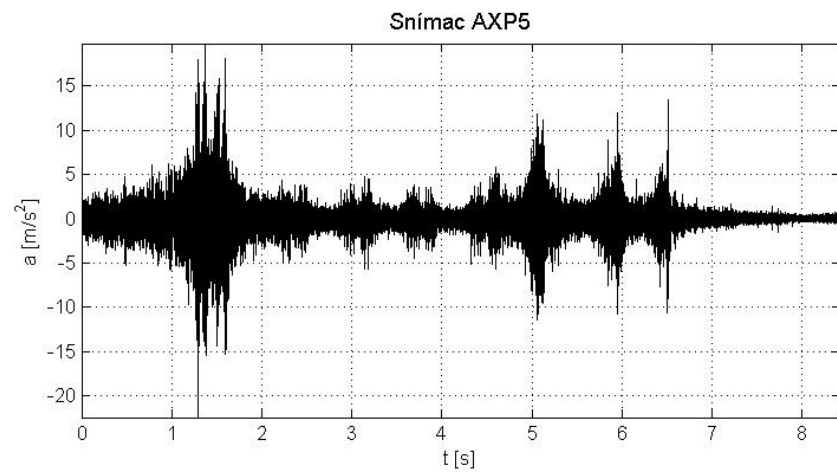
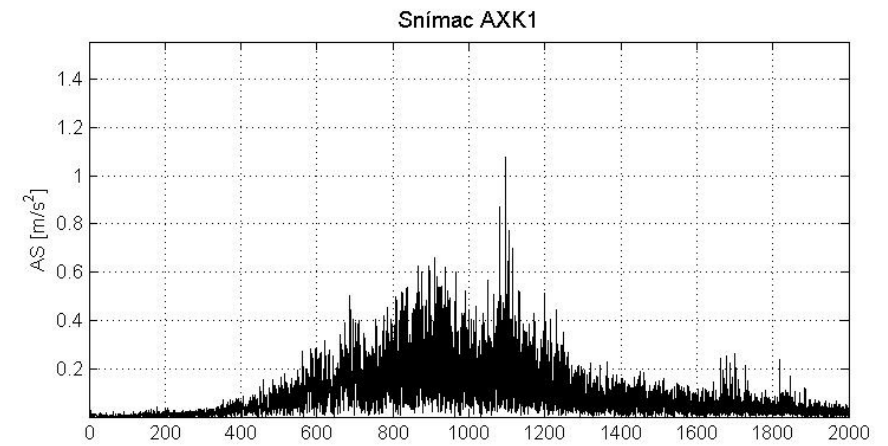
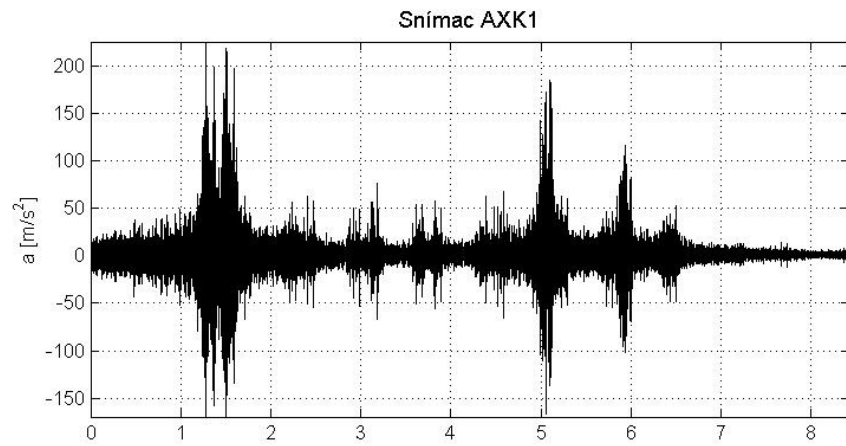




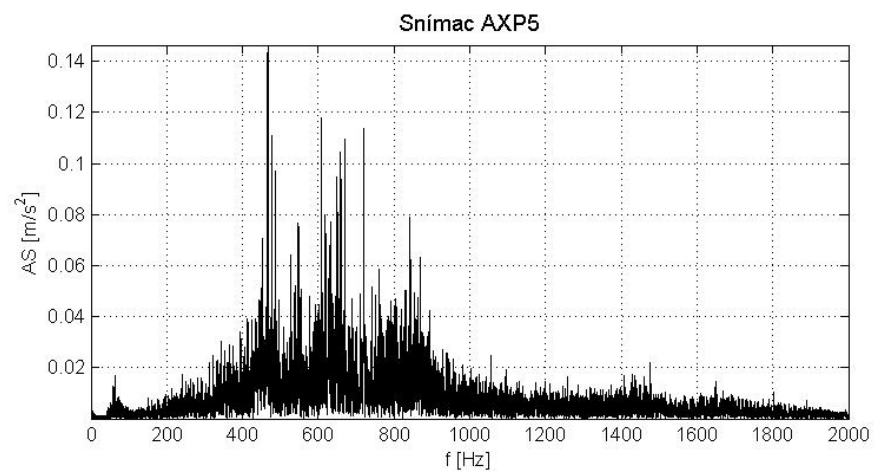
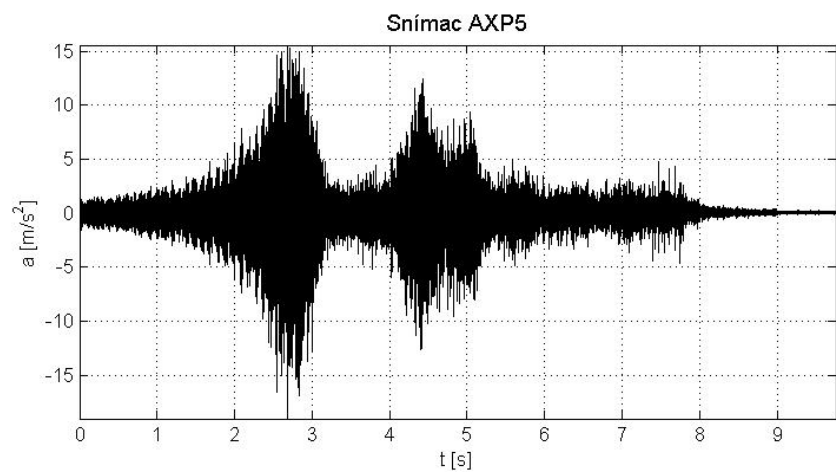
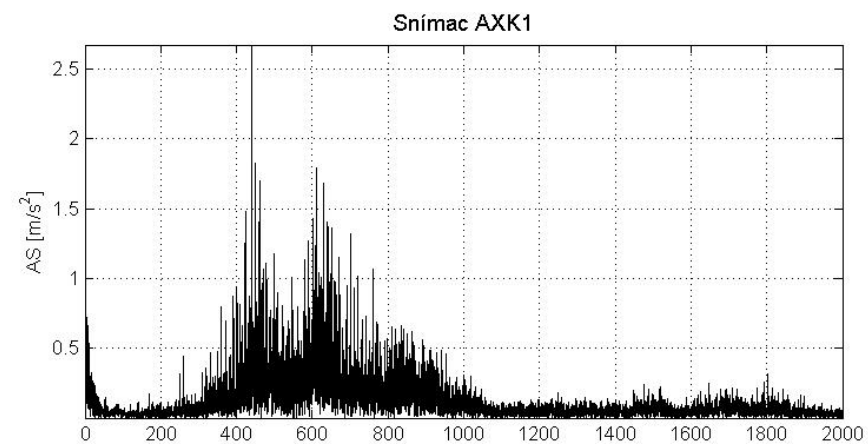
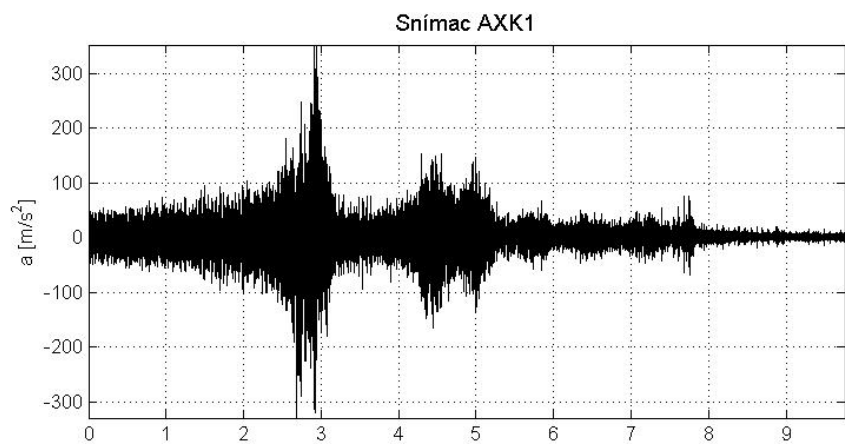
Graf D.41 SC Pendolino; 8 vozňov;  $v = 161 \text{ km/h}$ ; KSL; zvislý smer



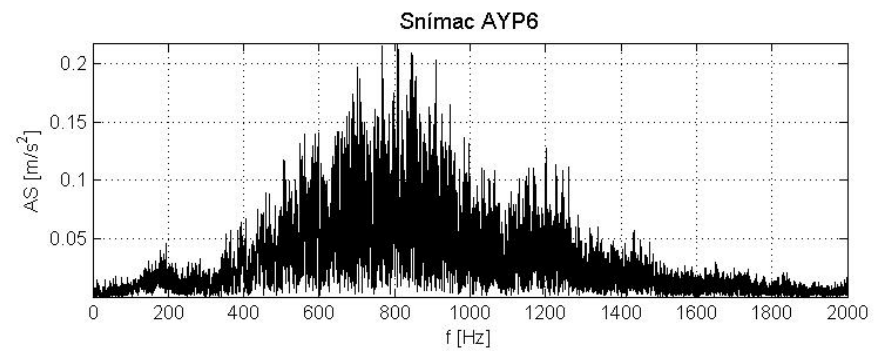
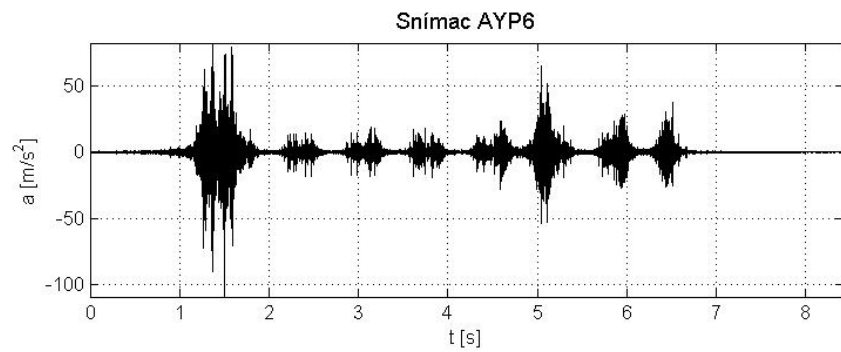
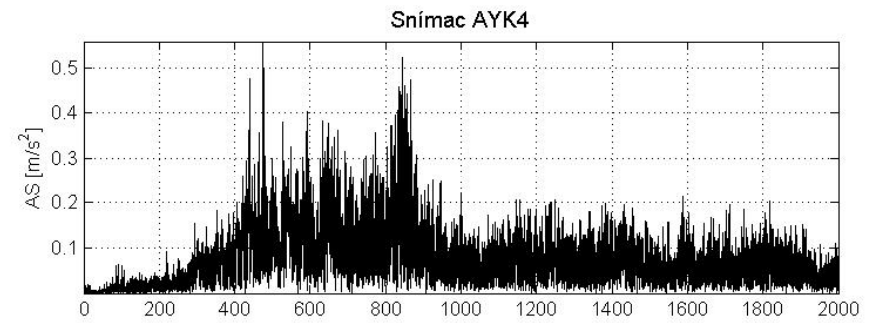
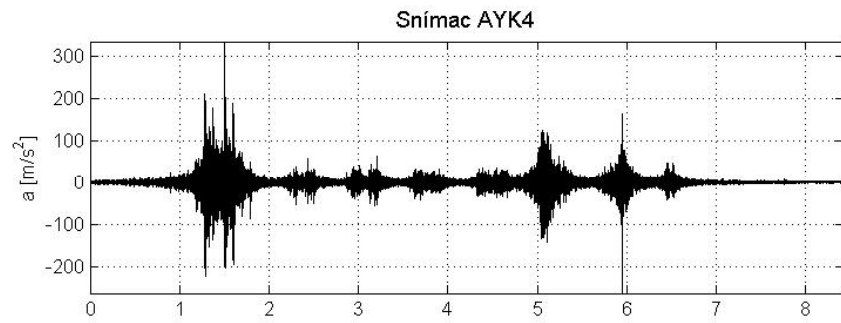
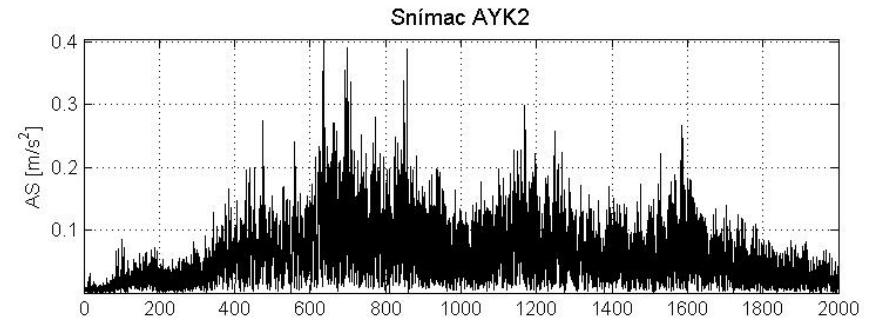
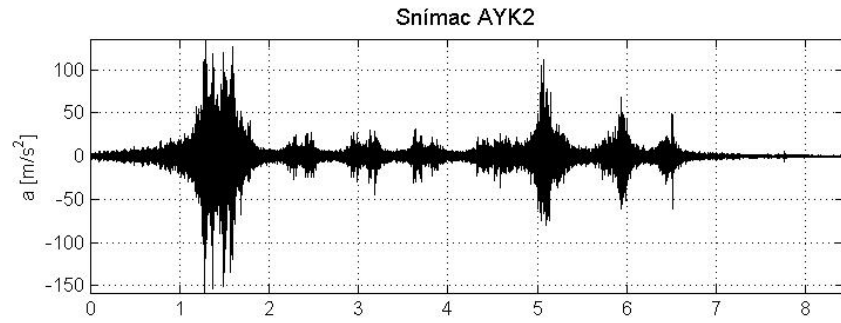
Graf D.42 SC Pendolino; 7 vozňov;  $v = 133 \text{ km/h}$ ; PJD; zvislý smer



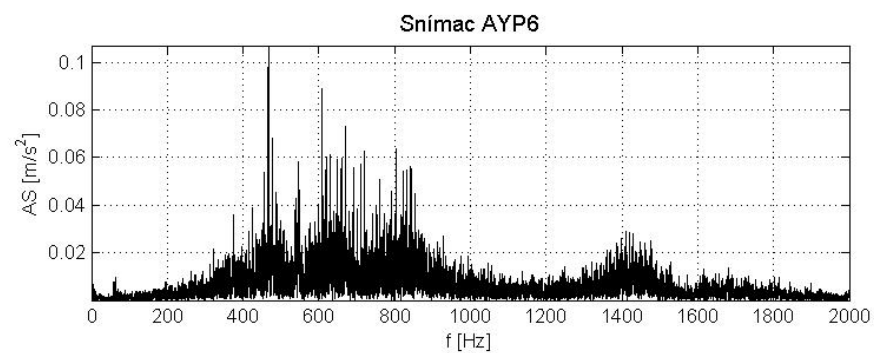
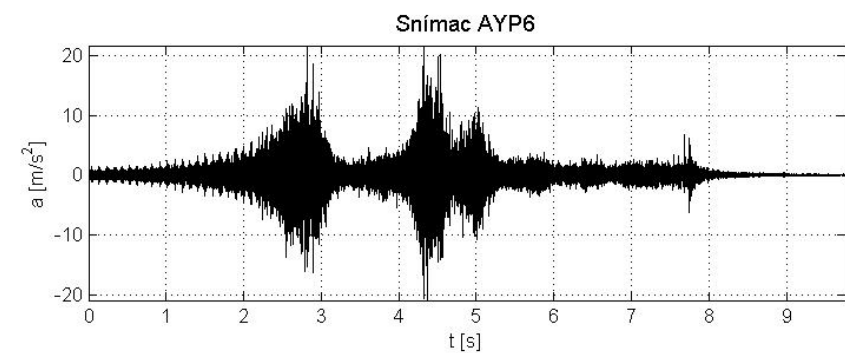
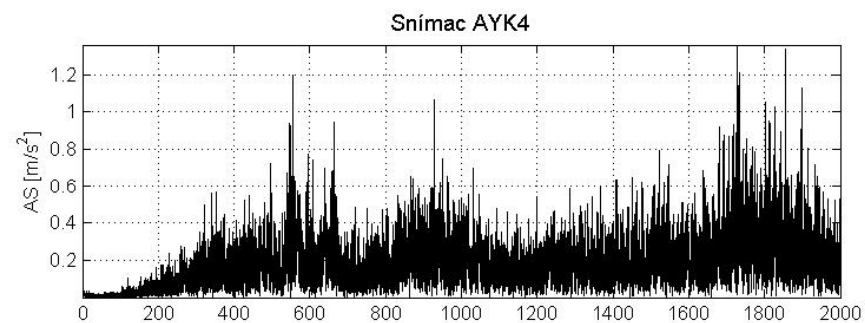
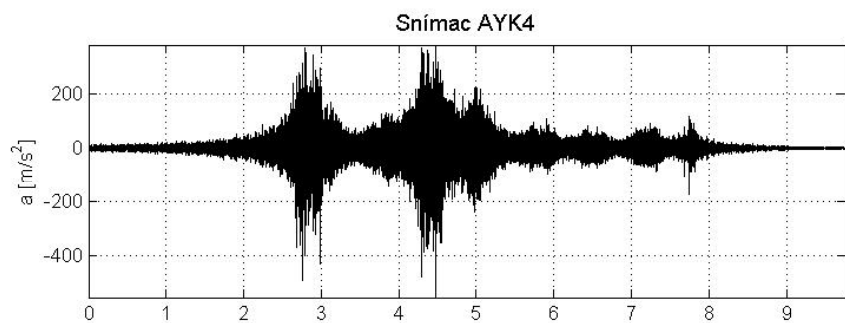
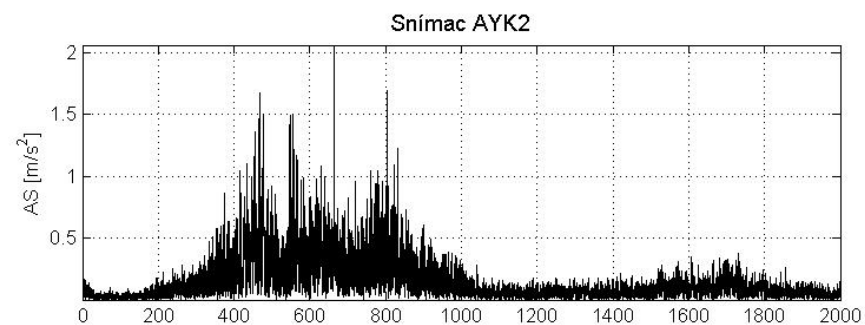
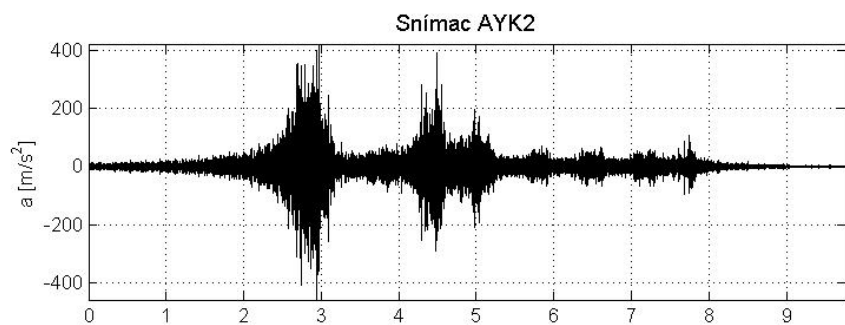
Graf D.43 RegioJet; 7 vozňov;  $v = 137$  km/h; KSL; pozdĺžny smer



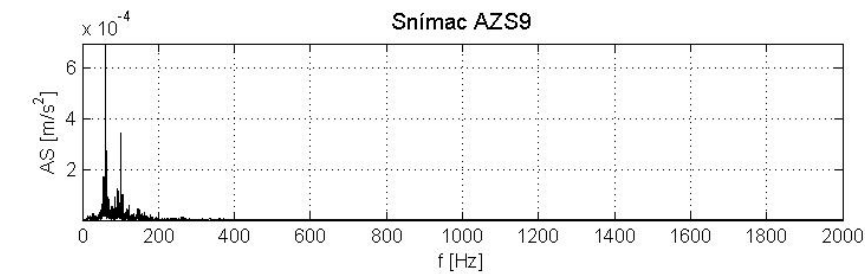
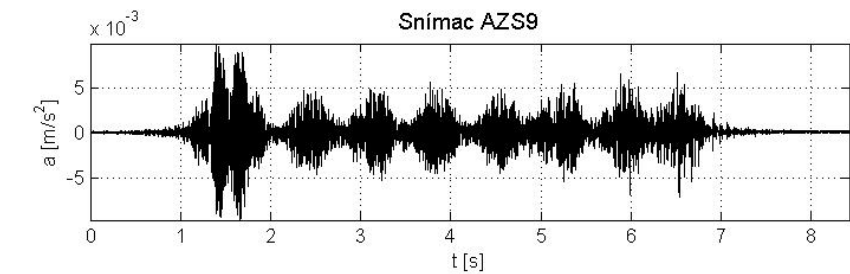
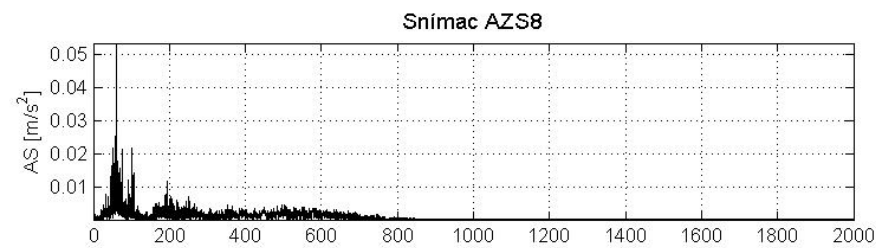
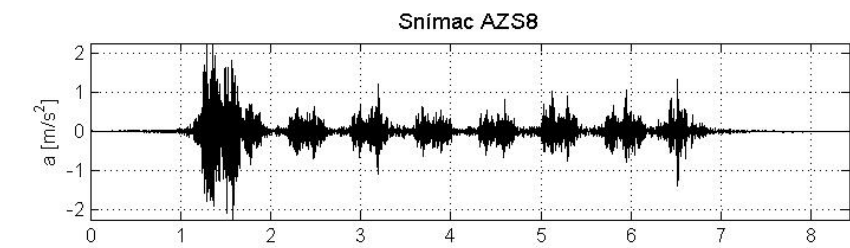
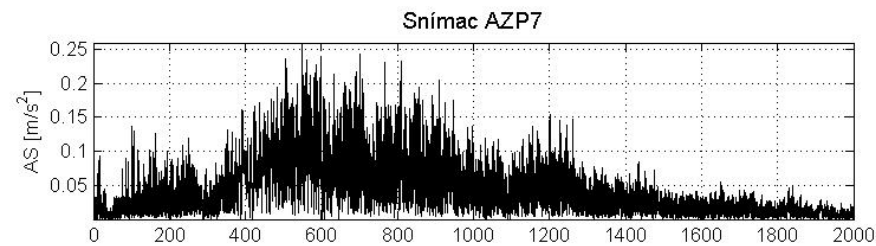
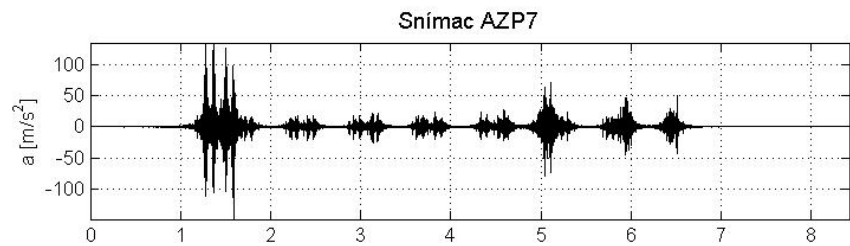
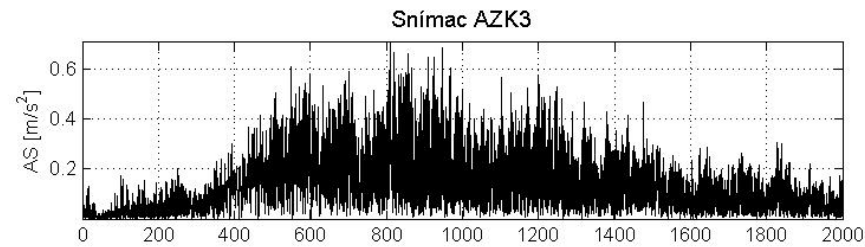
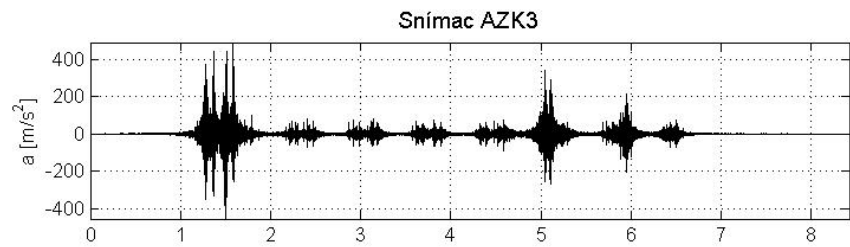
Graf D.44 RegioJet; 7 vozňov;  $v = 116$  km/h; PJD; pozdĺžny smer



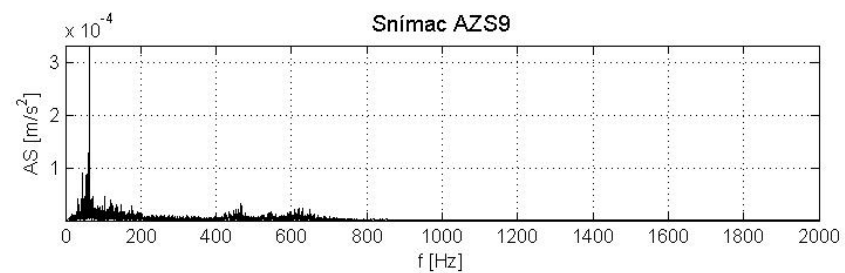
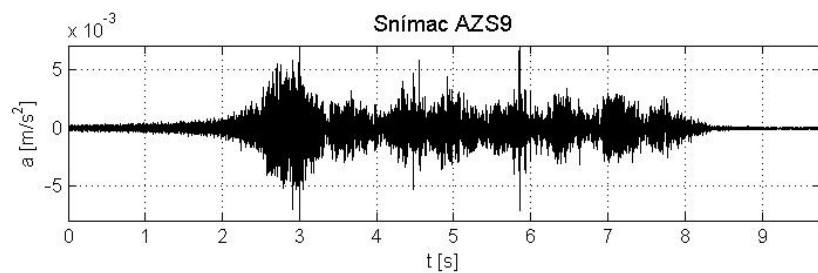
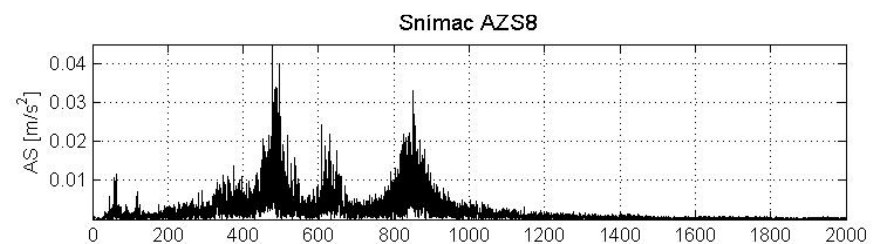
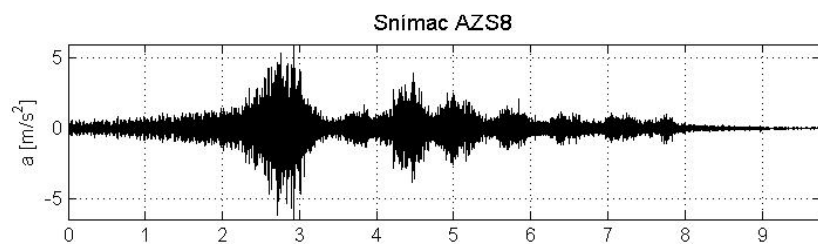
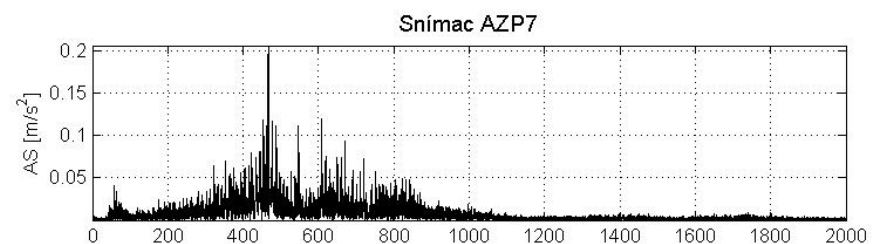
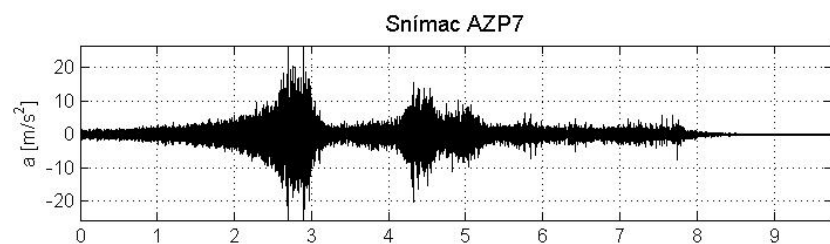
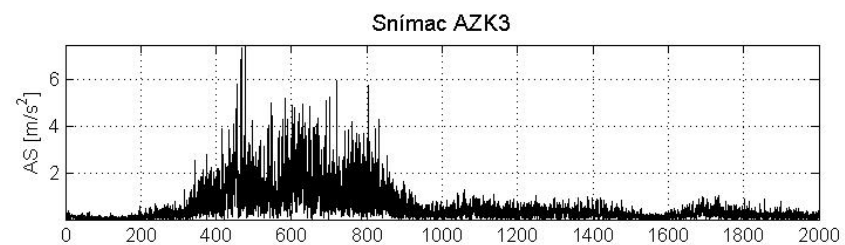
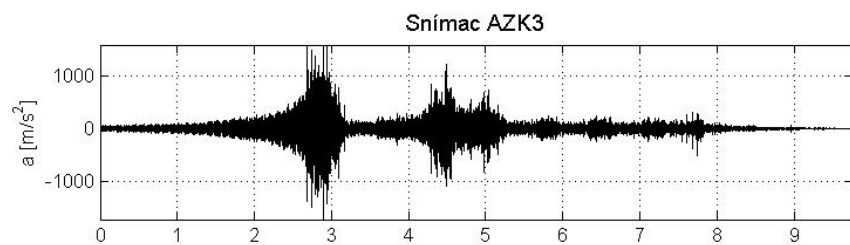
Graf D.45 RegioJet; 7 vozňov;  $v = 137$  km/h; KSL; priečny smer



Graf D.46 RegioJet; 7 vozňov;  $v = 116$  km/h; PJD; priečny smer

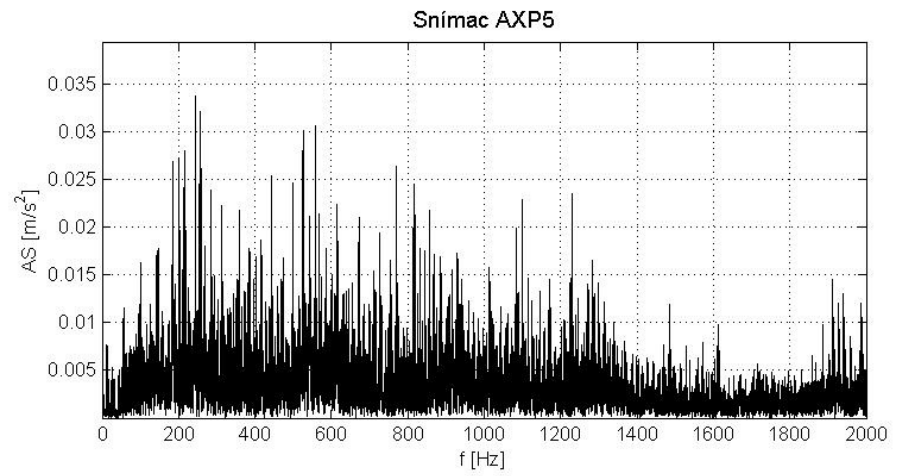
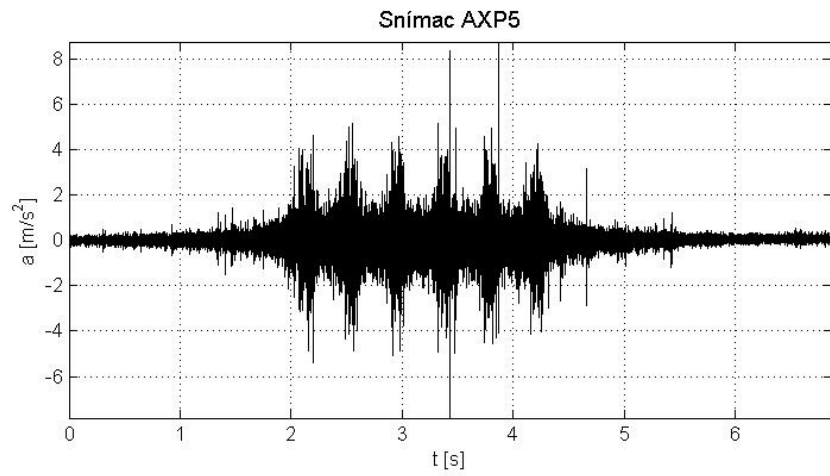
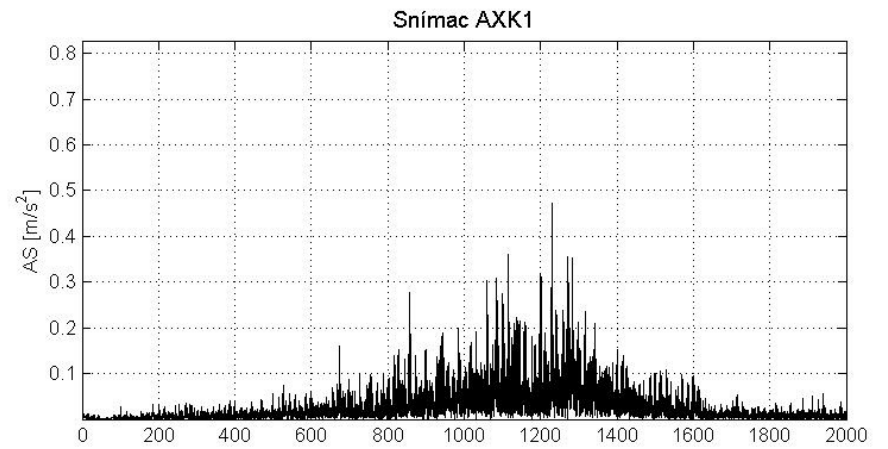
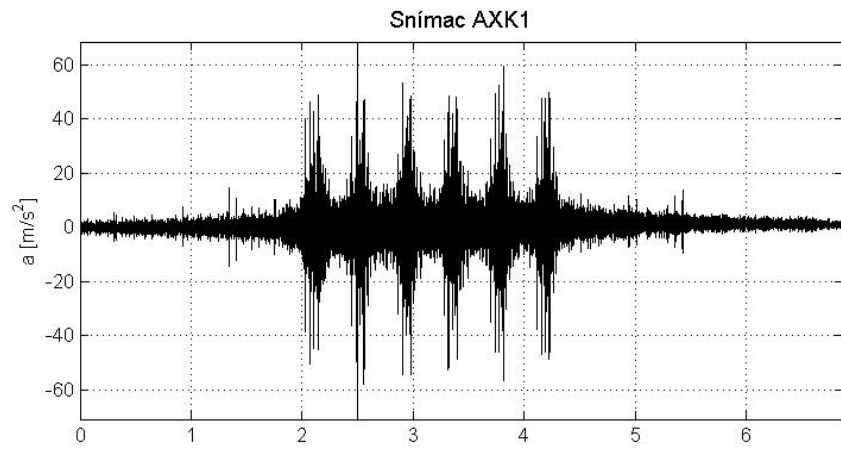


Graf D.47 RegioJet; 7 vozňov;  $v = 137 \text{ km/h}$ ; KSL; zvislý smer

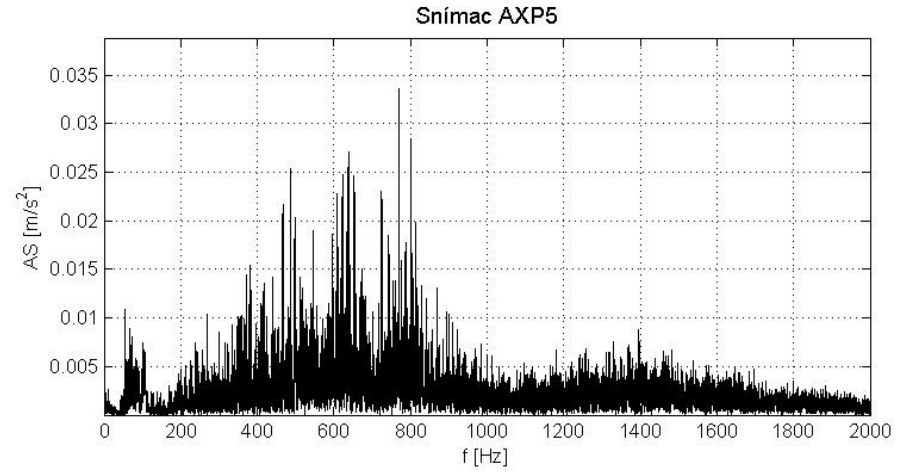
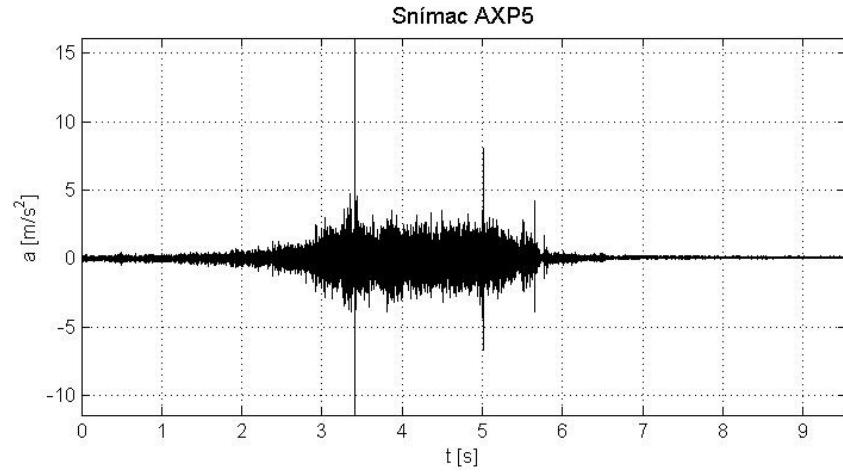
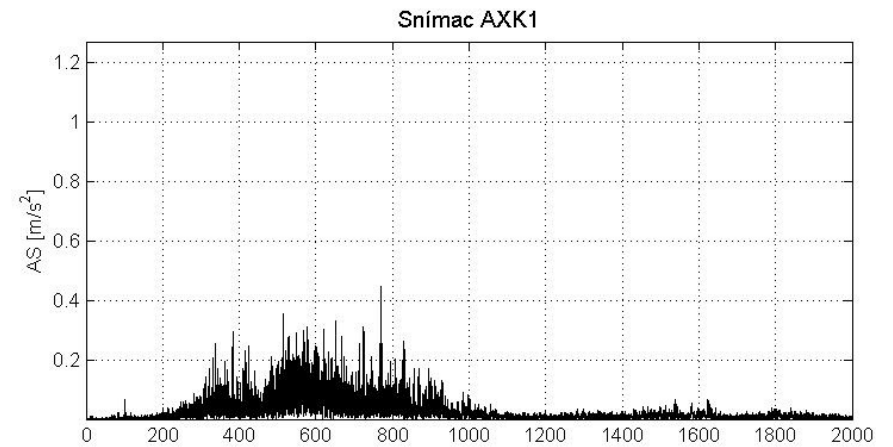
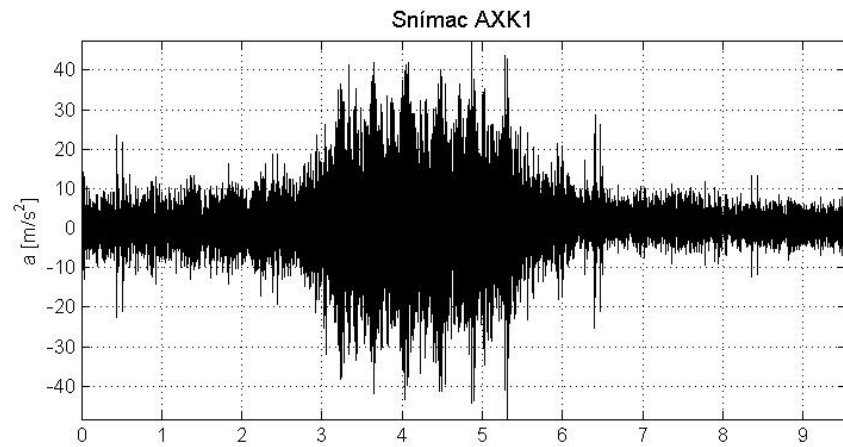


Graf D.48 RegioJet; 7 vozňov;  $v = 116$  km/h; PJD; zvislý smer

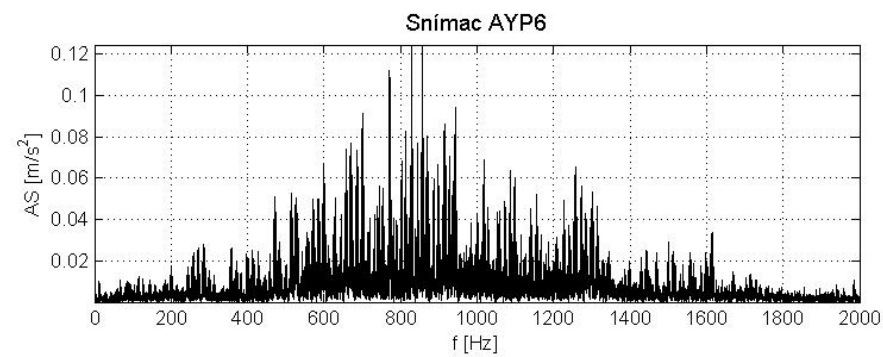
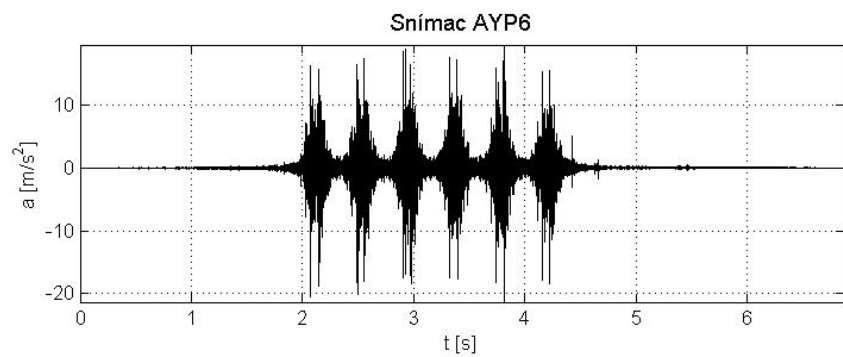
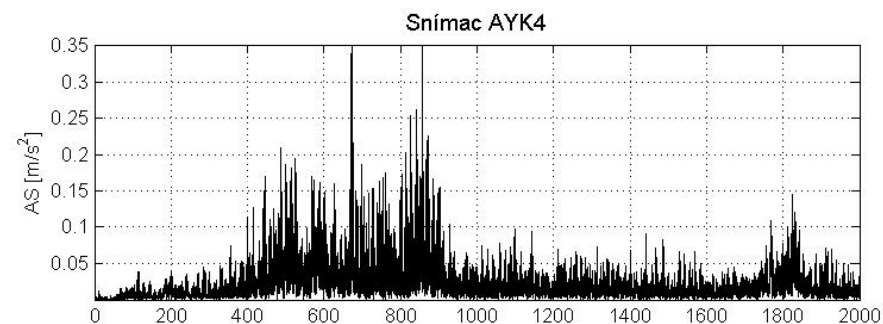
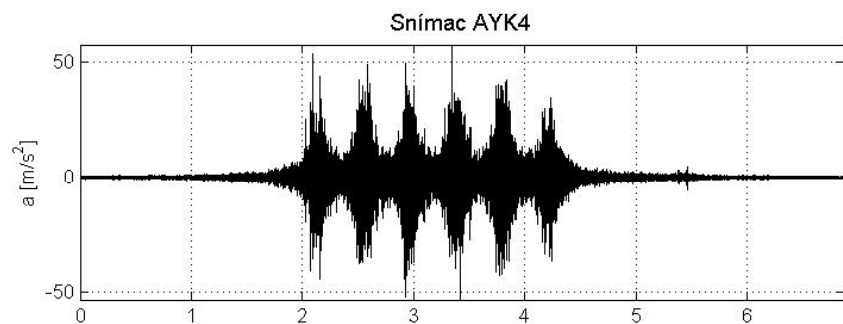
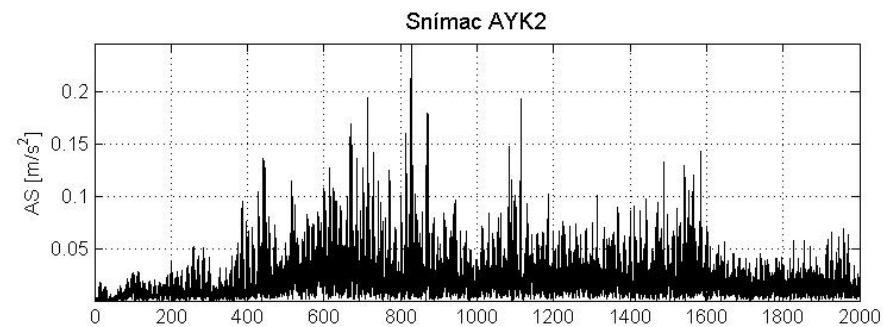
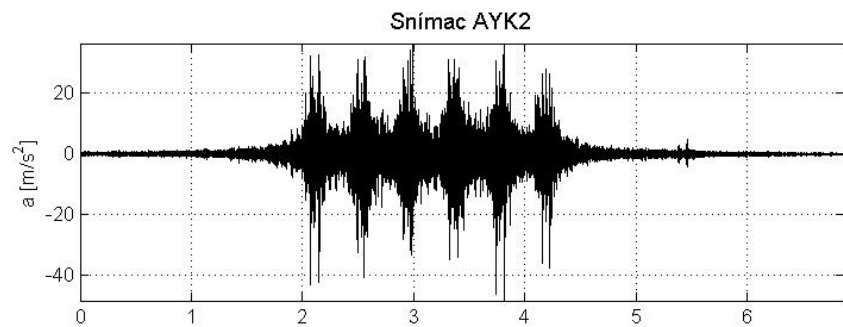




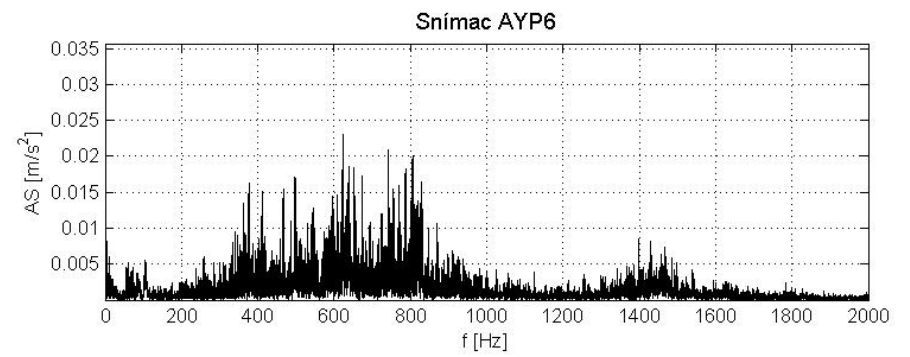
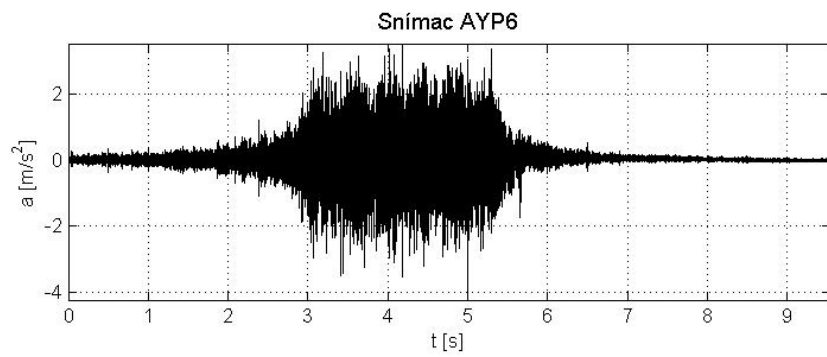
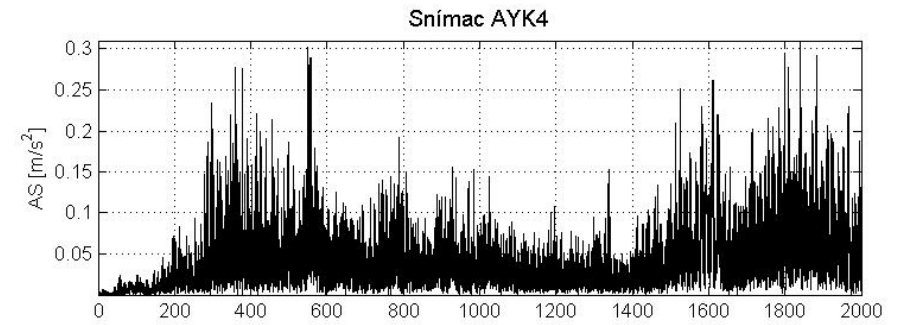
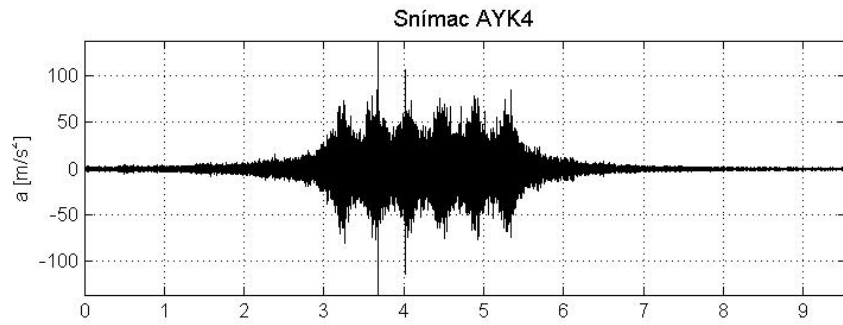
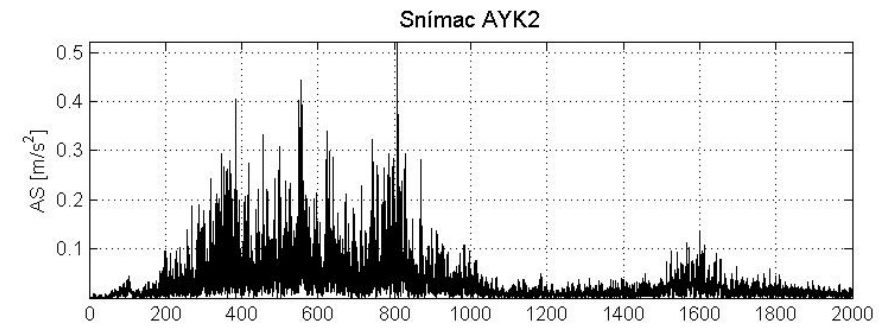
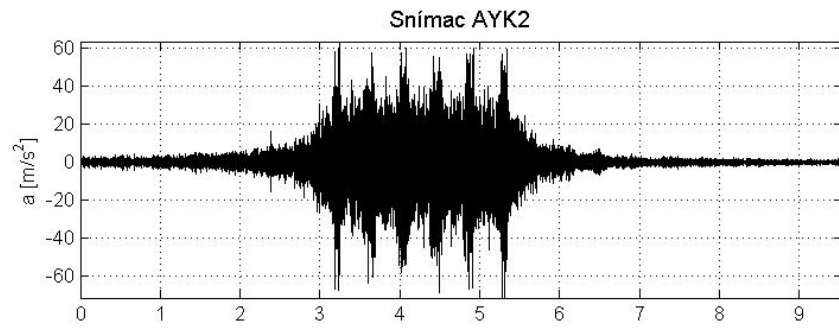
Graf C.49 LEO Express; 5 vozňov;  $v = 139$  km/h; KSL; pozdĺžny smer



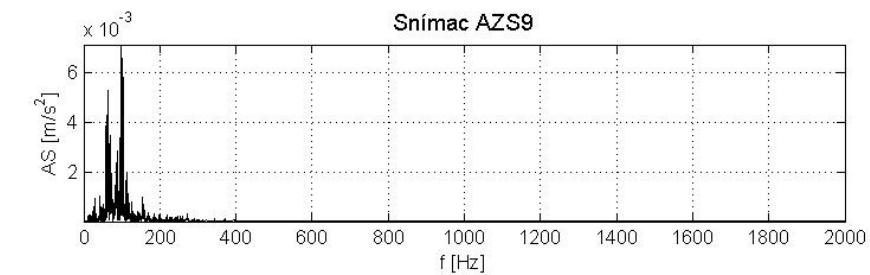
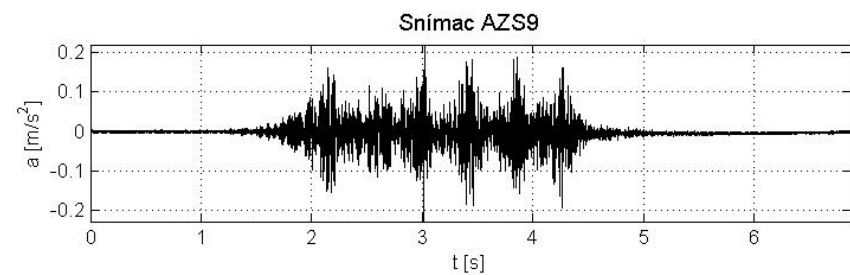
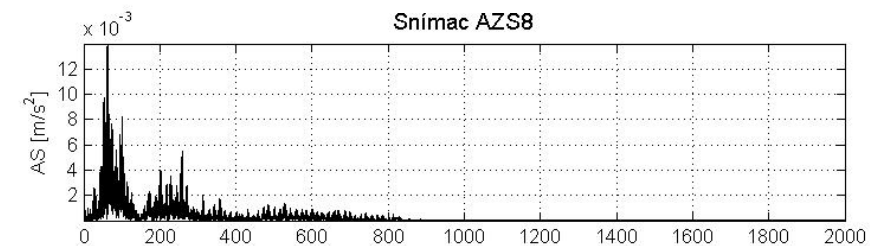
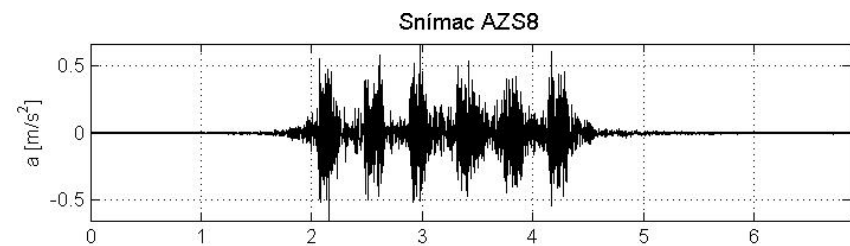
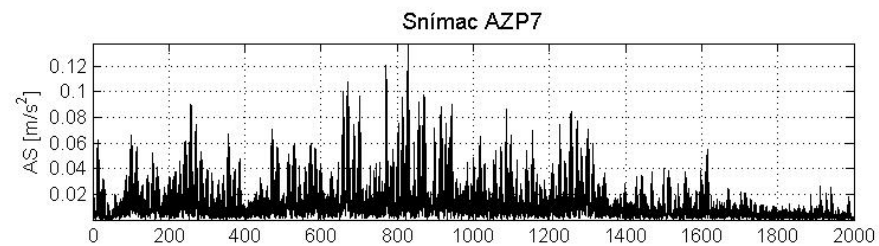
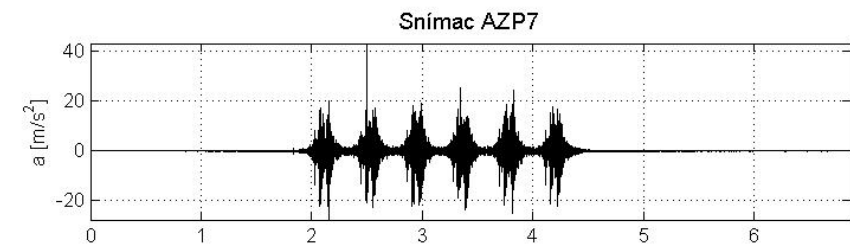
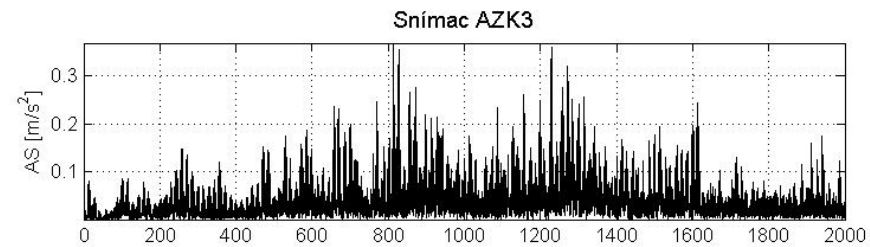
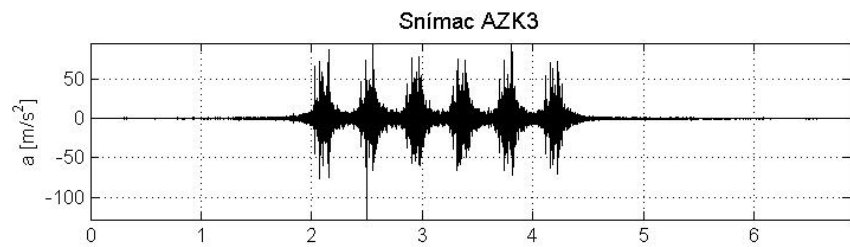
Graf D.50 LEO Express; 5 vozňov;  $v = 113$  km/h; PJD; pozdĺžny smer



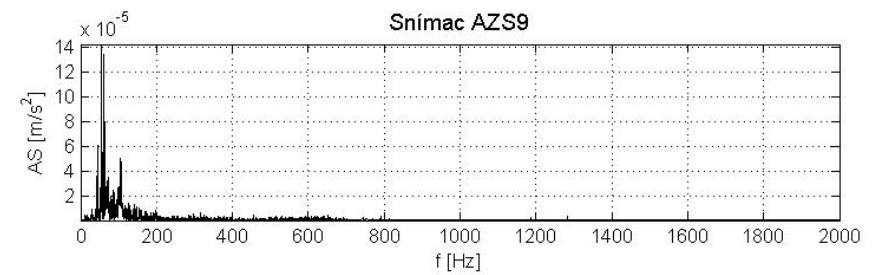
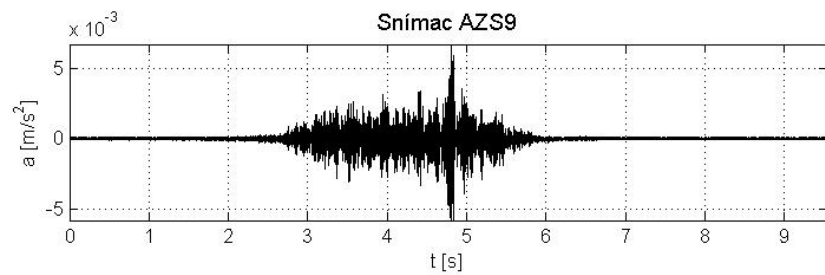
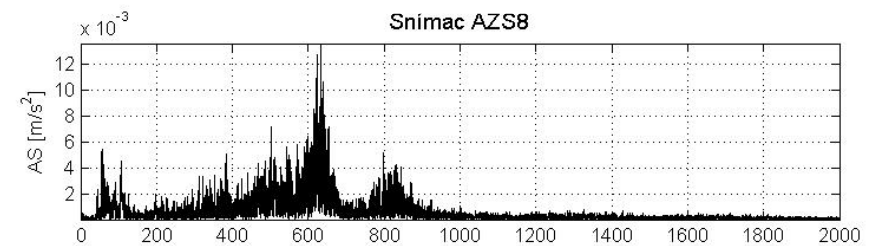
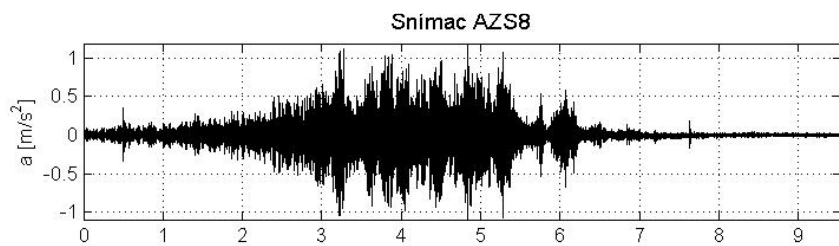
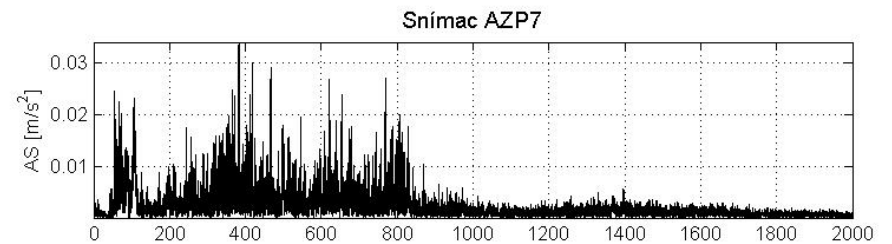
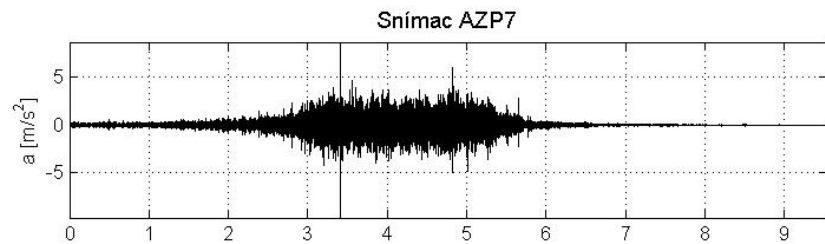
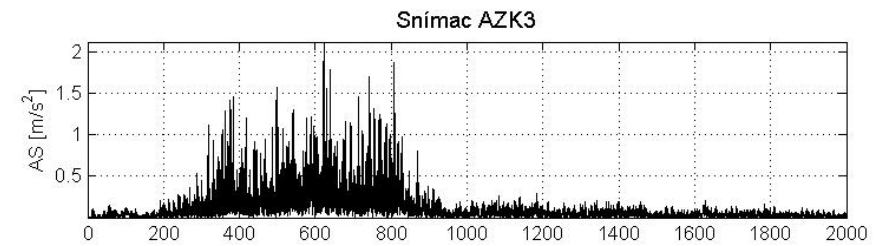
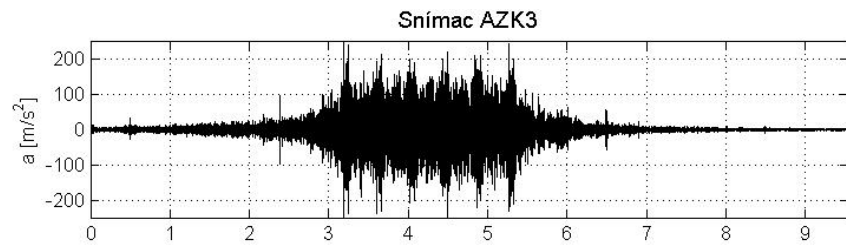
Graf C.51 LEO Express; 5 vozňov;  $v = 139$  km/h; KSL; priečny smer



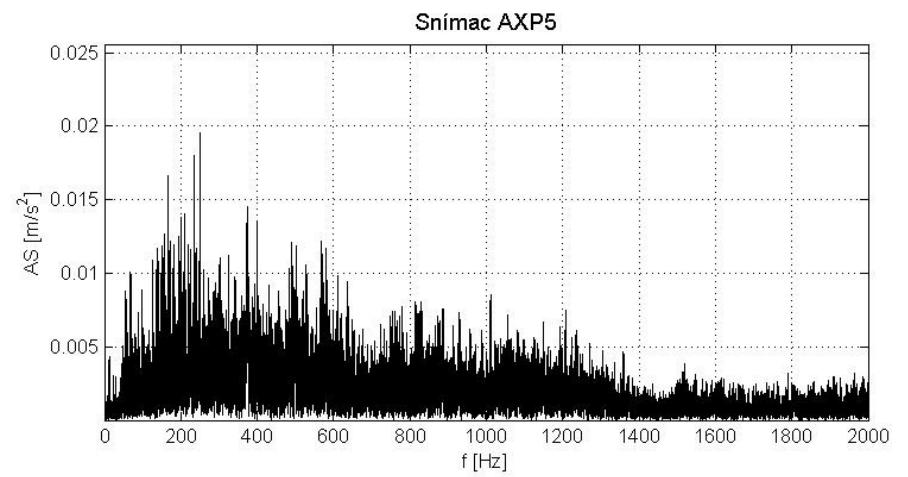
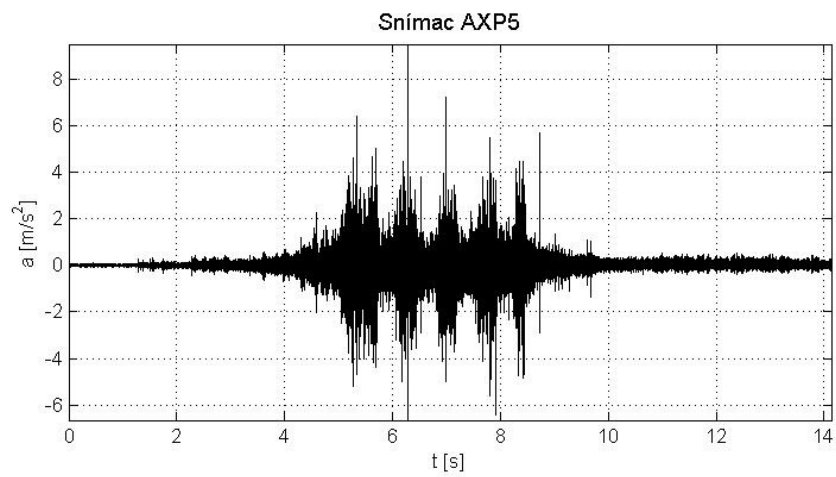
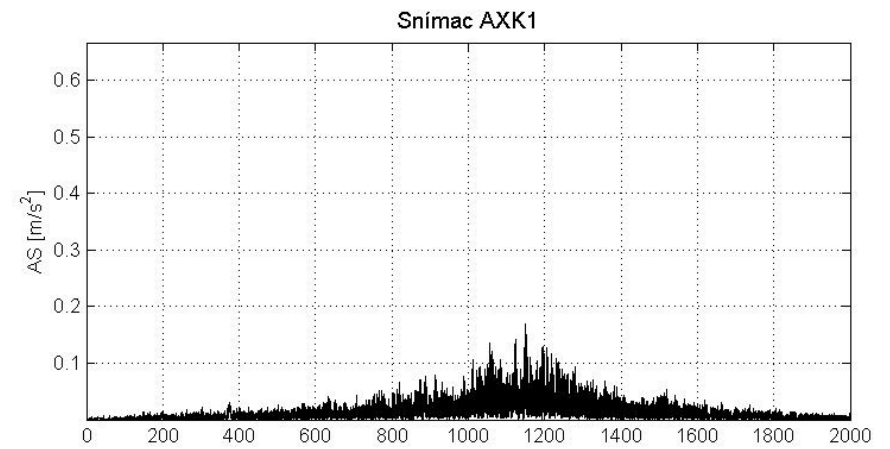
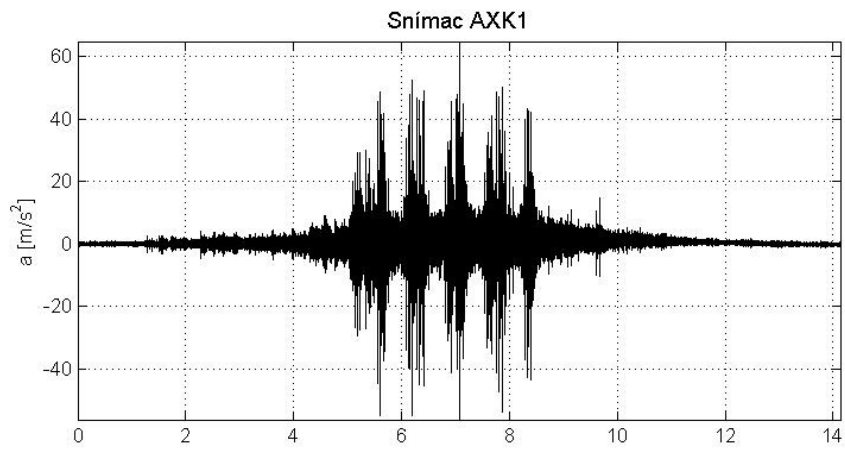
Graf D.52 LEO Express; 5 vozňov;  $v = 113$  km/h; PJD; priečny smer



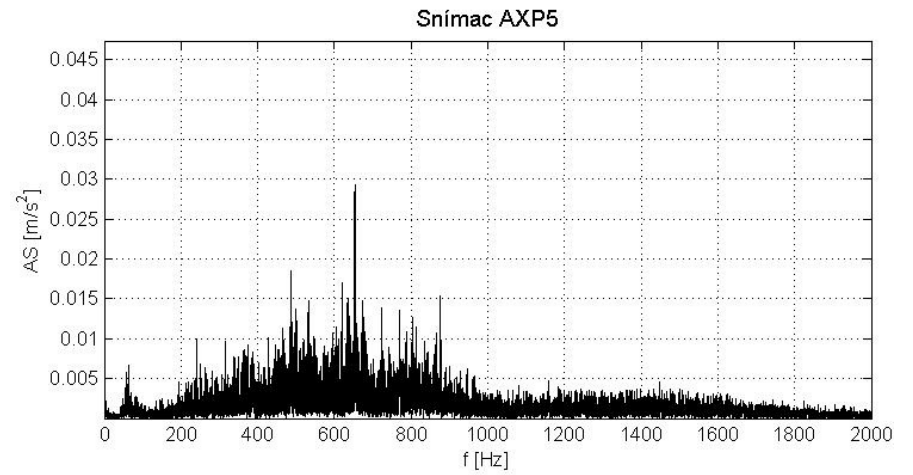
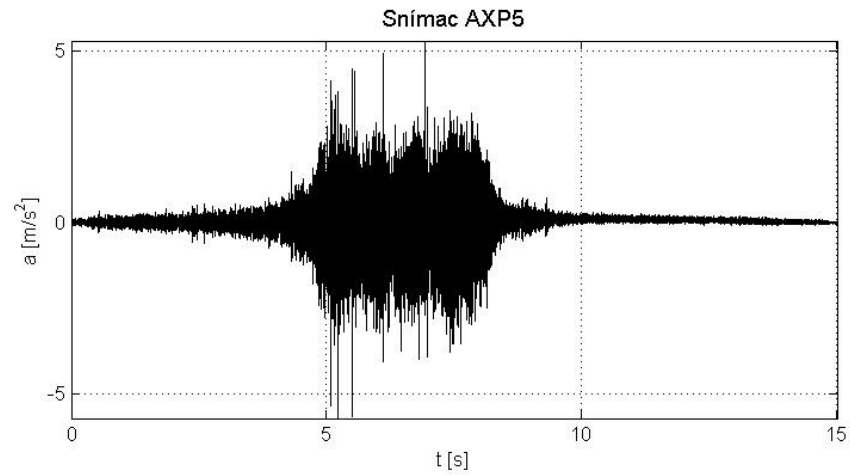
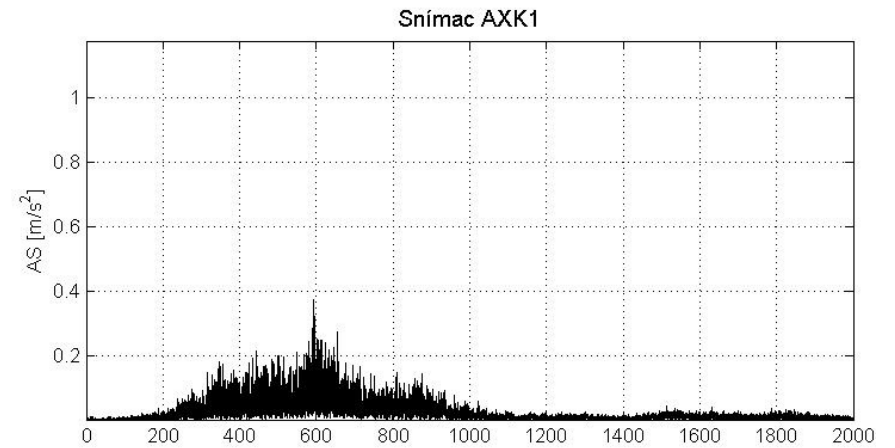
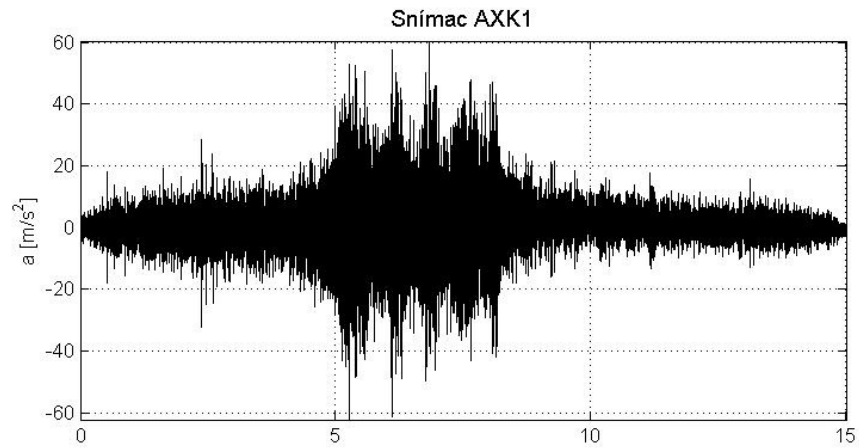
Graf C.53 LEO Express; 5 vozňov;  $v = 139$  km/h; KSL; zvislý smer



Graf D.54 LEO Express; 5 vozňov;  $v = 113$  km/h; PJD; zvislý smer

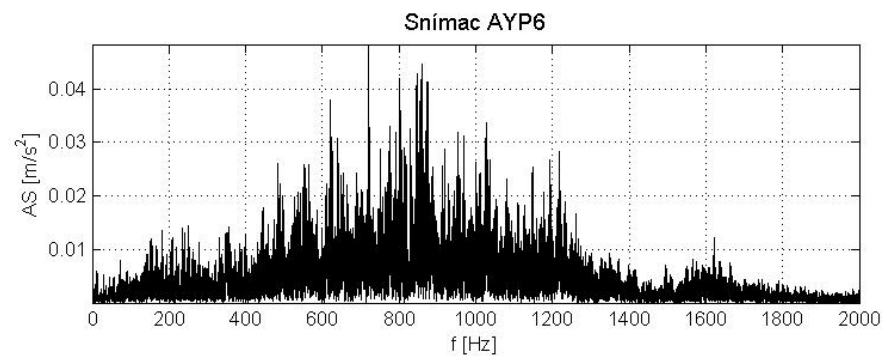
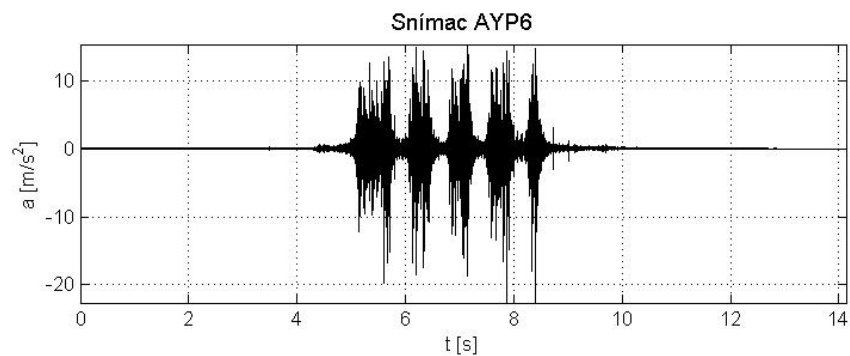
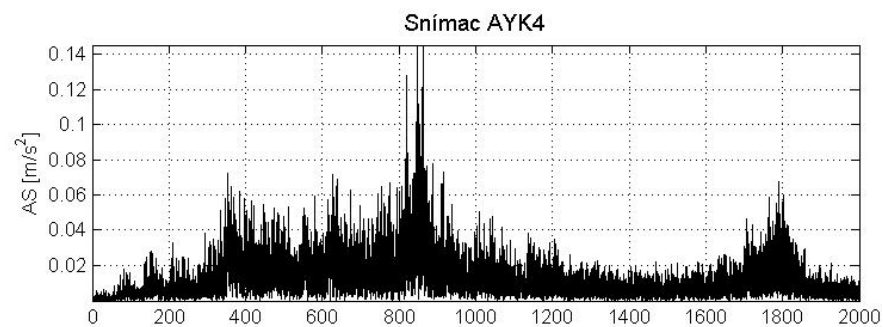
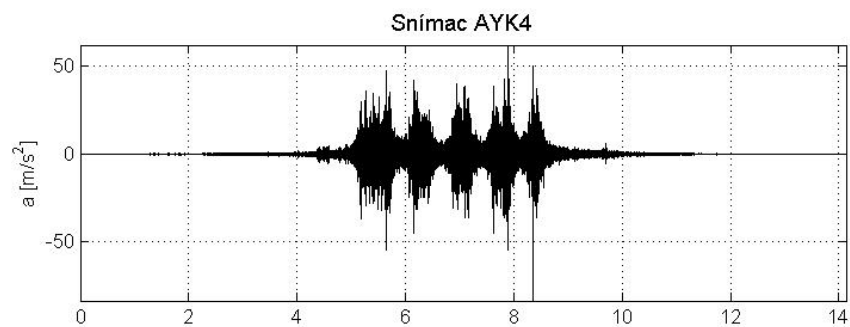
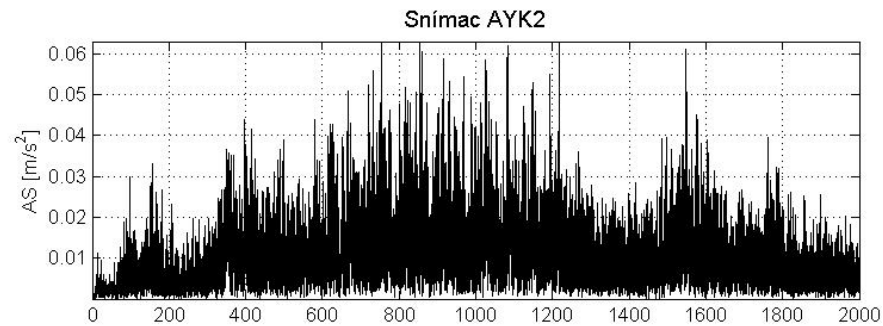
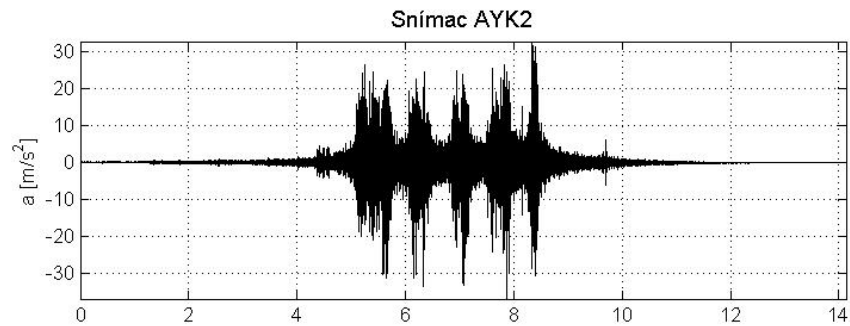


Graf D.55 Rýchlik; lokomotíva 151; 4 vozne;  $v = 130$  km/h; KSL; pozdĺžny smer

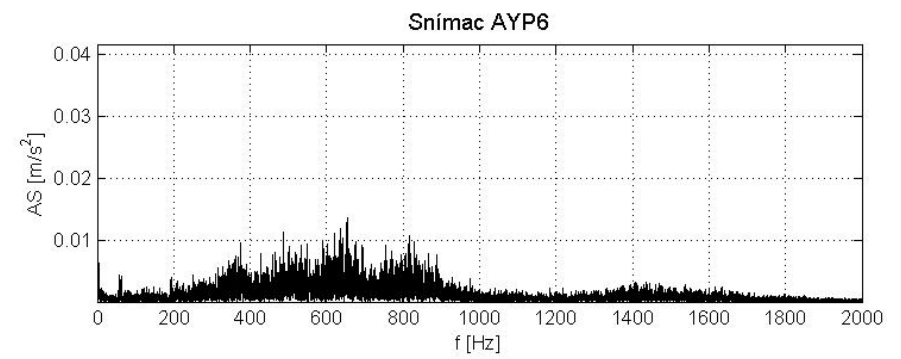
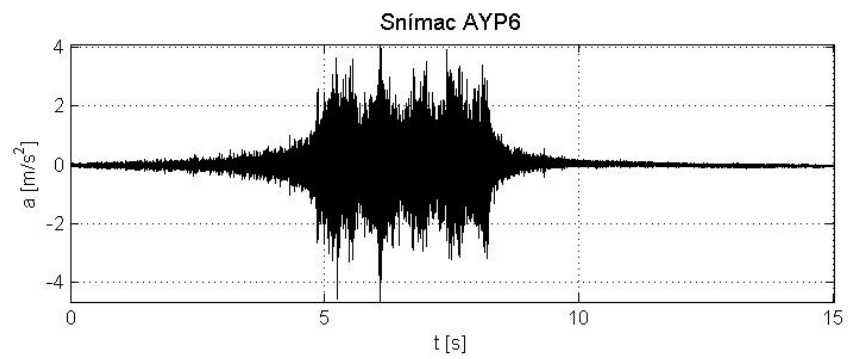
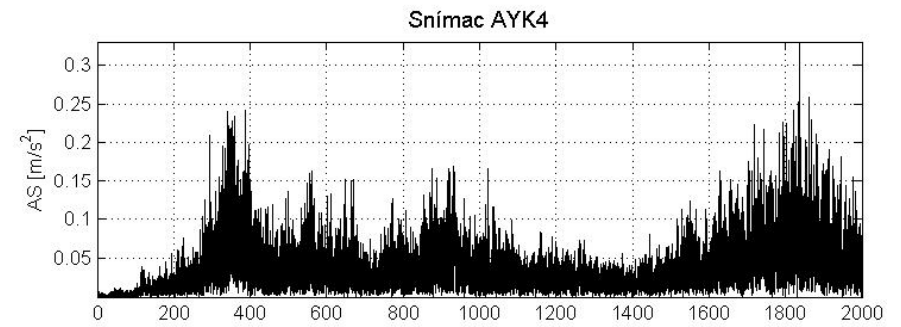
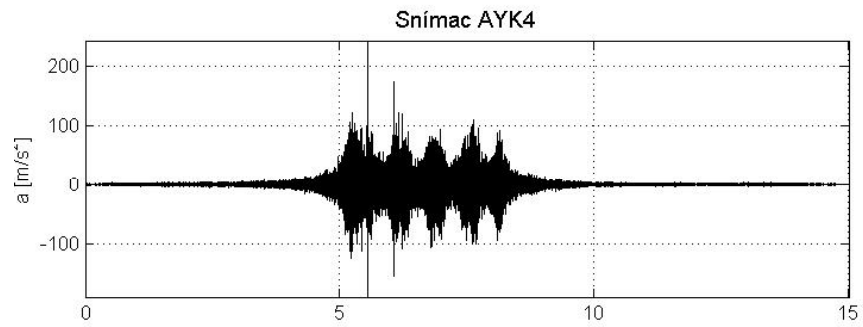
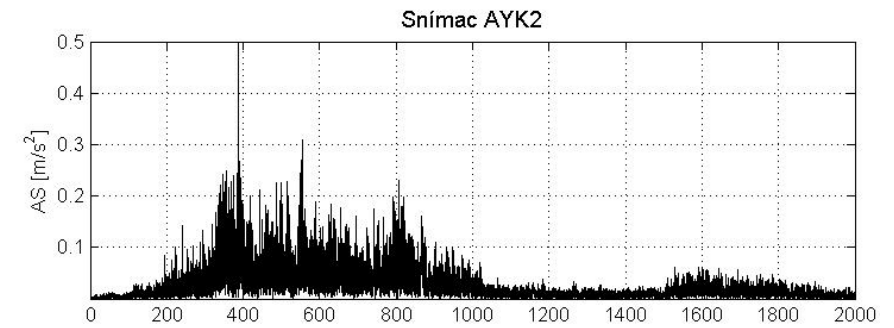
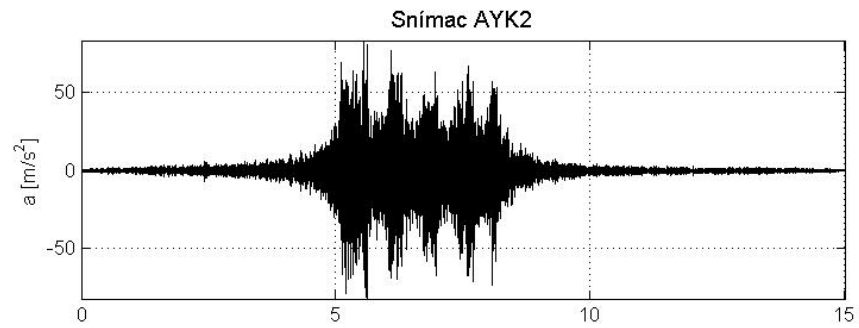


Graf D.56 Rýchlik; lokomotíva 151; 4 vozne;  $v = 130$  km/h; PJD; pozdĺžny smer

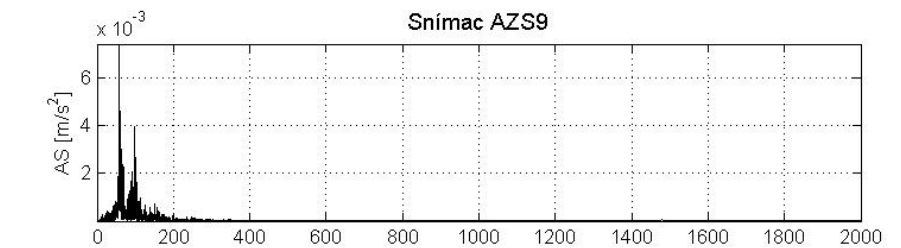
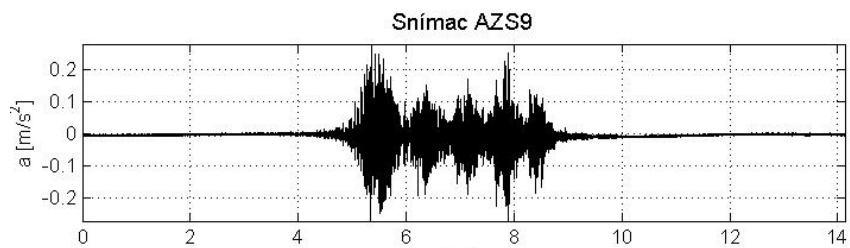
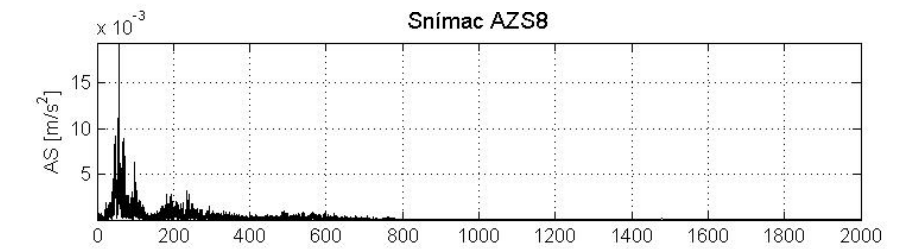
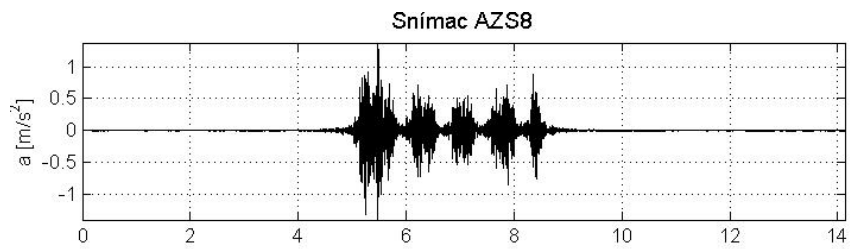
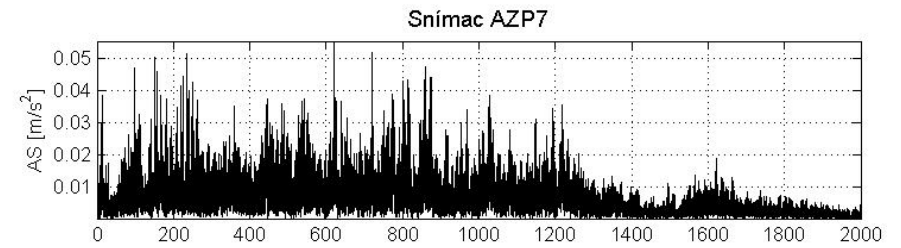
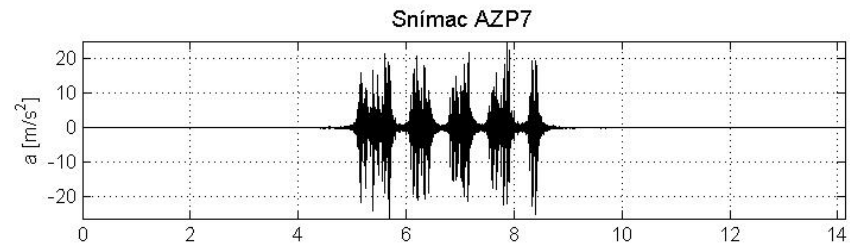
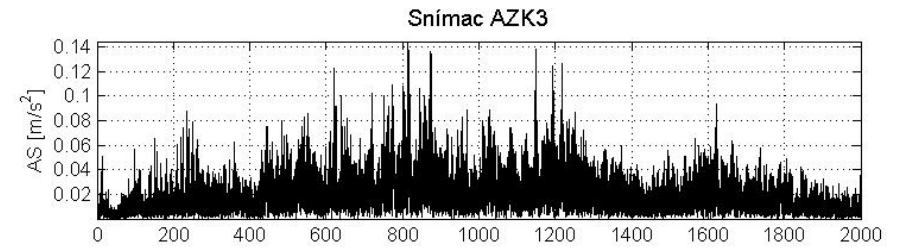
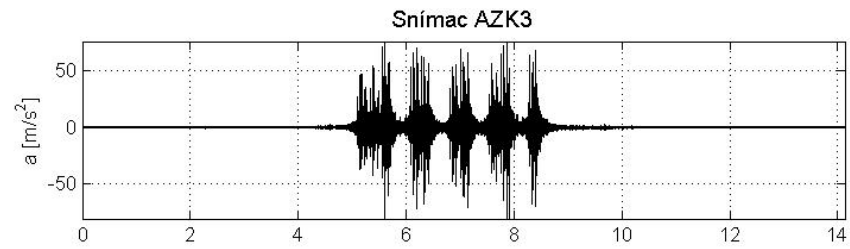




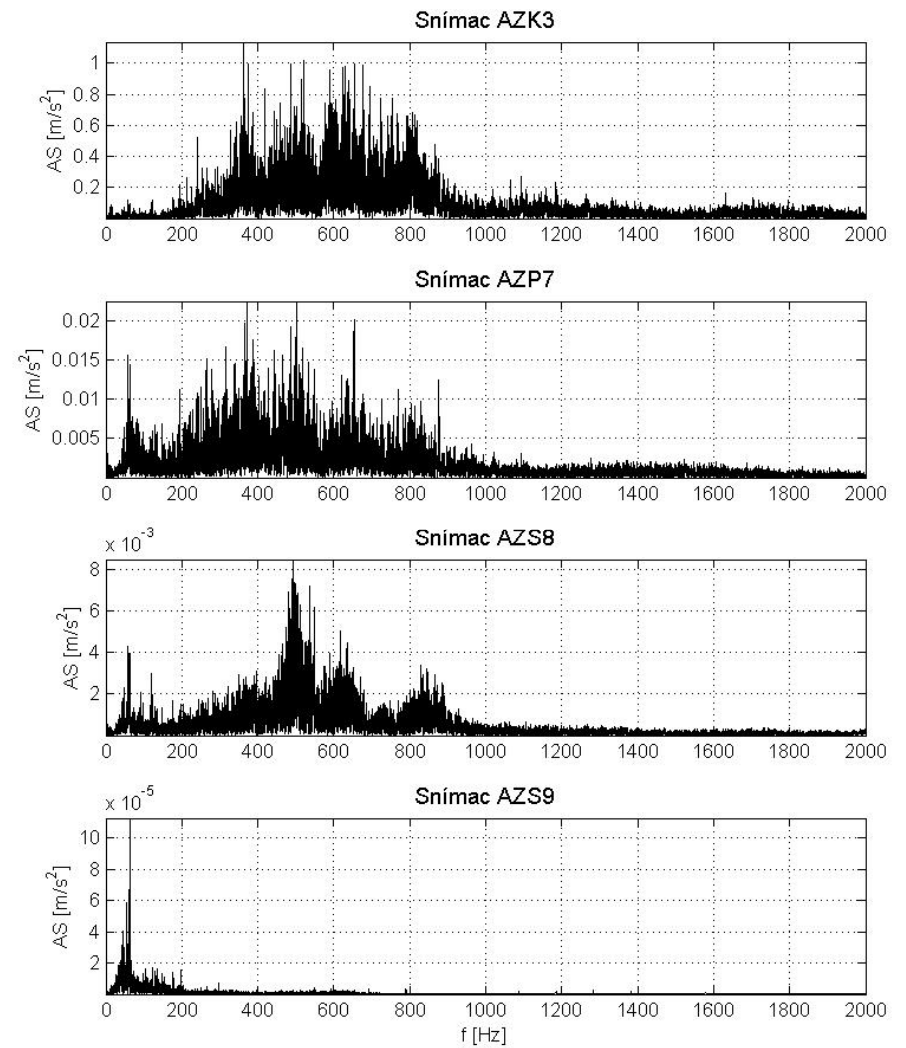
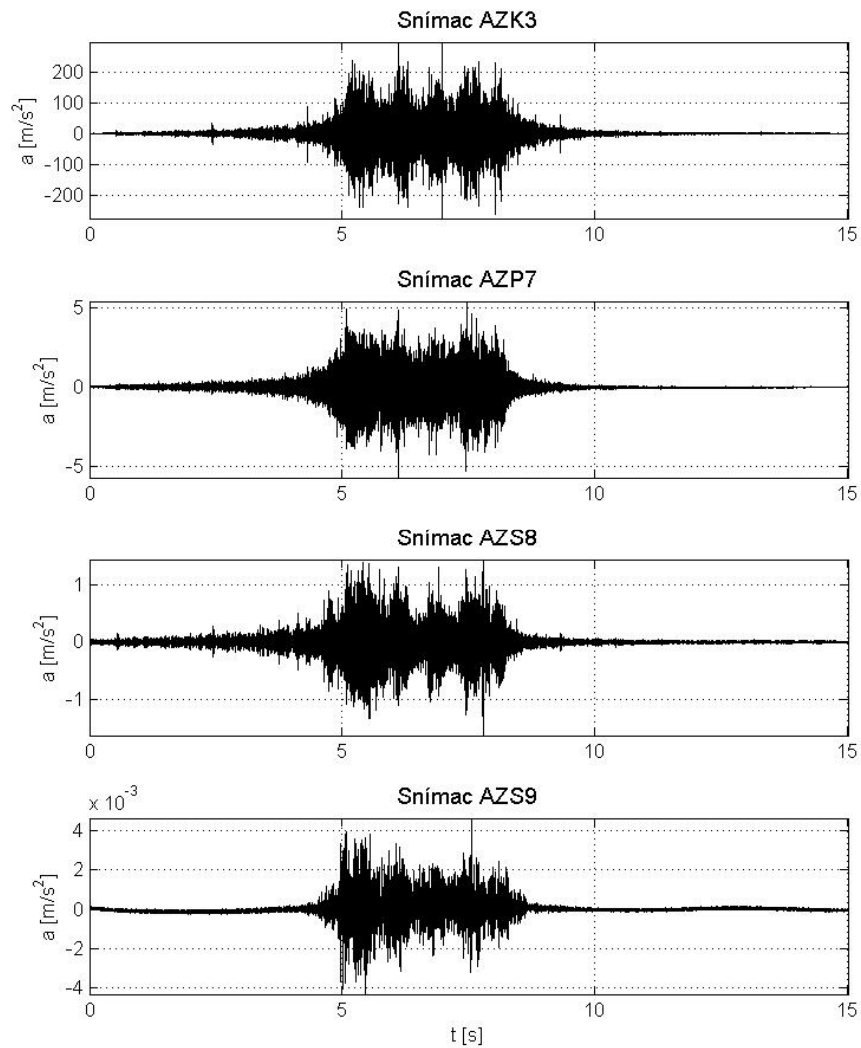
Graf D.57 Rýchlik; lokomotíva 151; 4 vozne;  $v = 130$  km/h; KSL; priečny smer



Graf D.58 Rýchlik; lokomotíva 151; 4 vozne;  $v = 130$  km/h; PJD; priečný smer

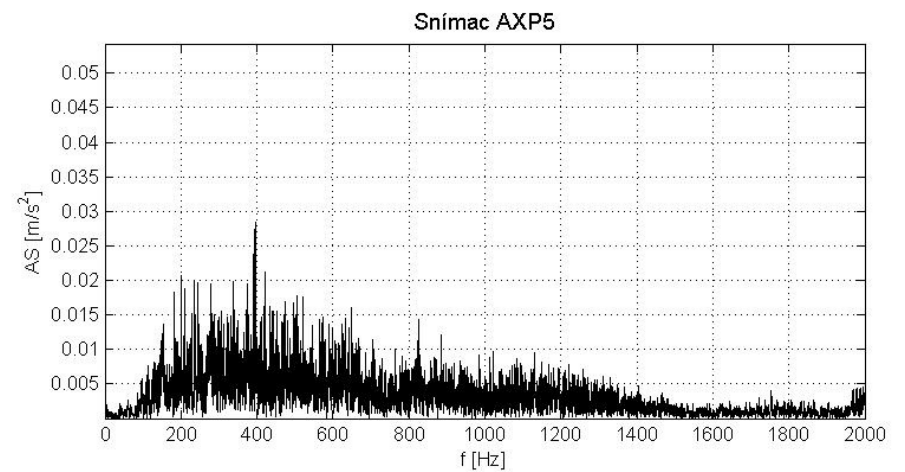
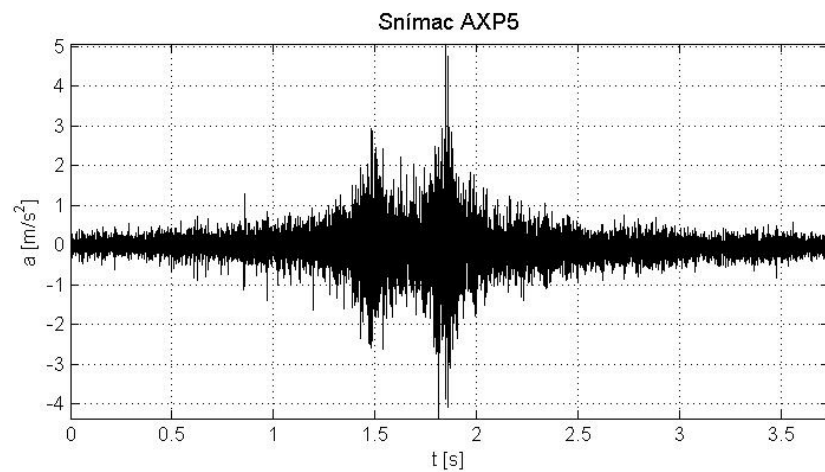
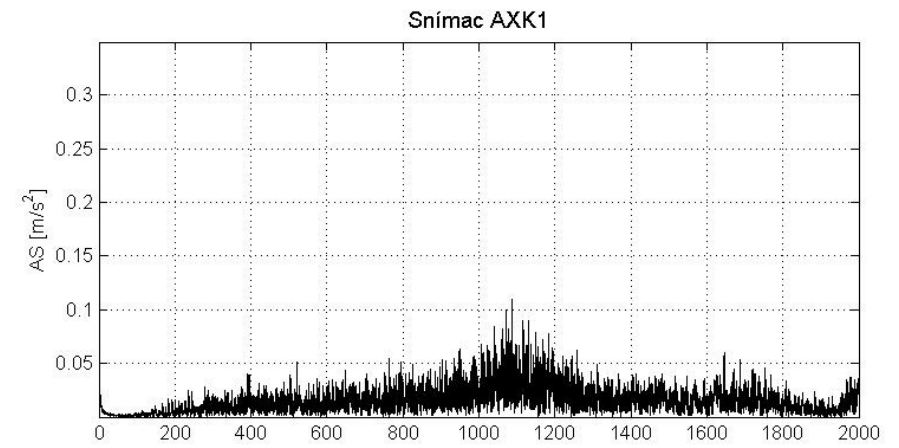
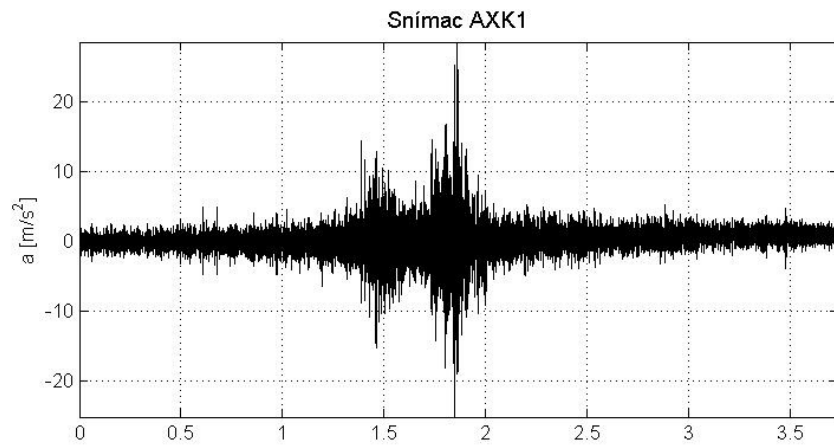


Graf D.59 Rýchlik; lokomotíva 151; 4 vozne;  $v = 130 \text{ km/h}$ ; KSL; zvislý smer

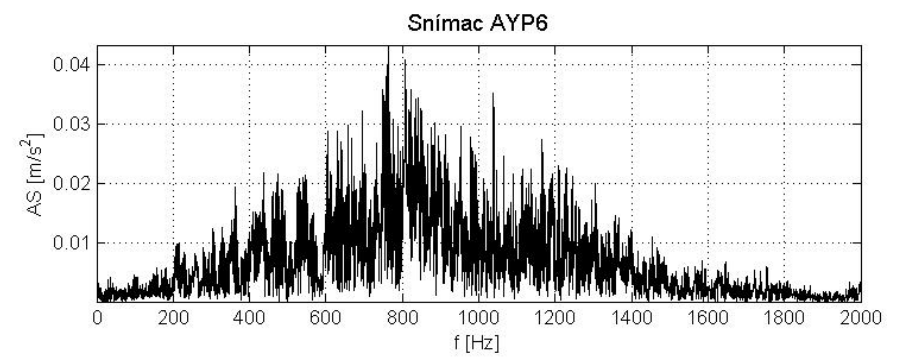
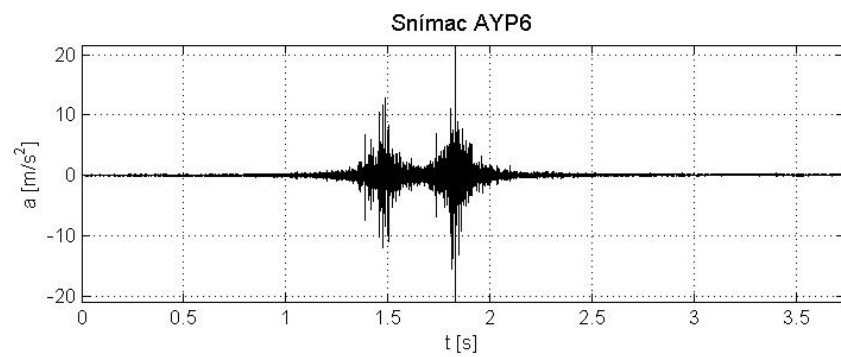
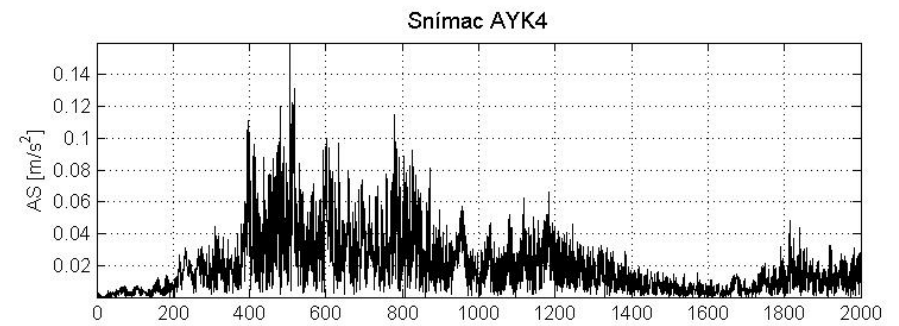
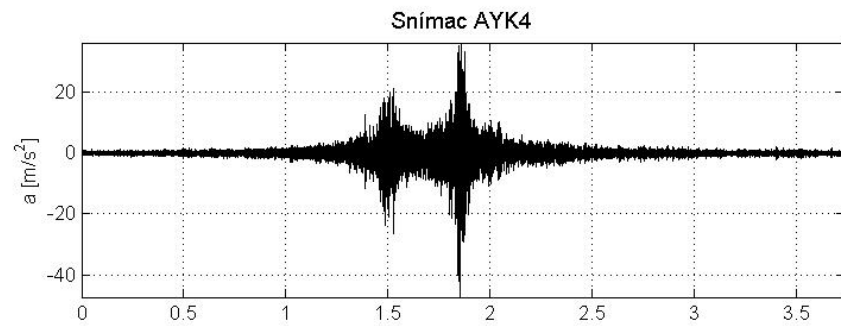
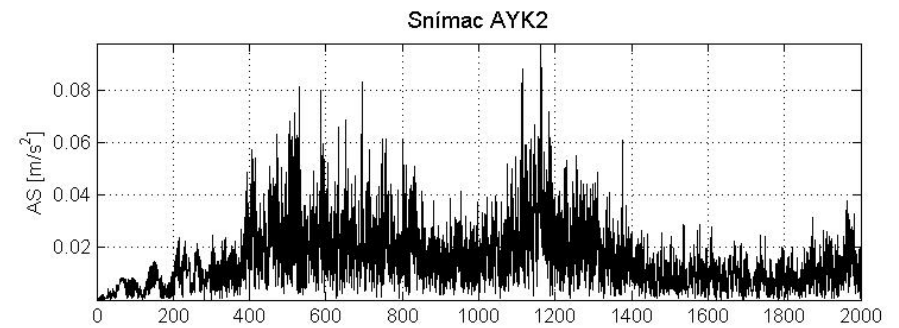
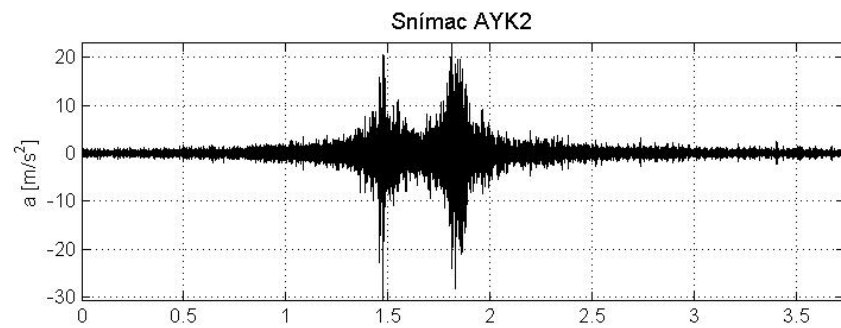


Graf D.60 Rýchlik; lokomotíva 151; 4 vozne;  $v = 130$  km/h; PJD; zvislý smer

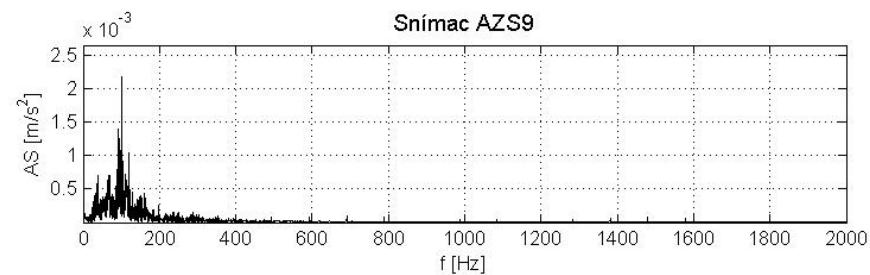
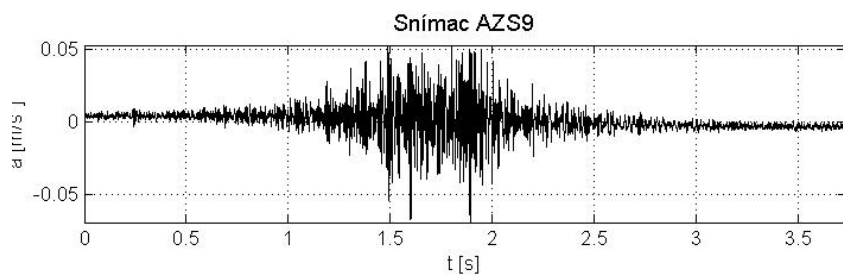
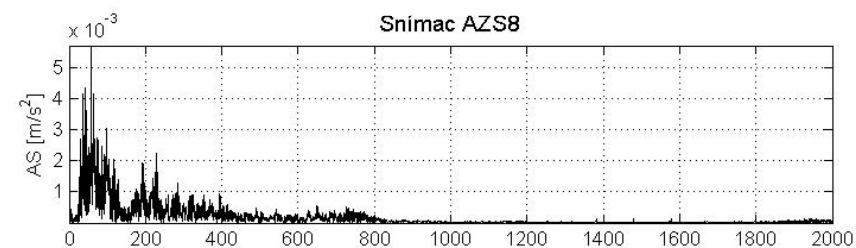
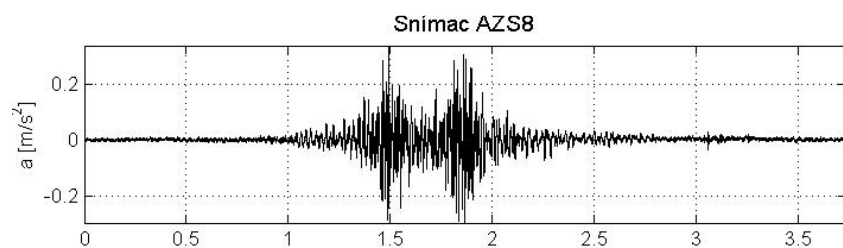
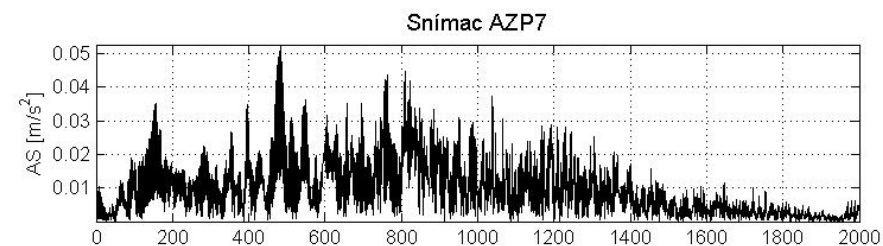
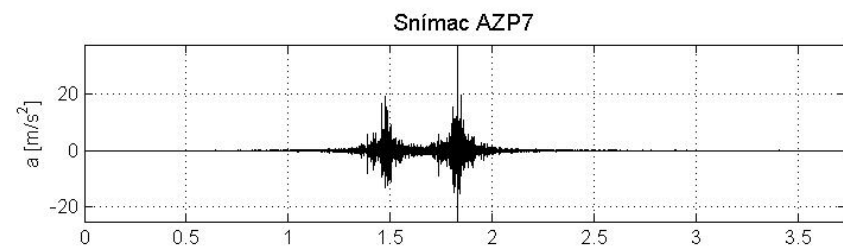
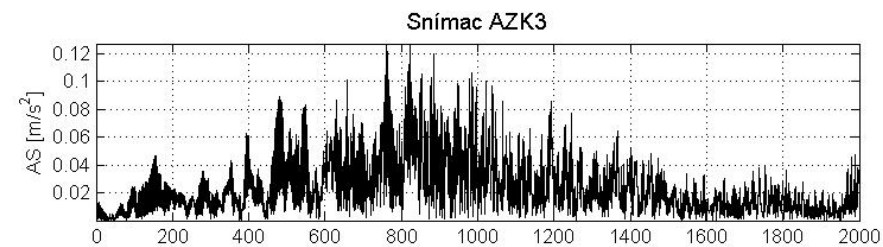
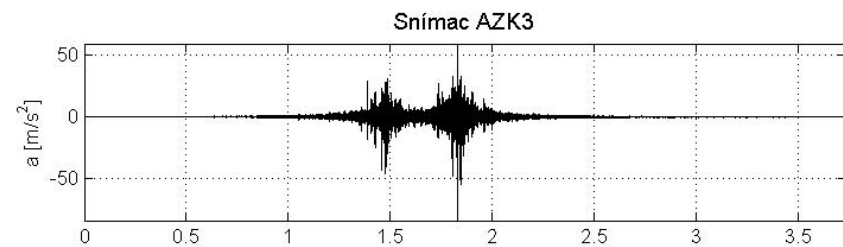
Ostatné vlakové súpravy:



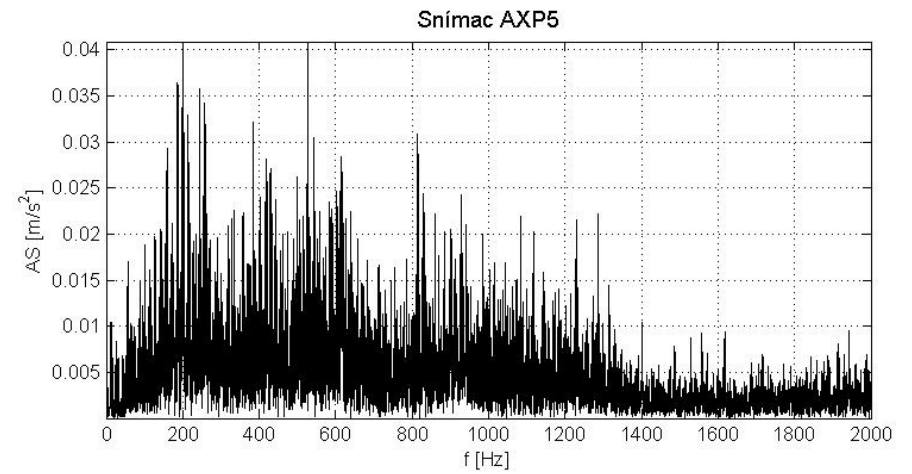
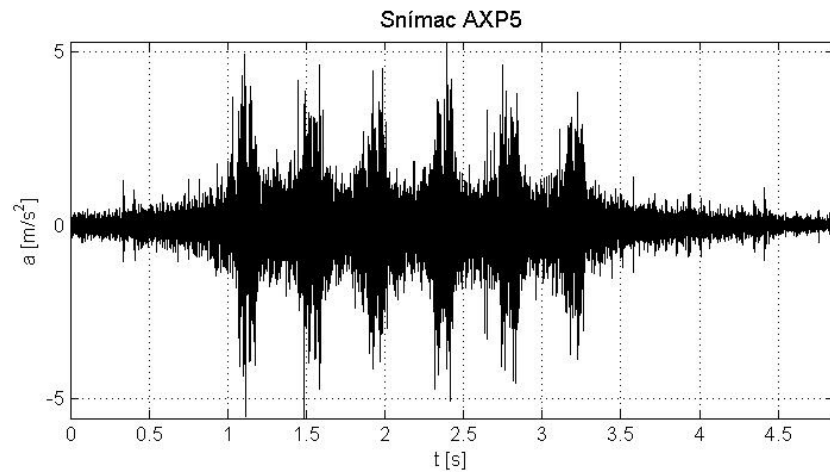
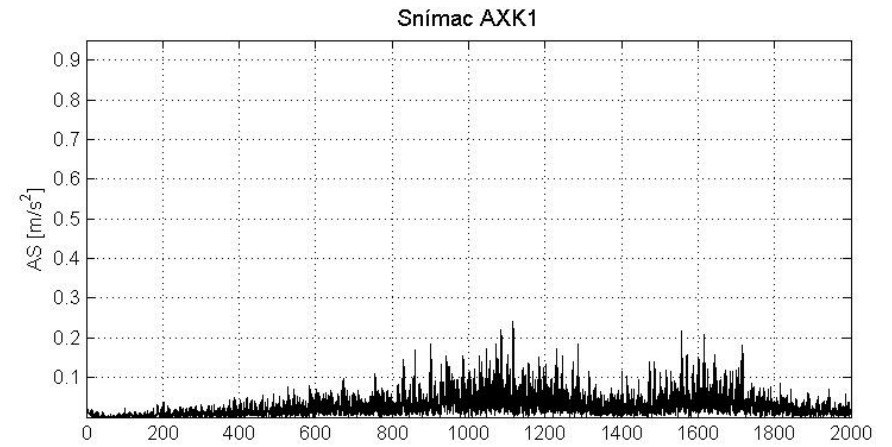
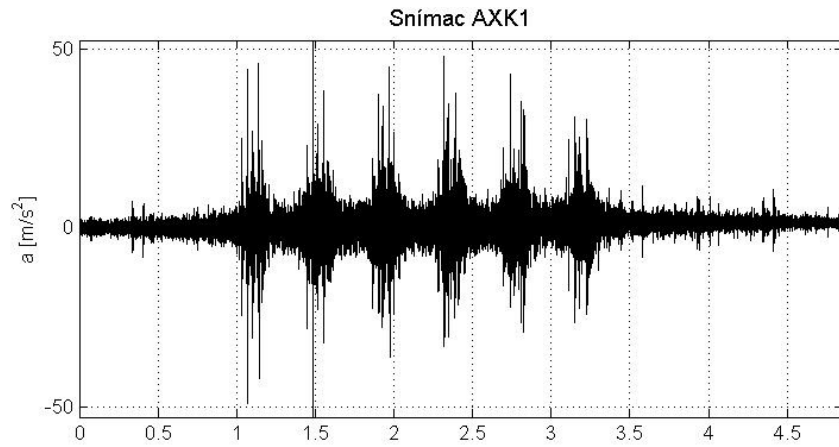
Graf D.61 Osobný vlak; lokomotíva 810; 1 vozeň;  $v = 84$  km/h; KSL; pozdĺžny smer



Graf D.62 Osobný vlak; lokomotíva 810; 1 vozeň;  $v = 84$  km/h; KSL; priečny smer

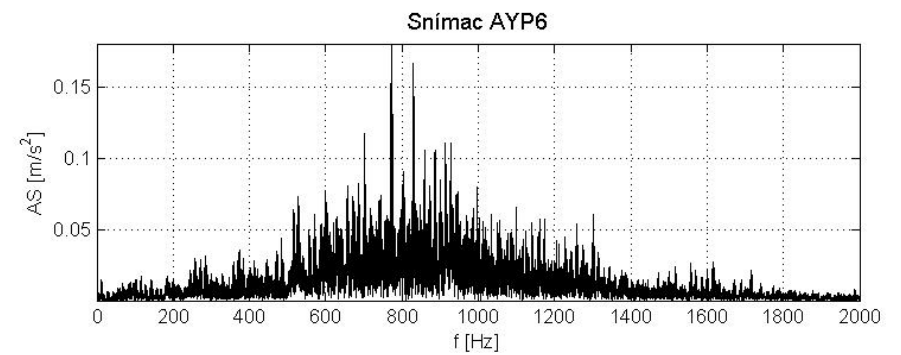
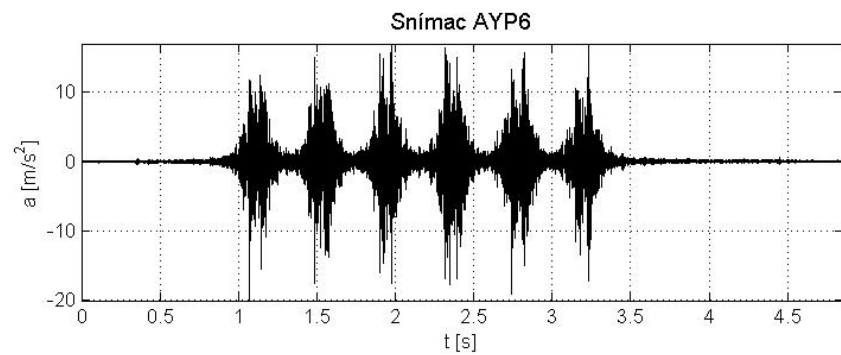
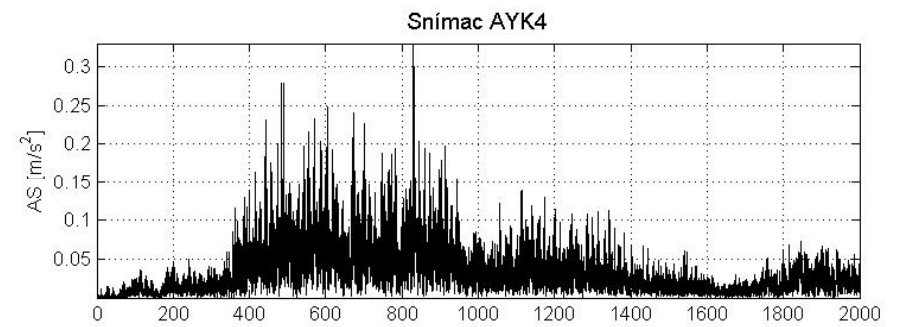
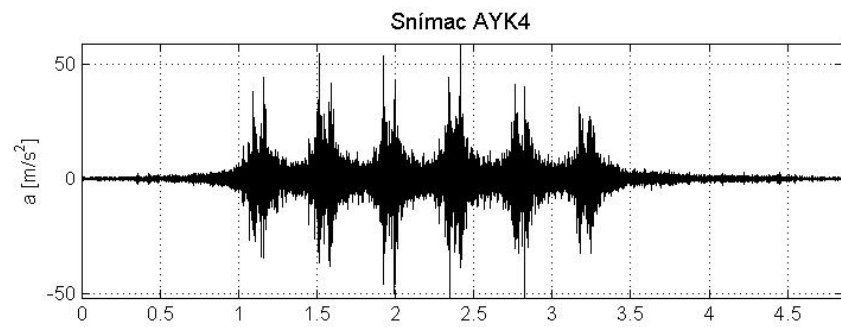
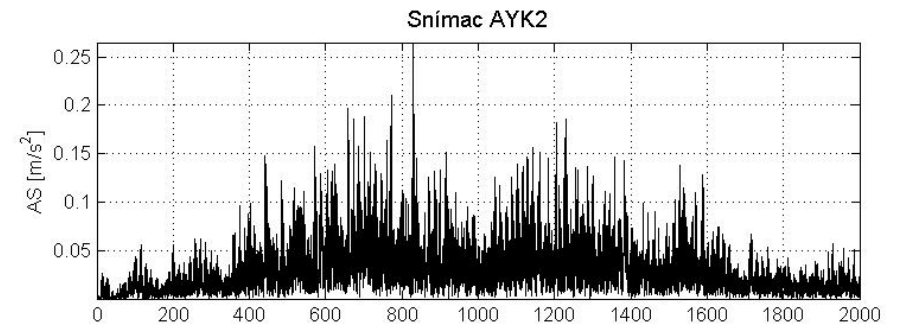
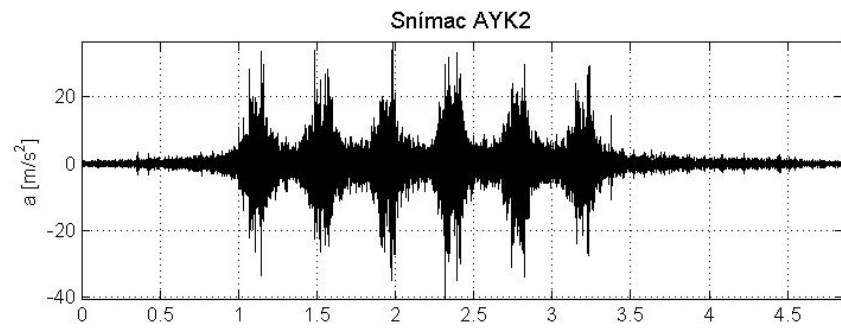


Graf D.63 Osobný vlak; lokomotíva 810; 1 vozeň; v = 84 km/h; KSL; zvislý smer

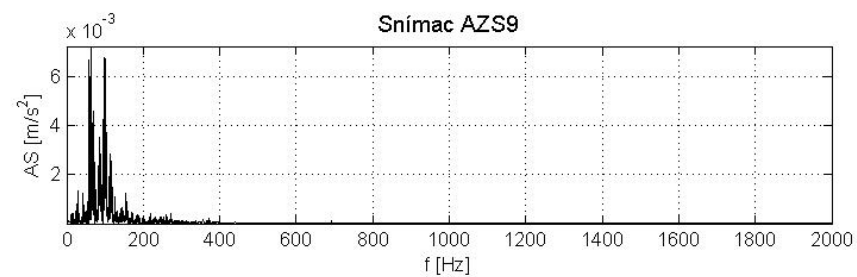
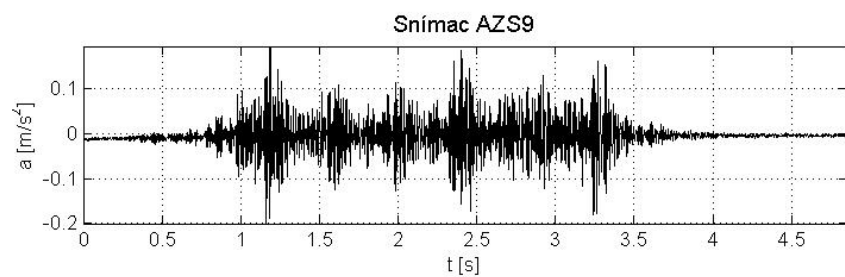
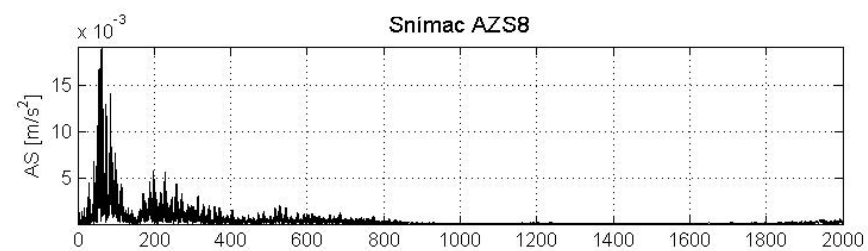
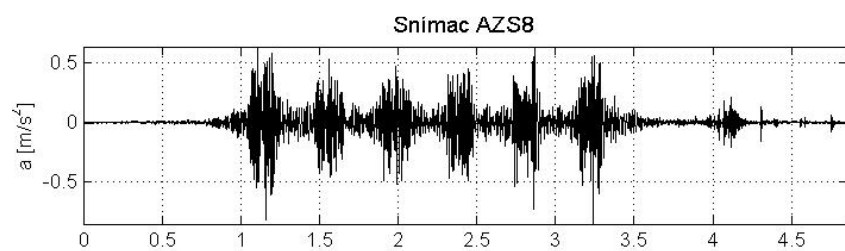
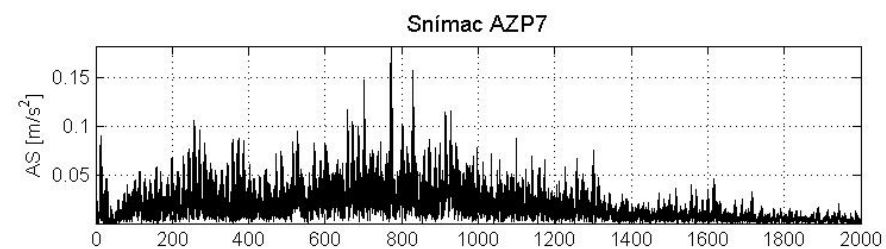
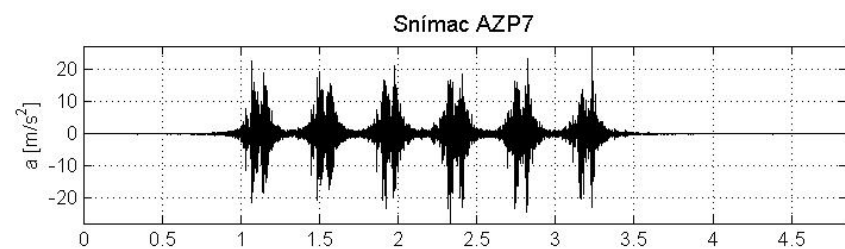
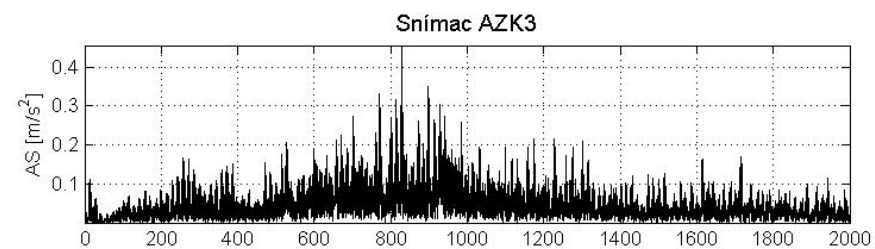
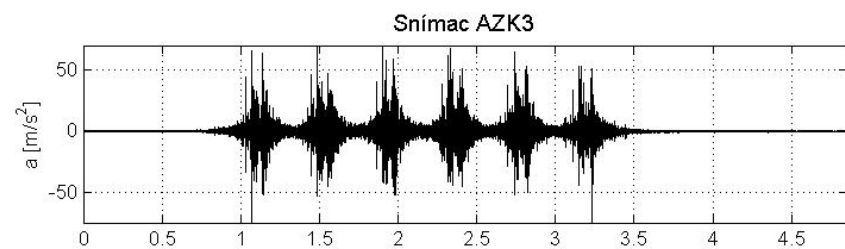


Graf D.64 LEO Express; 5 vozňov;  $v = 144 \text{ km/h}$ ; KSL; pozdĺžny smer

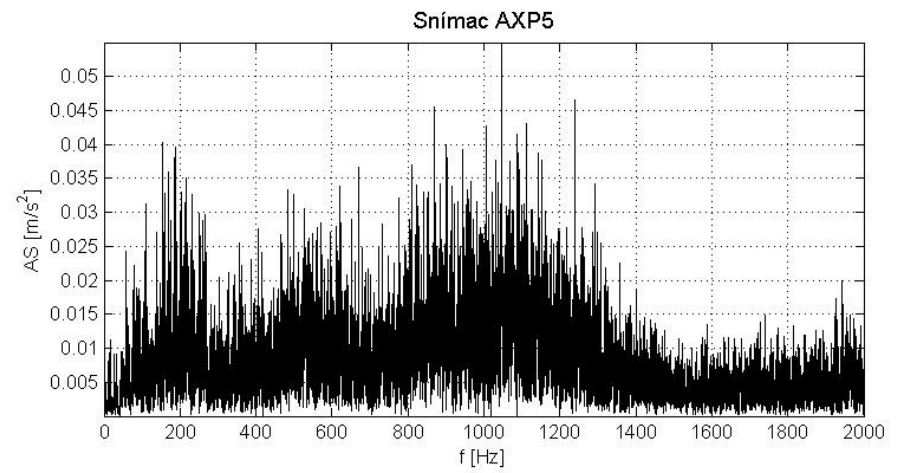
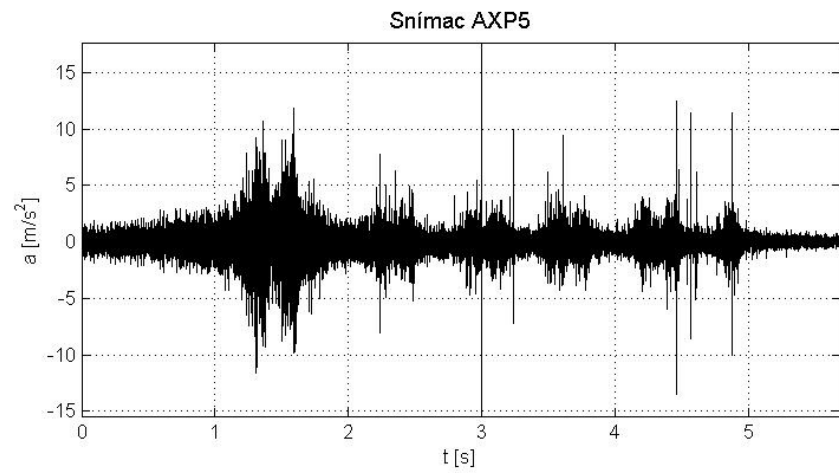
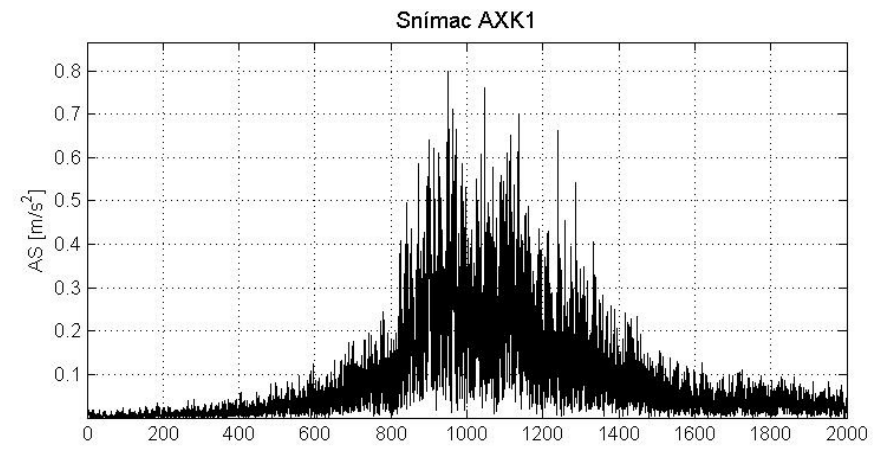
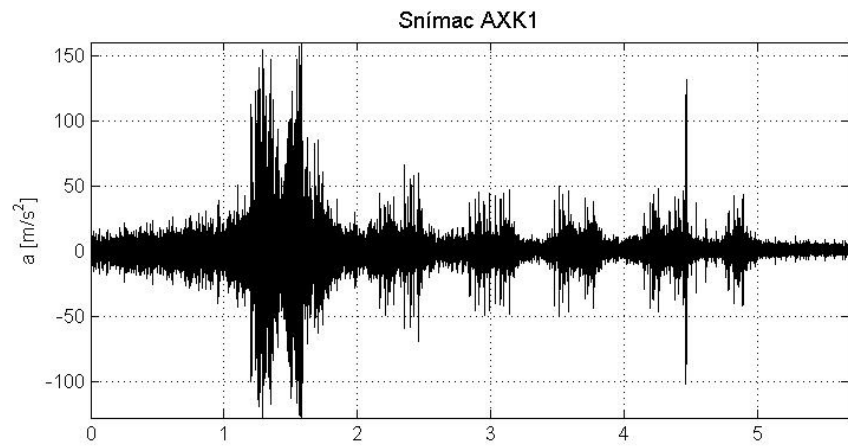




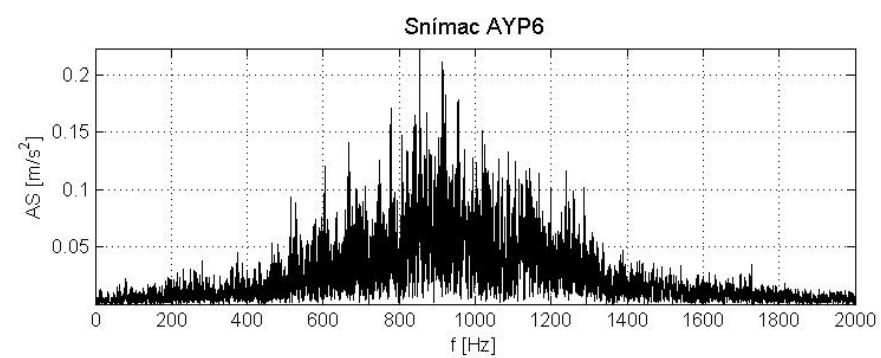
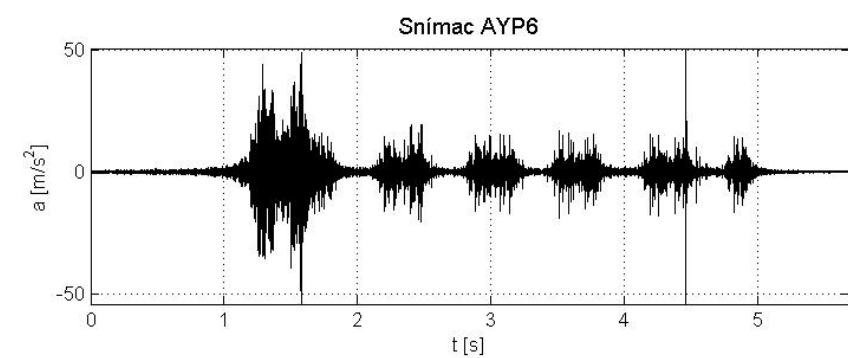
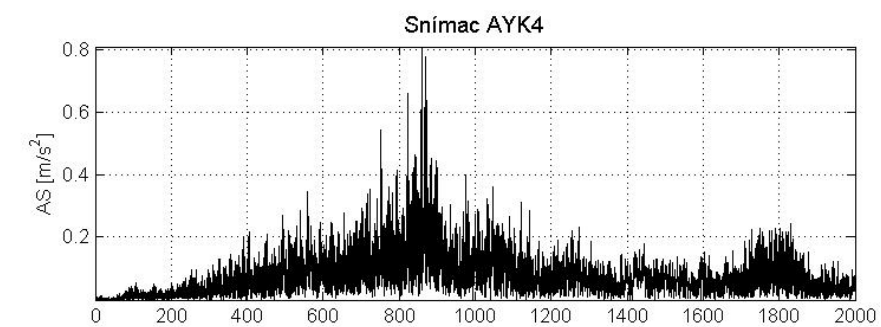
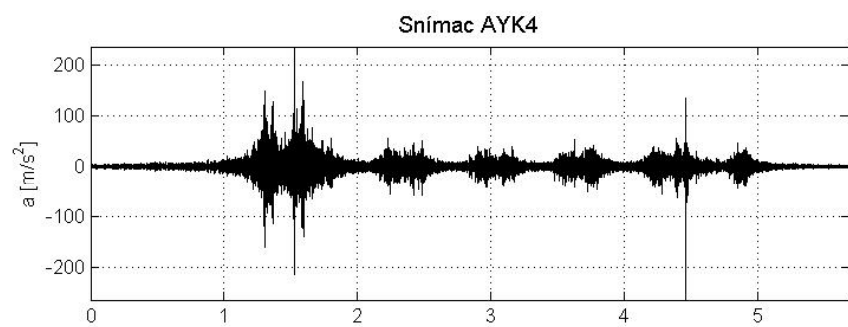
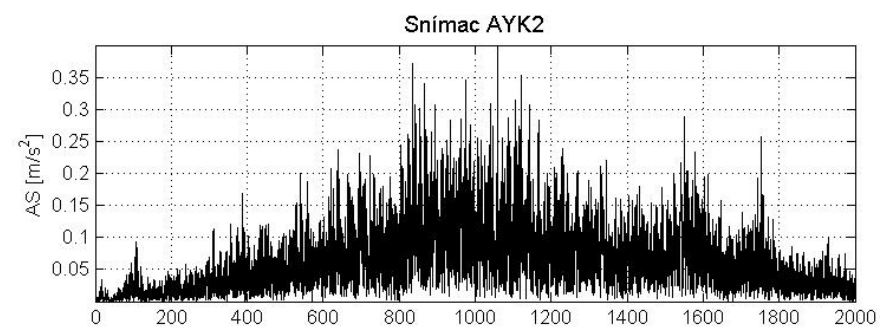
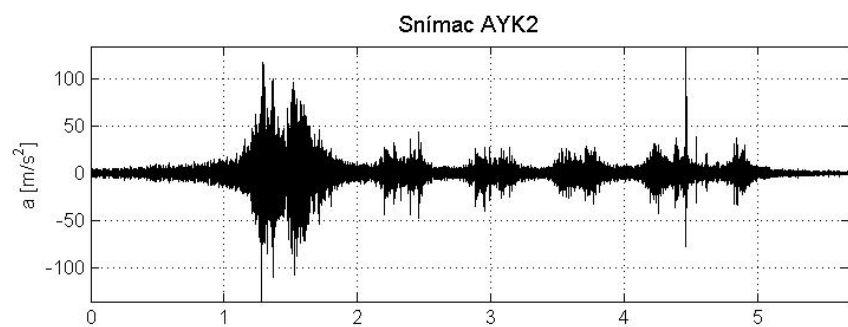
Graf D.65 LEO Express; 5 vozňov;  $v = 144 \text{ km/h}$ ; KSL; priečny smer



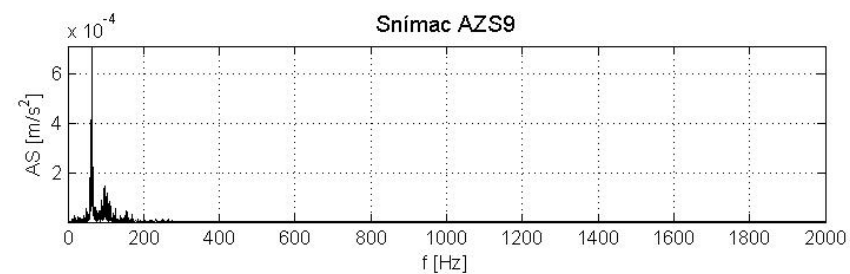
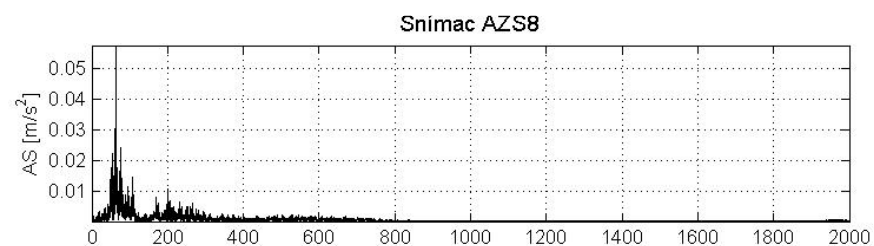
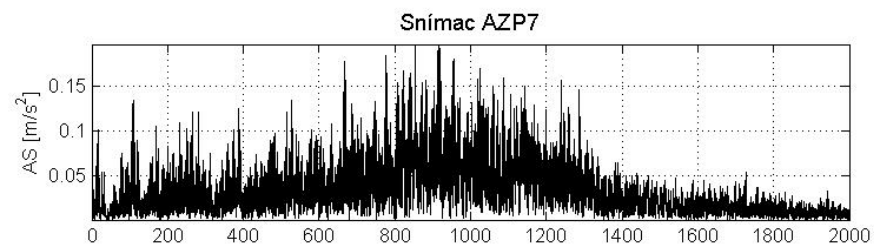
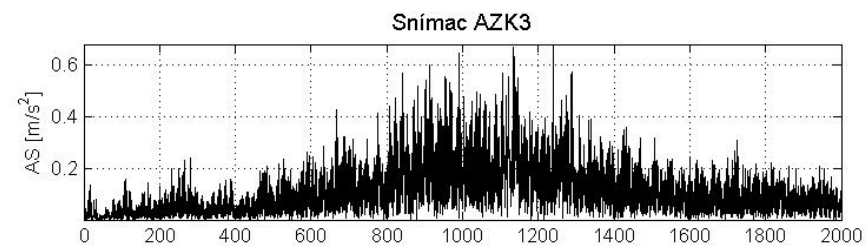
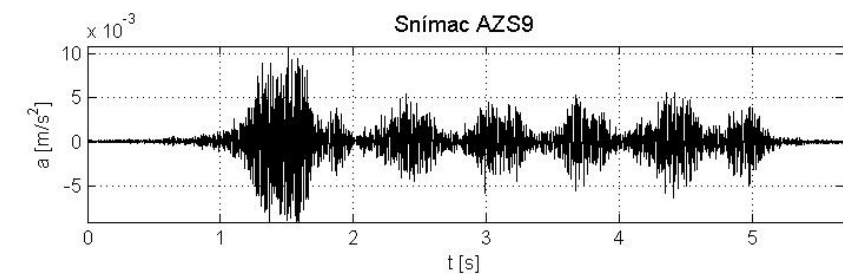
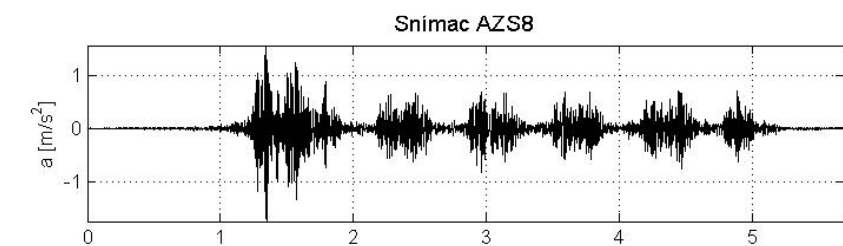
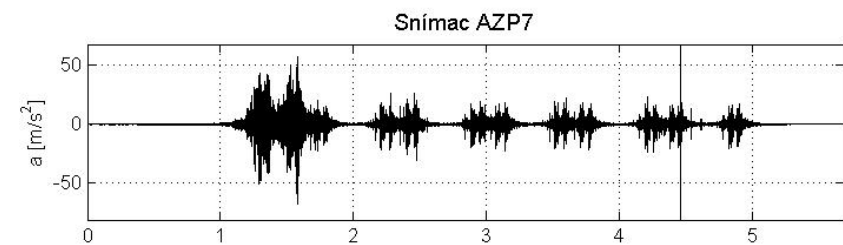
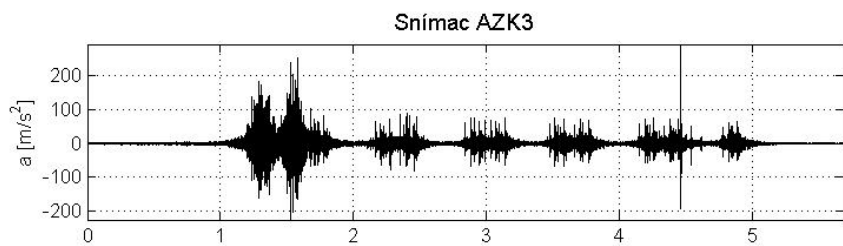
Graf D.66 LEO Express; 5 vozňov;  $v = 144$  km/h; KSL; zvislý smer



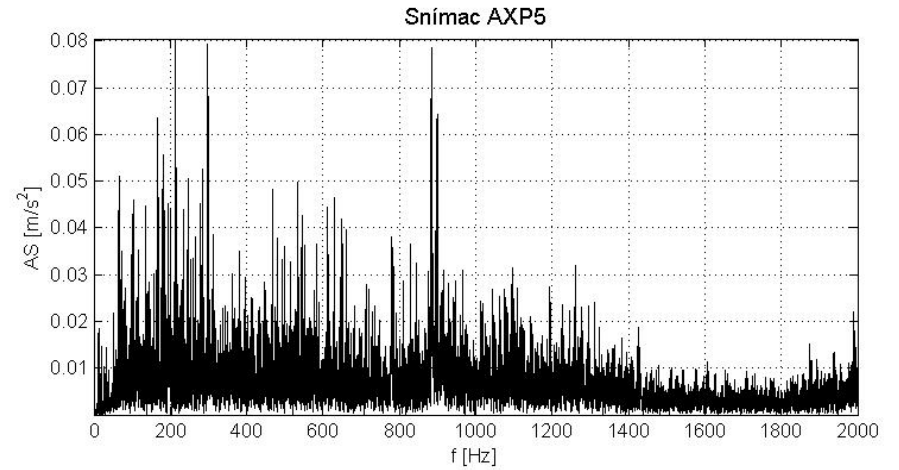
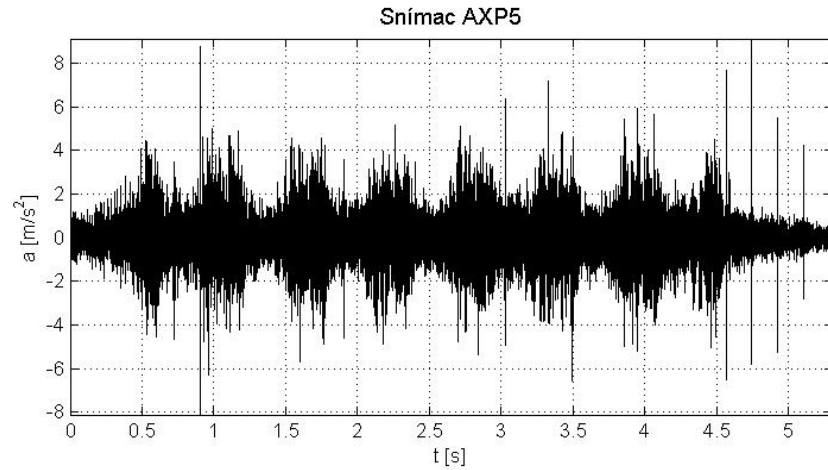
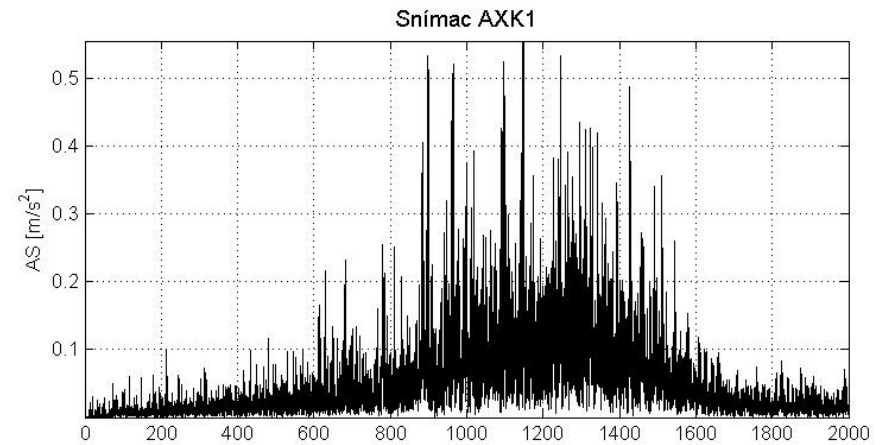
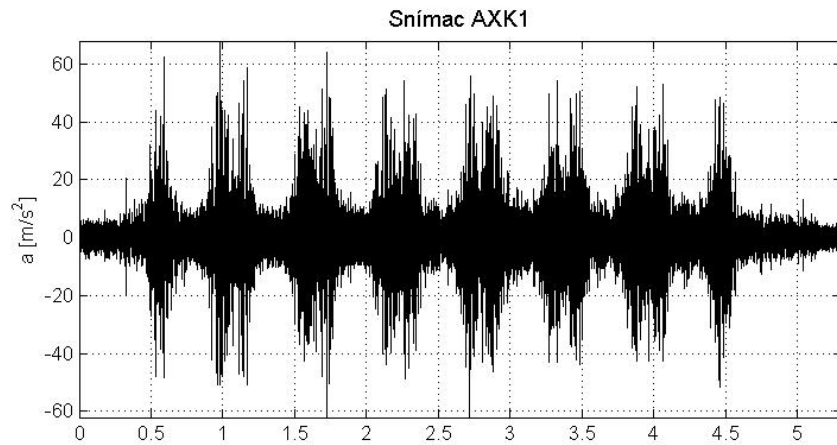
Graf D.67 Rýchlik; lokomotíva 380; 5 vozňov;  $v = 140$  km/h; KSL; pozdĺžny smer



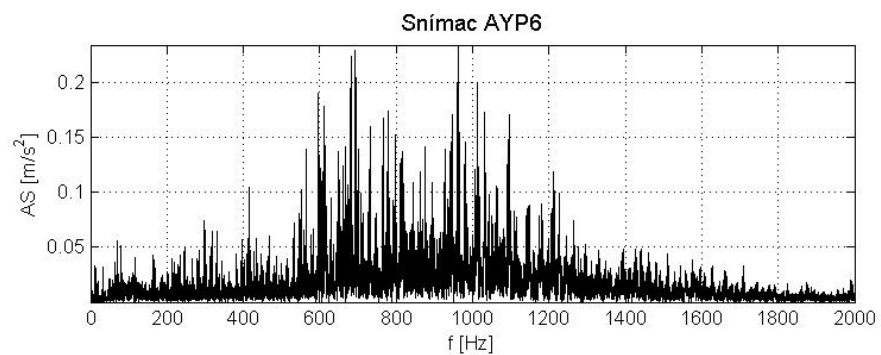
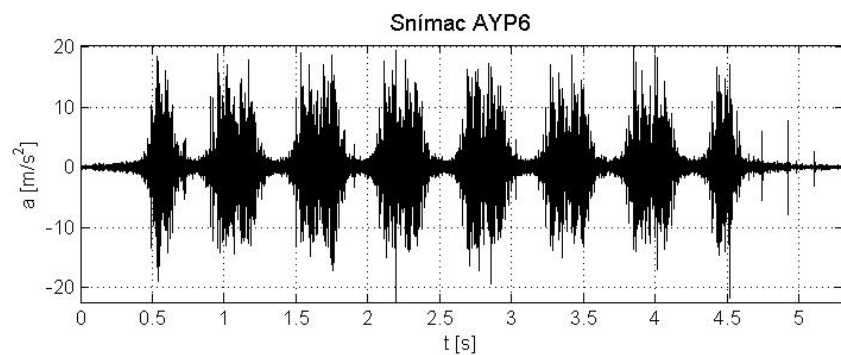
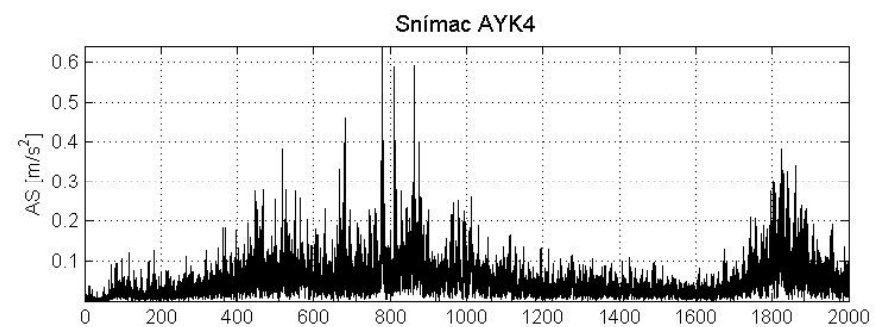
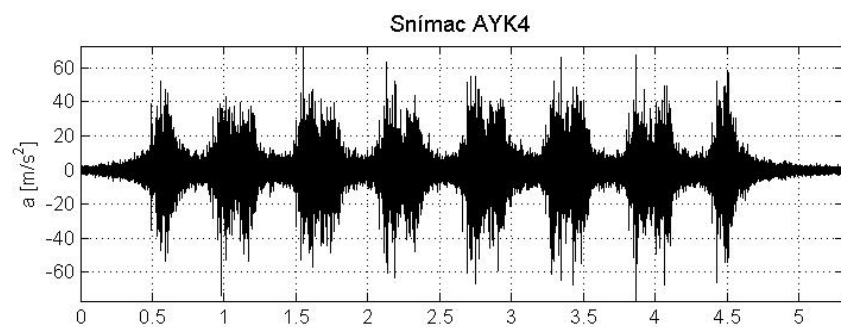
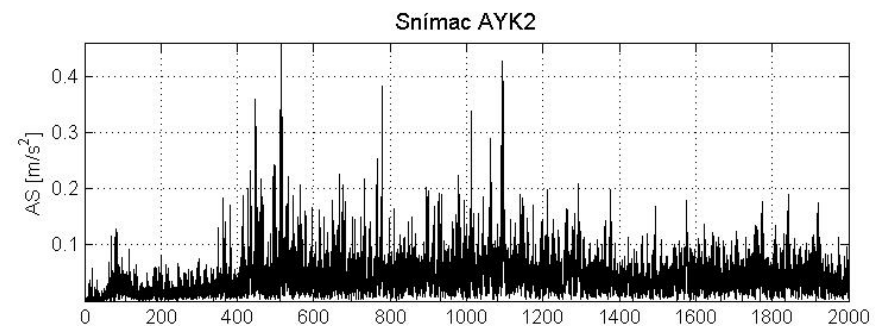
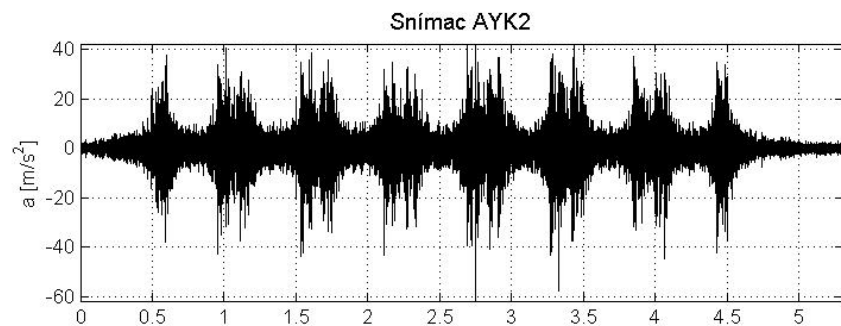
Graf D.68 Rýchlik; lokomotíva 380; 5 vozňov;  $v = 140$  km/h; KSL; priečny smer



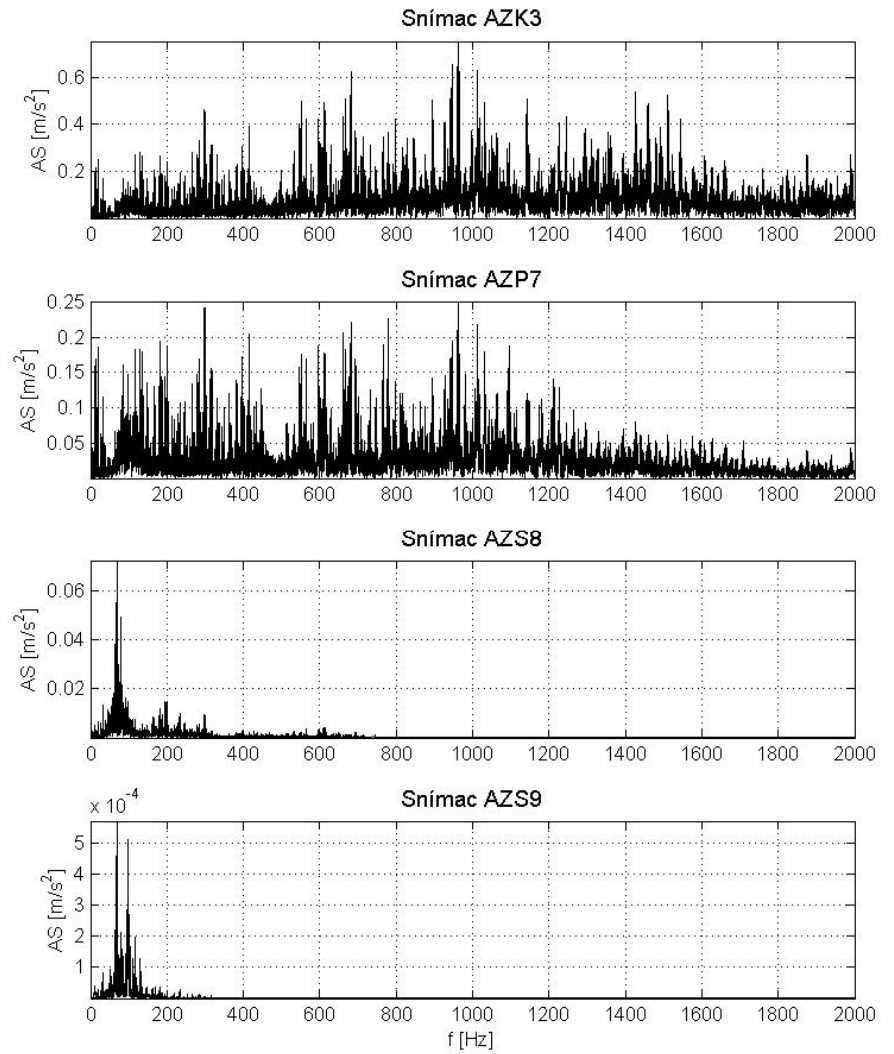
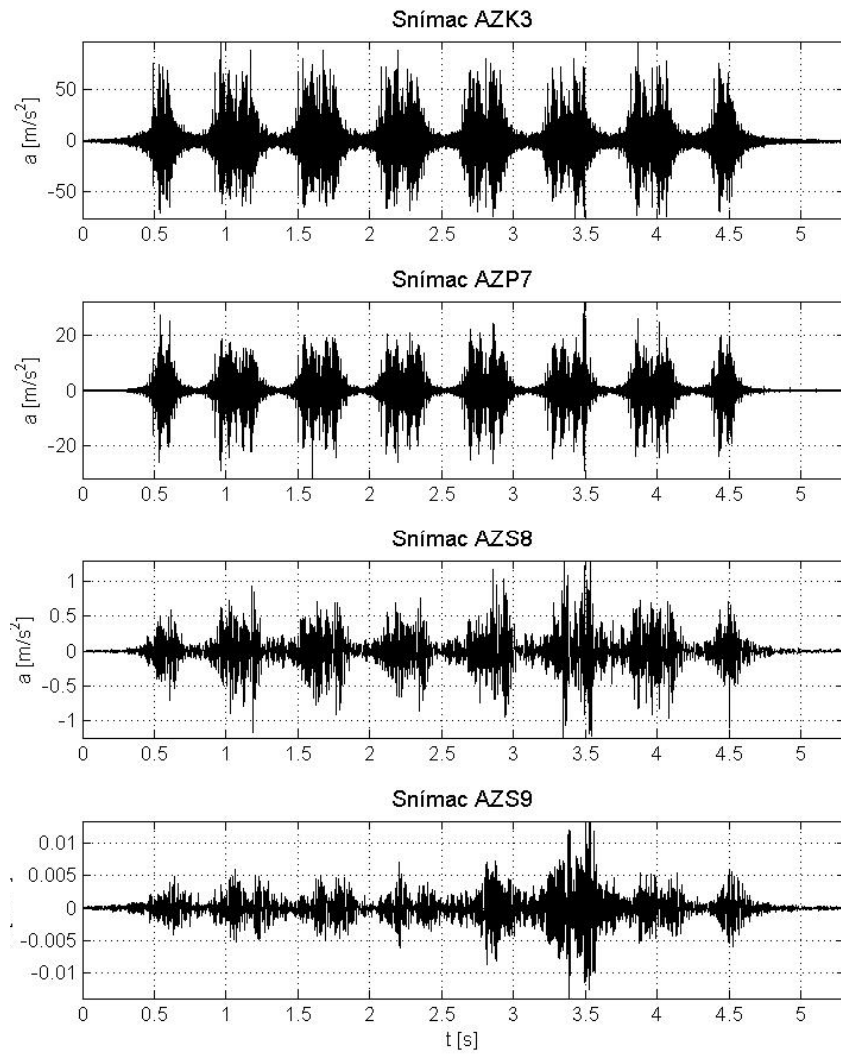
Graf D.69 Rýchlik; lokomotíva 380; 5 vozňov;  $v = 140$  km/h; KSL; zvislý smer



Graf D.70 SC Pendolino; lokomotíva 681; 7 vozňov;  $v = 160$  km/h; KSL; pozdĺžny smer

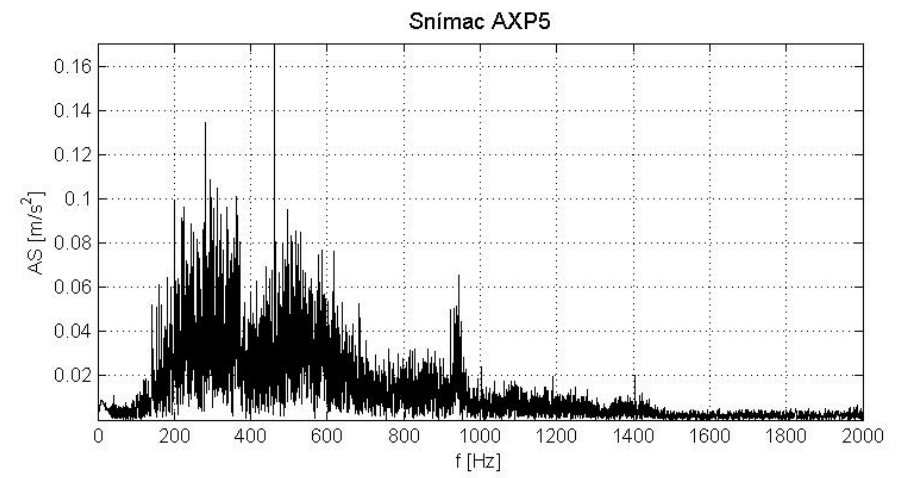
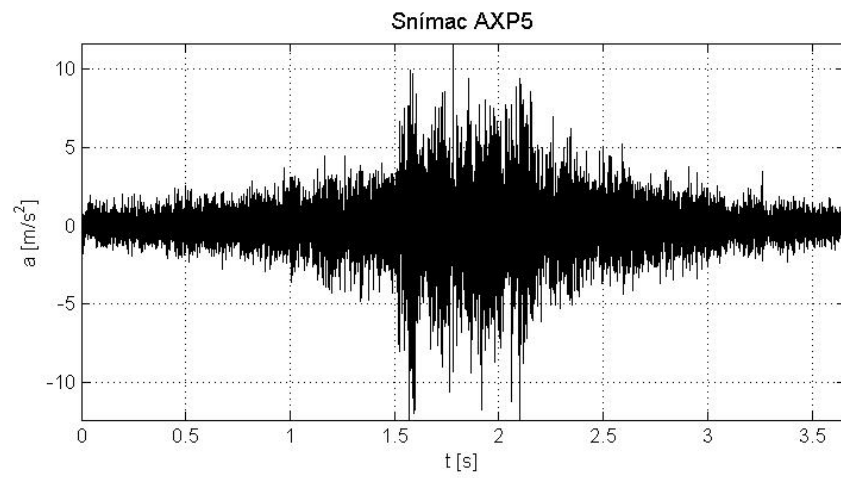
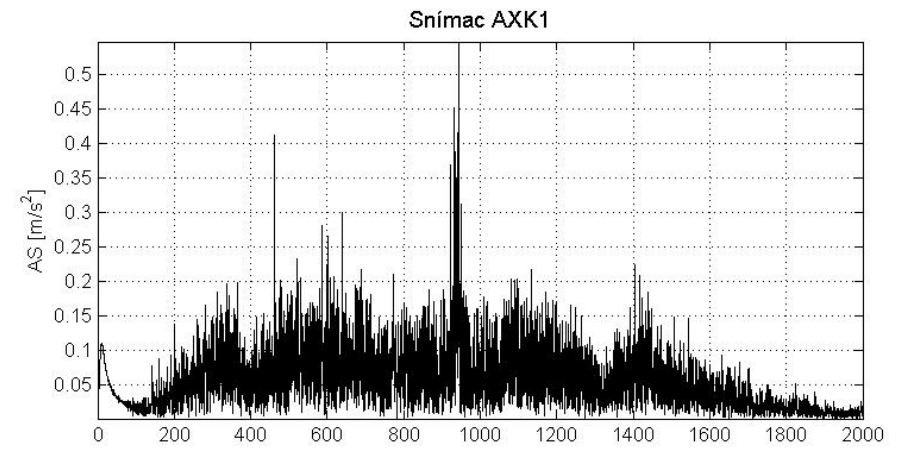
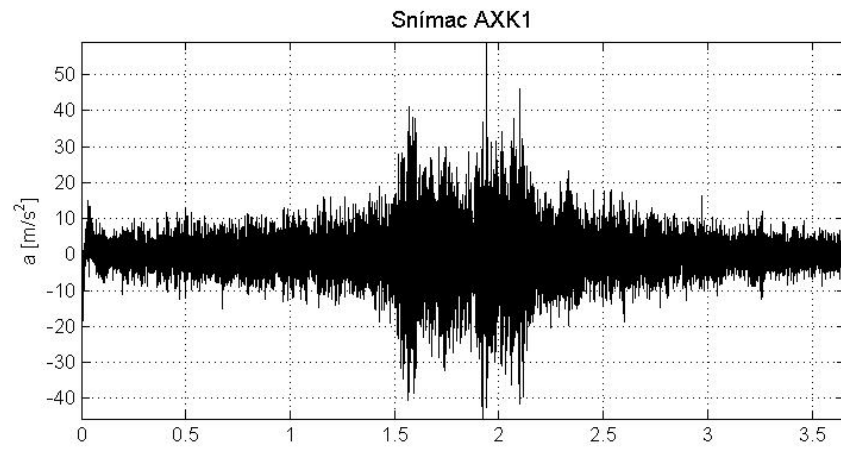


Graf D.71 SC Pendolino; lokomotíva 681; 7 vozňov;  $v = 160$  km/h; KSL; priečny smer

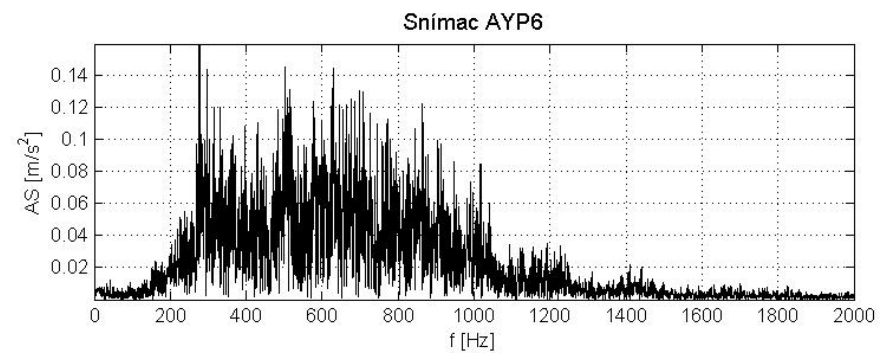
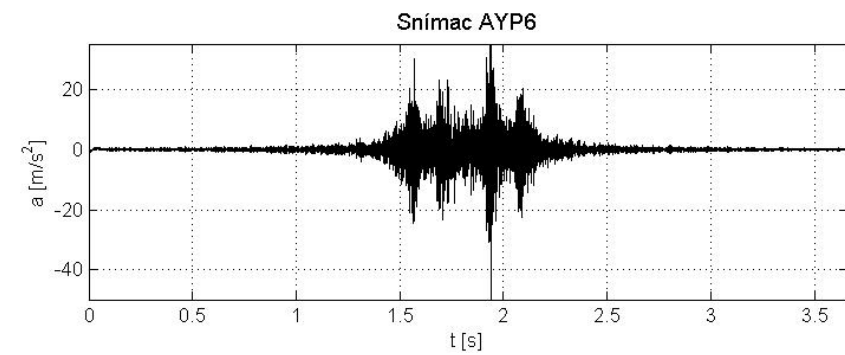
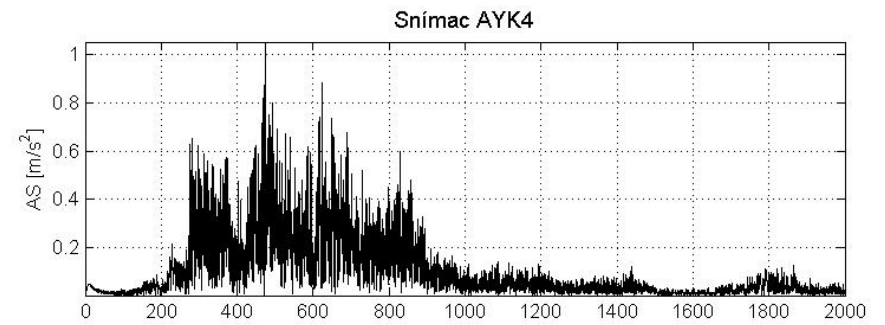
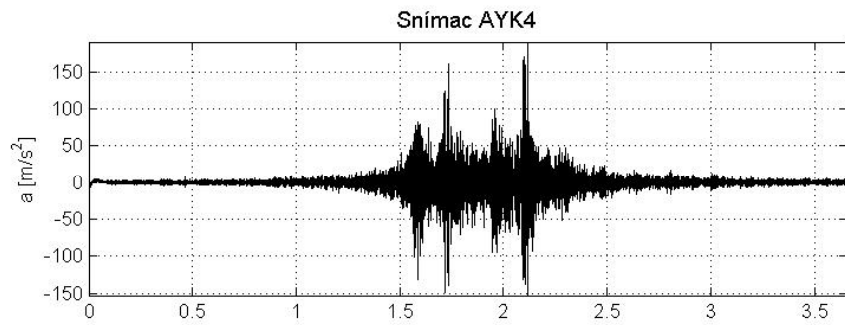
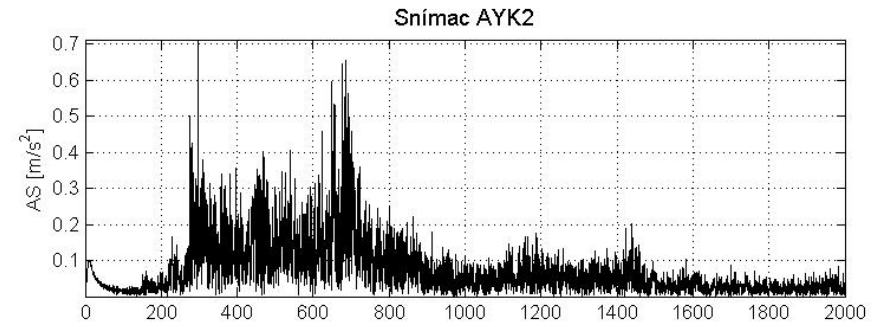
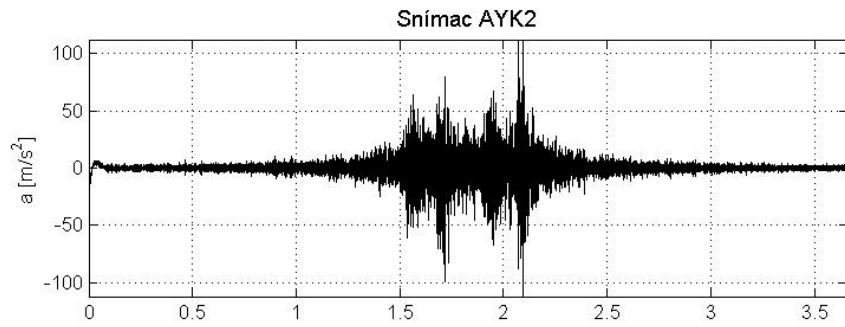


Graf D.72 SC Pendolino; lokomotíva 681; 7 vozňov;  $v = 160$  km/h; KSL; zvislý smer

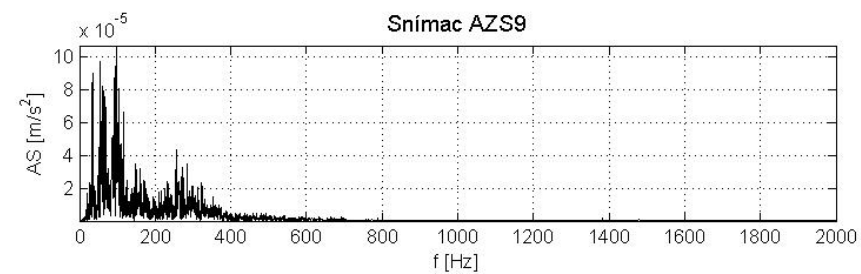
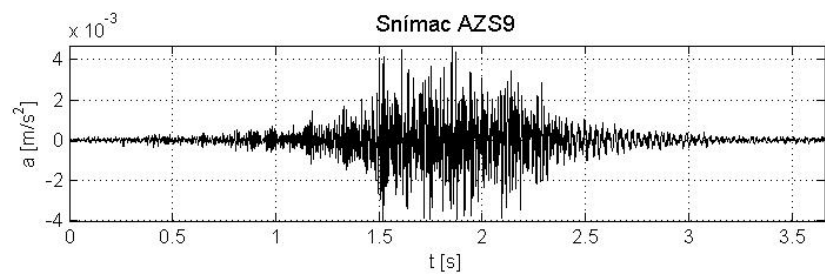
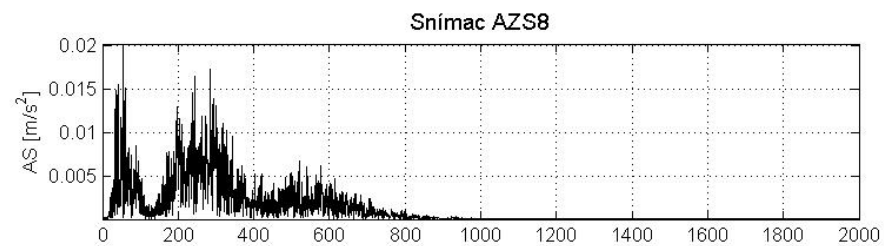
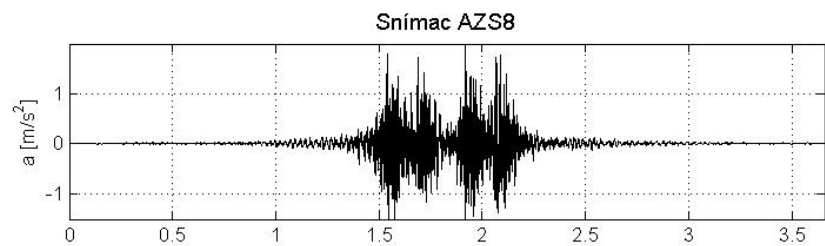
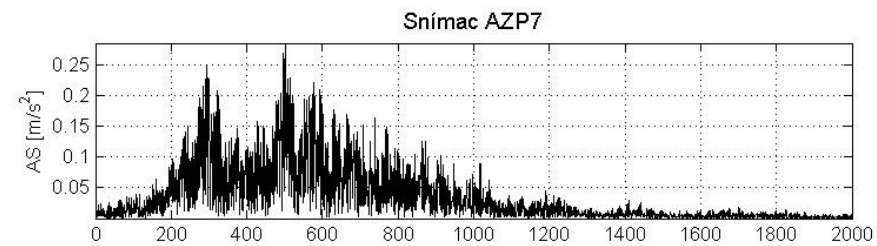
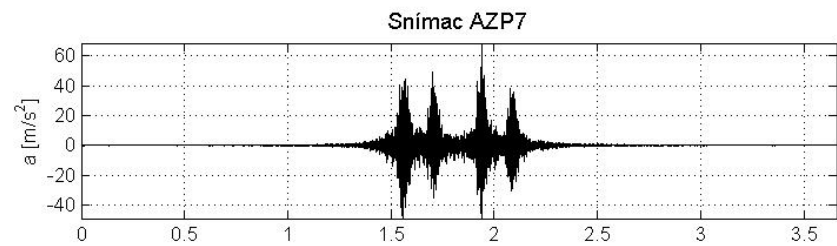
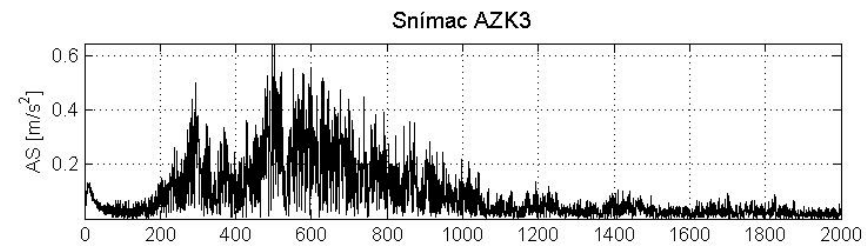
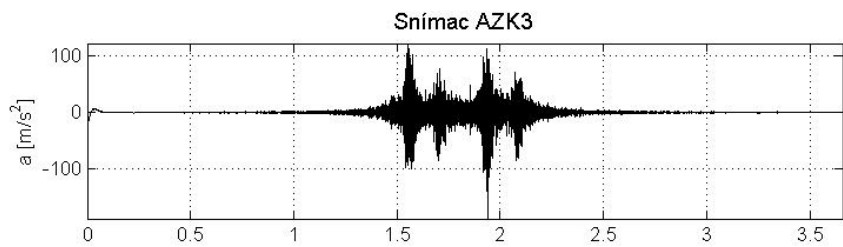




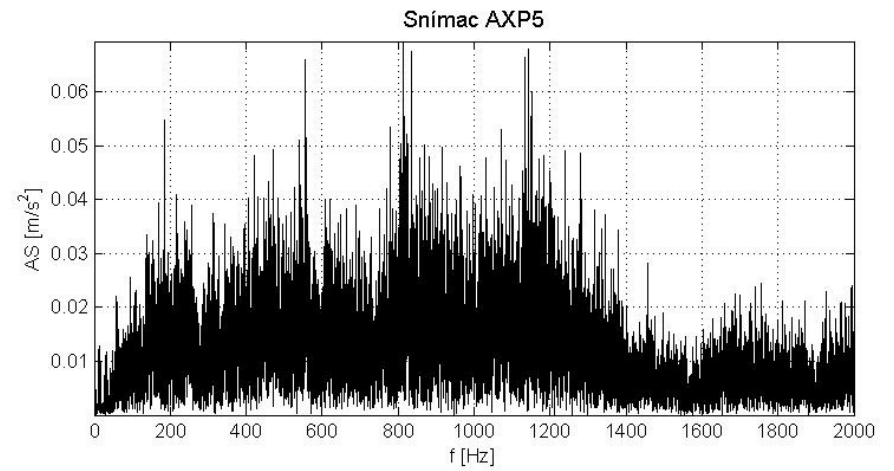
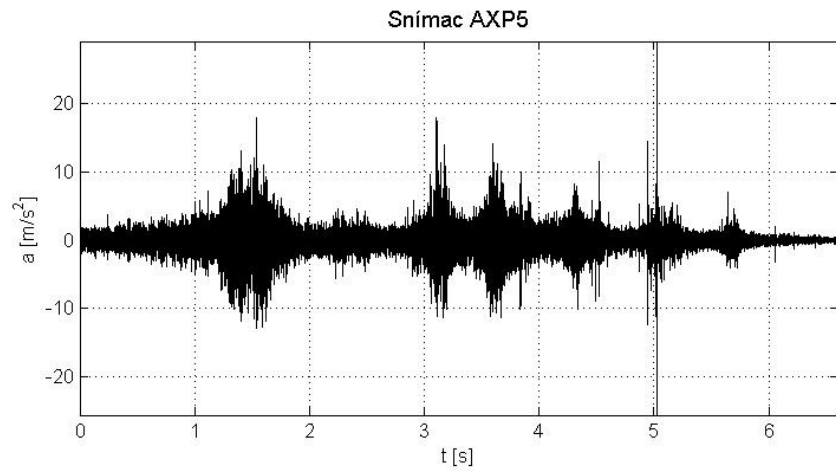
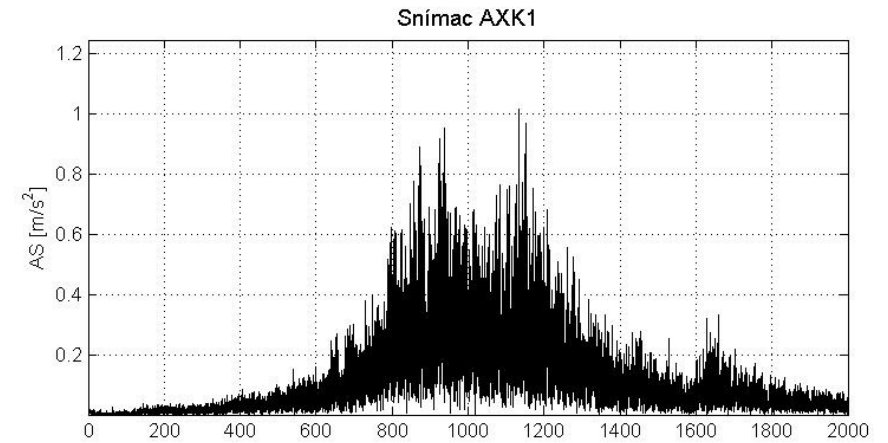
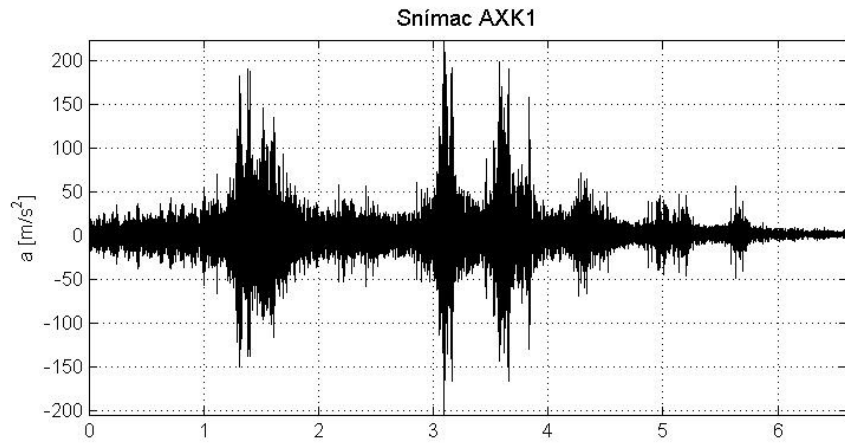
Graf D.73 Lokomotíva 363; bez vozňa;  $v = 79$  km/h; KSL; pozdĺžny smer



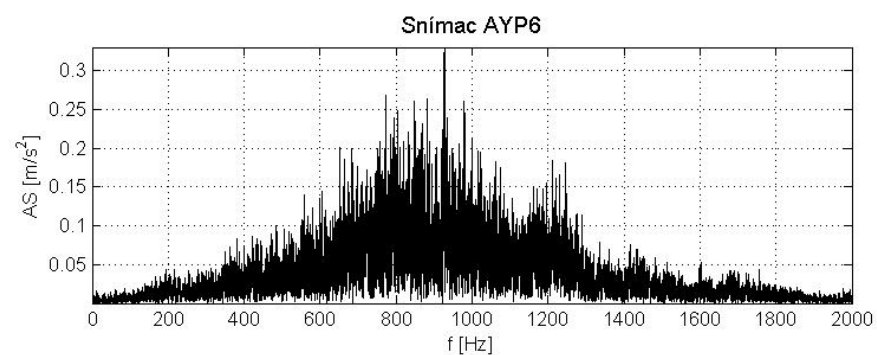
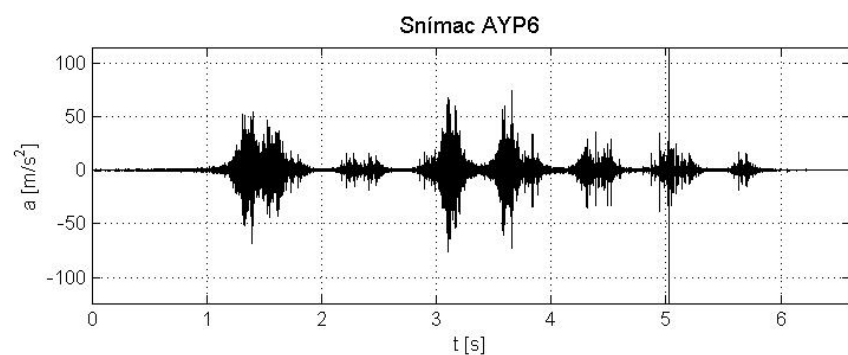
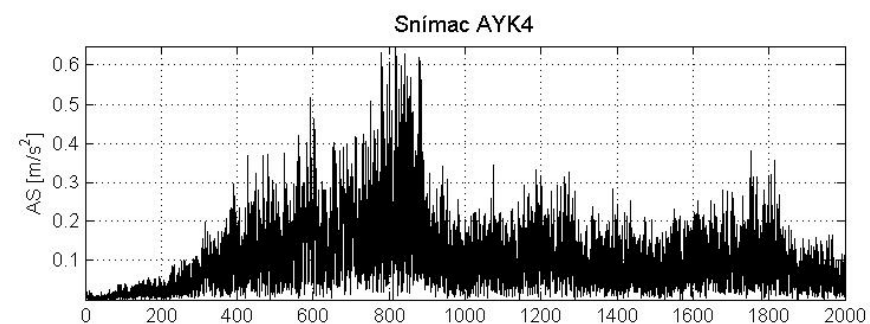
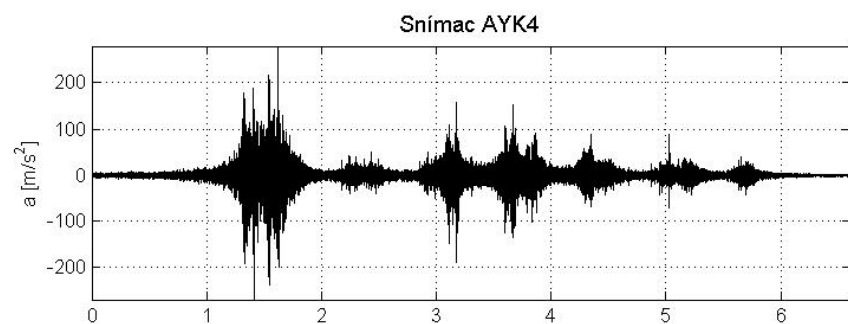
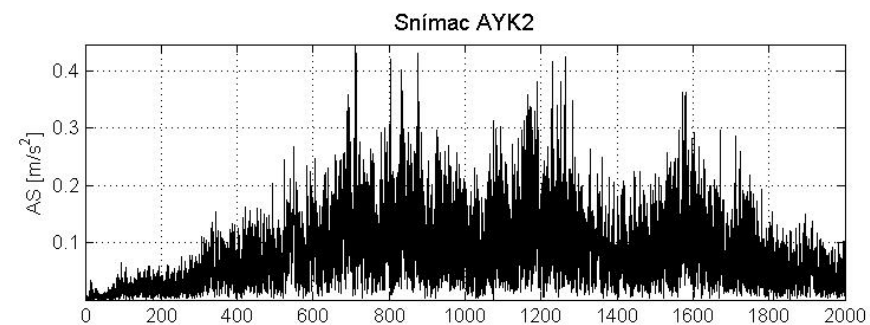
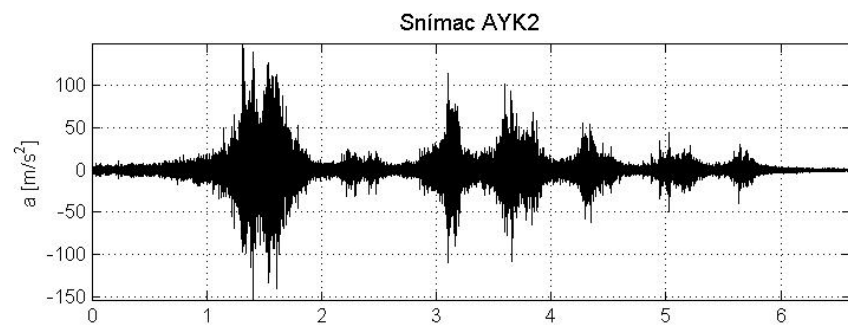
Graf D.74 Lokomotíva 363; bez vozňa;  $v = 79$  km/h; KSL; priečny smer



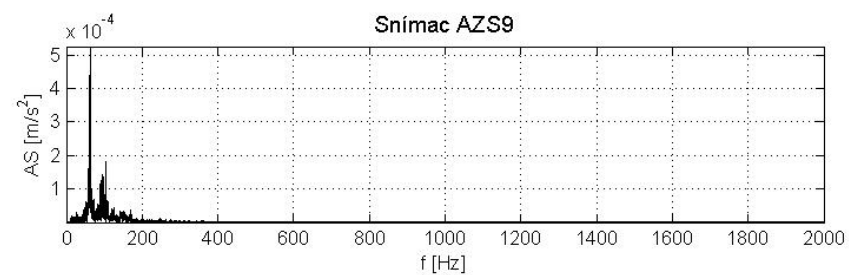
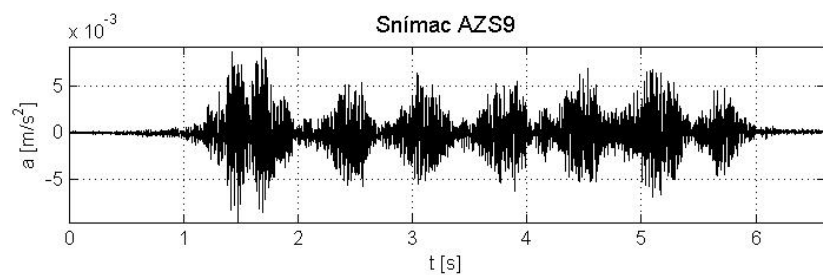
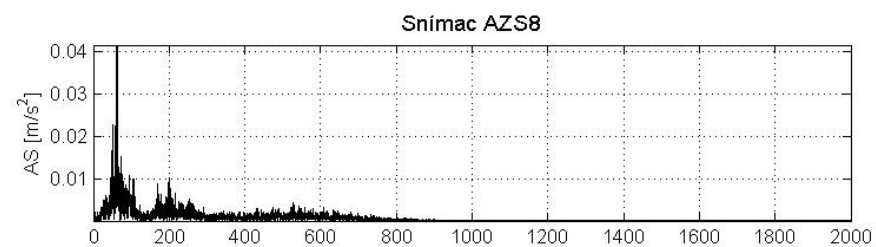
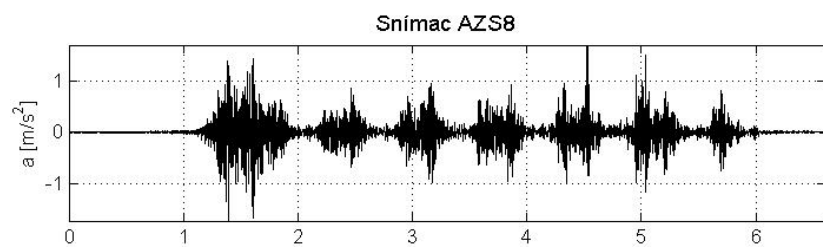
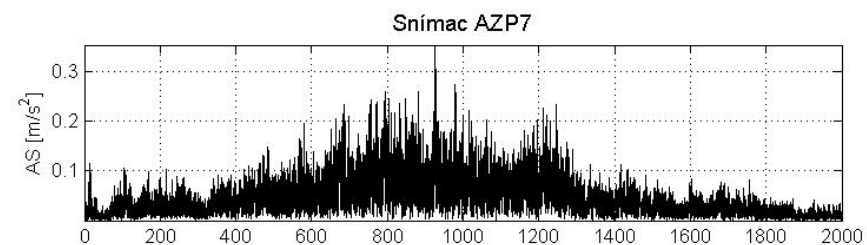
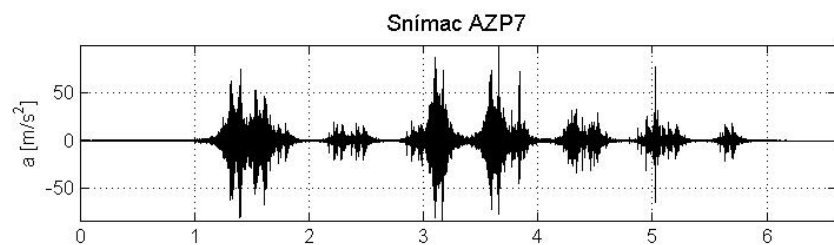
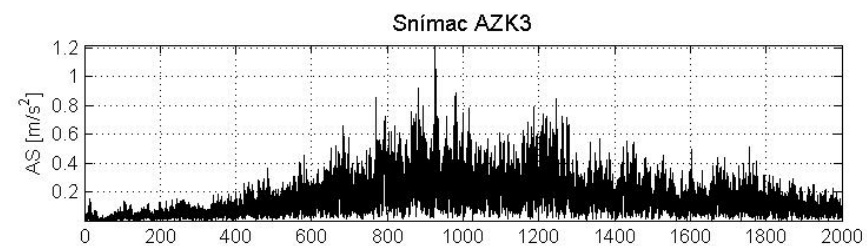
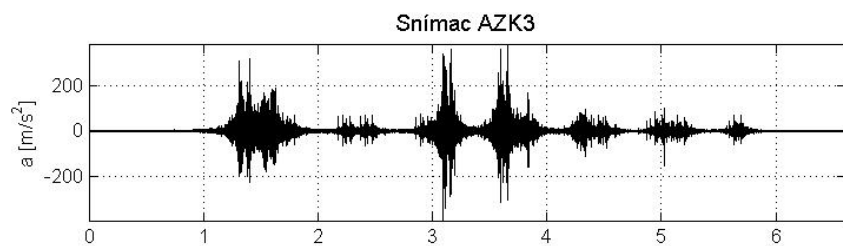
Graf D.75 Lokomotíva 363; bez vozňa;  $v = 79$  km/h; KSL; zvislý smer



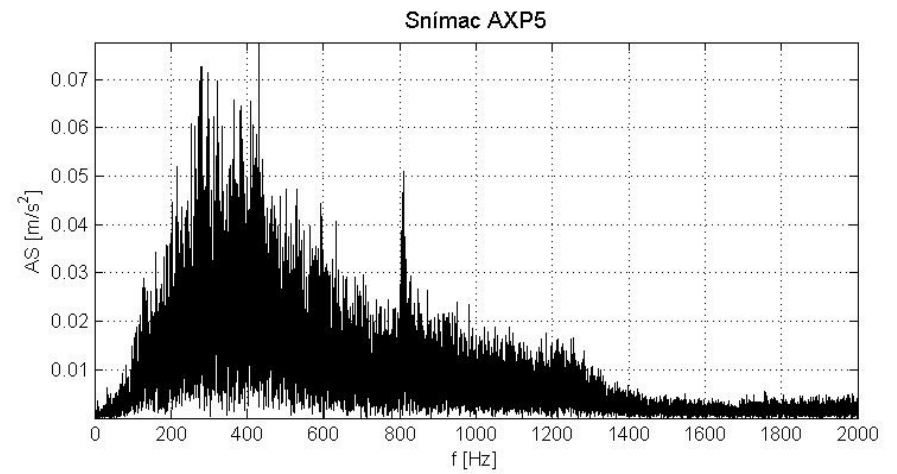
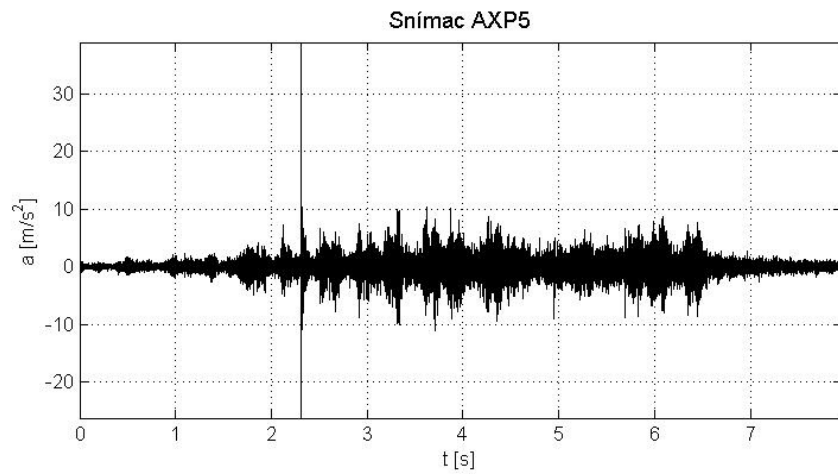
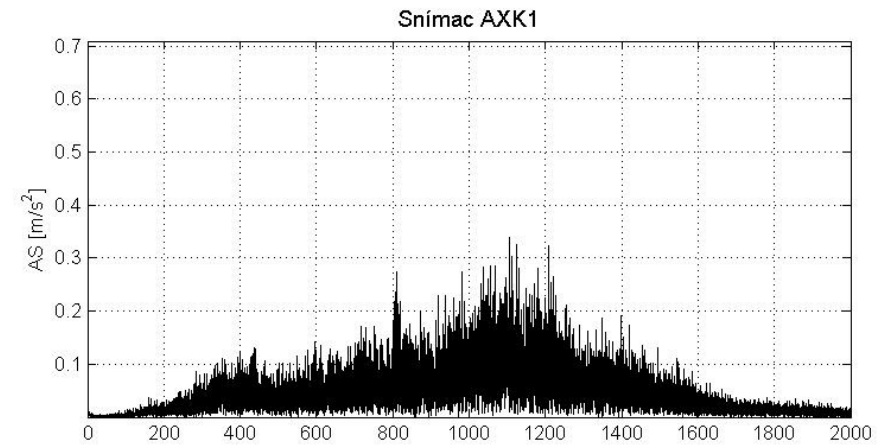
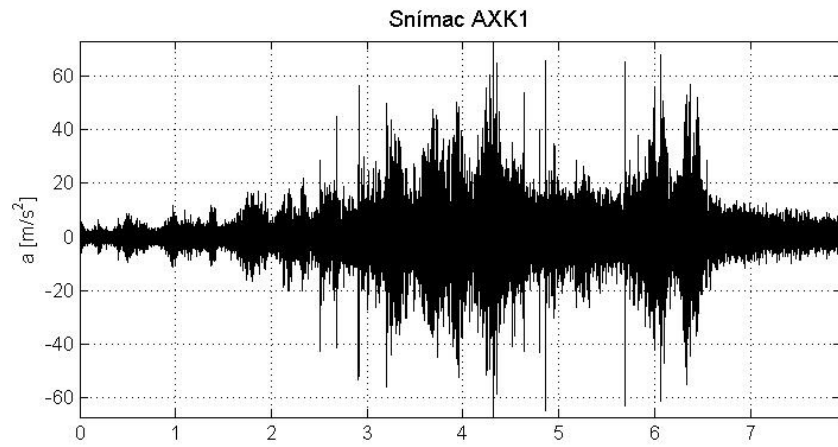
Graf D.76 RegoJet; 6 vozňov;  $v = 137$  km/h; KSL; pozdĺžny smer



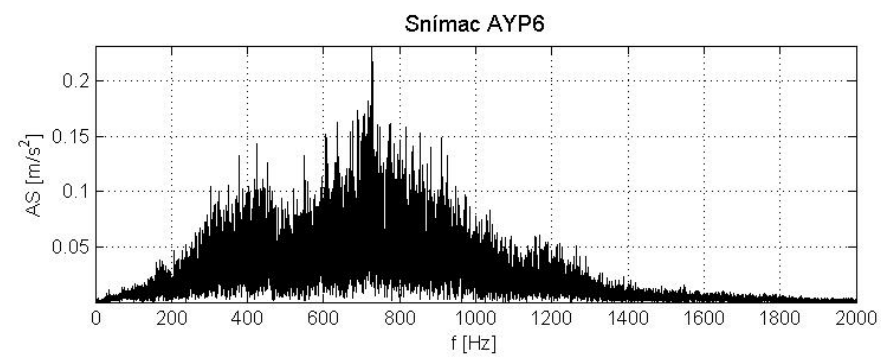
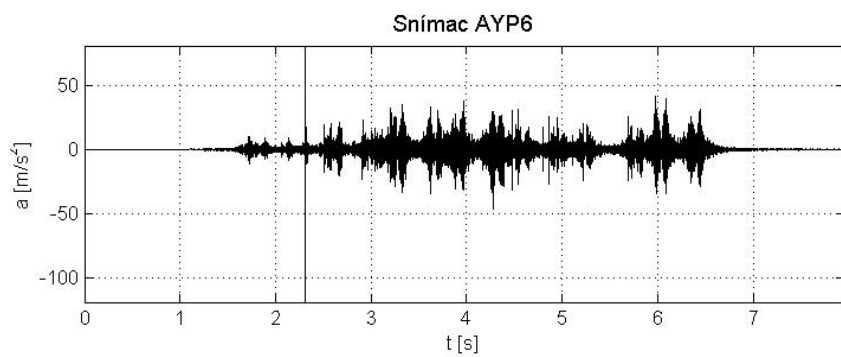
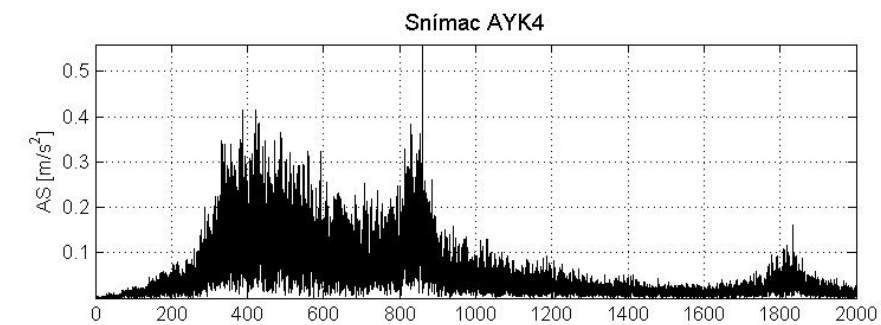
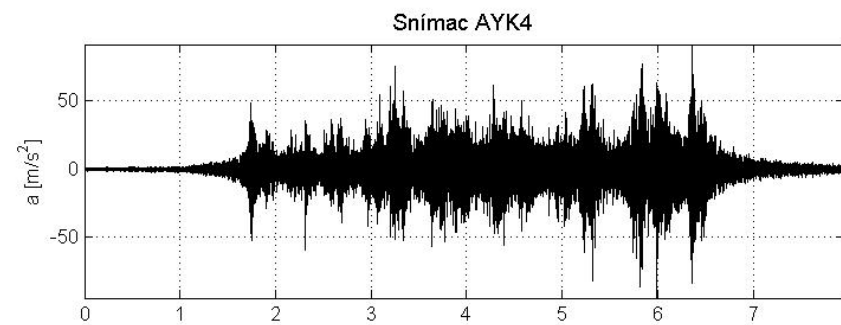
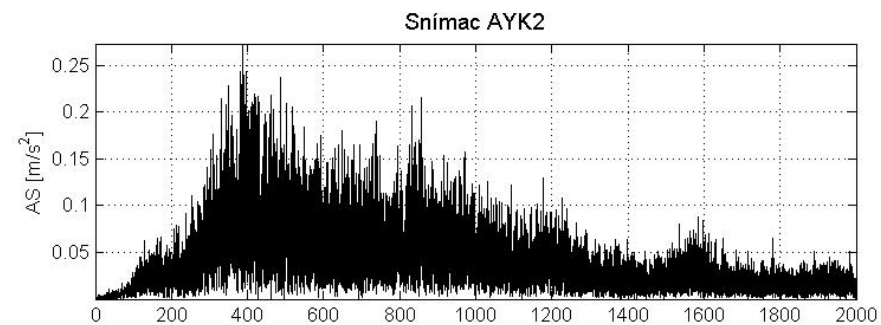
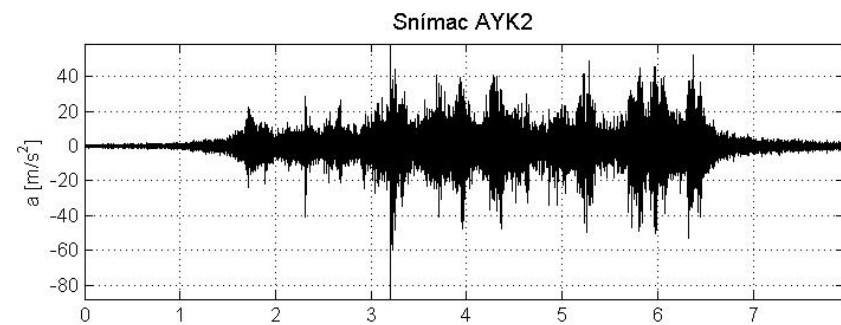
Graf D.77 RegoJet; 6 vozňov;  $v = 137$  km/h; KSL; priečný smer



Graf D.78 RegoJet; 6 vozňov;  $v = 137$  km/h; KSL; zvislý smer

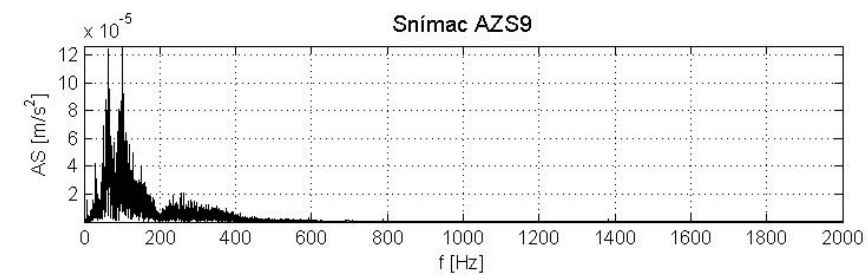
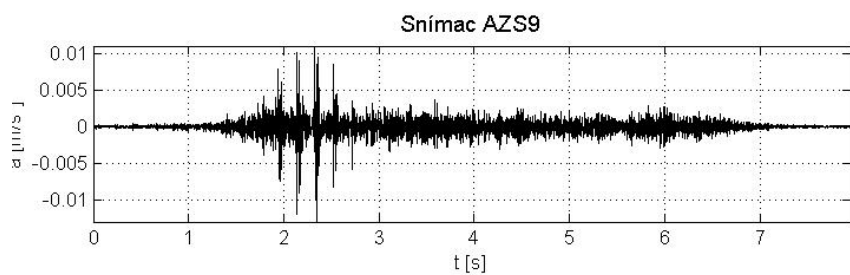
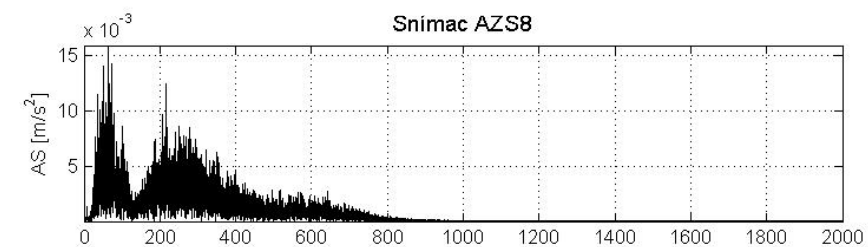
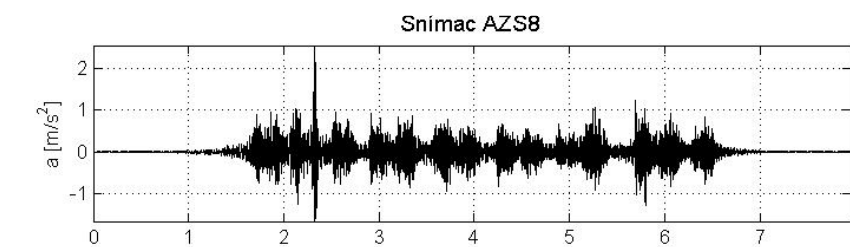
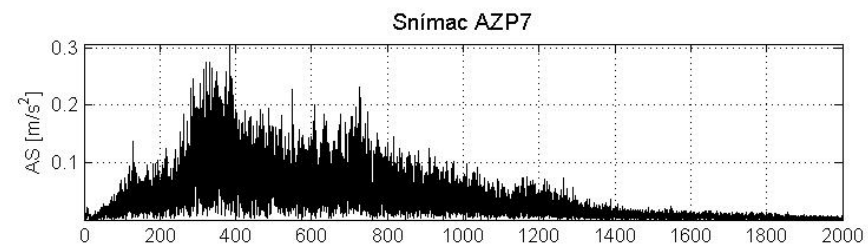
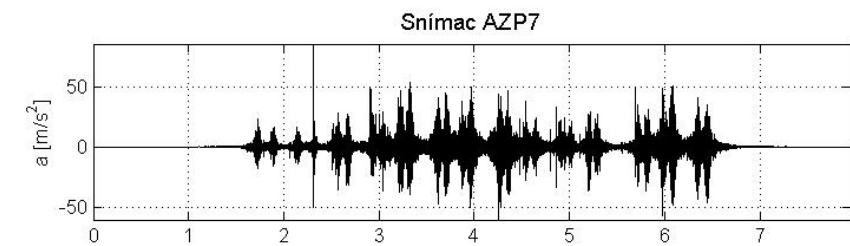
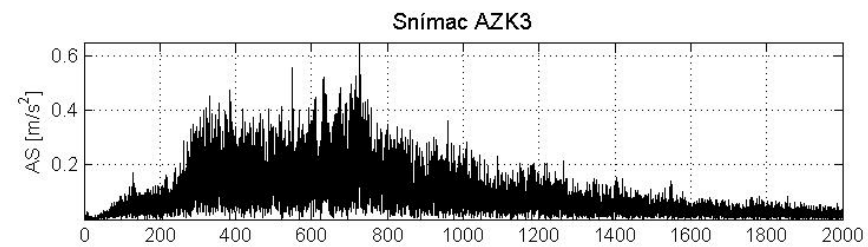
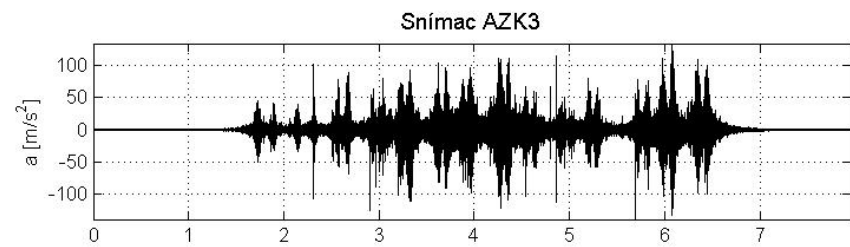


Graf D.79 Nákladný vlak; lokomotíva 130; 6 vozňov;  $v = 70$  km/h; KSL; pozdĺžny smer

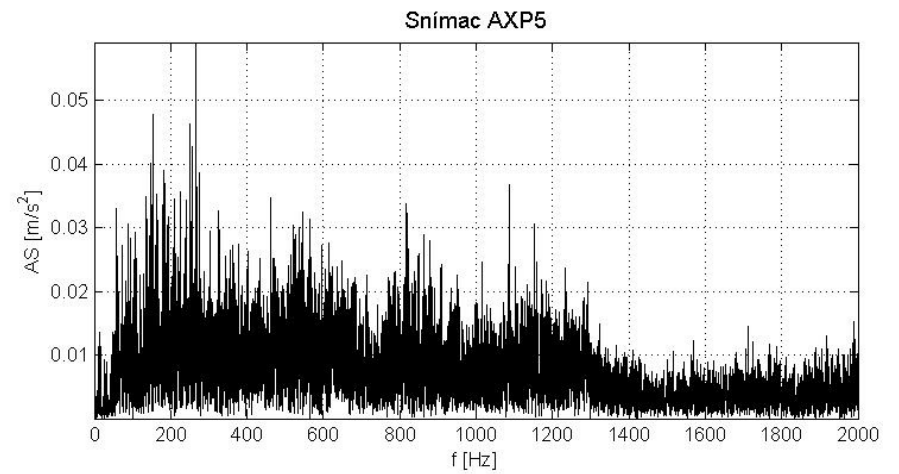
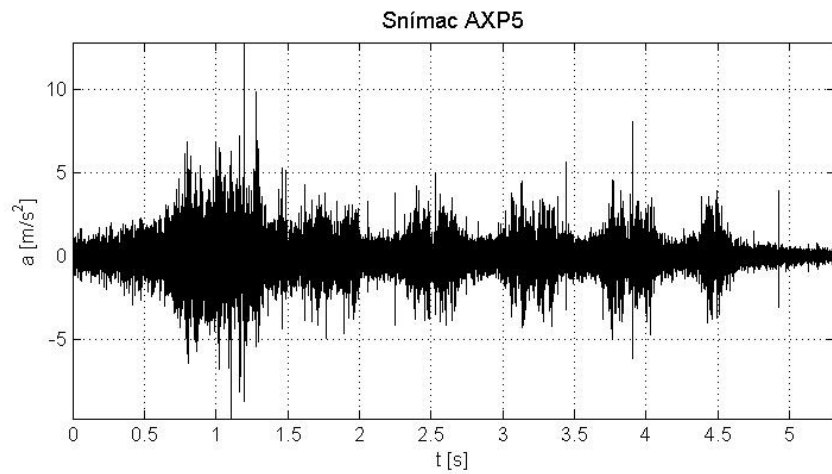
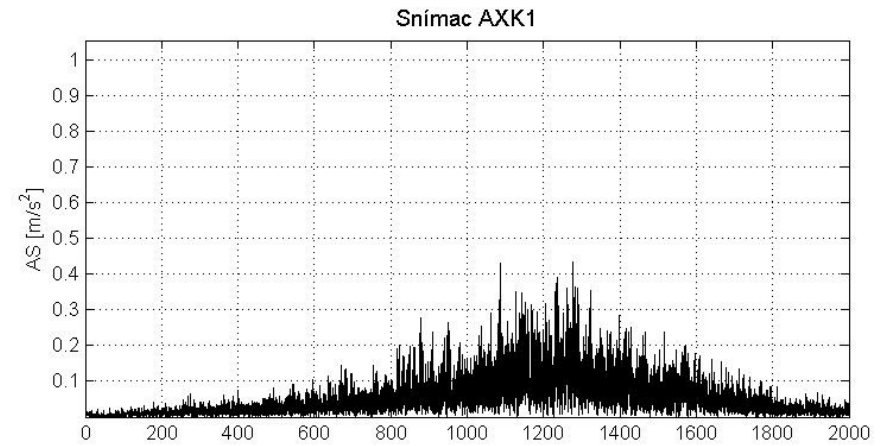
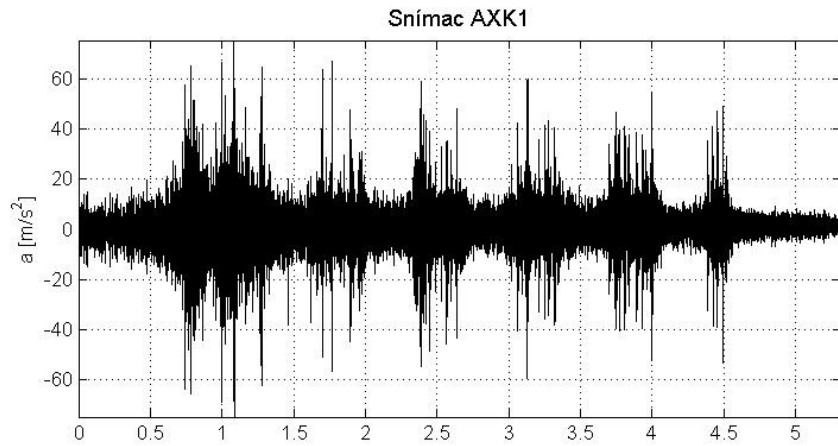


Graf D.80 Nákladný vlak; lokomotíva 130; 6 vozňov;  $v = 70$  km/h; KSL; priečny smer

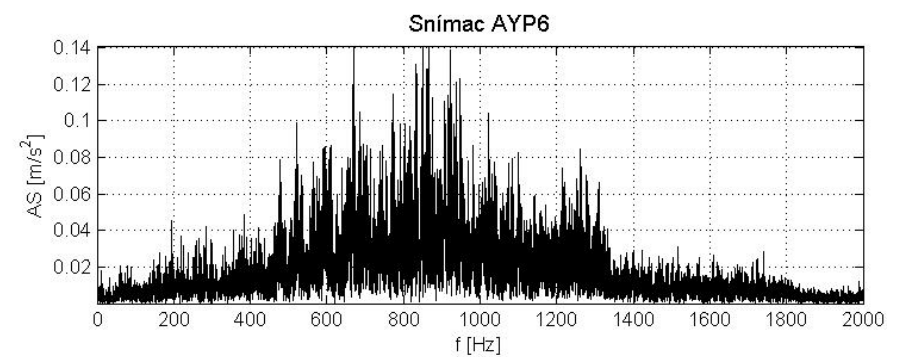
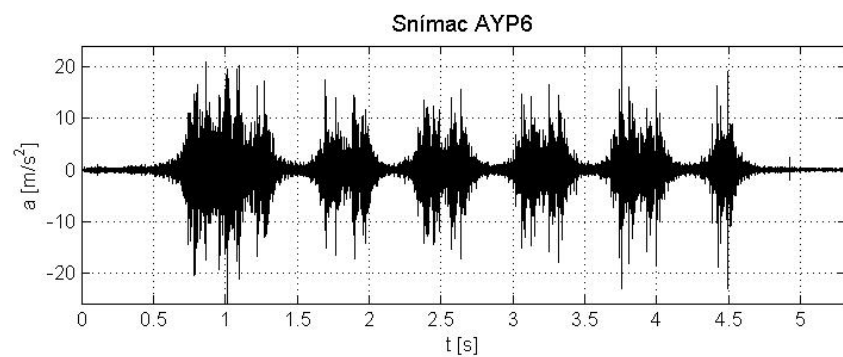
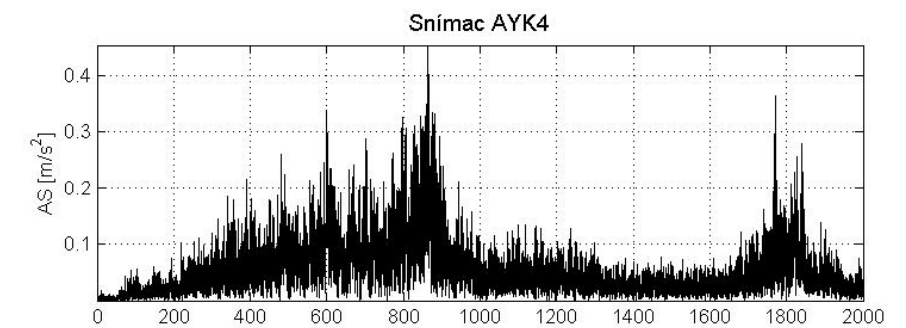
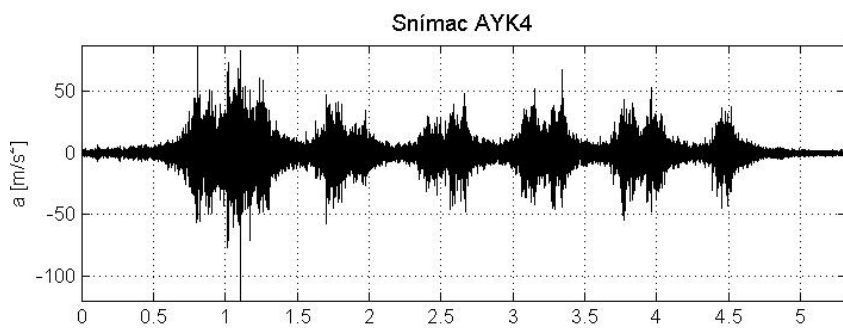
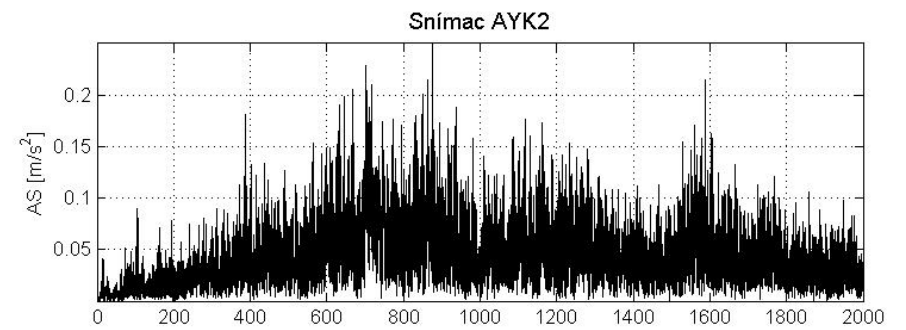
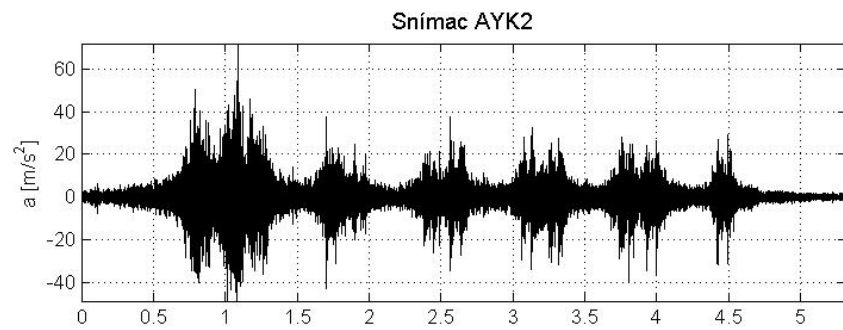




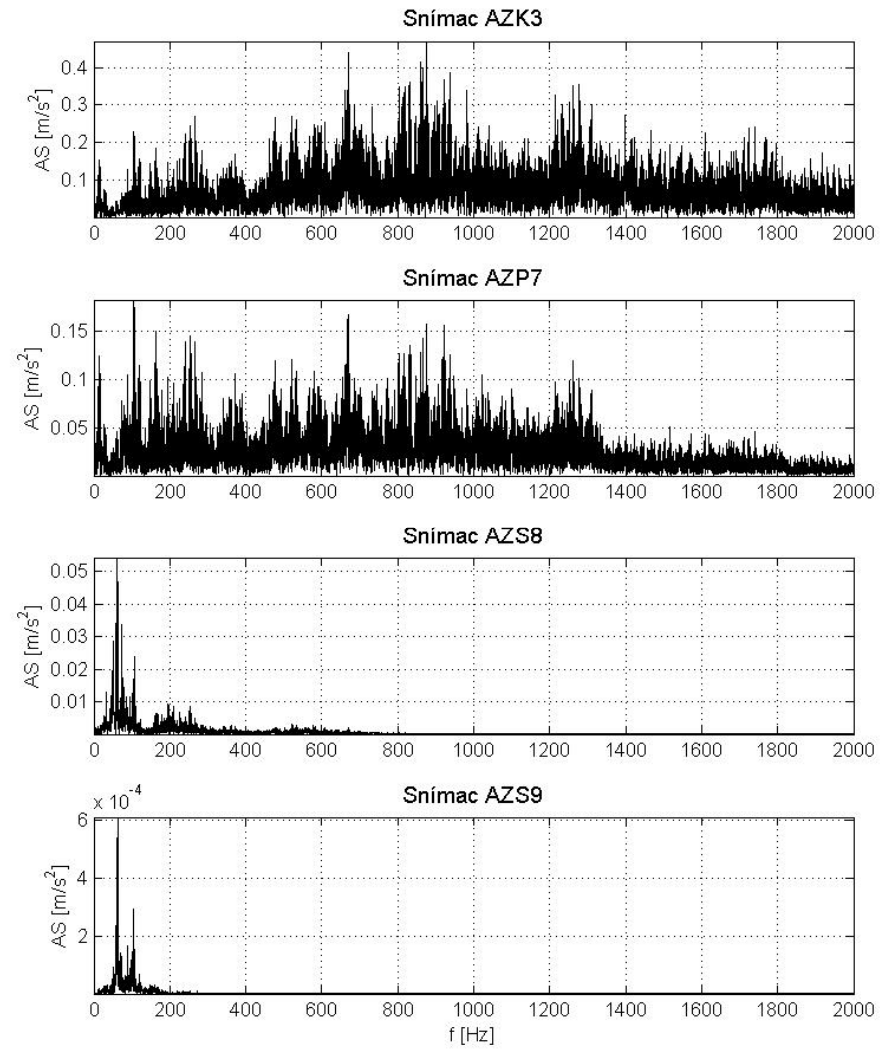
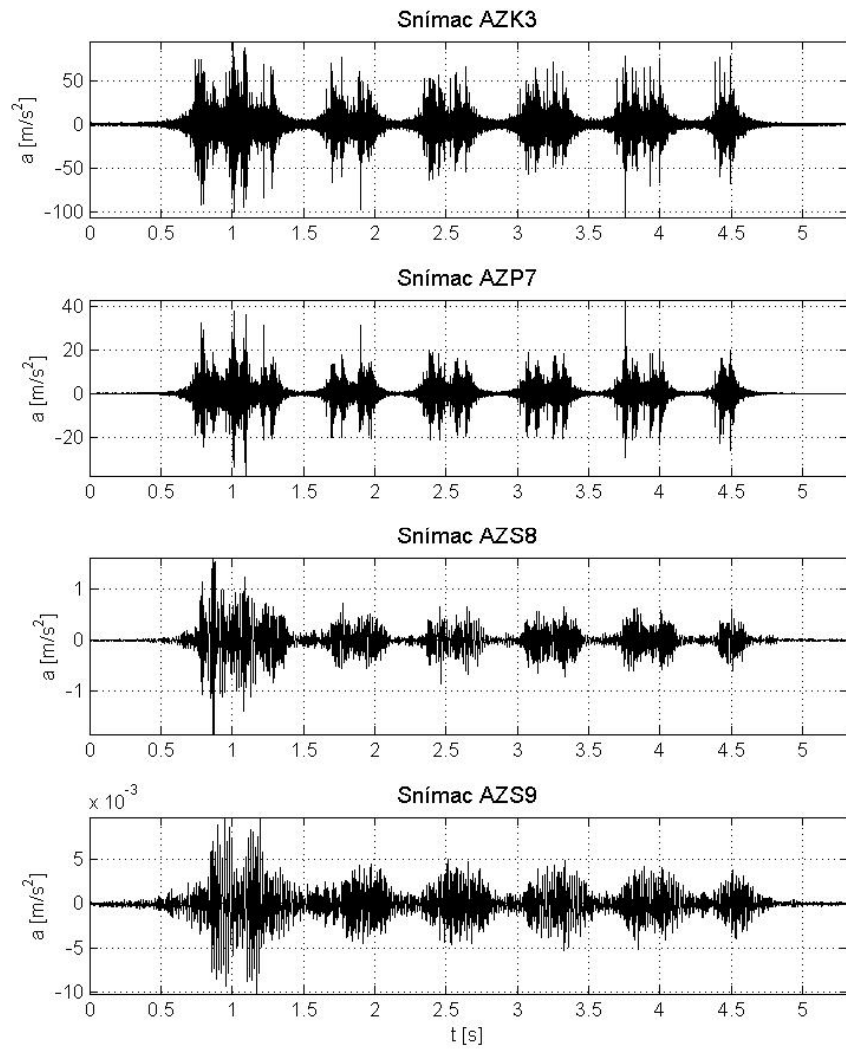
Graf D.81 Nákladný vlak; lokomotíva 130; 6 vozňov;  $v = 70$  km/h; KSL; zvislý smer



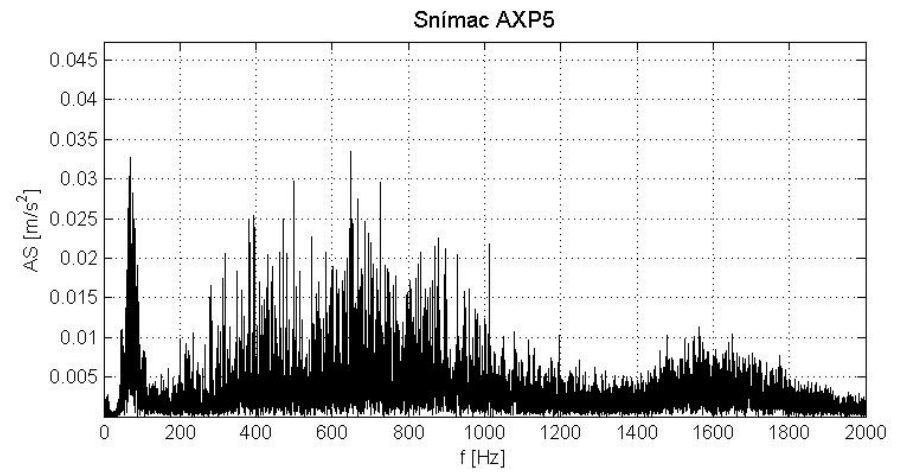
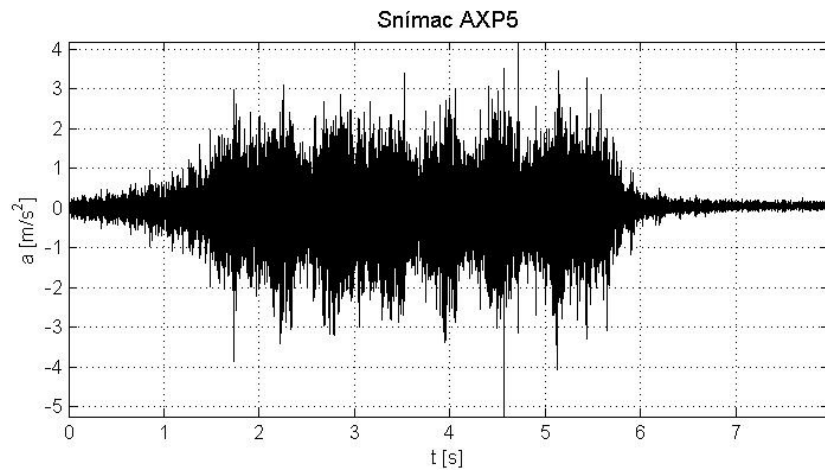
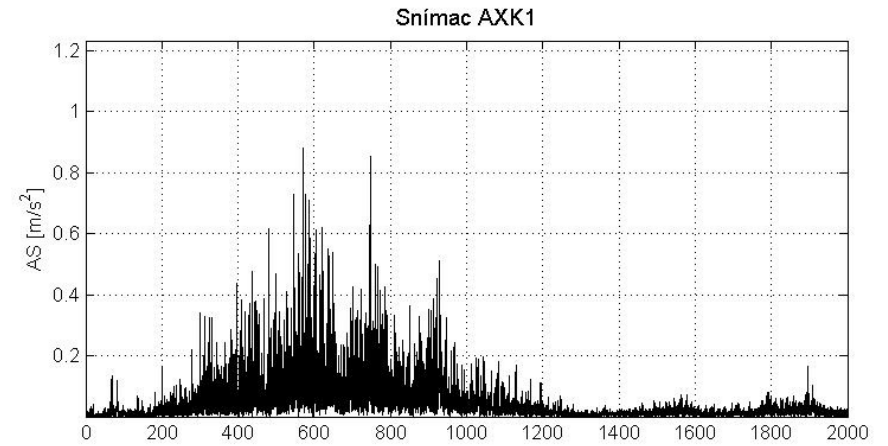
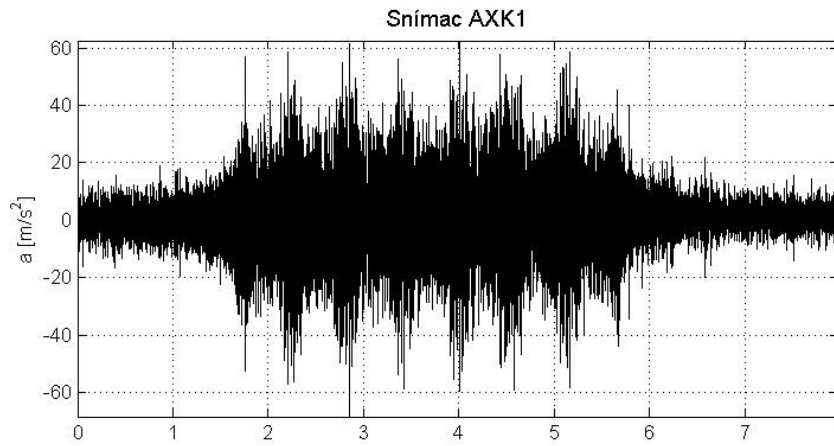
Graf D.82 Rýchlik; lokomotíva 151; 5 vozňov;  $v = 141$  km/h; KSL; pozdĺžny smer



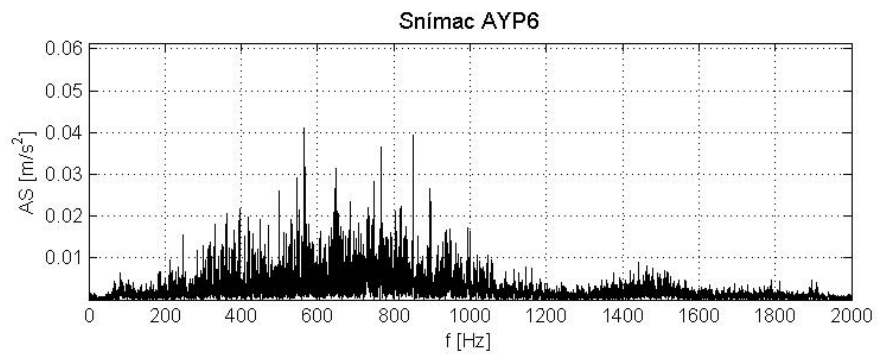
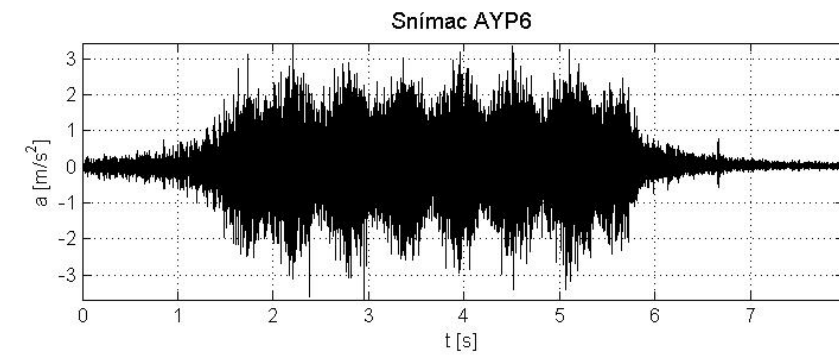
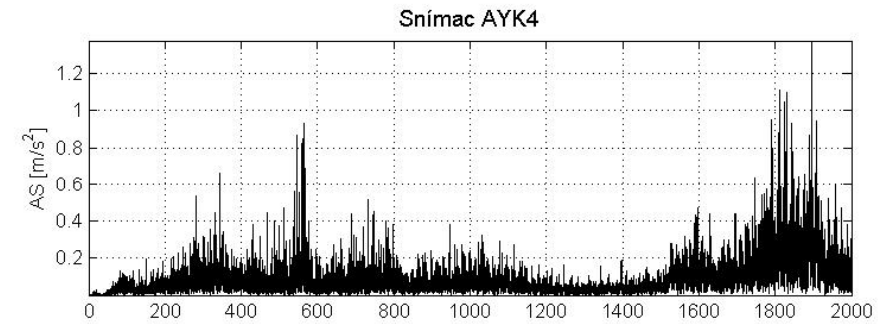
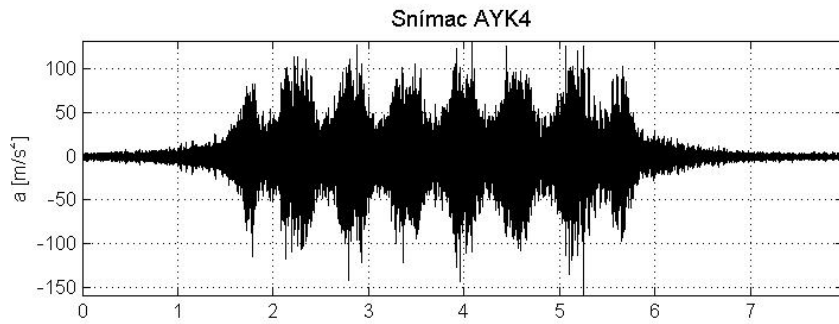
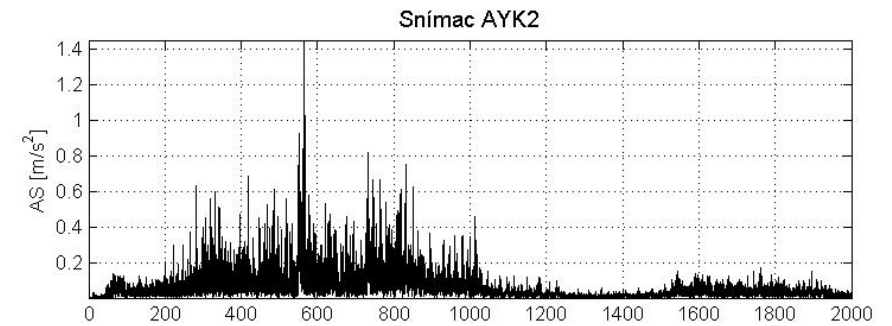
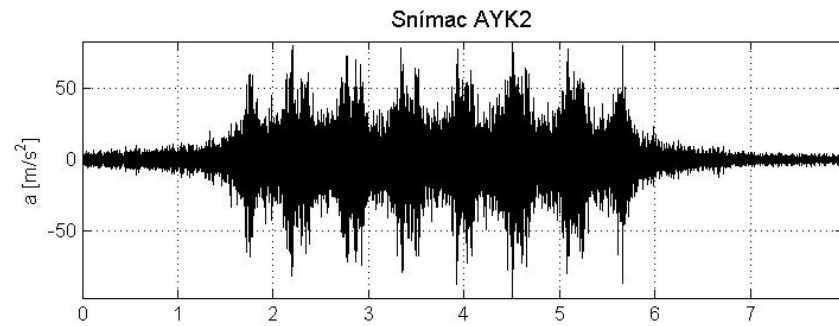
Graf D.83 Rýchlik; lokomotíva 151; 5 vozňov;  $v = 141$  km/h; KSL; pričný smer



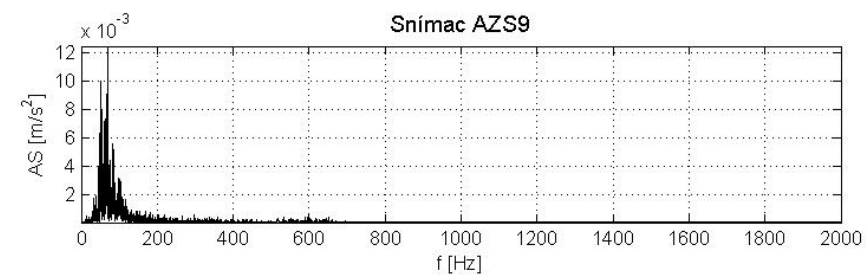
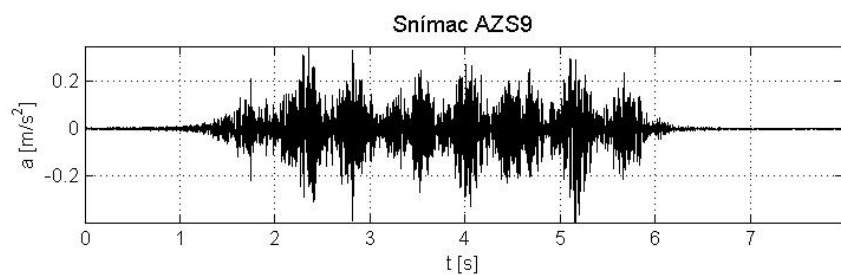
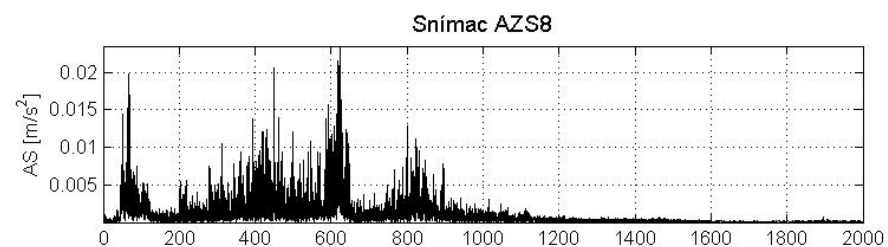
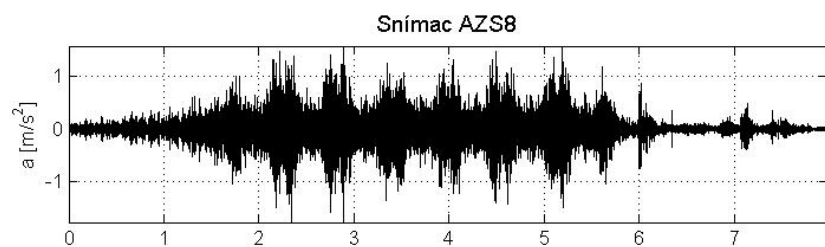
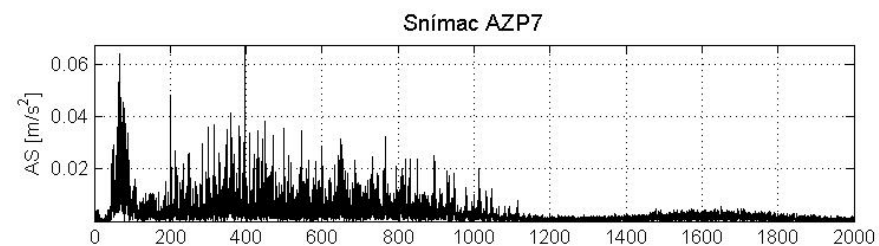
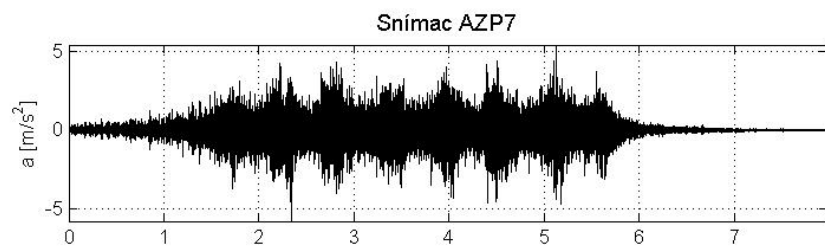
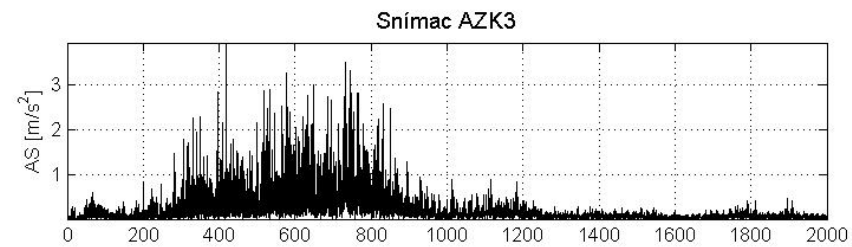
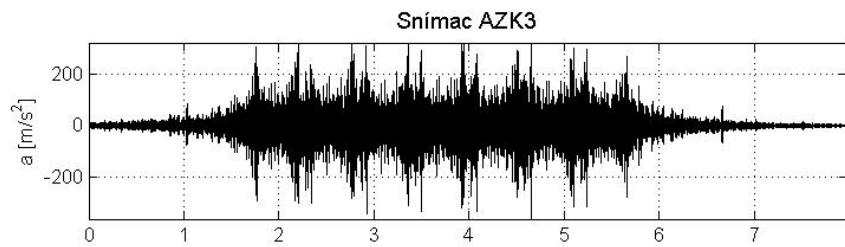
Graf D.84 Rýchlik; lokomotíva 151; 5 vozňov;  $v = 141$  km/h; KSL; zvislý smer



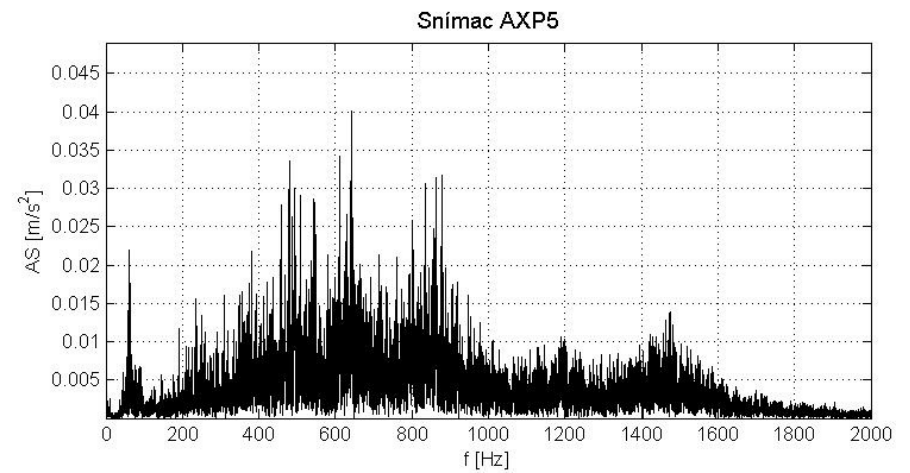
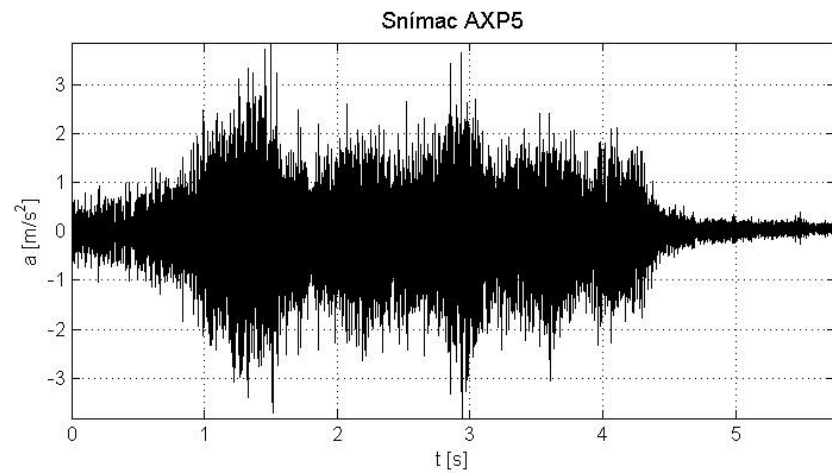
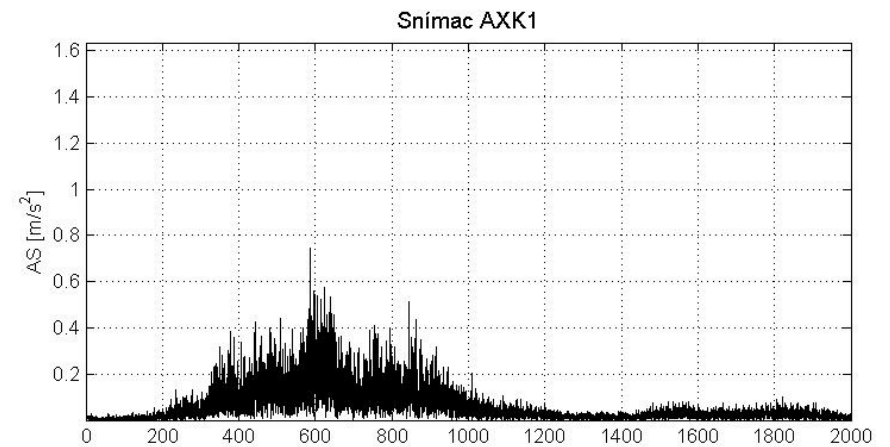
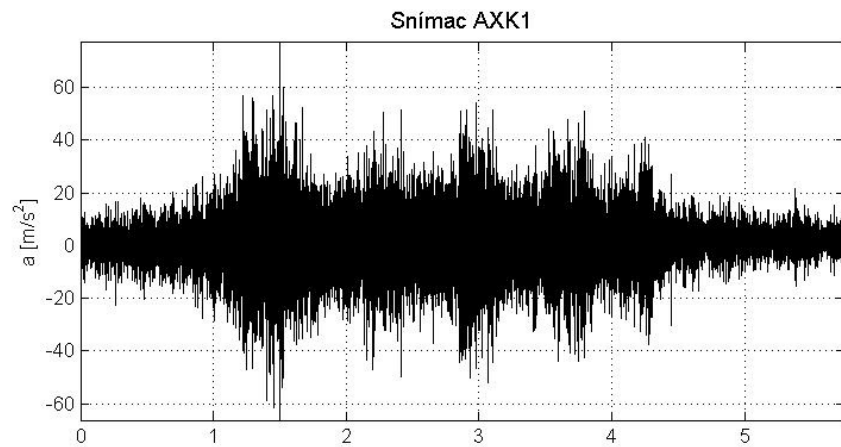
Graf D.85 SC Pendolino; lokomotíva 681; 7 vozňov;  $v = 155$  km/h; KSL; pozdĺžny smer



Graf D.86 SC Pendolino; lokomotíva 681; 7 vozňov;  $v = 155$  km/h; KSL; priečny smer

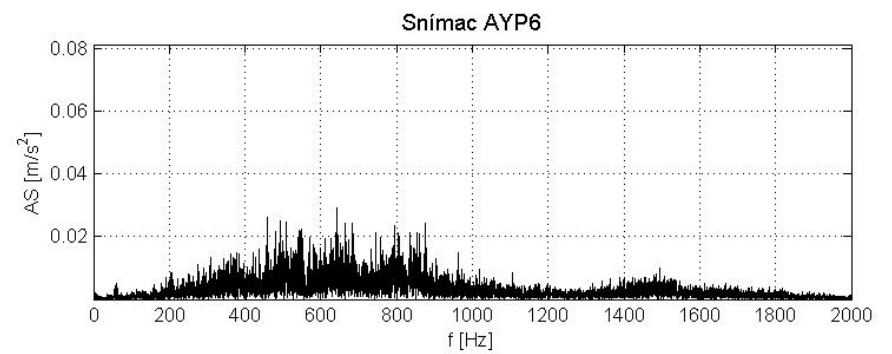
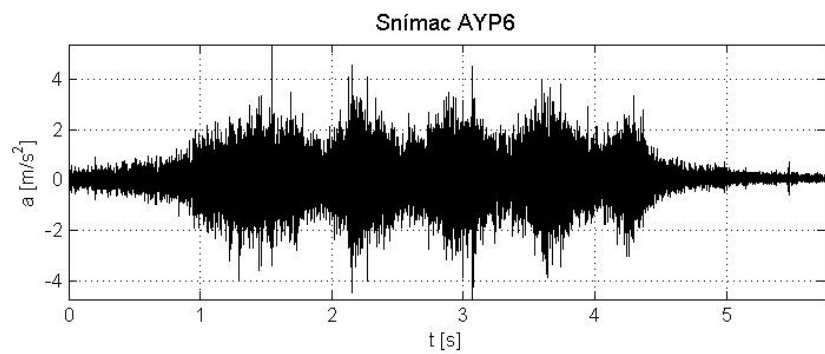
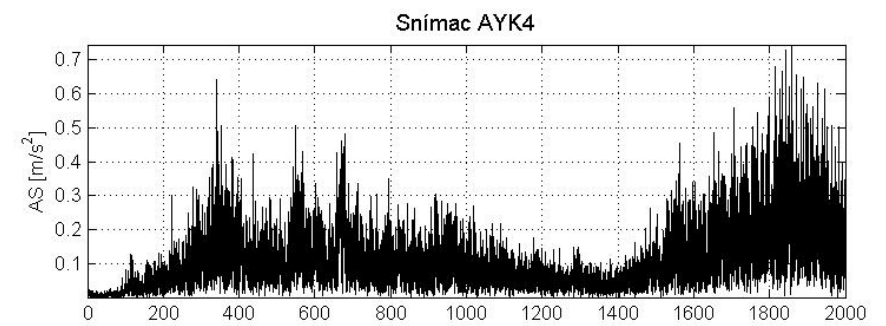
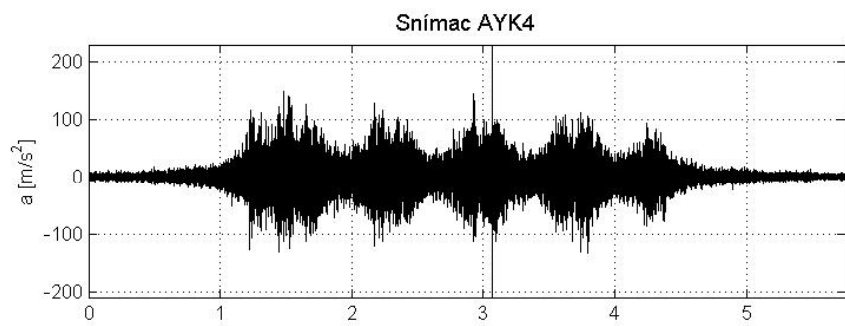
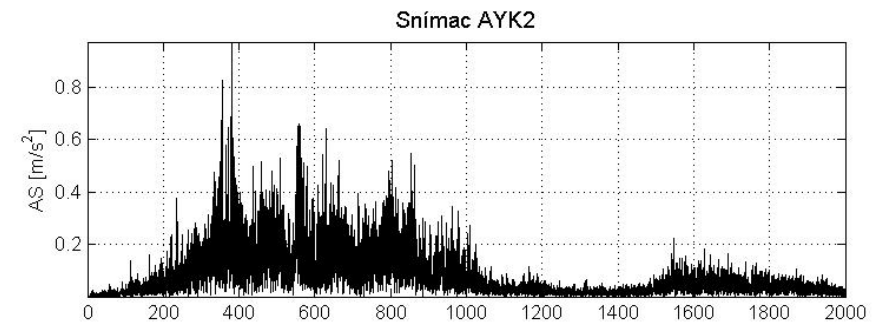
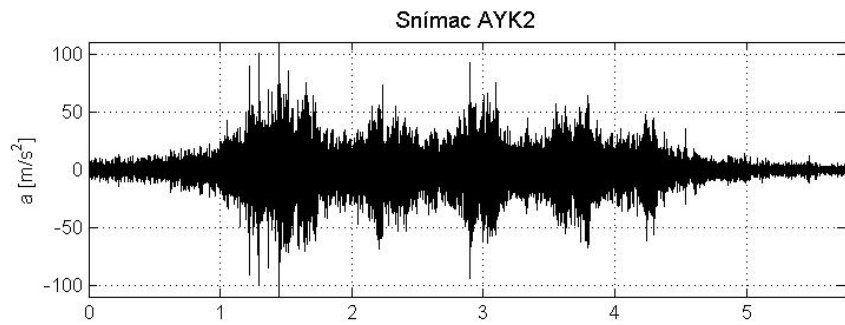


Graf D.87 SC Pendolino; lokomotíva 681; 7 vozňov; v = 155 km/h; KSL; zvislý smer

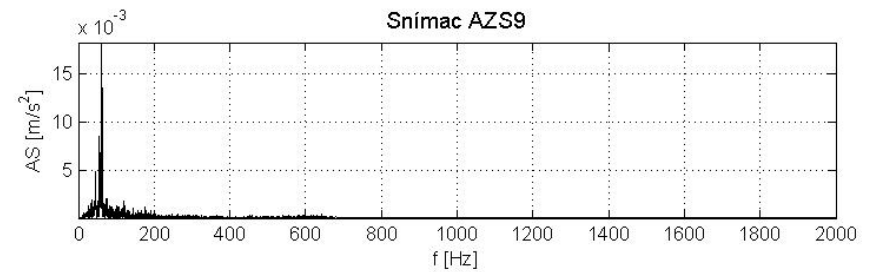
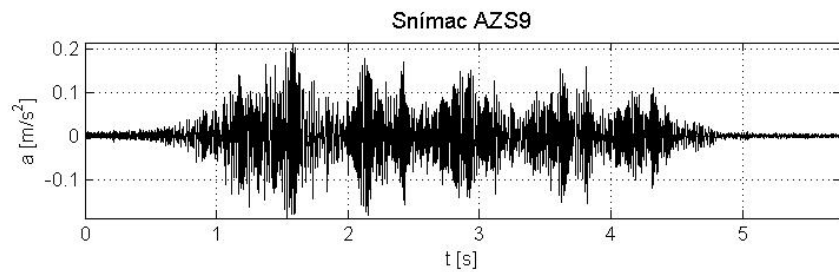
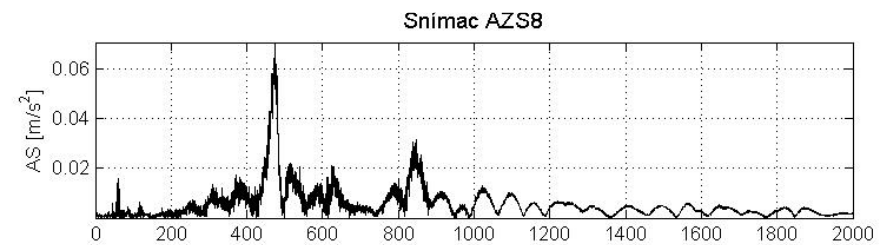
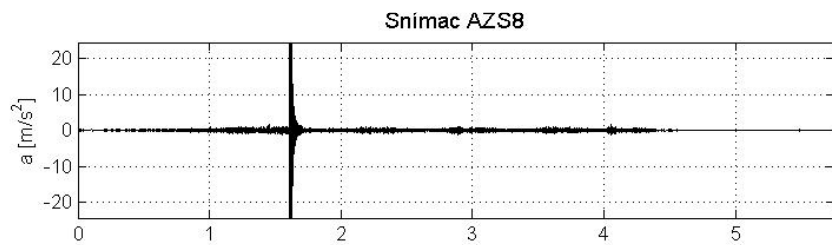
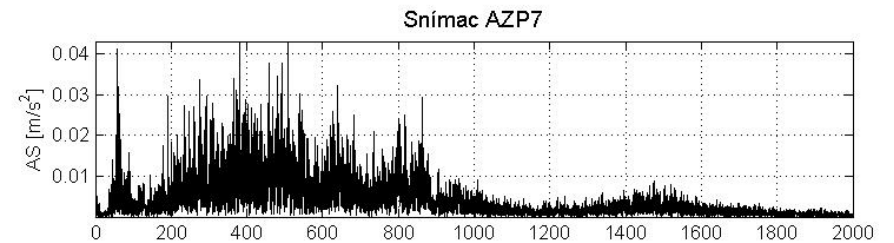
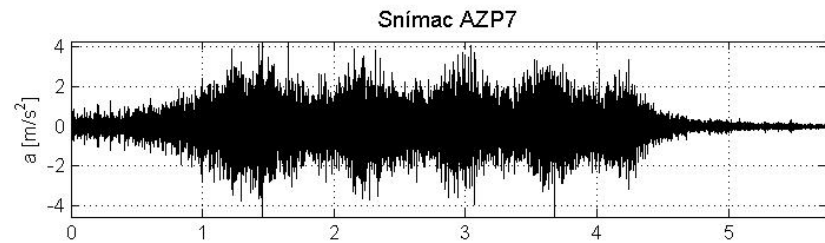
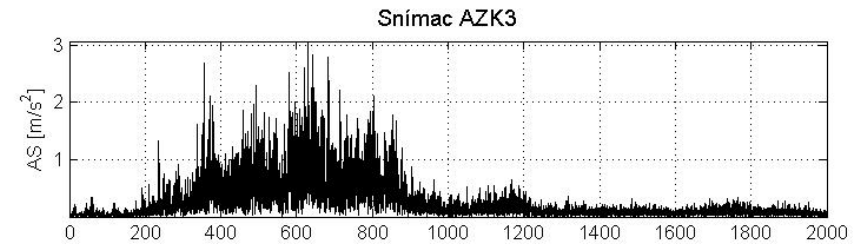
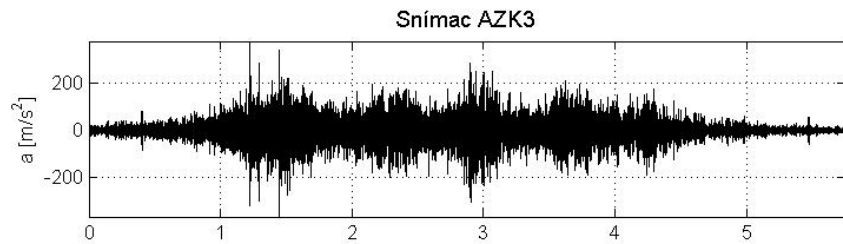


Graf D.88 Rýchlik; lokomotíva 151; 4 vozne;  $v = 127$  km/h; PJD; pozdĺžny smer





Graf D.89 Rýchlik; lokomotíva 151; 4 vozne;  $v = 127$  km/h; PJD; priečny smer



Graf D.90 Rýchlik; lokomotíva 151; 4 vozne;  $v = 127$  km/h; PJD; zvislý smer

