



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV ŽELEZNIČNÍCH KONSTRUKCÍ A STAVEB

INSTITUTE OF RAILWAY STRUCTURES AND CONSTRUCTIONS

MĚŘENÍ A ANALÝZA DYNAMICKÉHO
ZATÍŽENÍ PŮSOBÍCÍHO NA ŽELEZNIČNÍ
VÝHYBKY

THE MEASUREMENT AND ANALYSIS OF DYNAMIC LOAD APPLIED ON RAILWAY
SWITCHES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JITKA RŮŽKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Prof. Ing. JAROSLAV SMUTNÝ, Ph.D.

BRNO 2019



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav železničních konstrukcí a staveb

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Jitka Růžková
Název	Měření a analýza dynamického zatížení působícího na železniční výhybky
Vedoucí práce	prof. Ing. Jaroslav Smutný, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2018
Datum odevzdání	24. 5. 2019

V Brně dne 30. 11. 2018

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

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

- Jurda K., Drahoš M.: Železniční spodok a svršok I., II., Nadas 1988
- Vlasák J.: Výhybky a výhybková spojení, NADAS, 1983
- Smutný J., Pazdera L.: Železniční stavby – měřicí technika, VUT FAST, 1998, ISBN 80-214-0976-2
- Coenraad Esveld: Modern railway track, TU Delft, 2001, ISBN 90-800324-3-3
- Popp K., Schiehlen W.: System dynamics and long-term behaviour of railway vehicles, track and subgrade, Springer, ISBN 3540438920, 2002
- Moravčík M., Moravčík M.: Mechanika železničních tratí 3 – Experimentálna analýza namáhania a pretvorenia komponentov trate, EDIS, Žilina, 2002, ISBN 80-7100-985-7
- Plášek O., Zvěřina P., Svoboda R., Mockovčíak M.: Železniční stavby, Cerm, 2004, ISBN 80-214-2621-7
- Hodnocení dynamických účinků působících na výhybky, Certifikovaná metodika, Ministerstvo Dopravy - odbor kosmických aktivit a ITS, 124/2014-710-VV/1, 2014
- Vukušičová Daniela, Analýza dynamických účinků působících na železniční výhybky, diplomová práce, 2017

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Náplní bakalářské práce bude experimentální měření a analýza dynamických účinků od vlakových souprav působících na výhybky v rámci průjezdu. Měření se uskuteční na dvou vybraných konstrukcích výhybek. Součástí práce bude návrh zjednodušené metodiky měření a analýzy naměřených parametrů. K vyhodnocení naměřených dat bude studentkou zvolen vhodný matematický aparát. Předpokládá se využití matematických metod v časové a frekvenční oblasti. V rámci výstupů se předpokládá srovnání vybraných parametrů testovaných konstrukcí a doporučení pro praxi.

Doporučené přílohy:

- Rozbor současného stavu dané problematiky
- Popis metodiky měření dynamických parametrů
- Analýza měřených dat v časové oblasti
- Analýza měřených dat ve frekvenční oblasti
- Srovnání testovaných konstrukcí
- Závěry a doporučení

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání 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 bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá návrhem zjednodušené metodiky měření, aplikací této metodiky při reálném měření a vyhodnocením. Teoretická část obsahuje základní informace o dynamických účincích od rázů a vibrací. Dále je popsán postup měření dvou zkoumaných konstrukcí srdcovek stejného typu (srdcovka monoblok s povrchem zpevněným výbuchem) s rozdílným uložením (pružné a klasické). Praktická část obsahuje analýzu naměřených dat, která je provedena v časové a frekvenční oblasti. Cílem práce je ověření funkce pružného uložení srdcovky ve výhybce v porovnání s klasickým upevněním.

KLÍČOVÁ SLOVA

Dynamické účinky, metodika měření vibrací, pružné uložení, ráz dvojkolí, srdcovka, vibrace, výhybka

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with suggestion method to measurement, application this method of the real measurement and evaluation. The theoretical part contains basic informations about dynamic effects of wheel impacts and vibrations. The measurement procedur is described the two crossings of the same type constructions (monoblock crossing with the running surfaces explosive hardened) with different fastening (elastic rail fastening and fastening rail system). The practical part contains an analysis which is made in time and frequency. The point of thesis is verification of the function elastic fastening crossing in switches in comparison with rail fastening.

KEYWORDS

Dynamic effects, method of measurement vibrations, elastic fastening, wheel impact, crossing, vibrations, switch

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Jitka Růžková *Měření a analýza dynamického zatížení působícího na železniční výhybky*. Brno, 2019. 63 s., 103 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav železničních konstrukcí a staveb. Vedoucí práce prof. Ing. Jaroslav Smutný, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Měření a analýza dynamického zatížení působícího na železniční výhybky* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 22. 5. 2019

Jitka Růžková
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Měření a analýza dynamického zatížení působícího na železniční výhybky* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 22. 5. 2019

Jitka Růžková
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce prof. Ing. Jaroslavovi Smutnému, Ph.D. za cenné rady, zkušenosti, odborný dohled, ale hlavně za ochotu a čas strávený při konzultacích a při řešení problematiky této práce. Děkuji také za odbornou pomoc celému měřičskému kolektivu, který se se mnou podílel na měření v Ústí nad Orlicí, a tudíž na vzniku této práce.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

OBSAH

1	CÍLE PRÁCE	11
2	ÚVOD.....	12
2.1	Výhybkové konstrukce	12
2.1.1	Popis mechanismu průjezdu kola výhybkou	13
3	VIBRACE.....	16
3.1	Analýza signálu.....	16
3.2	Základní pojmy	18
3.2.1	Ráz.....	18
3.2.2	Mechanické vibrace.....	18
3.3	Charakteristické veličiny vibračních dějů a rázů	18
3.3.1	Veličiny časové analýzy	18
3.3.2	Výchylka, rychlost, zrychlení.....	19
3.3.3	Efektivní hodnoty rychlosti a zrychlení	20
3.3.4	Veličiny frekvenční analýzy.....	20
3.3.5	Frekvence	22
3.3.6	Perioda.....	22
3.3.7	Integrace veličin	22
4	MĚŘENÍ.....	23
4.1	Návrh metodiky měření	23
4.1.1	Vibrace	23
4.1.2	Schematické rozmístění akcelerometrů.....	25
4.1.3	Snímače zrychlení	26
4.1.4	Rychlost.....	30
4.1.5	Videozáznam	30
4.2	Popis měření v terénu	31
4.2.1	Popis lokality měření a konstrukce měřených výhybek	31
4.2.2	Popis upevnění výhybky č. 3 – zpružněná konstrukce.....	32
4.2.3	Popis upevnění výhybky č. 4 – referenční konstrukce	32
4.2.4	Popis měření	35

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

4.2.5	Protokol z měření	36
5	ANALÝZA NAMĚŘENÝCH SIGNÁLŮ	37
5.1	Vyhodnocení v časové oblasti	39
5.1.1	Maximální a minimální hodnoty vybrané skupiny vlaků	40
5.1.2	Efektivní hodnoty vybrané skupiny vlaků	43
5.1.3	Maximální, minimální, efektivní hodnoty osobního vlaku	45
5.2	Vyhodnocení ve frekvenční oblasti	46
5.2.1	Maximální amplitudové a frekvenční spektrum vybrané skupiny vlaků	46
5.2.2	Vyhodnocení podle grafických frekvenčních spekter vybrané skupiny vlaků	48
5.2.3	Osobní vlak	51
6	MAXIMÁLNÍ POKLESY PRAŽCŮ	54
6.1	Dvojná integrace	54
6.1.1	Vyhodnocení	55
7	ZÁVĚR A DOPORUČENÍ	56
8	SEZNAM LITERATURY	58
9	SEZNAM OBRÁZKŮ	61
10	SEZNAM TABULEK	61
11	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	62
12	SEZNAM PŘÍLOH	63

1 CÍLE PRÁCE

Před započítím bakalářské práce bude třeba provést rozsáhlou rešeršní práci, která bude zaměřena na danou problematiku tj. „Měření a analýzu dynamického zatížení působícího na železniční výhybky“ s konkrétním zaměřením na srdcovkovou část. Tato rešerše bude zahrnovat i mechanismus průjezdu dvojkolí srdcovkou a tím vyvolané dynamické účinky vibrací a rázů. Dynamické účinky vnášejí do konstrukce železničního svršku vibrační energii, která má řadu negativních důsledků.

Cílem práce bude definovat zjednodušenou metodiku měření, aplikovat ji při reálném měření v terénu a zhodnotit ji pro další využití. Dále navrhnout takovou metodiku, která bude poskytovat i přes užší rozsah sensorů důležité a plnohodnotné informace o měřených parametrech, podobně jako certifikovaná metodika [9], ale bude snazší a cenově příznivější. Neméně podstatným úkolem bude srovnat dvě konstrukce srdcovek, typ monoblok z manganové oceli a povrchem zpevněným výbuchem s různým typem upevnění, klasickým a zpružněným.

Pro přípravu měření bude potřeba nakreslit schémata, navrhnout vhodné termíny k měření a vytvořit plán jízd vlaků. K měření bude nutné vytipovat sadu dvou shodných měřících aparatur, které budou nakonfigurovány pro dané měření.

Je vhodné podotknout, že měření musí předcházet povolení od správního orgánu SŽDC s. o. a zaevidování u příslušné železniční stanice, neboť měření budou probíhat za plného provozu. Jakékoliv omezení, anebo výluka by znamenala zmařené měření.

V návaznosti na provedené měření bude nutné vybrat vhodný matematický aparát a vytvořit výstupy formou grafických a tabulkových příloh. V rámci hodnocení budou použita srovnání v časové a frekvenční oblasti.

Dalším výstupem práce bude ověření funkce a účinnosti pružného uložení srdcovky ve výhybce ve vztahu ke klasické konstrukci upevnění výhybek používaných v koridorových tratích. Toto vzorové měření bude sloužit jako podklad pro budoucí sledování dynamických veličin v čase. Na závěr bude srovnání a stanovení doporučení pro výrobce výhybek a pro správce tratě.

2 ÚVOD

Problematika dynamických účinků na výhybky je moderním mezioborovým tématem. Existuje mnoho metod měření především statická a dynamická. V průběhu předešlých let vznikla metodika pro hodnocení těchto měření: Certifikovaná metodika, Ministerstvo dopravy, hodnocení dynamických účinků působících na výhybky.

Narůstají požadavky na železniční trať v oblasti zvyšování zatížení, zřizování vysokorychlostních tratí, zvyšování rychlosti při provádění rekonstrukcí a všechny tyto aspekty vedou na potřebu vyvíjet nové konstrukce, technologie a ty kontrolovat a zkoumat. Zvyšováním rychlostí dochází k větším dynamickým účinkům. Z toho plyne nezbytnost provádět měření a vytvářet možnosti a prostor pro jejich využití v oblasti vědy a výzkumu. V neposlední řadě je snahou minimalizovat manuální práci v koleji především zvýšením životnosti jednotlivých součástí železničního svršku, spodku i samotných vozidel. Výše uvedené poznatky vedou k potřebě měření a diagnostiky konstrukcí a optimálního vyhodnocení, jež by vedlo k výsledkům a doporučením pro další optimalizace konstrukcí na železniční trati.

Z tohoto pohledu jsou v rámci železniční trati výhybky a její jednotlivé části nejslabšími články, ale nesmírně důležitými pro provoz.

2.1 Výhybkové konstrukce

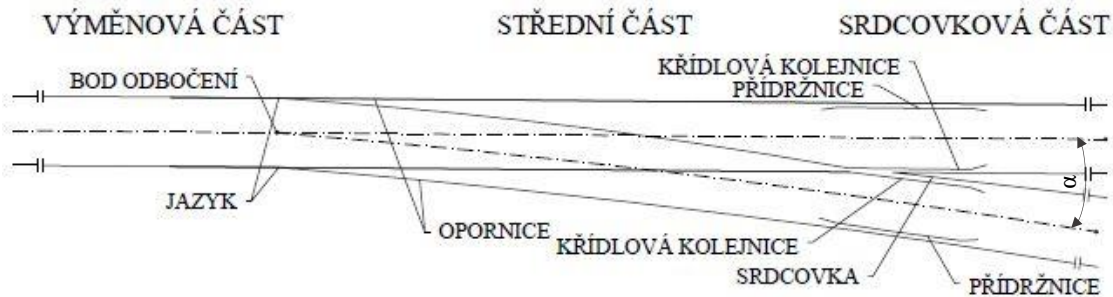
Železniční výhybky, křižovatky a podobné konstrukce patří k nejsložitějším konstrukcím, které se na železniční dopravní cestě nachází. Oproti běžné koleji jsou jejich mechanismy složitější, konstrukce jsou ohybově tužší, z důvodu většího obsahu pomocných prvků jako jsou jazyky, opornice, křídlové kolejnice, přídržnice a srdcovky.

Výhybka je konstrukce umožňující plynulý průjezd z jedné koleje do druhé bez přerušování jízdy vlakové soupravy. Jedná se o velmi důležitou konstrukci na dopravní cestě. Skládá se ze tří částí (viz obrázek 1 Schéma jednoduché výhybky) – z výměnové, střední a srdcovkové části.

Výměnová část zajišťuje odbočení vozidla. Ve výměnové části dochází k rozvětvení do dvou kolejí. Pojížděnou hranu tvoří dvě opornice a dva jazyky. Střední část je spojnicí mezi výměnovou a srdcovkovou částí. V srdcovce je umožněno překřížení kolejnic a definitivní oddělení kolejí do hlavní a vedlejší větve výhybky.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Srdcovka je nejvíce exponovanou částí především od dynamických rázů a od zatížení náprav železničních vozidel.



Obrázek 1 Schéma jednoduché výhybky

2.1.1 Popis mechanismu průjezdu kola výhybkou

Při přechodu vozidla z běžné koleje do výhybky dochází zároveň k přechodu do oblasti s vyšší tuhostí, což s sebou nese především při vyšších rychlostech, větší dynamické namáhání, které zapříčiňuje dřívější degradaci výhybky, tedy obvykle rozpad GPK, rychlejší opotřebení a častější výskyt vad jednotlivých prvků výhybky (zejména jazyků a srdcovek) [1]. Mechanismem průjezdu rozumíme vzájemné konstrukční a výškové uspořádání dvojkolí a kolejnic, které zajišťuje bezpečný, spolehlivý a plynulý pohyb přes výhybku.

Životnost, deformace a bezproblémový průjezd dvojkolí výhybkou závisí na mnoha parametrech. Především se jedná o:

- Kvalitu jednotlivých vstupních materiálů (kvalita konstrukce výhybky, kvalita jízdni plochy nákolku, kvalita šterkového lože) a technologická správnost a provedení (pláně tělesa železničního spodku, uložení výhybkových pražců, upevnění).
- Geometrické parametry koleje ve výhybce.
- Vozový park dopravce (odpružení náprav, zatížení na nápravu).
- Rychlost průjezdu.
- Konstrukci výhybky (typ srdcovky).

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

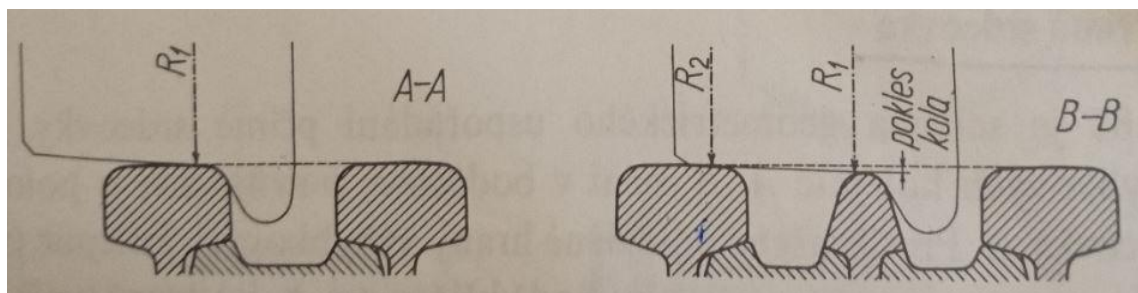


Obrázek 2 Rozdělení srdcovky v charakteristických řezech popisujících průjezd dvojkolí srdcovkou

Na obrázku 2 je zobrazena srdcovka s charakteristickými body pro popis mechanismu průjezdu. Body 1,2 jsou křídlové kolejnice, bod 3 srdcovka, 4,5 přídržnice. Průsečík prodloužených kolejnic z bodu a , b vytvoří matematický bod křížení, hrot srdcovky je od tohoto bodu cca 100 mm. Žlábků pro projetí okolku kola jsou dány vzdálenostmi pojížděných hran srdcovkového klínu 3. Nejmenší šířka žlábků je 44 mm [2].

Kolo se po kolejnici valí po největší oběžné kružnici až k bodu a . Od bodu a je pojížděná hrana přerušena po bod n , aby došlo k vjetí do správného žlábků a okolek nenarazil do hrotu, je druhé kolo nuceně vedeno přídržnicí 4,5. Kolo pokračuje v přímé jízdě po kolejnici I do místa řezu B-B' [2].

Poloměr se vlivem kuželovitého tvaru kola zmenšuje a kolo klesá (obrázek 3). Kolo najede na srdcovkový klín, který je výškově upraven pro plynulý nájezd a po šikmě pojížděné hraně se vrací do původní výšky. Rozdíl výšek je dán poloměrem oběžných kružnic, z nichž vyjde celkový pokles kola [2]. Tyto jevy způsobují v srdcovce rázy a z nich vznikající vibrace.



Obrázek 3 Schéma poklesu kola při přejezdu srdcovkou (obrázek převzat [7])

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

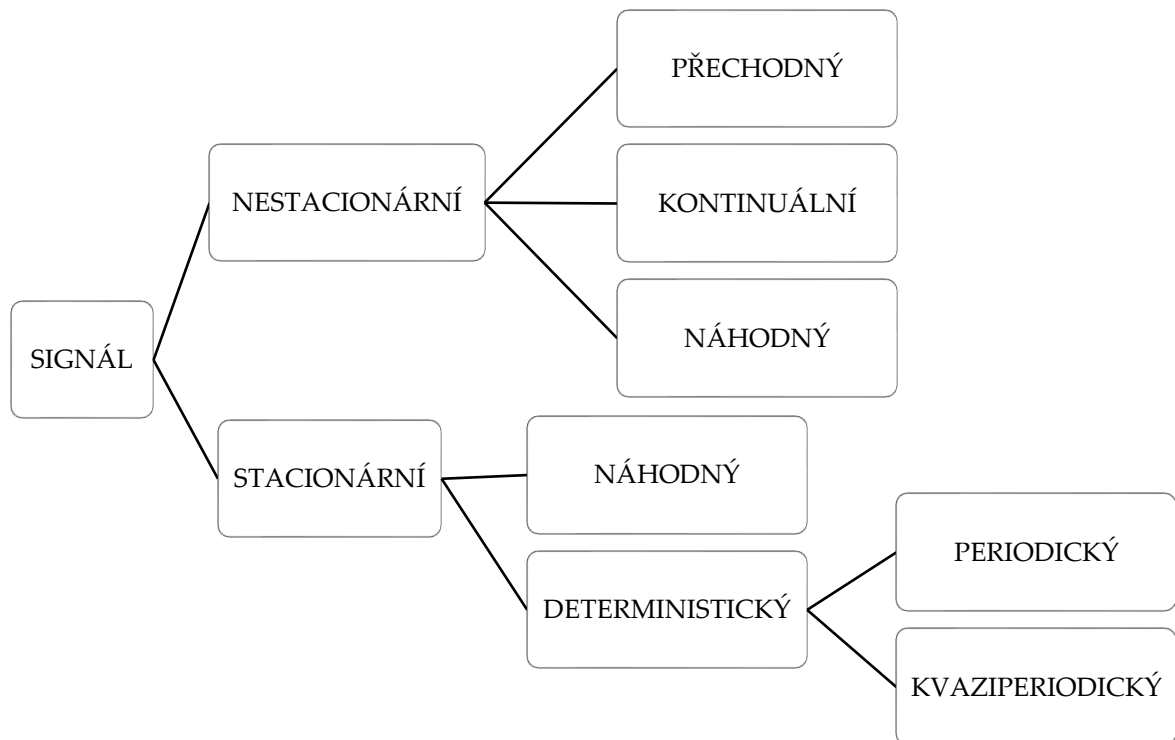
Z rešerše je patrná řada možností vyhodnocení a metod měření. Nejčastěji realizované jsou zkoušky a měření statické a dynamické odezvy konstrukce. Dynamická měření jsou pro danou problematiku vhodnější. Je důležité sledovat průběh a změny těchto parametrů v čase. Mezi nejběžnější metody měření patří: Měření posunů železničního svršku a částí svršku (např. poklesy pražců, poklesy roštu) silové působení (např. měření sil od železničního vozidla na kolejový rošt), měření tlaků na pláni tělesa železničního spodku, poměrné přetvoření, kmitání od kol a vliv šíření vibrací aj.

3 VIBRACE

Naměřené hodnoty zrychlení vibrací mohou mít různou skladbu a průběh. Pro správnost vyhodnocení je důležité posoudit a správně zařadit samotný signál získaný ze snímačů.

3.1 Analýza signálu

Při vyhodnocení signálu hraje podstatnou roli zjištění průběhu a skladby spektra. Základní dělení signálu na obrázku 4.



Obrázek 4 Zobrazení signálu, upraveno z [5]

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Naměřené signály mají především charakter nestacionárního signálu, popřípadě přechodového signálu, které je nezbytné analyzovat vhodnými metodami.

Analýzu lze provést:

- V časové rovině.
- Ve frekvenční rovině.
- V časově-frekvenční rovině.

Základem analýzy je zpracování dat v časové oblasti. Jedná se především o maximální, minimální a efektivní hodnoty. Dále se jedná o zobrazení frekvenční oblasti, kterým je možné zjistit další důležité jevy a děje v amplitudových spektrech. Ještě podrobnější popis lze získat hodnocením v časově-frekvenční rovině.

V současné době probíhají téměř všechna měření digitálně. Aby bylo možné signál zpracovat, je nezbytné, zvolit vhodné vzorkování. Vzorkováním signálu se mění spojitý signál na posloupnost hodnot a spočívá v diskretizaci hodnot v časových intervalech Δt . Volba časového intervalu pro vzorkování může být různá.

Používá se periodického vzorkování, pro interval mezi dvěma signály s konstantním průběhem [3]. Vztah vzorkovací frekvence f_{vz} je

$$f_{vz} = \frac{1}{\Delta t} \quad (1)$$

Aby byla zachována možnost rekonstrukce měřených dat do původní spojitě podoby, je nutno dodržet Shannonův-Kotělníkův teorém. Z teorému plyne, že vzorkovací frekvence f_{vz} musí být alespoň dvakrát větší, než je největší harmonická složka zastoupená v měřeném signálu, f_{vz} je vzorkovací frekvence f_{max} je maximální frekvenční složka v signálu [3].

$$f_{vz} \geq 2 f_{max} \quad (2)$$

Správně zvolená vzorkovací frekvence je základním předpokladem zjištění korektních informací o naměřených jevech. V případě nevhodně zvolené vzorkovací frekvence může dojít ke zkreslení signálu (aliasing), jež se snažíme eliminovat použitím filtrů.

3.2 Základní pojmy

3.2.1 Ráz

Je druh vibrace, ke kterému dochází vybušením velkou silou, která má za následek výkmit amplitudy, která se rychle utlumí, příp. se část energie přeměněná na vibrace šíří konstrukcí. Kmit dosáhne velmi rychle maxima a v důsledku působení vnitřních a působením vnějších sil v konstrukci je často utlumen. Rychlost útlumu závisí na druhu materiálu konstrukce i upevnění.

Příkladem rázu je jev zkoumaný při průjezdu kola výhybkou přes srdcovkou. Kolo je vedeno po kolejnici, pohybuje se a při přejezdu na srdcovku, dojde k nárazu, který vybudí velkou energii v srdcovce. Kolo pokračuje přes srdcovku, po křídlové kolejnici, přičemž dochází k útlumu energie až téměř vymizí a kolo projede srdcovkou výhybkou.

3.2.2 Mechanické vibrace

Mechanické vibrace vznikají vlivem pohybu částí, které mají určitou výrobní nepřesnost příp. drsnost. Jedná se o velmi malé hodnoty kmitání, dal by se použít výraz chvění. Chvění mechanických soustav je soustředěno ve frekvenčním pásmu 10–10kHz [3]. Příkladem vibrací je namáhání, které vzniká na styku kola a hlavy kolejnice. Vlivem drsnosti obou povrchů vzniká energie, která rozvibruje kolo a tyto vibrace se šíří konstrukcí.

3.3 Charakteristické veličiny vibračních dějů a rázů

3.3.1 Veličiny časové analýzy

Časová analýza je jedna z možností zpracování a vyhodnocení měřeného signálu. V časové rovině zobrazujeme popisem průběhu naměřené veličiny. Důležitými parametry jsou globální maxima, globální minima a efektivní hodnota (RMS) [4].

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

- Globální maximum / minimum. Jedná se o největší kladnou nebo zápornou hodnotou v celém zkoumaném intervalu.
- Efektivní hodnota-RMS (Root Mean Square). Popisuje energii signálu, která nahrazuje časový průběh vibrací, a také je ukazatelem škodlivosti vibrací.

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt} \quad (3)$$

3.3.2 Výchylka, rychlost, zrychlení

Výchylka eventuálně amplituda výchylky je největší dosažená hodnota jednoho kmitu v závislosti na čase. Výchylku u a její velikost lze získat dle vztahu (4).

$$u(t) = u_{max} \sin\left(2\pi \frac{t}{T}\right) = u_{max} \sin(\omega t) \quad (4)$$

Rychlost je veličina proměnná v závislosti na čase a určit ji lze jako derivaci výchylky podle času.

$$v = \frac{du}{dt} = \omega u_{max} \cos(\omega t) \quad (5)$$

Derivací rychlosti kmitání podle času, dostaneme zrychlení a .

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2u}{dt^2} = -\omega^2 u_{max} \sin(\omega t) \quad (6)$$

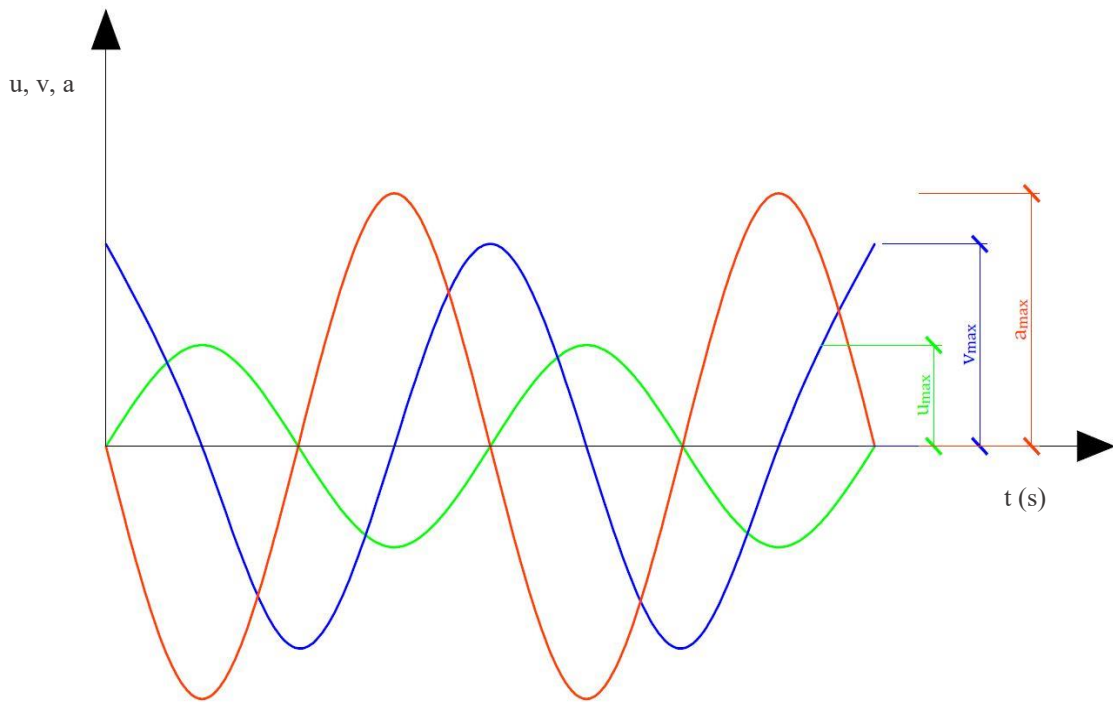
Z obrázku 5 je zřejmý vzájemný fázový posun o $\frac{\pi}{2}$ mezi studovanými veličinami. Výše uvedené veličiny jsou základními charakteristikami vlnění. Dalšími důležitými hodnotami jsou vrcholové veličiny tzn. u_{max} , v_{max} , a_{max} , anebo efektivní hodnoty.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

3.3.3 Efektivní hodnoty rychlosti a zrychlení

V rámci měření se doporučuje měřit efektivní hodnoty zrychlení a pomocí přepočtu zjistit efektivní hodnoty rychlosti. Jedná se o parametry určené k analýze vibrací a rázů. [4]

$$v_{ef} = \frac{v_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{\omega u_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{a_{max}}{\omega} = \frac{a_{ef}}{\omega} \quad (7)$$



Obrázek 5 Zobrazení závislosti parametrů výchylky, rychlosti a zrychlení

3.3.4 Veličiny frekvenční analýzy

Pro analýzu signálu naskládaného ze sinových a cosinových křivek tvořících periodické neharmonické vlny s konečnou délkou se používá jako základní metoda frekvenční analýza. Frekvenční analýza je založena na matematické kombinaci určitého počtu čistě harmonických průběhů. [5]

$$f(t) = X_0 + X_1 \sin(\omega t + \varphi_1) + X_2 \sin(\omega t + \varphi_2) + \dots + X_n \sin(\omega t + \varphi_n) \quad (8)$$

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Nejčastěji používaným aparátem frekvenční analýzy je přímá Fourierova transformace dle následujícího vztahu.

$$F(f) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i2\pi ft} dt \quad (9)$$

$$f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(f)e^{i2\pi ft} df \quad (10)$$

$F(f)$ Fourierův integrál

$f(t)$ fourierovský obraz funkce

$i = \sqrt{-1}$

t čas

Fourierova transformace může být definována v jiné literatuře, například [6] i jinými vztahy. V případě diskretních dat lze použít vzorec v diskretním tvaru v němž je integrál nahrazen sumou [7].

$$X_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} e^{-\frac{i2\pi nk}{N}} \quad (11)$$

$$k = 0, 1, 2, \dots, N - 1$$

Jistá nevýhoda Fourierovy transformace spočívá v její nekonečné řadě. V přechodových částech signálu, může tento výstup vykazovat jistou nepřesnost a vykazovat chyby frekvenčního spektra, a to především v místech vyseknutí signálu podle zvoleného časového obdélníkového okna. Toto lze eliminovat výběrem vhodnější křivky jako je Gaussova křivka, Hanningovo okno, Flat Top [8], anebo lichoběžníkové okno. Tyto křivky mají v místě přechodu signálu pozvolnější náběh, a proto jsou výsledky přesnější, ale náročnější na zpracování.

3.3.5 Frekvence

Frekvencí se rozumí počet opakování mechanického vlnění za čas. Značí se f a jednotkou dle SI je Hz (hertz). Frekvenci vypočteme dle vztahu závislého na periodě.

$$f = \frac{1}{T} \quad (12)$$

Frekvence kruhového pohybu

$$\omega = 2\pi f. \quad (13)$$

3.3.6 Perioda

Perioda udává dobu jednoho cyklicky opakujícího se kmitu.

$$T = \frac{1}{f} \quad (14)$$

3.3.7 Integrace veličin

Ze vztahů (4), (5) a (6) plyne závislost mezi výchylkou, rychlostí a zrychlením. Přejít od vibrací ve zrychlení k vibracím v rychlosti vyžaduje integraci. Integrace může být provedena z výchozího časového signálu v časové oblasti. V časové oblasti se využívá běžně obdélníkového nebo lichoběžníkového pravidla, existují však i další metody. Integrace může být efektivně provedena i ve frekvenční rovině, a to násobením Fourierova obrazu hodnotou $\frac{1}{\omega}$, ω představuje úhlovou frekvenci odpovídající konstantě $2\pi f$ viz (13).

Vibrace ve výchylce lze získat ze signálu dvojnou integrací, tj. přenásobením hodnotou $\frac{1}{\omega^2}$ [8].

4 MĚŘENÍ

4.1 Návrh metodiky měření

Z rešerše je evidentní řada užívaných metod měření nejen v ČR, ale i ve světě. Nejčastěji realizovaná jsou statická a dynamická měření. Dynamická měření jsou pro danou problematiku vhodnější. Z hlediska sledování průběhu a změn těchto parametrů v čase a jejich možné porovnání a sledování vývoje v čase. Mezi nejběžnější metody měření patří: Měření posunů svršků a jednotlivých částí svršku (např. poklesy pražců, poklesy roštu), silové působení (např. měření sil od železničního vozidla na kolejový rošt), měření tlaků na pláni tělesa železničního spodku, poměrné přetvoření, kmitání od kol a šíření vibrací a vliv těchto účinků aj.

Od tohoto měření jsem očekávala rychlost, jednoduchost a dostatečnou komplexnost o šíření vibrací od rázů na srdcovce. Vzhledem k této potřebě měření jsem zvolila k analýze dynamických účinků měření zrychlení vibrací.

4.1.1 Vibrace

Na základě získaných informací o chování výhybky a problematiky mechanismu průjezdu kola přes srdcovku, bylo nutné zvolit vhodná místa pro umístění čidel. Základním předpokladem navržené metodiky bylo srovnání funkce pružného upevnění a vyhodnocení jednodušší varianty měření, než je certifikovaná metodika [9].

Vybranou konstrukcí pro měření a zkoumání dynamických účinků byla srdcovka. Při průjezdu kola vlakové soupravy dochází v srdcovce k rázům a vibracím. Roznos zatížení probíhá přes kolo, do srdcovky, do pružného upevnění, v němž dochází k částečnému utlumení vibrace v pružné podložce. Část vibrací se šíří a pokračuje přes pražec do šterkového lože. Energie vzniklá v důsledku rázu a drsností na povrchu kola-kolejnice, má za následek vnášení vibrací do kolejového lože a celé konstrukce železničního svršku.

V kolejovém loži dochází k rozkmitání zrn šterku a vede k jeho obrušování. Vlivem obrušování dochází k zanášení kolejového lože, ke snižování únosnosti a rovněž ke zhoršení podepření konstrukce srdcovky na kontaktu pražec–šterk. Toto vše může vést

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

k nesprávnému vedení kola po křídlové kolejnici a může urychlit stárnutí, degradaci materiálu v konstrukci a rozpad GPK.

Navržená metodika vycházela z hypotéz o šíření vibrací v srdcovce. Vibrace se šíří od zdroje do konstrukce podélným a svislým směrem. Zároveň jsou vibrace vneseny do srdcovky polohou vjezdu dvojkolí příčné vibrace v závislosti na sinusoidovém pohybu dvojkolí v koleji. Pro zachycení popisu šíření vibrací byly zvoleny piezoelektrické snímače zrychlení.

Piezoelektrické snímače patří k nejčastěji používaným snímačům pro tato měření. Předností těchto snímačů je stabilita, široký rozsah frekvence a nezávislost na zdroji napájení. Více o použitých snímačích a jejich parametry podkapitola 4.1.3.

Umístění akcelerometrů bylo navrženo na patu křídlové kolejnice, na pražec a do šterkového lože. Na patu křídlové kolejnice byl navržen snímač trojosý, který umožňoval sledovat dynamický ráz způsobený na hrot srdcovky ve svislém směru, přeneseném na patu křídlové kolejnice.

V podélném a v příčném směru zaznamenal vibrace způsobené a popisující pohybovými vlastnosti. Pohyb dvojkolí je popisován jako sinusoida a při vjezdu do srdcovky má vliv na velikost bočního rázu fáze pohybu, v které dvojkolí vjede do srdcovky. Následujícím zkoumaným místem byl přechod z paty kolejnice na pražec. Pro zachycení vibrací byl použit snímač jednoosý a obdobně i pro šíření vibrací ve šterkovém loži. Pro měření vibrací ve šterkovém loži byla použita alternativní metoda měření za pomoci ocelové tyče, plnící funkci vlnovodu.

Výše popsané rozmístění snímačů bylo použito pro měření na obou srdcovkách, aby bylo možné srovnání konstrukcí

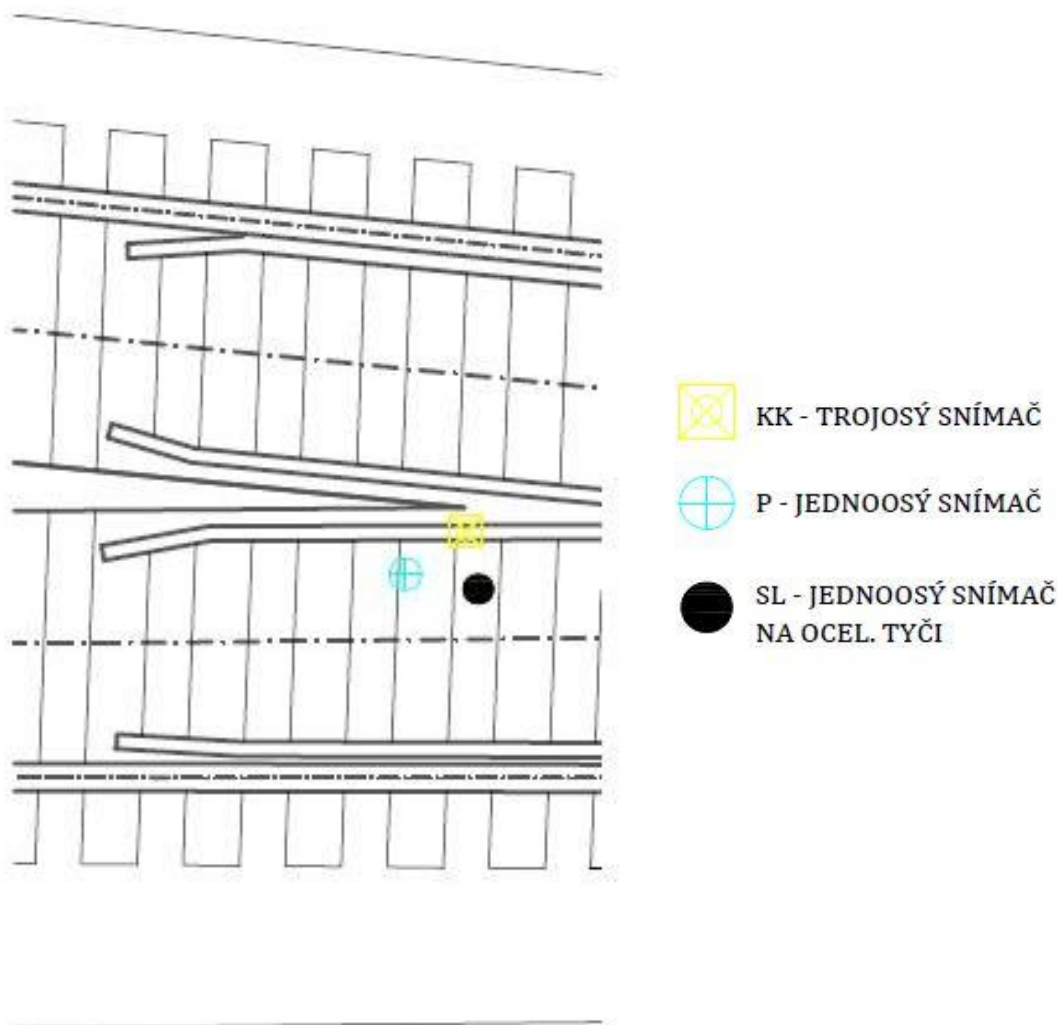
Tabulka č. 4.1.1-1: Rekapitulace navržené metodiky měření

Poloha	Ozn.	Výhybka č. 3	Výhybka č. 4
Pata kolejnice	KK	Trojosý akcelerometr – 1×	Trojosý akcelerometr – 1×
Pražec VPS	P	Jednoosý akcelerometr – 1×	Jednoosý akcelerometr – 1×
Vlnovod	SL	Jednoosý akcelerometr – 1×	Jednoosý akcelerometr – 1×

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

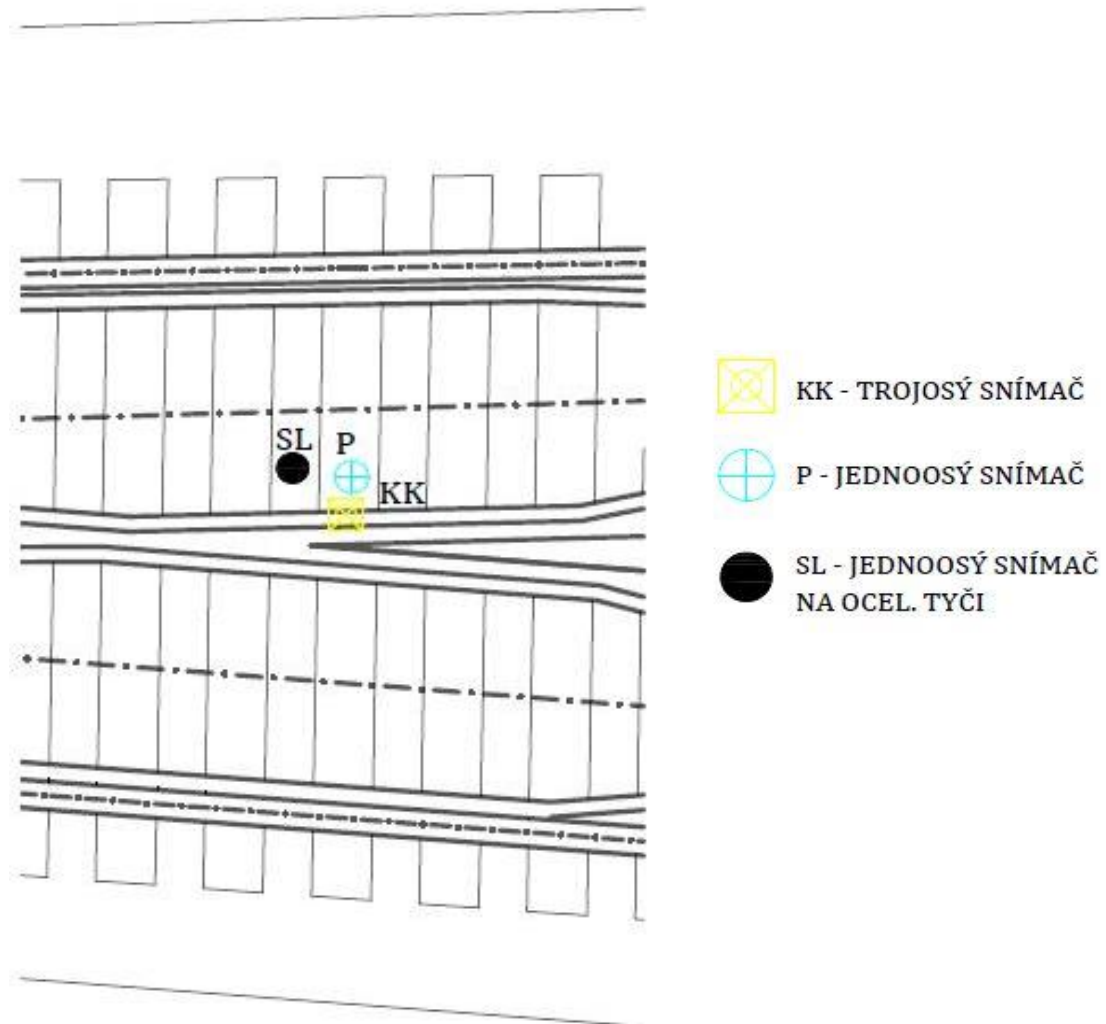
4.1.2 Schematické rozmístění akcelerometrů

SRDCOVKA VÝHYBKY č. 3



Obrázek 6 Schéma s rozmístěním snímačů ve výhybce č. 3

SRDCOVKA VÝHYBKY č. 4



Obrázek 7 Schéma s rozmístěním snímačů ve výhybce č. 4

4.1.3 Snímače zrychlení

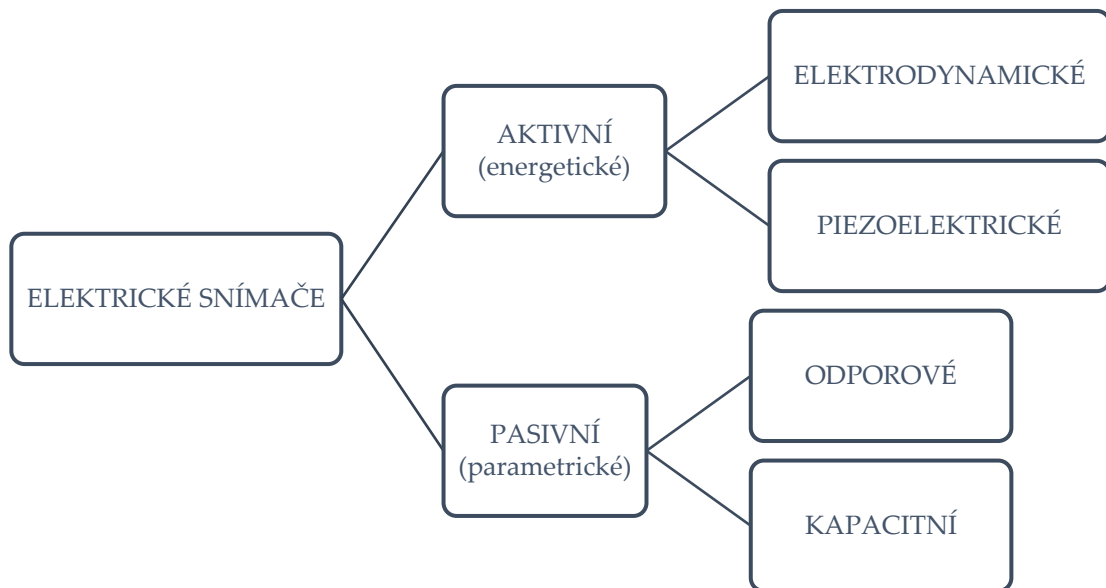
Pro měření vibrací existuje mnoho druhů snímačů. Každý má své výhody a nevýhody. Pro přehled jsem uvedla jednoduché dělení snímačů používaných pro převod neelektrické veličiny na elektrický signál vycházející z [5].

Mezi nejčastěji používané snímače, pro měření zrychlení od průjezdu vlaků, patří piezoelektrické snímače. Piezoelektrické snímače byly instalovány a použity i při tomto měření. Fungují na principu hmoty s pružinou. Charakteristickou veličinou je citlivost,

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

kteřá je dána poměrem absolutní výstupní hodnoty napětí [mV], anebo náboje [pC] k absolutní hodnotě výstupní veličiny zrychlení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$].

Piezoelektrický materiál má velkou tuhost a zastává funkci pružiny. Funkci hmoty reprezentuje zatěžující materiál [3]. Princip spočívá ve vygenerování náboje piezoelektrickým materiálem, úměrně k mechanickému namáhání vznikajícím působícím zrychlením.



Obrázek 8 Dělení snímačů zrychlení, upraveno z [5]

Výhodou piezoelektrických snímačů je:

- malá hmotnost,
- stabilita,
- široký rozsah frekvence,
- nezávislost na zdroji napájení.

Nevýhodou snímačů je:

- nízká úroveň výstupního signálu a nutná impedance. [5]

Snímače se upevňují speciálními šrouby na rovný hladký povrch pro dosažení nejlepších výsledků. Používá se i tenká vrstva včelího vosku, která je ovšem omezená svým použitím teplotou do 40 °C. Mohou být použity i magnety, s jistou nevýhodou snížení rezonančního kmitočtu snímače [3].

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Další alternativou k upevnění podložek pro umístění snímačů jsou kyanoakryláty (rychletvrdnoucí lepidla), které byly použity i při měření.

4.1.3.1 Parametry použitých snímačů

Snímač Brüel&Kjær ozn. B&K 4507 B 001

Jednoosý snímač, byl použitý při měření celkem 4×. Snímače byly umístěny do podložek UA 1475 a k podkladu připevněny pomocí kyanoakrylátu.

Tabulka č. 4.1.3.1-1: Údaje od výrobce [10]:

Frequency range	0.1–6000 Hz
Temperature	-54–121 °C
Weight	4.8 gram
Sensitivity	1 mV/ m·s ⁻²
Residual Noise Level in Spec Freq Range (rms)±	800 µg
Maximum Operational Level (peak)	700 g
Electrical connector	10-32 UNF
Mounting	Clip Adhesive
Clip/Stud/Screw included	Clip
Output	CCLD
TEDS	Yes
Applications	Modal
Unit	mV
Resonance frequency	18 kHz
Maximum Shock Level (± peak)	5000 g

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Snímač Brüel&Kjær ozn. B&K 4524 B 001

Trojosý snímač, byl použit při měření celkem 2×. Umístěný byl v podložce UA 1475 připevněné kyanoakryláty k patě křídlové kolejnice.

Tabulka č. 4.1.3.1-2: Údaje od výrobce [11]:

Frequency range	0.25 – 3000 Hz
Temperature	-54–100 °C
Weight	4.4 gram
Sensitivity	10 mV/g
Residual Noise Level in Spec Freq Range (rms) ±	500 µg
Maximum Operational Level (peak)	500 g
Electrical connector	4pin
Mounting	Clip Adhesive
Clip/Stud/Screw included	Mounting Clip
Output	CCLD
TEDS	Yes
Applications	Modal, Human Vibration, Vibration Test
Unit	mV
Resonance frequency	9 kHz
Maximum Shock Level (± peak)	5000 g

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

4.1.4 Rychlost

Rychlost průjezdu vlakových souprav byla měřena za použití ručního radaru Buschnell Velocity. Rychlost byla zaznamenána do připraveného protokolu, spolu s dalšími důležitými údaji, který je v příloze A.3. Záznamy z měření na jednotlivých srdcovkách jsou v přílohách A.4, A.5 bakalářské práce.

4.1.5 Videozáznam

Nezbytným zařízením při měření byly kamery, které poskytly videozáznamy pro zpětné určení typu lokomotivy, počtu souprav, příp. další důležité informace z měření, přínosné při vyhodnocení. Videozáznam byl spuštěn spolu s měřením zrychlení vibrací ručně pro každou projíždějící vlakovou soupravu zvlášť.

4.2 Popis měření v terénu

Měření dynamických účinků na železničních výhybkách proběhlo se souhlasem SŽDC dne 08.03.2019. Měření se uskutečnilo po výměně srdcovek na nových konstrukcích srdcovek z manganové oceli zpevněné výbuchem označení ZPTZ [12] za účelem zjištění stavu, aplikace zjednodušené metodiky měření a zhodnocení. Měření probíhalo na obou výhybkách současně, podmínky pro měření byly pro obě měřené konstrukce shodné.

4.2.1 Popis lokality měření a konstrukce měřených výhybek

Výhybky č. 3 a 4 se nachází na třebovském zhlaví železniční stanice Ústí nad Orlicí na trati I. tranzitního koridoru. Tento úsek ve staničení km 255,5–255,6 je zkušebním úsekem pro zpružněné uložení výhybek a pro podpražcové podložky. Obě konstrukce jsou ve vysokém náspu z jedné strany chráněny protihlukovou stěnou.

Výhybky jsou tvaru J60 1:12/500, p, b. Hlavní směr výhybek je veden přímou větví a tvoří konstrukci jednoduché kolejové spojky (JKS). Výhybky jsou uloženy na výhybkových předpjatých betonových pražcích VPS.

Výhybka č. 3 v koleji č.1 má na rozdíl od výhybky č. 4 zpružnění v místě kluzných stoliček a podkladnic pod srdcovkou.



Obrázek 9 Schéma jednoduché kolejové spojky ve zkušebním úseku

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

4.2.2 Popis upevnění výhybky č. 3 – zpružněná konstrukce

- kolejnice 60 E2 / srdcovkový klín
- žebrová podkladnice UNO s kapsou pro pružnou podložku UNO tl. 8 mm
- ocelová roznášecí deska
- svěrka Skl 24 VOSSLOH
- pružná podložka pod srdcovkou
- výhybkový pražec VPS [1]



Obrázek 10 Pohled na upevnění ve výhybce č. 3

4.2.3 Popis upevnění výhybky č. 4 – referenční konstrukce

Níže uvedené upevnění výhybky č. 4, patří k nejčastěji používané konstrukci na koridorových tratích ve výhybkách.

- kolejnice 60 E2 / srdcovkový klín
- žebrová podkladnice
- svěrka Skl 24 VOSSLOH
- pružná podložka pod srdcovkou
- výhybkový pražec VPS



Obrázek 11 Pohled na upevnění ve výhybce č. 4

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Obrázek 12 Pohled na srdcovku výhybky č. 3

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Obrázek 13 Pohled do železniční stanice na srdcovku výhybky č. 4

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

4.2.4 Popis měření

S ohledem na povahu měření bylo třeba vytvořit tým minimálně 4 pracovníků. Samotnou přípravu měření jsem předem naplánovala, aby na místě nedocházelo k prodlevám a příprava stanovišť a aparatury byla koordinovaná.

Po příjezdu ke zkušebnímu úseku v Ústí nad Orlicí byl vysílačkami navázán kontakt s Centrálním dispečerským pracovištěm (dále CDP) v Praze, odkud byly s předstihem hlášeny příjezdy vlaků do měřeného úseku, čímž byla zajištěna bezpečnost a informovanost pracovníků. Po navázání spojení pomocí vysílačky a oznámení vstupu do kolejiště, začala příprava stanovišť.

Příprava měřicích stanovišť musela být rychlá a jasná především z důvodu bezpečnosti vzhledem k pohybu osob v kolejišti za provozu na trati. Stanoviště pro měřicí aparaturu byla umístěna v blízkosti hrotů srdcovek výhybek č. 3 a 4. Dle schémat byla připravena místa k umístění čidel na konstrukcích. Nejnebezpečnějším úkonem byla aplikace vlnovodu pro měření vibrací ve šterkovém loži. Jednoosý akcelerometr byl umístěn v podložce na hlavě vlnovodu zatlučeného do hloubky přibližně 0,7 m v mezipražcovém prostoru. Paty kolejnic byly očištěny smirkovými papíry pro docílení hladšího povrchu a lepší přilnavosti lepidla k připevnění podložek UA 1475 pro trojosé akcelerometry. Podložky byly připevněny pomocí kyanoakrylátu a čidla byla umístěna dle schémat, ve správné orientaci. Čidla se propojila s měřicími moduly (BK 3050-A-060, s.n. 3050–106720, BK 3053-A-120, s.n. 3053–106703) a vyzkoušela se jejich funkčnost.

Každé pracoviště obsluhovali dva spolupracovníci. První měřil rychlost vlaků pomocí ručního radaru Buschnell Velocity a zapisoval ji do protokolu spolu s údaji o lokomotivě a zároveň udržoval kontakt s CDP. Druhý zapínal na notebooku záznam měření a videokameru.

Je vhodné podotknout, že měřicí řetězec na obou stanicích byl před a po měření kalibrován.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Parametry pro měření dynamických účinků:

- Vzorkovací frekvence: 16 kHz
- Dolní propust: 6,4 kHz
- Horní propust: 0,7 Hz
- Počet měřících kanálů: 5
- Počet měřících aparatur: 2

Měřeny byly všechny vlaky, které v danou dobu úsekem projížděly. Celkem bylo změřeno 52 železničních vozidel. Na srdcovce ve výhybce č. 3 bylo změřeno 28 vlaků a v srdcovce ve výhybce č. 4 to bylo 24 vlaků.

Pro finální vyhodnocení a srovnání byly vybrány nejpříhodnější typy vlakových souprav. Z pohledu vyhodnocení dynamických účinků se jako nejvhodnější jeví soupravy lehkých ucelených jednotek, projíždějící zkušebním úsekem rychlostmi okolo $130 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Dále těžké lokomotivy rychlíkových souprav z důvodu ověření vlivu hmotnosti v kombinaci s vyššími rychlostmi. Vybrané vozy musely projíždět oběma směry, a to nejlépe rychlostí s rozdílem do $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. V případě splnění výše uvedených podmínek byly do vyhodnocení zahrnuty i další vlakové soupravy.

4.2.5 Protokol z měření

Výstupem z měření ve zkušebním úseku Ústí nad Orlicí je protokol, který je přílohou A.3 bakalářské práce, včetně záznamů měření na jednotlivých výhybkách A.4 a A.5.

5 ANALÝZA NAMĚŘENÝCH SIGNÁLŮ

Při měření byly použity 3 snímače. Trojosý snímač na křídlové kolejnici měřící zrychlení ve směru podélném, příčném a svislém (x , y , z). Jednoosé snímače umístěné na patě křídlové kolejnice a ve šterkovém loži měřící právě ve směru svislém (z). Ve svislém směru je zachycena velikost složky dynamického rázu na srdcovce, která byla přenesena na patu křídlové kolejnice a další snímače jsou umístěny tak, aby zachytily šíření dynamického rázu přes pražec až do šterkového lože. Vlnovod je umístěn ve šterku mezi pražci v blízkosti hrotu srdcovky. Snímač měřící ve šterkovém loži na vlnovodu je vyosený ve srovnání s použitím měřících kamenů, které by měřily v ose přímo pod hrotem srdcovky, což mohlo ovlivnit výsledek měření. V podélném směru x jsou zachyceny účinky rázu přenesené na patu křídlové kolejnice a v příčném směru jsou změřeny velikosti bočních rázů způsobené od dvojkolí při přejezdu srdcovky [9].

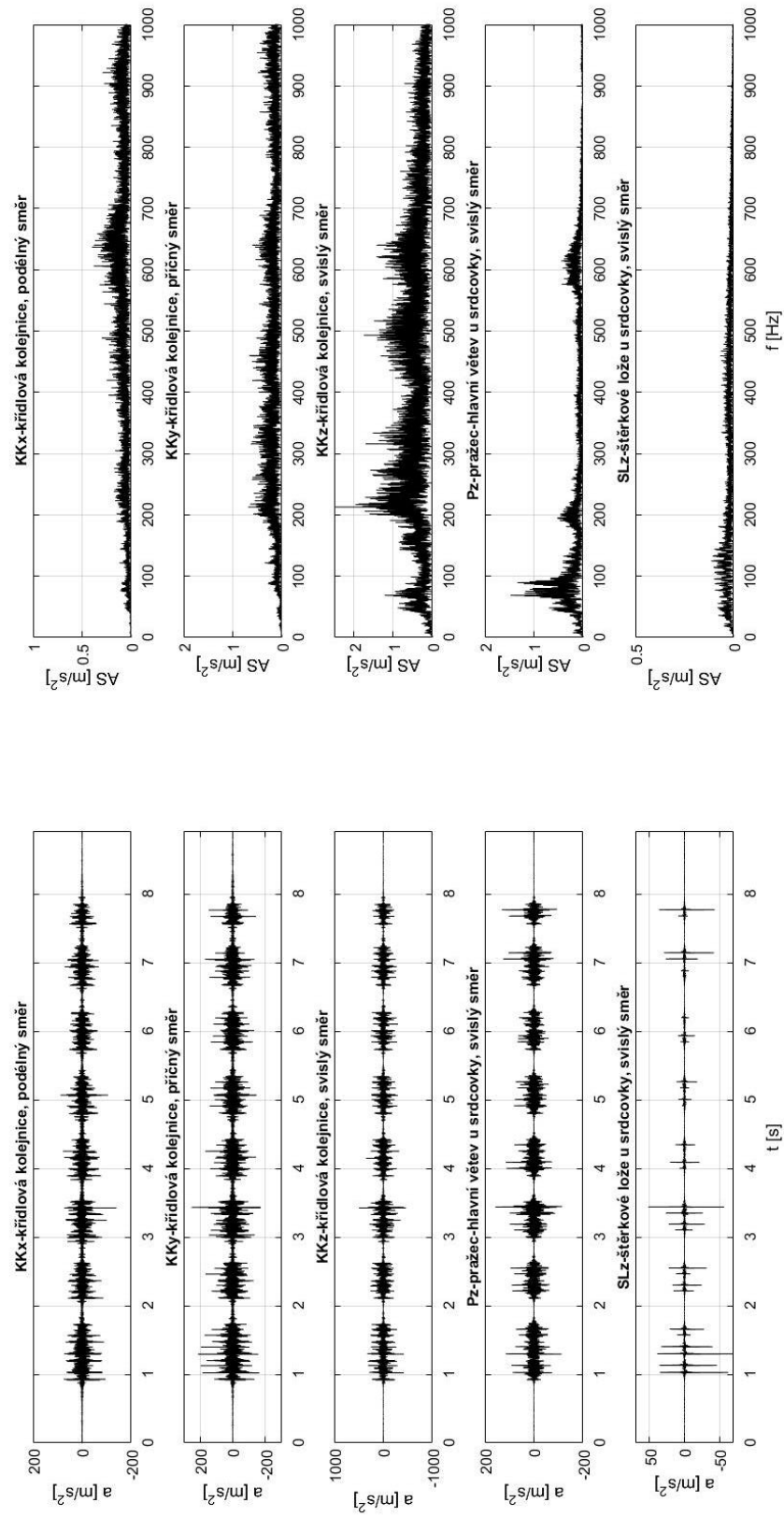
Vyhodnocení měření předcházela separace všech signálů a zobrazení programem LabShop. Po tomto kroku jsem provedla vyhodnocení ve dvou částech.

První jsem se zaměřila na vyhodnocení časové oblasti a v druhé části na vyhodnocení v oblasti frekvenční. Výstupem jsou průběhy zrychlení a tabulková zobrazení maximálních, minimálních, efektivních hodnot v časové oblasti a maximální hodnoty amplitudového spektra s frekvencemi v místě maximálních amplitud. Frekvenční oblast byla vyhodnocena s aplikací Fourierovy transformace. Výstupem je grafické zobrazení s 10 grafy. Vlevo se nachází 5 průběhů časového spektra a vpravo se nachází 5 odpovídajících průběhů frekvenčního spektra viz obrázek 14. V obou oblastech jsem provedla srovnání výhybek č. 3 a 4 a současně srovnání vybraných vlakových souprav. Dalším výstupem je tabulkové zobrazení maximálních, minimálních a efektivních hodnot zrychlení z časového spektra.

Tabulkové výstupy všech změřených a vyhodnocených vlaků jsou přílohou B bakalářské práce. Kompletní grafické výstupy jsou přílohou E pro srdcovku ve výhybce č. 3 a přílohou F pro srdcovku ve výhybce č. 4.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

C:\BK_RECORDING\Usti\Viak_1_11.mat



Obrázek 14 Časové a frekvenční spektrum

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Z naměřených hodnot jsem vybírala vlaky, které projížděly oběma směry a mají porovnatelné parametry. Mezi těmito vlaky jsou soupravy Leo Express, Railjet, Pendolino – představitelé lehkých ucelených souprav, které měřeným úsekem projížděly nejvyššími rychlostmi. Čím vyšší rychlost, tím se dají předpokládat vyšší dynamické účinky. Další soupravy pro vyhodnocení jsou RegioJet a lokomotiva řady 361. Jedná se o představitele s těžkou lokomotivou, která v kombinaci s vyšší rychlostí vyvodí výrazné dynamické účinky na srdcovku. Při vysoké rychlosti, kterou úsekem projíždí a s výrazně vyšší hmotností lokomotivy vnesou do srdcovky značné dynamické účinky. Z měření jsem vybrala i porovnatelnou soupravu osobního vlaku.

5.1 Vyhodnocení v časové oblasti

Při vyhodnocení v časové oblasti jsem nejprve zobrazila časový průběh všech změřených vlaků a následně v upraveném měřítku jsem vytvořila přehlednější zobrazení, vlaků vybraných k podrobnému vyhodnocení, které je přílohou G a H. Všechny grafické průběhy jsou přílohou E, F této práce.

V následující tabulce č. 5.1.1-1 jsou hodnoty maximálních zrychlení kmitání na vybraných jednotkách a lokomotivách. V tabulce č. 5.1.1-2 jsou hodnoty minimálních hodnot a v poslední tabulce podkapitoly 5.1.2 jsou hodnoty efektivních hodnot zrychlení. Popis jsem provedla ve svislém směru - tzn. pata křídlové kolejnice, pražec, šterk.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

5.1.1 Maximální a minimální hodnoty vybrané skupiny vlaků

Tabulka č. 5.1.1-1 Maximální hodnoty zrychlení vibrací

TYP VLAKU	V.Č.	v [km·h ⁻¹]	MAXIMÁLNÍ HODNOTY ZRYCHLENÍ VIBRACÍ [m·s ⁻²]				
			KK _x	KK _y	KK _z	P _z	SL _z
RAILJET	3	131	117	247	719	70	29
	4	133	110	272	515	143	60
PENDOLINO	3	146	191	301	997	65	31
	4	160	247	379	510	134	60
LEO EXPRESS	3	132	193	239	839	62	33
	4	130	110	300	379	145	53
REGIOJET	3	131	157	243	776	86	43
	4	127	158	423	497	185	65
LOKOMOTIVA 361	3	120	154	223	816	110	32
	4	120	88	251	496	157	51

Tabulka č. 5.1.1-2 Minimální hodnoty zrychlení vibrací

TYP VLAKU	V.Č.	v [km·h ⁻¹]	MINIMÁLNÍ HODNOTY ZRYCHLENÍ VIBRACÍ [m·s ⁻²]				
			KK _x	KK _y	KK _z	P _z	SL _z
RAILJET	3	131	-193	-204	-559	-80	-28
	4	133	-183	-212	-507	-118	-65
PENDOLINO	3	146	-286	-226	-712	-68	-79
	4	160	-241	-268	-477	-117	-62
LEO EXPRESS	3	132	-175	-192	-638	-70	-40
	4	130	-164	-243	-453	-132	-59
REGIOJET	3	131	-164	-229	-729	-98	-38
	4	127	-168	-303	-564	-132	-70
LOKOMOTIVA 361	3	120	-178	-232	-696	-100	-57
	4	120	-140	-172	-462	-115	-73

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

- Railjet

U jednotky Railjet jsem porovnávala soupravy následně. V podélném (KK_x) i příčném směru (KK_y) jsou hodnoty minimálních i maximálních špiček v obou případech srovnatelné. Ve svislém směru (KK_z) u maximální kladné hodnoty je zrychlení o 30 % větší a u záporné hodnoty o 10 % větší na srdcovce ve výhybce č. 3. U hodnot na pražci (P_z) dochází k velkému poklesu a hodnoty maximálních a minimálních hodnot jsou srovnatelné. Při šíření zrychlení vibrací do šterku (SL_z) dochází k dalšímu útlumu.

- Pendolino

Pendolina projížděla úsekem nejvyššími rychlostmi. Ovšem rozdíly rychlostí mezi průjezdy v jednotlivých výhybkách byly příliš rozdílné. Z tohoto důvodu jsem provedla vyhodnocení bez srovnání mezi konstrukcemi. V podélném směru (KK_x) jsou hodnoty vyšší než u ostatních jednotek. V příčném směru (KK_y) již k takovým rozdílům oproti ostatním soupravám nedochází a hodnoty jsou srovnatelné. Ve svislém směru (KK_z) je dosaženo absolutní maximální hodnoty zrychlení $997 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Hodnoty na pražci (P_z) jsou oproti hodnotě na kolejnici (KK_z) menší, útlum v kolejovém loži je poloviční, oproti pražci.

- Leo Express

U jednotky Leo Express v podélném směru (KK_x) jsou hodnoty minimálních špiček srovnatelné a hodnoty maximálních kladných špiček jsou větší na výhybce č. 3 o 40 %. V příčném směru (KK_y) je o 25 % větších hodnot dosaženo na výhybce č. 4 oproti výhybce č. 3. Ve svislém směru (KK_z) jsou maximální kladné hodnoty zrychlení větší o 55 % a záporné hodnoty o 30 %. U hodnot na pražci (P_z) dochází k velkému poklesu podobně jako u Railjetu a při šíření zrychlení vibrací do šterku (SL_z) dochází k dalšímu útlumu téměř na poloviční hodnoty.

- RegioJet

U RegioJetu v podélném směru (KK_x) jsou hodnoty srovnatelné v obou konstrukcích. V příčném směru (KK_y) je větších hodnot dosaženo na srdcovce ve výhybce č. 4 o 70 % oproti výhybce č. 3 v maximálních kladných hodnotách a o 30 % v záporných hodnotách. Ve svislém směru (KK_z) je rozdíl maximální kladné hodnoty zrychlení 35 % a rozdíl záporné hodnoty 23 %.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

U hodnot na pražci (P_z) dochází k velkému poklesu vlivem utlumení a při šíření zrychlení vibrací do štěrku (SL_z) dochází k dalšímu útlumu.

- Lokomotiva řady 361

U lokomotivy 361 se podařilo v obou případech naměřit stejnou rychlost. V podélném směru (KK_x) jsou minimální hodnoty špiček o 20 % větší na srdcovce ve výhybce č. 3 a maximální jsou větší o 30 %. V příčném směru (KK_y) je větších hodnot dosaženo na výhybce č. 4. o 25 % oproti výhybce č. 3. Ve svislém směru (KK_z) jsou u maximální kladné hodnoty zrychlení o 40 % větší u výhybky č. 3 a záporné hodnoty o 35 %. U hodnot na pražci (P_z) je vidět, že u těžkých lokomotiv i na pražci zůstávají větší hodnoty zrychlení oproti ostatním soupravám, ovšem ve štěrkovém loži (SL_z) jsou již hodnoty srovnatelné s ostatními vlaky.

- Celkové srovnání maximálních a minimálních hodnot zrychlení mezi výhybkami

V podélném směru (KK_x) jsou hodnoty zrychlení na výhybce č. 3 srovnatelné s výhybkou č. 4. Ve směru příčném (KK_y) jsou hodnoty naopak. Větších hodnot je dosaženo na výhybce č. 4 a to v případě maximálních i minimálních špiček. Ve svislém směru (KK_z) jsou maximální hodnoty na křídlové kolejnici na výhybce č. 3. Hodnoty na pražci (P_z) jsou výrazně menší než hodnoty na křídlové kolejnici. Hodnoty ve štěrkovém loži (SL_z) jsou poloviční oproti naměřeným hodnotám na pražci (P_z).

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

5.1.2 Efektivní hodnoty vybrané skupiny vlaků

Efektivní hodnota zrychlení je důležitým ukazatelem stavu a bezpečnosti. Popisuje míru opotřebení.

Tabulka č. 5.1.2-1 Efektivní hodnoty zrychlení vibrací

TYP VLAKU	V.Č.	v [km·h ⁻¹]	EFEKTIVNÍ HODNOTY ZRYCHLENÍ VIBRACÍ [m·s ⁻²]				
			KK _x	KK _y	KK _z	P _z	SL _z
RAILJET	3	131	14	24	65	10	4
	4	133	13	24	52	18	4
PENDOLINO	3	146	19	32	80	11	3
	4	160	21	35	70	16	3
LEO EXPRESS	3	132	15	23	65	9	3
	4	130	13	22	50	17	3
REGIOJET	3	131	15	25	67	12	4
	4	127	15	27	59	20	3
LOKOMOTIVA 361	3	120	16	25	67	11	3
	4	120	10	19	43	14	2

- Railjet

U Railjetu dosahují efektivní hodnoty zrychlení v podélném a příčném směru (KK_x), (KK_y) srovnatelných hodnot v obou srdcovkách. Ve svislém směru (KK_z) je hodnota větší u srdcovky výhybky č. 3. Očekávaný rozdíl se nachází na efektivních hodnotách na pražcích (P_z), k většímu útlumu dochází na srdcovce ve výhybce č. 3. Hodnoty ve šterkovém loži (SL_z) jsou shodné pro obě srdcovky.

- Pendolino

U Pendolina jsou hodnoty dle očekávání největší z vyhodnocovaných vlaků. I přes odlišné rychlosti jsou efektivní hodnoty srovnatelné na obou konstrukcích srdcovek.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

- Leo Express

Jednotky Leo Express dosahují podobných hodnot jako vozy Railjet a RegioJet. V podélném směru (KK_x) jsou nejmenší hodnoty a ve svislém směru (KK_z) je dosaženo největších hodnot na křídlové kolejnici u výhybky č. 3. Na pražci (P_z) jsou hodnoty nižší s tím rozdílem, že na srdcovce ve výhybce č. 4 je hodnota o 43 % větší oproti hodnotě na srdcovce ve výhybce č. 3. Hodnoty ve šterkovém loži jsou srovnatelné pro obě konstrukce srdcovky. Přestože Leo Express dosáhl nejmenší hodnoty na pražcích ze všech zkoumaných vlaků, ve šterkovém loži jsou hodnoty srovnatelné s ostatními.

- RegioJet

U RegioJetu jsou výsledky na obou srdcovkách v případě křídlové kolejnice (KK) srovnatelné ve všech směrech. Hodnoty na pražcích (P_z) jsou maximy ze všech vyhodnocovaných vlaků. Na základě tohoto výsledku lze konstatovat, že těžší lokomotiva v kombinaci s průměrnou rychlostí vnáší do konstrukce více nepříznivých účinků než lehké ucelené jednotky. Hodnoty ve šterkovém loži jsou porovnatelné s ostatními, ovšem nepříznivější hodnoty je dosaženo na výhybce č. 3.

- Lokomotiva řady 361

Lokomotiva 361 projížděla oběma výhybkami stejnou rychlostí, efektivní hodnoty zrychlení jsou na výhybce č. 3 o 30 % větší než na výhybce č. 4, mimo hodnot na pražci, kde je větší efektivní hodnota na výhybce č. 4. U lokomotivy 361 je rozdíl mezi hodnotami na pražci nejmenší, ze všech vybraných vlaků. Ve šterkovém loži je výsledek měření obdobný jako o RegioJetu.

- Celkové srovnání efektivních hodnot zrychlení mezi výhybkami

Největších hodnot efektivního zrychlení bylo dosaženo ve svislém směru na křídlové kolejnici (KK_z) v srdcovce měřené ve výhybce č. 3. Hodnoty na pražci (P_z) jsou menší a ve šterkovém loži (SL_z) jsou výsledky měření pro všechny soupravy srovnatelné. Efektivní hodnoty dosahují u všech vlaků podobných hodnot. Z vyhodnocených dat lze usoudit, že s rostoucí rychlostí, ale také hmotností se efektivní hodnoty zvyšují a tím i dynamické účinky působící na měřené konstrukce.

Útlumy mezi křídlovou kolejnici a pražcem dosahují v průměru $60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ na srdcovce ve výhybce č. 3 a $40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ na srdcovce ve výhybce č. 4. Útlum na zpružněném uložení srdcovky je přibližně o třetinu větší než v případě klasického uložení.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Srovnatelnost naměřených dat na snímačích v kolejovém loži (SL_z) mohla být způsobena větší chybou měření způsobenou použitou metodou. Měření mělo proběhnout pomocí měřicích kamenů, ale během měření nebyly v provozuschopném stavu a nemohly být použity. V případě použití měřicích kamenů by měření zrychlení vibrací proběhlo ve svislé ose. Při použití vlnovodu je snímač ve šterku umístěn v prostoru mezi pražci v blízkosti hrotu srdcovky mimo osu měření. Dalším důvodem může být rozdílnost podbití po výměně srdcovek ve výhybkách.

5.1.3 Maximální, minimální, efektivní hodnoty osobního vlaku

Tabulka č. 5.1.3-1 Maximální, minimální, efektivní hodnoty osobního vlaku

TYP VLAKU	V.Č.	v [km·h ⁻¹]	MAXIMÁLNÍ HODNOTY ZRYCHLENÍ VIBRACÍ [m·s ⁻²]				
			KK _x	KK _y	KK _z	P _z	SL _z
OSOBNÍ	3	71	86	131	404	70	16
	4	75	83	148	349	110	24
TYP VLAKU	V.Č.	v [km·h ⁻¹]	MINIMÁLNÍ HODNOTY ZRYCHLENÍ VIBRACÍ [m·s ⁻²]				
			KK _x	KK _y	KK _z	P _z	SL _z
OSOBNÍ	3	71	-93	-103	-385	-71	-20
	4	75	-110	-146	-438	-98	-37
TYP VLAKU	V.Č.	v [km·h ⁻¹]	EFEKTIVNÍ HODNOTY ZRYCHLENÍ VIBRACÍ [m·s ⁻²]				
			KK _x	KK _y	KK _z	P _z	SL _z
OSOBNÍ	3	71	6	11	34	6	1
	4	75	7	13	31	9	1

- Osobní vlak

U osobního vlaku se špičky zrychlení pohybují zhruba v polovině maximálních hodnot, které dosahovala lokomotiva řady 361 vyhodnocována výše. Maximální a minimální hodnoty na patě kolejnice (KK) jsou ve všech směrech srovnatelné. Hodnoty na pražci (P_z) jsou výrazně nižší a hodnoty ve šterkovém loži (SL_z) vykazují útlumy jako u ostatních vlaků. Maximální hodnoty na křídlové kolejnici (KK) jsou srovnatelné, větší hodnoty jsou na srdcovce ve výhybce č. 4. Na pražci (P_z) je zrychlení menší o 35 % oproti výhybce č. 4 a ve šterkovém loži (SL_z) došlo k poklesu o pětinu.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

V porovnání s předchozími vlaky jsou hodnoty výrazně menší, efektivní hodnoty jsou na obou srdcovkách velmi podobné a nízké. Je vhodné podotknout, že osobní vlak projížděl úsekem výrazně nižší rychlostí 71 a 73 km·h⁻¹ ve srovnání s ostatními vlaky.

5.2 Vyhodnocení ve frekvenční oblasti

Vyhodnocení frekvenční oblasti jsem provedla jednak na základě maximálních hodnot amplitudového spektra z tabulek a jednak na základě grafického zobrazení dle průběhu, intenzity a rozložení spektra zrychlení.

Maximální hodnoty z tabulky jsem vyhodnotila jen ve svislém směru na patě křídlové kolejnice (KK_z), pražci (P_z) a ve šterkovém loži (SL_z).

U grafického zobrazení jsem provedla porovnání ve směru svislém z k porovnání velikosti útlumu spektra. Spektra ve směru *x*, *y* jsou speciální, popisují chování, které při zvyšujícím se zrychlení vibrací na frekvencích 35–150 Hz mohou znamenat horší podepření srdcovky. Pokud zvýšení vibrací nastává na frekvenčním rozsahu 150–600 Hz, může to znamenat vyšší ojetí srdcovky. K těmto poznatkům se došlo na základě předchozích měření podobného charakteru. K podrobnějšímu vyhodnocení ojíždění a podepření by bylo potřebné měření zopakovat, aby bylo více dat k porovnání.

5.2.1 Maximální amplitudové a frekvenční spektrum vybrané skupiny vlaků

Tabulka č. 5.2.1-1 Maximální amplitudové spektrum vybrané skupiny vlaků

TYP VLAKU	V.Č.	v [km·h ⁻¹]	MAXIMÁLNÍ AMPLITUDOVÉ SPEKTRUM [m·s ⁻²]				
			KK _x	KK _y	KK _z	P _z	SL _z
RAILJET	3	131	0,7	1,6	4,6	1,4	0,4
	4	133	0,7	1,3	3,1	2,7	0,3
PENDOLINO	3	146	1,2	2,6	5,3	1,3	0,4
	4	160	3,2	3,6	8,7	3,5	0,5
LEO EXPRESS	3	132	0,8	1,5	4,7	1,5	0,4
	4	130	1,0	1,2	4,2	3,5	0,2
REGIOJET	3	131	0,6	1,6	4,4	1,5	0,3
	4	127	0,7	1,3	3,6	3,0	0,2
LOKOMOTIVA 361	3	120	0,7	1,5	4,6	1,6	0,3
	4	120	0,4	0,7	2,6	1,5	0,1

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Tabulka č. 5.2.1-2 Maximální frekvenční spektrum vybrané skupiny vlaků

TYP VLAKU	V.Č.	v [km·h ⁻¹]	FREKVENČNÍ SPEKTRUM [Hz]				
			KK _x	KK _y	KK _z	P _z	SL _z
RAILJET	3	131	546	373	369	57	115
	4	133	564	255	255	86	128
PENDOLINO	3	146	507	507	377	61	84
	4	160	939	939	297	65	129
LEO EXPRESS	3	132	674	452	359	75	83
	4	130	559	390	246	85	130
REGIOJET	3	131	540	454	352	60	80
	4	127	654	283	154	85	76
LOKOMOTIVA 361	3	120	437	493	356	80	108
	4	120	637	213	213	69	125

- Railjet

Na křídlové kolejnici (KK_z) je větší hodnota na srdcovce ve výhybce č. 3 s výrazným snížením na pražci (P_z). V konstrukci druhé výhybky velikost (KK_z) téměř bez útlumu. Složky spektra ve šterkovém loži (SL_z) jsou srovnatelné.

- Pendolino

Pendolino projíždějící přes srdcovku výhybkou č.3 vykazuje podobné hodnoty a chování jako ostatní vyhodnocované vlaky. Pendolino projíždějící traťovou rychlostí 160 km·h⁻¹ dosahuje podle očekávání při této rychlosti největších hodnot. V obou případech jsou na křídlové kolejnici (KK_z) dosaženy maximální hodnoty s výrazným útlumem na přechodu z paty křídlové kolejnice (KK_z) na pražec (P_z).

- Leo Express

Na křídlové kolejnici jsou hodnoty srovnatelné. Na pražci (P_z) jsou patrné rozdíly v srdcovce č. 3, ve které je útlum větší než na srdcovce ve výhybce č. 4.

- RegioJet

Vyhodnocení lokomotivy RegioJet je shodné s vyhodnocením jednotky Leo Express.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

- Lokomotiva řady 361

U lokomotivy 361 je na křídlové kolejnici (KK) větší hodnota v srdcovce výhybky č. 3, směrem dolů dochází k útlumu na pražci (P_z) a ve štěrkovém loži (SL_z) stejně jako u ostatních souprav je hodnota velmi nízká.

- Celkové vyhodnocení

Hodnoty maximálního amplitudového spektra dosahují porovnatelných hodnot u všech měřených souprav. Větších maximálních hodnot je dosaženo na křídlové kolejnici ve výhybce č. 3. U snímače na pražci (P_z) je hodnota amplitudového spektra větší na srdcovce ve výhybce č. 4 oproti hodnotám na srdcovce ve výhybce č. 3. Největší hodnoty na snímačích umístěných na křídlové kolejnici (KK) jsou u Pendolina ve výhybce č. 4. Na pražci (P_z) a ve štěrkovém loži (SL_z) jsou maximální hodnoty ve výhybce na srdcovce č. 4 u Railjetu a Leo Express.

5.2.2 Vyhodnocení podle grafických frekvenčních spekter vybrané skupiny vlaků

Spektra vybraných vlaků jsou uvedena v příloze G pro srdcovku výhybky č. 3 a v příloze H pro srdcovku výhybky č. 4 bakalářské práce.

- Railjet srdcovka výhybky č. 3

U Railjetu podobně jako u Pendolina jsou grafická zobrazení obou měřených konstrukcí srovnatelná. U srdcovky ve výhybce č. 3 je na křídlové kolejnici (KK_z) výrazný shluk energií okolo frekvence 350 Hz s maximální hodnotou $4,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Dalším výraznějším shlukem spekter je část 440–480 Hz s amplitudami okolo $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Na pražci (P_z) jsou hodnoty výrazně nižší, v rozsahu 50–100 Hz se objevuje několik špiček s hodnotami okolo $1,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Ve štěrkovém loži (SL_z) se spektrum roztáhlo 40–120 Hz a 120–200 Hz s maximálními hodnotami v prvním intervalu okolo $0,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ a v druhém okolo $0,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

- Railjet srdcovka výhybky č. 4

Na křídlové kolejnici (KK_z) jsou 3 úzké pásy s výraznými amplitudami. Největší amplitudy je dosaženo ve frekvenčním shluku 250–280 Hz s hodnotou $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. V prvním pásmu 50–100 Hz je maximální hodnota okolo $2,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, která se objevuje na pražci (P_z) s maximem $2,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ ve shluku spekter 40–120 Hz. Ve štěrkovém loži (SL_z) je jeden výrazný shluk 25–200 Hz s maximy okolo $0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

- Railjet celkové srovnání

Railjet vykazuje spektra s výraznými amplitudami spektra na křídlové kolejnici i pražci. Tyto špičky nepůsobí na konstrukci příznivě. Při porovnání spekter na pražcích vychází lépe srdcovka s pružným uložením.

- Pendolino srdcovka výhybky č. 3

Rozložení frekvenčního spektra u Pendolina v srdcovce výhybky č. 3 nevykazuje výrazné shluky. Maximální hodnota na křídlové kolejnici (KK_z) je $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Na pražci (P_z) je hodnota frekvenčního spektra menší, maximální hodnota se nachází ve shluku 50–150 Hz s hodnotou $1,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Ve štěrkovém loži (SL_z) se hodnota zobrazila do širšího pásma od 20–120 Hz pásma s maximálními hodnotami okolo $0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

- Pendolino srdcovka výhybky č. 4

Průběh frekvenčního spektra je u tohoto Pendolina podobný jako u srdcovky ve výhybce č. 3 pouze s většími hodnotami. Na křídlové kolejnici (KK_z) je široké frekvenční pásmo od 150 Hz s amplitudami okolo $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Maximální hodnoty $8,5\text{--}8,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ okolo 300 Hz s hodnotami. Na pražci (P_z) je pásmo v rozsahu 40–120 Hz s vrcholy okolo $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ a maximální hodnotou $3,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Ve štěrkovém loži (SL_z) se tento pás objevuje s výraznějšími hodnotami frekvenčního spektra 100–200 Hz s maximální hodnotou $0,55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

- Leo Express srdcovka výhybky č. 3

U jednotky Leo Express je amplitudové spektrum výrazné ve frekvenčním pásmu 200–400 Hz, kde dosahuje na krátkém úseku vysokých hodnot. Maximální hodnota je $4,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. U signálu na pražci (P_z) jsou hodnoty malé okolo $0,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ v pásmu od 50–150 Hz. Ve štěrkovém loži (SL_z) je výrazný shluk v širším frekvenčním pásmu 50–120 Hz s maximálními hodnotami okolo $0,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

- Leo Express srdcovka výhybky č. 4

V případě jednotky Leo Express na srdcovce ve výhybce č. 4 je spektrum na křídlové kolejnici (KK_z) se dvěma výraznějšími frekvenčními shluky v oblasti 200–260 Hz s maximální hodnotou $4,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Další shluk se nachází ve frekvencích 730–760 Hz. Podobně vypadají spektrální pásma na pražci (P_z). První výrazné pásmo je 50–100 Hz s maximem $3,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ a další pásmo je patrné okolo 600 Hz. Ve štěrkovém loži

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

(SL_z) je na začátku široký pás nízkých amplitud okolo $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, který začíná u 150 Hz klesat.

- Leo Express celkové srovnání

Grafická zobrazení u Leo Express jsou oproti ostatním jednotkám výrazně odlišná. Na srdcovce výhybky č. 3 jsou hodnoty energií příznivější než na srdcovce výhybky č. 4, kde dosahuje především na pražci větších hodnot s výraznými vrcholy reprezentující rázy.

- RegioJet srdcovka výhybky č. 3

U těžkých lokomotiv jako je RegioJet je frekvenční spektrum na křídlové kolejnici (KK_z) intenzivnější s širokým pásmem frekvencí 300–480 Hz a hodnotami dosahujícími $2,5\text{--}3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ a maximálními hodnotami okolo $4,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Na pražci (P_z) je spektrum výrazně menší, nachází se zde v závislosti na útlumu pás 50–100 Hz s maximálními hodnotami $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Do šterkového lože (SL_z) se přenesla část v širším spektru 40–160 Hz s maximální amplitudou $0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

- RegioJet srdcovka výhybky č. 4

V srdcovce výhybky č. 4 je frekvenční spektrum méně výrazné. Ve velmi úzkém pásmu je dosaženo na křídlové kolejnici (KK_z) maximum s hodnotou $3,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, v dalším výraznějším pásmu 190–260 Hz jsou hodnoty okolo $3,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Na pražci jsou frekvenční shluky okolo hodnoty 50 Hz s hodnotou $1,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ a od hodnoty 75–100 Hz je druhý pás s maximální amplitudou $2,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Ve šterkovém loži (SL_z) je shluk frekvenčních špiček 70–170 Hz s hodnotami okolo $0,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

- RegioJet celkové srovnání

RegioJet vykazuje vysoké amplitudy frekvenčních spekter na křídlové kolejnici i na pražci. Hodnoty na pražci jsou výrazně příznivější na srdcovce výhybky č. 3.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

- Lokomotiva řady 361 srdcovka výhybky č. 3

U lokomotivy řady 361 je na křídlové kolejnici (KK_z) výrazný shluk frekvenčních spekter se třemi výraznými vrcholy, přičemž ve frekvenci 356 Hz dosahuje maximální amplitudy $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. U pražce jsou maximální hodnoty posunuty a nacházejí se v rozmezí 50–80 Hz s maximální hodnotou $1,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ ve frekvenci 80 Hz. Ve štěrkovém loži (SL_z) je výraznější shluk spekter v šíři 40–120 Hz s maximální hodnotou $0,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ v hodnotě 108 Hz. Tento spektrální shluk působí rovnoměrně, vykazuje příznivější působení ve štěrkovém loži.

- Lokomotiva řady 361 srdcovka výhybky č. 4

U lokomotivy R 361 v srdcovce výhybky č. 4 již nejsou frekvenční shluky tak patrné, na křídlové kolejnici (KK_z) jsou 3 patrnější shluky s maximem ve frekvenci 213 Hz s hodnotou amplitudového spektra 2,6 Hz. Na pražci (P_z) jsou shluky spekter výraznější. V prvním shluku od 40-105 Hz se nachází maximální amplituda s hodnotou $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Další dva frekvenční shluky jsou okolo frekvence 200 Hz a 600 Hz s hodnotou $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. V případě průběhu amplitudového spektra ve štěrkovém loži (SL_z) se jedná o spektrum bez výraznějšího maxima.

- Lokomotiva řady 361 srovnání

U lokomotivy 361 v případě průjezdu srdcovkou výhybky č. 3 sledujeme výrazný útlum z $4,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ na křídlové kolejnici (KK_z) na hodnotu $1,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ na pražci (P_z) a $0,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ v kolejovém loži (SL_z). U srdcovky výhybky č. 4 jsou spektra rovnoměrná s nižšími hodnotami. Na křídlové kolejnici (KK_z) je maximum $2,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Na pražci (P_z) je utlumen na $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ a ve štěrku (SL_z) je hodnota okolo $0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

5.2.3 Osobní vlak

Při průjezdu osobního vlaku je dosaženo na obou konstrukcích téměř stejných maximálních hodnot amplitudových spekter. V obou případech se jedná o hodnoty zanedbatelné vzhledem k hodnotám od výše vyhodnocovaných vlaků. Hodnoty mají ve svislém směru klesající charakter.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Tabulka č. 5.2.3-1 Maximální amplitudové a frekvenční spektrum osobního vlaku

TYP VLAKU	V.Č.	v [km·h ⁻¹]	MAXIMÁLNÍ AMPLITUDOVÉ SPEKTRUM [m·s ⁻²]				
			KK _x	KK _y	KK _z	P _z	SL _z
OSOBNÍ	3	71	0,3	0,7	2,5	0,8	0,1
	4	75	0,3	0,7	2,2	1,0	0,1
TYP VLAKU	V.Č.	v [km·h ⁻¹]	FREKVENČNÍ SPEKTRUM [Hz]				
			KK _x	KK _y	KK _z	P _z	SL _z
OSOBNÍ	3	71	663	513	237	71	46
	4	75	481	265	249	88	89

- Osobní vlak srdcovka výhybky č. 3

U osobního vlaku jsou hodnoty amplitudových spekter podstatně nižší než u ostatních souprav. Na křídlové kolejnici (KK_z) je zřetelný široký shluk spektra, který narůstá od 150 Hz a klesá okolo 400 Hz s maximální hodnotou 2,5 m·s⁻². Spektrální pás podobného průběhu je na pražci (P_z) i ve šterkovém loži (SL_z). Na pražci (P_z) dosahuje maximální hodnoty 0,8 m·s⁻² již v užším pásu a ve šterku (SL_z) nejsou výrazné špičky jako u předchozích průběhů.

- Osobní vlak srdcovka výhybky č. 4

Průběhy spekter ve výhybce č. 4 jsou podobné jako ve výhybce č. 3. Na křídlové kolejnici (KK_z) se nachází 3 shluky frekvenčních pásem, 1. pásmo se nachází okolo frekvence 50 Hz s maximem 1,0 m·s⁻², 2. pásmo je širší s výrazným vrcholem o maximální hodnotě 2,2 m·s⁻² v délce pásma 100–400 Hz a poslední pás 450–550 Hz s amplitudami okolo 1 m·s⁻². Na pražci (P_z) jsou spektra podobná jako na křídlové kolejnici (KK_z) a zobrazují se do 3 shluků od 0–150 Hz s maximální amplitudou 1 m·s⁻² a dvěma slabšími shluky okolo 200 Hz a 600 Hz. Ve šterkovém loži (SL_z) je výrazný shluk s hodnotami okolo 0,1 m·s⁻² v pásu 20–150 Hz.

- Osobní vlak celkové srovnání

Osobní vlak v obou výhybkách dosáhl malých hodnot. Dynamické účinky od osobního vlaku jsou oproti ostatním vlakům nízké vzhledem i k nižší rychlosti při průjezdu srdcovkami. Frekvenční spektra jsou v obou případech srovnatelná, vykazující rovnoměrné zatížení na konstrukci.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Na základě výsledků, které byly dosaženy na snímačích ve šterkovém loži jsem se rozhodla provést navíc dvojnou integraci zrychlení na snímači P_z pro zjištění maximálních svislých posunů na pražci.

6 MAXIMÁLNÍ POKLESY PRAŽCŮ

Na základě vztahů (4), (5) a (6) plyne derivačně integrační závislost mezi zrychlením a výchylkou. Pro určení maximálních poklesů pražců jsem využila matematickou metodu dvojně integrace signálu zrychlení na pražci pod hrotem srdcovky.

Integrace byla provedena pro vybranou skupinu vlaků. Signál nebyl integrován celý, byla separována oblast kolem první nápravy. Tento postup jsem zvolila na základě studia problematiky i provedených experimentů, při kterých bylo zjištěno, že při zpracování užší části signálu vykazuje integrace menší chybu než zpracování celého signálu od projíždějícího vlaku.

6.1 Dvojná integrace

Dvojná integrace byla realizována z časového výřezu signálu zrychlení naměřeného na pražci (P_z) na vybrané skupině vlaků. Výřez dat byl proveden vždy pro první nápravu. I přesto bylo nutné vstupní signál před vlastní integrací vhodně upravit. Před integrací jsem odečetla od vybrané části signálu jeho střední hodnotu, aby byl potlačen posun signálu vůči nule. Následně jsem signál podrobila filtraci.

První filtr typu horní propust byl nastaven na potlačení složek pod 1 Hz. Tyto složky nepříznivě ovlivňují proces integrace. Druhý filtr typu dolní propust, jsem zvolila tak, aby odpovídal frekvenčnímu rozsahu snímačů určených k měření posunů, které jsou schopny pracovat přibližně do 100 Hz. Následujícím krokem byla integrace. Výše popsany postup integrace byl poté aplikován ještě jednou za účelem výpočtu poklesu. Při integraci zrychlení vibrací jsem použila metodu obdélníkového pravidla.

Výsledky dvojně integrace pro vyhodnocovanou skupinu vlaků jsem stejně jako při vyhodnocování zrychlení vibrací zprůměrovala a uvedla do přehledné tabulky č. 6.1-1.

Všechny výstupy z dvojně integrace jsou také uvedeny v příloze J bakalářské práce.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Tabulka č. 6.1-1 Maximální zatlačení pražce

SRDCOVKA VÝHYBKY č. 3			SRDCOVKA VÝHYBKY č. 4		
VLAKE	Rychlost [km·h ⁻¹]	Zatlačení [mm]	VLAKE	Rychlost [km·h ⁻¹]	Zatlačení [mm]
RAILJET	131	0,8	RAILJET	133	1,1
PENDOLINO	146	0,9	PENDOLINO	160	1,4
LEO EXPRESS	132	0,6	LEO EXPRESS	130	0,9
REGIOJET	131	0,9	REGIOJET	127	1,0
LOKOMOTIVA 361	120	0,7	LOKOMOTIVA 361	120	1,3

6.1.1 Vyhodnocení

Z výsledků práce lze obecně usoudit, že dynamické účinky rostou s rychlostí průjezdu vlaků a vedou k vysokému namáhání šterkového lože. Při průjezdu vlaku dochází k dotlačení pražce do šterkového lože a jeho poklesu. Z vyhodnocení integrace zrychlení na snímači P_z je patrné, že v srdcovce výhybky č. 4 jsou svislé posuny nepatrně větší než v srdcovce ve výhybce č. 3.

Nejmenších hodnot bylo dosaženo při průjezdu jednotkou Leo Express (lehká jednotka), nejvyšší hodnoty z vybrané skupiny vlaků dosáhlo Pendolino jedoucí nejvyšší rychlostí (160 km·h⁻¹). Pokles pražce při průjezdu Railjetu i RegioJetu je v obou případech srovnatelný. Při průjezdu lokomotivy řady 361 bylo dosaženo na srdcovce č. 3 nejmenší zatlačení, ale v případě srdcovky výhybky č. 4 největších zatlačení.

Stav kolejového lože v oblasti nově vyměněných srdcovek se jeví v obou případech velmi podobný. Ze svislých posunů pražce je patrné, že ve výhybce srdcovky č. 4 byly hodnoty zatlačení větší, což může ukazovat na zhoršování podepření pražce v oblasti srdcovky.

7 ZÁVĚR A DOPORUČENÍ

Z výsledků práce lze konstatovat, na základě vyhodnocení, že bylo potvrzeno pružné chování v uložení srdcovky ve výhybce č. 3. Při přechodu z křídlové kolejnice do pražce mají hodnoty zrychlení vibrací větší utlumení než v případě srdcovky klasicky uložené.

V práci jsem ověřovala, je-li navržená metodika měření vyhovující. Pro měření takového rozsahu se ukazuje jako dostatečná. Představuje vhodnou doplňkovou metodu měření k diagnostice a sledování chování konstrukce. Současně doporučuji při dalším měření použít měřicí kameny, na místo použitého vlnovodu. Měřicí kameny mají příhodnější umístění a měří dynamické účinky přímo pod hrotem srdcovky ve šterkovém loži.

Na základě provedeného měření a vyhodnocení metodiky doporučuji, aby se měření tohoto rozsahu na podobných vývojových konstrukcích umístěných na koridorových tratích prováděla alespoň 4× ročně a doplnila měření prováděné komplexní certifikovanou metodikou, která oproti tomuto měření je náročnější na realizaci, organizaci, vyhodnocení i z finančního hlediska. Certifikovanou metodiku bych doporučila provádět 1× za rok, ke kompletní analýze konstrukce. Metodika prezentovaná v této práci je názorná a vhodná pro kontrolní měření, u kterých sledujeme chování veličin na konstrukci v čase.

Dále bych doporučila provést podobné měření i ve výměnové části v oblasti opornic a jazyků, neboť se jedná také o velmi exponované části výhybky a výsledky by doplnily toto měření jistě o cenné informace v chování výhybky jako celku.

Z výsledků dvojné integrace konstatuji, že chování srdcovek ve šterkovém loži je podobné. V srdcovce výhybky č. 4 je dosaženo větší zatlačení, než je tomu u srdcovky ve výhybce č. 3, která je vybavena zpružněným upevněním. Toto pravděpodobně nasvědčuje zhoršování podepření pražce pod srdcovkou ve výhybce č. 4. Bylo by vhodné provést další měření a analýzy (např. také vyhodnotit údaje z měřicího vozu) např. v intervalu po 2 měsících a znovu vyhodnotit zatlačení k ověření tohoto výsledku.

Dalšími velmi užitečnými metodami by mohly být: přesná nivelace, snímky z georadaru, anebo skenování opotřebení srdcovek příp. jiné metody měření pro zhodnocení vlivu zpružnění. Tyto výstupy jsem však neměla při zpracování práce k dispozici.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Pro přesnější vyhodnocení dynamických účinků zatížení je nezbytné provádět měření častěji, nejlépe kontinuálně např. pomocí měřicích zařízení zabudovaných v měřených úsecích a konstrukcích, anebo častěji, aby bylo možné zahrnout do vyhodnocení i statistickou analýzu. Zajímavou myšlenkou by mohlo být zabudování snímačů zrychlení a síly při výrobě výhybkových pražců umístěných pod srdcovkou. Snímač by měřil přímo na kontaktu plochy pražce a šterku a změřené údaje by byly průběžně odesílány a vyhodnocovány, aniž by se musel kdokoliv pohybovat v koleji.

8 SEZNAM LITERATURY

POUŽITÁ LITERATURA

- Knihy

[2] KLIMEŠ, Ferdinand. *Železniční stavitelství I. díl. 2.*, přepracované vydání. Praha: SNTL, 1978.

[3] SMUTNÝ, Jaroslav a Luboš PAZDERA. *Železniční stavby: měřicí technika a dynamika železničních staveb*. Brno: CERM, 1998. ISBN 80-214-0976-2.

[6] ČÍŽEK, Václav. *Diskrétní Fourierova transformace a její použití*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1981. Matematický seminář SNTL

[8] TŮMA, Jiří. *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Praha: Sdělovací technika, 1997. ISBN 80-901-9361-7.

- Přednášky

[4] SMUTNÝ, J. *Železniční konstrukce II CN04 [přednáška v PDF]*. Brno: FAST VUT v Brně. Interní podklad používaný pro výuku na Ústavu železničních konstrukcí a staveb

- Elektronické knihy, články a katalogy

[1] RAIF, Lukáš, Bohuslav PUDA a Marek SMOLKA. *Výhybky se zpruženými uzly upevnění v ŽST Ústí nad Orlicí. Silnice železnice [online]*. 2016, 12.2.2016 [cit. 2019-03-11]. ISSN 1803-8441.

Dostupné z:

<https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjymOnH24zhAhU5xcQBHXm1DgUQFjAAegQICRAB&url=http%3A%2F%2Fwww.silnice-zeleznice.cz%2Fclanek%2Fvyhybky-se-zpruznenymi-uzly-upevneni-v-zst-usti-nad-orlici%2F&usg=AOvVaw3Lc9eHga2tWt-UTIXMeaBv>

[5] BERAN, Vlastimil. *Chvění a hluk*. V Plzni: Západočeská univerzita, 2010. ISBN 978-80-7043-916-6.

Dostupné také z:

<http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:b17f2740-f53d-11e7-8226-005056827e52>

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

[7] NAVRÁTIL, Miroslav a Oldřich PLUHARĚ. Měření a analýza mechanického kmitání: metody a přístroje. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986. Dostupné také z:

<http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:62104440-b894-11e2-8b87-005056827e51>

[12] Katalog výrobků 2018 - železniční.pdf [online]. Prostějov: DT-Výhybkárna a strojírna, a.s., [2018] [cit. 2019-03-11].

Dostupné z:

https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiTwMf-y_ngAhWu1eAKHeLwAskQFjABegQICRAB&url=https%3A%2F%2Fwww.dtvscz.cz%2Fprodukty%2Fzeleznicni-vyhybky%2Fkatalog-produktu-2017-zeleznice.pdf&usg=AOvVaw0lCNRzgTn6aP_dpZSZLsJc

- Metodiky

[9] Hodnocení dynamických účinků působících na výhybky, Certifikovaná metodika, Ministerstvo dopravy-odbor kosmických aktivit a ITS, 124/2014-710-VV/1, 2014

- Webové stránky

[10] Products [online]. [cit. 2019-03-18]. Dostupné z:

<https://www.bksv.com/en/products/transducers/vibration/Vibration-transducers/accelerometers/4507-B-001>

[11] Products [online]. [cit. 2019-03-18]. Dostupné z:

<https://www.bksv.com/en/products/transducers/vibration/Vibration-transducers/accelerometers/4524-B-001>

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

DOPORUČENÁ LITERATURA

MORAVČÍK, Milan a Martin MORAVČÍK. Mechanika železničních tratí: 3. díl experimentální analýza namáhání a pretvorení komponentov trate. V Žiline: EDIS, 2002. ISBN 80-710-0985-7.

RAHDALL, R.B. *Frequency Analysis*. 3rd ed. Naerum, 1993. ISBN 87-873-5507-8.

SMUTNÝ, Jaroslav a Luboš PAZDERA. *Časově frekvenční analýza se zaměřením na železniční konstrukce*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 978-80-7204-664-5.

VLASÁK A KOL., Jaroslav. *Výhybky a výhybková spojení*. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1983.

- Normy:

ČSN EN 13232-1, Železniční aplikace – Kolej – Výhybky a výhybkové konstrukce – Část 1: Definice

ČSN ISO 18431-2, Vibrace a rázy – Zpracování signálů – Část 2: Časová okna pro analýzu Fourierovou transformací

ČSN ISO 18431-1, Vibrace a rázy – Zpracování signálů – Část 1: Obecný úvod

ČSN ISO 18431-4, Vibrace a rázy – Zpracování signálů – Část 4: Analýza spektra rázové odezvy

ČSN ISO 2017-1, Vibrace a rázy – Pružné systémy uložení – Část 1: Technické informace pro provedení izolace vibrací

ČSN ISO 4866, Vibrace a rázy – Vibrace pevně zabudovaných konstrukcí – Pokyny pro měření vibrací a hodnocení jejich účinků na konstrukce

ČSN EN 13232-6+A1, Železniční aplikace – Kolej – Výhybky a výhybkové konstrukce – Část 6: Pevné jednoduché a dvojité srdcovky

ČSN EN 13232-3+A1, Železniční aplikace – Kolej – Výhybky a výhybkové konstrukce – Část 3: Požadavky na interakci kolo/kolejnice

ČSN EN 61373 ed. 2, Drážní zařízení – Zařízení drážních vozidel – Zkoušky rázy a vibracemi

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Schéma jednoduché výhybky	13
Obrázek 2 Rozdělení srdcovky v charakteristických řezech popisujících průjezd dvojkolí srdcovkou	14
Obrázek 3 Schéma poklesu kola při přejezdu srdcovkou (obrázek převzat [7])...	14
Obrázek 4 Zobrazení signálu, upraveno z [5]	16
Obrázek 5 Zobrazení závislosti parametrů výchylky, rychlosti a zrychlení	20
Obrázek 6 Schéma s rozmístěním snímačů ve výhybce č. 3	25
Obrázek 7 Schéma s rozmístěním snímačů ve výhybce č. 4.....	26
Obrázek 8 Dělení snímačů zrychlení, upraveno z [5]	27
Obrázek 9 Schéma jednoduché kolejové spojky ve zkušebním úseku	31
Obrázek 10 Pohled na upevnění ve výhybce č. 3	32
Obrázek 11 Pohled na upevnění ve výhybce č. 4.....	32
Obrázek 12 Pohled na srdcovku výhybky č. 3	33
Obrázek 13 Pohled do železniční stanice na srdcovku výhybky č. 4.....	34
Obrázek 14 Časové a frekvenční spektrum.....	38

10 SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 4.1.1-1 Rekapitulace navržené metodiky měření	24
Tabulka č. 4.1.3.1-1 Údaje od výrobce [10]:.....	28
Tabulka č. 4.1.3.1-2 Údaje od výrobce [11]:.....	29
Tabulka č. 5.1.1-1 Maximální hodnoty zrychlení vibrací	40
Tabulka č. 5.1.1-2 Minimální hodnoty zrychlení vibrací.....	40
Tabulka č. 5.1.2-1 Efektivní hodnoty zrychlení vibrací.....	43
Tabulka č. 5.1.3-1 Maximální, minimální, efektivní hodnoty osobního vlaku.....	45
Tabulka č. 5.2.1-1 Maximální amplitudové spektrum vybrané skupiny vlaků.....	46
Tabulka č. 5.2.1-2 Maximální frekvenční spektrum vybrané skupiny vlaků.....	47
Tabulka č. 5.2.3-1 Maximální amplitudové a frekvenční spektrum osobního vlaku	50
Tabulka č. 6.1-1 Maximální zatlačení pražce.....	55

11 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CDP	centrální dispečerské pracoviště
GPK	geometrické parametry koleje
JKS	jednoduchá kolejová spojka
KK	křídlová kolejnice
P	pražec
RMS	Root Mean Square
SL	šterkové lože
ZPTZ	srdcovka zpevněná výbuchem
α	úhel odbočení [grad]
ω	úhlová rychlost [s^{-1}]
a	zrychlení vibrací [$m \cdot s^{-2}$]
a_{ef}	efektivní zrychlení vibrací [$m \cdot s^{-2}$]
a_{max}	maximální zrychlení vibrací [$m \cdot s^{-2}$]
AS	amplitudové spektrum [$m \cdot s^{-2}$]
f	frekvence [Hz]
f_{max}	maximální frekvenční složka [Hz]
f_{vz}	vzorkovací frekvence [Hz]
$f(t)$	fourierovský obraz funkce
$F(f)$	Fourierova transformace
i	komplexní jednotka
k	celé číslo
t	čas [s]
T	perioda [s^{-1}]
u_{max}	maximální výchylka (amplituda) vlnění [m]
$u(t)$	výchylka [m]
v	rychlost [$m \cdot s^{-1}$; $km \cdot h^{-1}$]
v_{max}	maximální rychlost [$m \cdot s^{-1}$; $km \cdot h^{-1}$]
v_{ef}	efektivní rychlost [$m \cdot s^{-1}$; $km \cdot h^{-1}$]
x	hodnota prvku diskrétní posloupnosti
X_k	k -tá frekvenční složka signálu

12 SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A: Měření

PŘÍLOHA B: Časová a frekvenční analýza: Tabulkové zobrazení maximálních a minimálních hodnot

PŘÍLOHA C: Časová a frekvenční analýza: Maximální a minimální hodnoty vybrané skupiny vlaků

PŘÍLOHA D: Časová a frekvenční analýza: Maximální a minimální hodnoty osobního vlaku

PŘÍLOHA E: Časová a frekvenční analýza: Grafické zobrazení srdcovky výhybky č. 3

PŘÍLOHA F: Časová a frekvenční analýza: Grafické zobrazení srdcovky výhybky č. 4

PŘÍLOHA G: Časová a frekvenční analýza: Grafické zobrazení vybrané skupiny vlaků na srdcovce výhybky č. 3

PŘÍLOHA H: Časová a frekvenční analýza: Grafické zobrazení vybrané skupiny vlaků na srdcovce výhybky č. 4

PŘÍLOHA I: Časová a frekvenční analýza: Grafické zobrazení osobního vlaku

PŘÍLOHA J: Dvojná integrace

PŘÍLOHA K: Fotografie z měření



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV ŽELEZNIČNÍCH KONSTRUKCÍ A STAVEB

INSTITUTE OF RAILWAY STRUCTURES AND CONSTRUCTIONS

**MĚŘENÍ A ANALÝZA DYNAMICKÉHO
ZATÍŽENÍ PŮSOBÍCÍHO NA ŽELEZNIČNÍ
VÝHYBKY – PŘÍLOHY**

THE MEASUREMENT AND ANALYSIS OF DYNAMIC LOAD APPLIED ON RAILWAY
SWITCHES – ANNEXES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JITKA RŮŽKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. JAROSLAV SMUTNÝ, Ph.D.

BRNO 2019

SEZNAM PŘÍLOH:

PŘÍLOHA A:

Měření	- 4 -
A.1 Schéma rozmístění snímačů na srdcovce výhybky č. 3.....	- 5 -
A.2 Schéma rozmístění snímačů na srdcovce výhybky č. 4.....	- 6 -
A.3 Protokol z měření.....	- 7 -
A.4 Záznam z měření: Výhybka č. 3 kolej č. 1	- 8 -
A.5 Záznam z měření: Výhybka č. 4 kolej č. 2	- 9 -

PŘÍLOHA B:

Časová a frekvenční analýza: Tabulkové zobrazení maximálních a minimálních hodnot	- 10 -
B.1 Maximální hodnoty zrychlení vibrací srdcovky výhybky č. 3.....	- 12 -
B.2 Maximální hodnoty zrychlení vibrací srdcovky výhybky č. 4.....	- 13 -
B.3 Minimální hodnoty zrychlení vibrací srdcovky výhybky č. 3	- 14 -
B.4 Minimální hodnoty zrychlení vibrací srdcovky výhybky č. 4	- 15 -
B.5 Efektivní hodnoty zrychlení vibrací srdcovky výhybky č. 3	- 16 -
B.6 Efektivní hodnoty zrychlení vibrací srdcovky výhybky č. 4	- 17 -
B.7 Maximální frekvenční hodnoty srdcovky výhybky č. 3	- 18 -
B.8 Maximální frekvenční hodnoty srdcovky výhybky č. 4	- 19 -
B.9 Maximální amplitudová spektra srdcovky výhybky č. 3	- 20 -
B.10 Maximální amplitudová spektra srdcovky výhybky č. 4	- 21 -

PŘÍLOHA C:

Časová a frekvenční analýza: Maximální a minimální hodnoty vybrané skupiny vlaků	- 22 -
C.1 Maximální hodnoty zrychlení vibrací.....	- 23 -
C.2 Minimální hodnoty zrychlení vibrací.....	- 23 -
C.3 Efektivní hodnoty zrychlení vibrací.....	- 24 -
C.4 Hodnoty frekvencí s maximální amplitudou.....	- 24 -
C.5 Maximální hodnoty amplitudového spektra	- 25 -

PŘÍLOHA D:

Časová a frekvenční analýza: Maximální a minimální hodnoty osobního vlaku	- 26 -
D.1 Tabulkové hodnoty časové analýzy osobního vlaku	- 27 -
D.2 Tabulkové hodnoty frekvenční analýzy osobního vlaku	- 27 -

PŘÍLOHA E:

Časová a frekvenční analýza: Grafické zobrazení srdcovky výhybky č. 3 - 28 -

PŘÍLOHA F:

Časová a frekvenční analýza: Grafické zobrazení srdcovky výhybky č. 4 - 57 -

PŘÍLOHA G:

Časová a frekvenční analýza: Grafické zobrazení vybrané skupiny vlaků na srdcovce výhybky č. 3..... - 82 -

PŘÍLOHA H:

Časová a frekvenční analýza: Grafické zobrazení vybrané skupiny vlaků na srdcovce výhybky č. 4..... - 88 -

PŘÍLOHA I:

Časová a frekvenční analýza: Grafické zobrazení osobního vlaku - 94 -

PŘÍLOHA J:

Dvojná integrace..... - 97 -

J.1 Maximální zatlačení pražce pod srdcovkou výhybky č. 3 - 98 -

J.2 Maximální zatlačení pražce pod srdcovkou výhybky č. 4 - 98 -

J.3 Vyhodnocení maximálního zatlačení pražce - 98 -

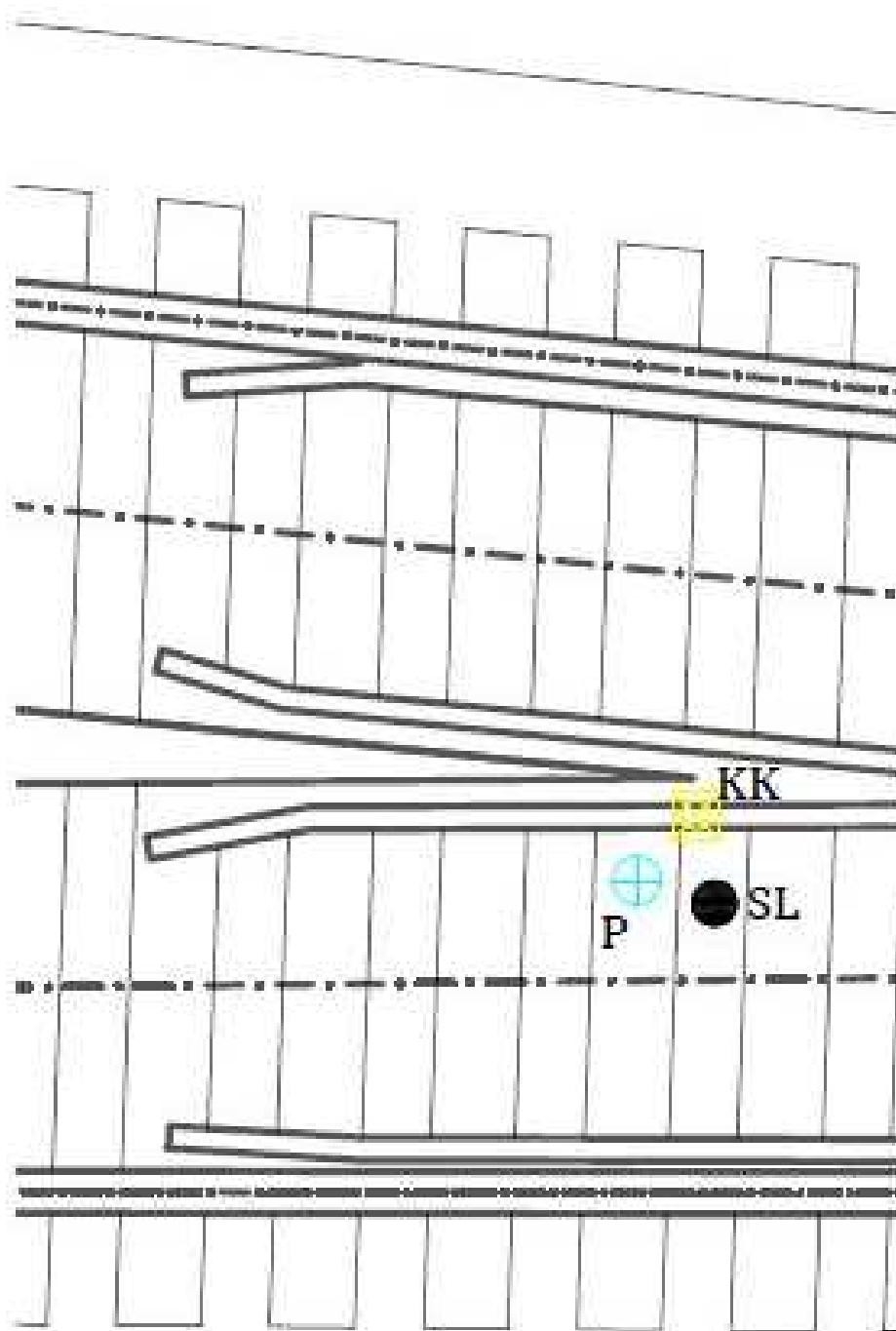
PŘÍLOHA K:

Fotografie z měření - 99 -


PŘÍLOHA A:


Měření

A.1 Schéma rozmístění snímačů na srdcovce výhybky č. 3

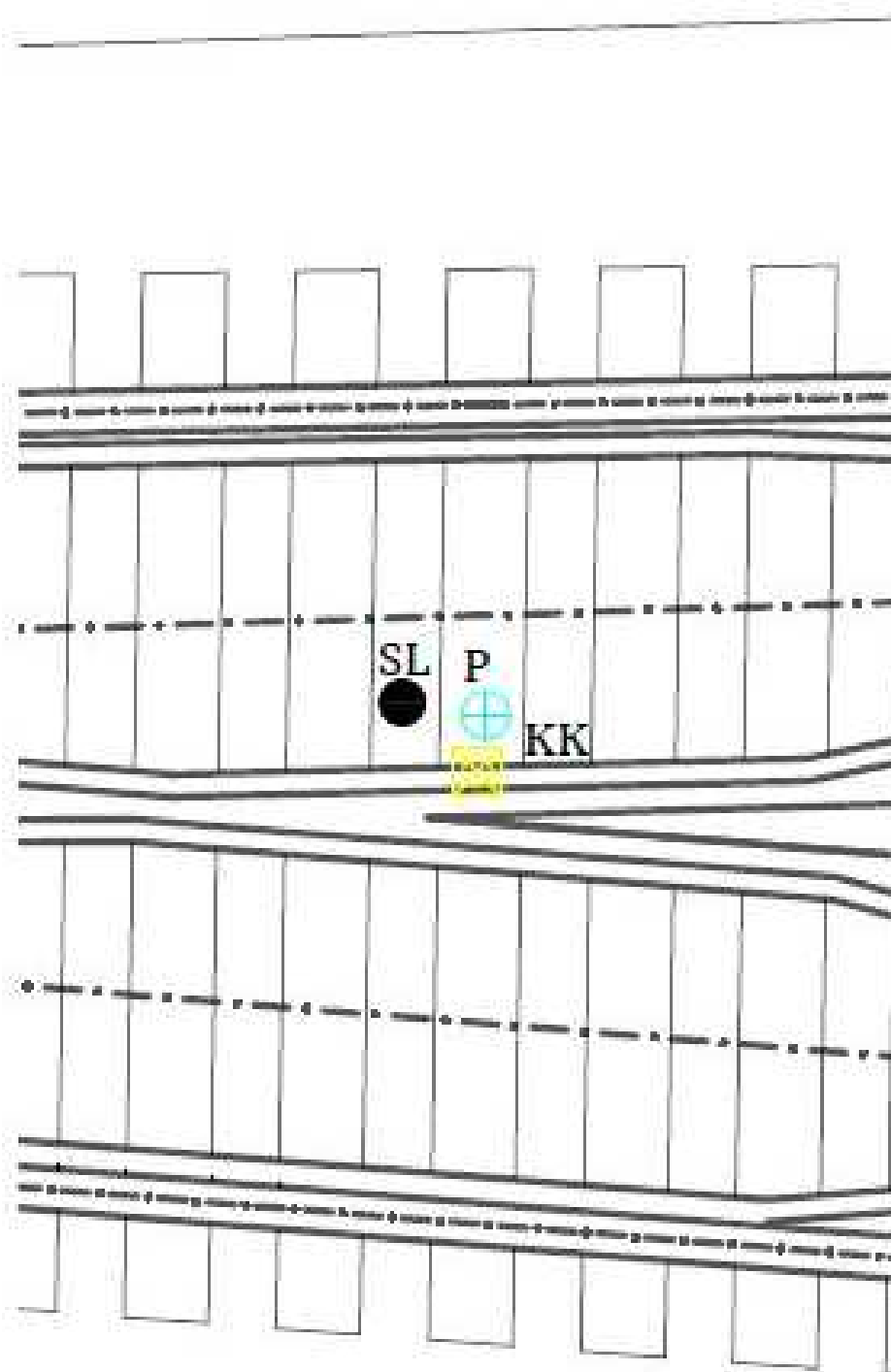


 KK - TROJOSÝ SNÍMAČ


 P - JEDNOOSÝ SNÍMAČ


 SL - JEDNOOSÝ SNÍMAČ
NA OCEL. TYČI

A.2 Schéma rozmístění snímačů na srdcovce výhybky č. 4



 KK - TROJOSÝ SNÍMAČ

 P - JEDNOOSÝ SNÍMAČ

 SL - JEDNOOSÝ SNÍMAČ
NA OCEL. TYČI

A.3 Protokol z měření

MÍSTO:	Ústí nad Orlicí km 255,5–255,6		
DATUM:	08.03.2019 od 9:30 do 13:00		
ÚČASTNÍCI:	prof. Ing. Jaroslav Smutný, Ph.D., Ing. Vladimír Tomandl, Ph.D., Růžková Jitka, pracovník SŽDC		
POČASÍ:	8–11 °C, oblačno, mírný vítr v závěru měření vítr sílil		
TYP MĚŘENÍ:	Měření dle zjednodušené varianty certifikované metodiky "Hodnocení dynamických účinků působících na výhybky", 124/2014-710-VV/1, Ministerstvo dopravy		
POPIS:	Měření na výhybkách č. 3 a č. 4 po listopadové výměně srdcovek. Srdcovky stejné konstrukce J60 1:12/500 - JDS, p, b, ZPTP Trať umístěná ve vysokém náspu na třebovském zhlaví.		
MĚŘICÍ TECHNIKA:	1. Akcelerometry	- trojosý snímač	2× B&K 4524 B 001
		- jednoosý snímač	4× B&K 4507 B 001
	2. Měřicí moduly Bruel&Kjaer		1× BK 3050-A-060,s.n. 3050 - 106720
			1× BK 3053-A-120,s.n. 3053 - 106703
	3. Notebook		1× HP ProBook 6360b, s.n. 2CE1160NVF
			1× Notebook Dell, s.n. 24174044281
	4. Radar k měření rychlosti		2× Buschnell Velocity
	5. Software	- BK LabShop	

A.4 Záznam z měření: Výhybka č. 3 kolej č. 1

Č.M.	SMĚR	ČAS	RYCHLOST [km·h ⁻¹]	DOPRAVCE	SOUPRAVA	POZNÁMKA
1	Č. TŘ.	9:33	131	Leo Express	jednotka FLIRT	
2	Č. TŘ.	9:40	112	ČD	R 660 108-3	
3	Č. TŘ.	9:47	96	ČD	OS 80-30 012-9	
4	Č. TŘ.	9:58	92	CG	N 363 075-3	Plošinové vozy – automobily
5	Č. TŘ.	10:05	82	ČD	R 151 023-9	
6	ÚSTÍ	10:18	62	ČD	R 80-30 016-7	Zastávka Ú.n.O
7	Č. TŘ.	10:23	131	ČD	Railjet 75	
8	Č. TŘ.	10:25	55	ČD	362 030-9	Jízda JKS 4-3 - loko + 3 vozy
9	Č. TŘ.	10:28	62	Arriva vlaky	945 001-5	
10	Č. TŘ.	10:31	50	CG	130 030-0	Lokomotiva
11	Č. TŘ.	10:38	132	Leo Express	jednotka FLIRT	
12	Č. TŘ.	10:41	71	ČD	R 371 001-9	
13	Č. TŘ.	10:43	132	RegioJet	RJ 388 202	
14	Č. TŘ.	10:50	120	ČD	R 361 109-2	
15	Č. TŘ.	11:02	149	ČD	Pendolino 682	Souběh
16	Č. TŘ.	11:16	120	RegioJet	RJ 113	
17	Č. TŘ.	11:22	131	ČD	R 380 003-4	
18	Č. TŘ.	11:34	73	AWT	N 753 737-6	
19	Č. TŘ.	11:49	76	ČD	OS 971 061-7	
20	Č. TŘ.	11:52	83	ČD	R 151 020-5	Souběh
21	Č. TŘ.	11:58	61	HHLA	N 386 015-2	Vysokostěnné vozy
22	Č. TŘ.	12:11	128	ÖBB	R 1214 236	
23	Č. TŘ.	12:22	86	CG	N 130 035-9	Vysokostěnné vozy
24	Č. TŘ.	12:42	130	RegioJet	RJ 388 204	
25	Č. TŘ.	12:44	53	ČD	R 371 004-3	Špatný signál
26	Č. TŘ.	12:46	71	ČD	OS 163 090-4	
27	Č. TŘ.	12:51	106	ČD	R 362 006-9	
28	Č. TŘ.	12:58	143	ČD	Pendolino 682	

A.5 Záznam z měření: Výhybka č. 4 kolej č. 2

Č.M.	SMĚR	ČAS	RYCHLOST [km·h ⁻¹]	DOPRAVCE	SOUPRAVA	POZNÁMKA
1	ÚSTÍ	9:52	130	ČD	Railjet 70	
2	ÚSTÍ	10:01	45		N 130	
3	ÚSTÍ	10:08	130	Leo Express	jednotka FLIRT	
4	ÚSTÍ	10:19	25-45	ČD	R 130	Rozjezd
5	ÚSTÍ	10:25	125	ČD	R 661 109-9	Interpanter 661
6	Č. TRŽ.	10:29	48	ČD	130 030-0	Jízda JKS 4-3
7	ÚSTÍ	10:46	126	RegioJet	RJ	
8	ÚSTÍ	10:54	160	ČD	Pendolino 681	
9	ÚSTÍ	11:02	94	CG	N 130 036-7	Cisterny + vysokostěnné vozy
10	ÚSTÍ	11:23	120	ČD	R 380 002-5	
11	ÚSTÍ	11:26	120	ČD	R 361 130-8	
12	ÚSTÍ	11:28	94	RegioJet	RJ	
13	ÚSTÍ	11:33	46	CG	N 363 038-1	Plošinové vozy – bez nákladu
14	ÚSTÍ	11:45	136	ČD	Railjet 72	
15	ÚSTÍ	11:51	95	ČD	R 371 015-9	Souběh
16	ÚSTÍ	11:57	120	Arriva vlaky	845 103-1	
17	ÚSTÍ	12:12	130	Leo Express	jednotka FLIRT	
18	ÚSTÍ	12:20	75	ČD	OS 162 096-2	
19	ÚSTÍ	12:21	95	ČD	R 661 105-7	Interpanter 661
20	ÚSTÍ	12:31	30-45	ČD	R 151 097-2	Rozjezd
21	ÚSTÍ	12:32	25	CG	130 030-0	Lokomotiva
22	ÚSTÍ	12:40	86		N 386 032-5	Plošinové vozy
23	ÚSTÍ	12:46	128	RegioJet	RJ 117	
24	ÚSTÍ	12:51	136	ČD	R 380 032-5	

PŘÍLOHA B:

Časová a frekvenční analýza:

Tabulkové zobrazení maximálních a minimálních hodnot

LEGENDA BAREVNÉHO ZNAČENÍ VYBRANÝCH VLAKŮ V BAKALÁŘSKÉ PRÁCI



ČD, RAILJET



ČD, PENDOLINO



LEO EXPRESS, FLIRT



REGIOJET, RJ



ČD, ZSSK, LOKOMOTIVA 361



ČD, OSOBNÍ VLAK

B.1 Maximální hodnoty zrychlení vibrační srdcovky výhybky č. 3

Č.V.	Č.M.	DOPRAVCE	SOUPRAVA	RY- CHLOST [km·h ⁻¹]	MAXIMÁLNÍ HODNOTY ZRYCHLENÍ VIBRACÍ [m·s ⁻²]				
					KK _x	KK _y	KK _z	SL _z	P _z
3	1	Leo Express	jednotka FLIRT	131	199	214	828	30	54
3	2	ČD	R 660 108-3	112	131	174	708	18	41
3	3	ČD	OS 80-30 012-9	96	102	146	397	25	81
3	4	CG	N 363 075-3	92	164	199	712	27	94
3	5	ČD	R 151 023-9	82	65	119	400	20	57
3	6	ČD	R 80-30 016-7	62	93	106	303	18	37
3	7	ČD	Railjet 75	131	117	247	719	29	70
3	8	ČD	362 030-9	55	64	72	200	23	61
3	9	Arriva vlaky	945 001-5	62	53	95	260	17	39
3	10	CG	130 030-0	50	39	50	97	12	27
3	11	Leo Express	jednotka FLIRT	132	187	264	850	35	69
3	12	ČD	R 371 001-9	71	68	127	315	23	55
3	13	RegioJet	RJ 388 202	132	162	255	773	39	87
3	14	ČD	R 361 109-2	120	154	223	816	32	110
3	15	ČD	Pendolino 682	149	186	335	1062	30	58
3	16	RegioJet	RJ 113	120	163	207	929	86	131
3	17	ČD	R 380 003-4	131	152	220	781	38	83
3	18	AWT	N 753 737-6	73	101	117	330	43	103
3	19	ČD	OS 971 061-7	76	52	71	270	14	33
3	20	ČD	R 151 020-5	83	55	76	248	13	36
3	21	HHLA	N 386 015-2	61	71	98	367	21	76
3	22	ÖBB	R 1214 236	128	129	268	903	41	63
3	23	CG	N 130 035-9	86	145	165	612	29	149
3	24	RegioJet	RJ 388 204	130	152	232	778	46	85
3	25	ČD	R 371 004-3	53	53	76	303	18	47
3	26	ČD	OS 163 090-4	71	86	131	404	16	70
3	27	ZSSK	R 362 006-9	106	163	207	706	34	103
3	28	ČD	Pendolino 682	143	197	267	933	31	71

B.2 Maximální hodnoty zrychlení vibrační srdcovky výhybky č. 4

Č.V.	Č.M.	DOPRAVCE	SOUPRAVA	RY- CHLOST [km·h ⁻¹]	MAXIMÁLNÍ HODNOTY ZRYCHLENÍ VIBRACÍ [m·s ⁻²]				
					KK _x	KK _y	KK _z	SL _z	P _z
4	1	ČD	Railjet 70	130	112	268	540	44	112
4	2		N 130	45	46	99	179	17	67
4	3	Leo Express	jednotka FLIRT	130	112	307	389	44	115
4	4	ČD	R 130	25-45	28	77	99	8	43
4	5	ČD	R 661 109-9	125	93	214	312	35	84
4	6	ČD	130 030-0	48	362	133	2167	5	48
4	7	RegioJet	RJ	126	160	422	470	68	209
4	8	ČD	Pendolino 681	160	247	379	510	60	134
4	9	CG	N 130 036-7	94	83	236	408	41	132
4	10	ČD	R 380 002-5	120	202	362	547	59	174
4	11	ZSSK	R 361 130-8	120	88	251	496	51	157
4	12	RegioJet	RJ	94	88	179	364	32	101
4	13	CG	N 363 038-1	46	153	351	556	47	109
4	14	ČD	Railjet 72	136	109	277	490	76	174
4	15	ČD	R 371 015-9	95	77	192	318	32	99
4	16	Arriva vlaky	845 103-1	120	127	204	394	48	151
4	17	Leo Express	jednotka FLIRT	130	108	294	369	61	174
4	18	ČD	OS 162 096-2	75	83	148	349	24	110
4	19	ČD	R 661 105-7	95	65	144	301	13	70
4	20	ČD	R 151 097-2	30-45	20	66	102	4	44
4	21	CG	130 030-0	25	8	21	34	2	14
4	22		N 386 032-5	86	85	225	334	34	130
4	23	RegioJet	RJ 117	128	156	425	524	63	161
4	24	ČD	R 380 032-5	136	118	309	538	64	184

B.3 Minimální hodnoty zrychlení vibrací srdcovky výhybky č. 3

Č.V.	Č.M.	DOPRAVCE	SOUPRAVA	RY- CHLOST [km·h ⁻¹]	MINIMÁLNÍ HODNOTY ZRYCHLENÍ VIBRACÍ [m·s ⁻²]				
					KK _x	KK _y	KK _z	SL _z	P _z
3	1	Leo Express	jednotka FLIRT	131	-160	-181	-611	-33	-57
3	2	ČD	R 660 108-3	112	-173	-159	-563	-16	-43
3	3	ČD	OS 80-30 012-9	96	-252	-120	-429	-28	-106
3	4	CG	N 363 075-3	92	-224	-167	-850	-35	-76
3	5	ČD	R 151 023-9	82	-83	-108	-393	-25	-63
3	6	ČD	R 80-30 016-7	62	-84	-91	-443	-25	-44
3	7	ČD	Railjet 75	131	-193	-204	-559	-43	-80
3	8	ČD	362 030-9	55	-51	-74	-302	-28	-57
3	9	Arriva vlaky	945 001-5	62	-36	-66	-249	-19	-42
3	10	CG	130 030-0	50	-164	-52	-274	-12	-24
3	11	Leo Express	jednotka FLIRT	132	-190	-202	-664	-46	-82
3	12	ČD	R 371 001-9	71	-67	-120	-411	-55	-52
3	13	RegioJet	RJ 388 202	132	-160	-197	-720	-71	-104
3	14	ČD	R 361 109-2	120	-178	-232	-696	-57	-100
3	15	ČD	Pendolino 682	149	-292	-233	-786	-32	-70
3	16	RegioJet	RJ 113	120	-243	-255	-748	-113	-111
3	17	ČD	R 380 003-4	131	-401	-207	-675	-74	-96
3	18	AWT	N 753 737-6	73	-118	-126	-357	-71	-84
3	19	ČD	OS 971 061-7	76	-41	-79	-291	-19	-37
3	20	ČD	R 151 020-5	83	-44	-98	-293	-22	-27
3	21	HHLA	N 386 015-2	61	-73	-80	-290	-28	-74
3	22	ÖBB	R 1214 236	128	-179	-225	-785	-55	-68
3	23	CG	N 130 035-9	86	-148	-160	-617	-57	-123
3	24	RegioJet	RJ 388 204	130	-169	-260	-739	-68	-92
3	25	ČD	R 371 004-3	53	-71	-68	-277	-19	-37
3	26	ČD	OS 163 090-4	71	-93	-103	-385	-20	-71
3	27	ZSSK	R 362 006-9	106	-178	-293	-650	-43	-104
3	28	ČD	Pendolino 682	143	-280	-220	-638	-45	-67

B.4 Minimální hodnoty zrychlení vibrací srdcovky výhybky č. 4

Č.V.	Č.M.	DOPRAVCE	SOUPRAVA	RY- CHLOST [km·h ⁻¹]	MINIMÁLNÍ HODNOTY ZRYCHLENÍ VIBRACÍ [m·s ⁻²]				
					KK _x	KK _y	KK _z	SL _z	P _z
4	1	ČD	Railjet 70	130	-154	-210	-530	-59	-105
4	2		N 130	45	-55	-82	-259	-22	-65
4	3	Leo Express	jednotka FLIRT	130	-163	-236	-455	-57	-138
4	4	ČD	R 130	25-45	-32	-68	-159	-7	-34
4	5	ČD	R 661 109-9	125	-129	-159	-359	-32	-64
4	6	ČD	130 030-0	48	-273	-653	-1874	-3	-48
4	7	RegioJet	RJ	126	-163	-296	-585	-59	-135
4	8	ČD	Pendolino 681	160	-241	-268	-477	-62	-117
4	9	CG	N 130 036-7	94	-92	-162	-441	-47	-117
4	10	ČD	R 380 002-5	120	-217	-282	-597	-69	-175
4	11	ZSSK	R 361 130-8	120	-140	-172	-462	-73	-115
4	12	RegioJet	RJ	94	-90	-163	-369	-45	-71
4	13	CG	N 363 038-1	46	-182	-241	-511	-54	-130
4	14	ČD	Railjet 72	136	-211	-214	-484	-70	-130
4	15	ČD	R 371 015-9	95	-90	-161	-364	-46	-88
4	16	Arriva vlaky	845 103-1	120	-136	-187	-377	-55	-139
4	17	Leo Express	jednotka FLIRT	130	-165	-250	-450	-62	-127
4	18	ČD	OS 162 096-2	75	-110	-146	-438	-37	-98
4	19	ČD	R 661 105-7	95	-69	-140	-340	-10	-61
4	20	ČD	R 151 097-2	30-45	-22	-53	-154	-3	-77
4	21	CG	130 030-0	25	-9	-22	-32	-2	-12
4	22		N 386 032-5	86	-85	-168	-394	-40	-126
4	23	RegioJet	RJ 117	128	-173	-311	-543	-81	-130
4	24	ČD	R 380 032-5	136	-157	-273	-611	-62	-139

B.5 Efektivní hodnoty zrychlení vibrační srdcovky výhybky č. 3

Č.V.	Č.M.	DOPRAVCE	SOUPRAVA	RY- CHLOST [km·h ⁻¹]	EFEKTIVNÍ HODNOTY ZRYCHLENÍ VIBRACÍ [m·s ⁻²]				
					KK _x	KK _y	KK _z	SL _z	P _z
3	1	Leo Express	jednotka FLIRT	131	14	22	63	3	8
3	2	ČD	R 660 108-3	112	10	17	51	2	6
3	3	ČD	OS 80-30 012-9	96	10	13	37	2	8
3	4	CG	N 363 075-3	92	14	21	57	2	11
3	5	ČD	R 151 023-9	82	7	11	30	2	6
3	6	ČD	R 80-30 016-7	62	5	8	26	1	5
3	7	ČD	Railjet 75	131	14	24	65	4	10
3	8	ČD	362 030-9	55	4	8	22	1	6
3	9	Arriva vlaky	945 001-5	62	4	8	21	1	5
3	10	CG	130 030-0	50	4	5	13	1	3
3	11	Leo Express	jednotka FLIRT	132	15	24	67	4	11
3	12	ČD	R 371 001-9	71	6	11	33	2	5
3	13	RegioJet	RJ 388 202	132	14	24	64	4	11
3	14	ČD	R 361 109-2	120	16	25	67	3	11
3	15	ČD	Pendolino 682	149	20	33	81	3	11
3	16	RegioJet	RJ 113	120	15	24	66	4	14
3	17	ČD	R 380 003-4	131	16	25	67	4	11
3	18	AWT	N 753 737-6	73	6	10	28	1	6
3	19	ČD	OS 971 061-7	76	4	7	20	1	3
3	20	ČD	R 151 020-5	83	4	7	22	1	4
3	21	HHLA	N 386 015-2	61	5	8	22	1	5
3	22	ÖBB	R 1214 236	128	16	27	72	3	9
3	23	CG	N 130 035-9	86	18	26	68	2	19
3	24	RegioJet	RJ 388 204	130	15	26	70	4	12
3	25	ČD	R 371 004-3	53	5	8	23	1	5
3	26	ČD	OS 163 090-4	71	6	11	34	1	6
3	27	ZSSK	R 362 006-9	106	13	21	57	3	9
3	28	ČD	Pendolino 682	143	19	30	79	3	11

B.6 Efektivní hodnoty zrychlení vibrační srdcovky výhybky č. 4

Č.V.	Č.M.	DOPRAVCE	SOUPRAVA	RY- CHLOST [km·h ⁻¹]	EFEKTIVNÍ HODNOTY ZRYCHLENÍ VIBRACÍ [m·s ⁻²]				
					KK _x	KK _y	KK _z	SL _z	P _z
4	1	ČD	Railjet 70	130	13	23	51	4	16
4	2		N 130	45	5	10	25	1	7
4	3	Leo Express	jednotka FLIRT	130	13	22	49	3	16
4	4	ČD	R 130	25-45	2	4	8	0	4
4	5	ČD	R 661 109-9	125	11	19	44	1	11
4	6	ČD	130 030-0	48	14	24	63	0	4
4	7	RegioJet	RJ	126	15	27	58	3	18
4	8	ČD	Pendolino 681	160	21	35	70	3	16
4	9	CG	N 130 036-7	94	9	17	38	2	15
4	10	ČD	R 380 002-5	120	14	24	52	2	17
4	11	ZSSK	R 361 130-8	120	10	19	43	2	14
4	12	RegioJet	RJ	94	7	14	34	2	10
4	13	CG	N 363 038-1	46	20	34	70	3	19
4	14	ČD	Railjet 72	136	13	24	54	4	20
4	15	ČD	R 371 015-9	95	8	15	35	1	11
4	16	Arriva vlaky	845 103-1	120	13	22	49	2	17
4	17	Leo Express	jednotka FLIRT	130	13	22	50	3	18
4	18	ČD	OS 162 096-2	75	7	13	31	1	9
4	19	ČD	R 661 105-7	95	9	16	42	1	9
4	20	ČD	R 151 097-2	30-45	2	4	9	0	3
4	21	CG	130 030-0	25	1	1	3	0	2
4	22		N 386 032-5	86	9	16	36	2	13
4	23	RegioJet	RJ 117	128	14	27	61	3	21
4	24	ČD	R 380 032-5	136	13	25	59	2	18

B.7 Maximální frekvenční hodnoty srdcovky výhybky č. 3

Č.V.	Č.M.	DOPRAVCE	SOUPRAVA	RY- CHLOST [km·h ⁻¹]	FREKVENČNÍ MAXIMUM [Hz]				
					KK _x	KK _y	KK _z	SL _z	P _z
3	1	Leo Express	jednotka FLIRT	131	658	518	369	69	67
3	2	ČD	R 660 108-3	112	483	383	300	54	54
3	3	ČD	OS 80-30 012-9	96	8	346	255	50	76
3	4	CG	N 363 075-3	92	296	576	254	63	79
3	5	ČD	R 151 023-9	82	600	542	234	50	62
3	6	ČD	R 80-30 016-7	62	578	354	219	54	69
3	7	ČD	Railjet 75	131	546	373	369	115	57
3	8	ČD	362 030-9	55	330	378	378	84	80
3	9	Arriva vlaky	945 001-5	62	528	344	166	103	56
3	10	CG	130 030-0	50	40	178	335	65	101
3	11	Leo Express	jednotka FLIRT	132	690	386	349	98	84
3	12	ČD	R 371 001-9	71	600	600	251	65	59
3	13	RegioJet	RJ 388 202	132	535	535	359	116	60
3	14	ČD	R 361 109-2	120	437	493	356	108	80
3	15	ČD	Pendolino 682	149	520	520	347	62	62
3	16	RegioJet	RJ 113	120	524	523	346	41	81
3	17	ČD	R 380 003-4	131	684	552	352	99	59
3	18	AWT	N 753 737-6	73	683	356	243	110	64
3	19	ČD	OS 971 061-7	76	600	176	228	47	46
3	20	ČD	R 151 020-5	83	695	577	225	93	62
3	21	HHLA	N 386 015-2	61	659	501	201	56	80
3	22	ÖBB	R 1214 236	128	638	551	343	101	59
3	23	CG	N 130 035-9	86	650	516	352	98	82
3	24	RegioJet	RJ 388 204	130	546	374	345	44	60
3	25	ČD	R 371 004-3	53	600	600	241	50	80
3	26	ČD	OS 163 090-4	71	663	513	237	46	71
3	27	ZSSK	R 362 006-9	106	479	481	344	52	75
3	28	ČD	Pendolino 682	143	494	494	406	106	59

B.8 Maximální frekvenční hodnoty srdcovky výhybky č. 4

Č.V.	Č.M.	DOPRAVCE	SOUPRAVA	RY- CHLOST [km·h ⁻¹]	FREKVENČNÍ MAXIMUM [Hz]				
					KK _x	KK _y	KK _z	SL _z	P _z
4	1	ČD	Railjet 70	130	572	259	259	130	87
4	2		N 130	45	690	319	275	42	81
4	3	Leo Express	jednotka FLIRT	130	565	251	249	144	93
4	4	ČD	R 130	25-45	204	233	234	39	77
4	5	ČD	R 661 109-9	125	684	1242	231	139	79
4	6	ČD	130 030-0	48	5	6	11	62	105
4	7	RegioJet	RJ	126	748	315	57	109	84
4	8	ČD	Pendolino 681	160	939	939	297	129	65
4	9	CG	N 130 036-7	94	585	536	199	120	84
4	10	ČD	R 380 002-5	120	1155	405	219	105	75
4	11	ZSSK	R 361 130-8	120	637	213	213	125	69
4	12	RegioJet	RJ	94	533	301	300	111	63
4	13	CG	N 363 038-1	46	596	980	614	94	86
4	14	ČD	Railjet 72	136	557	251	251	126	84
4	15	ČD	R 371 015-9	95	516	443	224	40	90
4	16	Arriva vlaky	845 103-1	120	1198	258	223	140	87
4	17	Leo Express	jednotka FLIRT	130	553	529	244	117	78
4	18	ČD	OS 162 096-2	75	481	265	249	89	88
4	19	ČD	R 661 105-7	95	552	256	256	47	67
4	20	ČD	R 151 097-2	30-45	288	290	278	46	72
4	21	CG	130 030-0	25	149	133	147	45	105
4	22		N 386 032-5	86	534	1257	273	131	76
4	23	RegioJet	RJ 117	128	560	251	251	43	85
4	24	ČD	R 380 032-5	136	559	253	253	43	85

B.9 Maximální amplitudová spektra srdcovky výhybky č. 3

Č.V.	Č.M.	DOPRAVCE	SOUPRAVA	RY- CHLOST [km·h ⁻¹]	MAXIMÁLNÍ AMPLITUDOVÉ SPEKTRUM [m·s ⁻²]				
					KK _x	KK _y	KK _z	SL _z	P _z
3	1	Leo Express	jednotka FLIRT	131	0,7	1,5	4,5	0,3	1,0
3	2	ČD	R 660 108-3	112	0,4	0,9	2,6	0,3	0,5
3	3	ČD	OS 80-30 012-9	96	0,6	0,6	2,4	0,2	0,8
3	4	CG	N 363 075-3	92	0,3	0,6	1,9	0,2	0,9
3	5	ČD	R 151 023-9	82	0,2	0,4	1,3	0,1	0,4
3	6	ČD	R 80-30 016-7	62	0,2	0,4	1,9	0,1	0,6
3	7	ČD	Railjet 75	131	0,7	1,6	4,6	0,4	1,4
3	8	ČD	362 030-9	55	0,2	0,4	1,3	0,1	0,6
3	9	Arriva vlaky	945 001-5	62	0,2	0,6	1,6	0,2	0,8
3	10	CG	130 030-0	50	0,3	0,5	1,3	0,1	0,4
3	11	Leo Express	jednotka FLIRT	132	0,9	1,6	4,9	0,4	2,0
3	12	ČD	R 371 001-9	71	0,3	0,5	1,9	0,1	0,5
3	13	RegioJet	RJ 388 202	132	0,6	1,6	4,4	0,4	1,4
3	14	ČD	R 361 109-2	120	0,7	1,5	4,6	0,3	1,6
3	15	ČD	Pendolino 682	149	1,5	3,0	6,4	0,3	1,4
3	16	RegioJet	RJ 113	120	0,6	1,6	3,1	0,4	1,6
3	17	ČD	R 380 003-4	131	0,8	1,7	4,1	0,4	1,6
3	18	AWT	N 753 737-6	73	0,1	0,2	0,9	0,0	0,5
3	19	ČD	OS 971 061-7	76	0,2	0,3	1,2	0,1	0,2
3	20	ČD	R 151 020-5	83	0,1	0,3	1,2	0,1	0,4
3	21	HHLA	N 386 015-2	61	0,1	0,2	0,5	0,0	0,2
3	22	ÖBB	R 1214 236	128	1,2	3,4	6,9	0,5	1,6
3	23	CG	N 130 035-9	86	0,6	1,1	2,5	0,1	3,0
3	24	RegioJet	RJ 388 204	130	0,6	1,5	4,5	0,3	1,6
3	25	ČD	R 371 004-3	53	0,2	0,3	1,0	0,1	0,4
3	26	ČD	OS 163 090-4	71	0,3	0,7	2,5	0,1	0,8
3	27	ZSSK	R 362 006-9	106	0,5	1,1	3,5	0,2	0,9
3	28	ČD	Pendolino 682	143	0,9	2,2	4,3	0,4	1,2

B.10 Maximální amplitudová spektra srdcovky výhybky č. 4

Č.V.	Č.M.	DOPRAVCE	SOUPRAVA	RY- CHLOST [km·h ⁻¹]	MAXIMÁLNÍ AMPLITUDOVÉ SPEKTRUM [m·s ⁻²]				
					KK _x	KK _y	KK _z	SL _z	P _z
4	1	ČD	Railjet 70	130	0,7	1,3	3,1	0,3	2,8
4	2		N 130	45	0,1	0,3	0,9	0,0	0,3
4	3	Leo Express	jednotka FLIRT	130	0,9	1,1	4,2	0,2	3,0
4	4	ČD	R 130	25-45	0,0	0,1	0,3	0,0	0,2
4	5	ČD	R 661 109-9	125	0,6	0,8	2,3	0,1	1,4
4	6	ČD	130 030-0	48	2,4	3,9	4,3	0,0	0,6
4	7	RegioJet	RJ	126	0,6	1,0	3,1	0,2	2,9
4	8	ČD	Pendolino 681	160	3,2	3,6	8,7	0,5	3,5
4	9	CG	N 130 036-7	94	0,2	0,4	1,3	0,1	1,3
4	10	ČD	R 380 002-5	120	0,5	0,7	1,7	0,1	1,5
4	11	ZSSK	R 361 130-8	120	0,4	0,7	2,6	0,1	1,5
4	12	RegioJet	RJ	94	0,6	0,9	2,3	0,1	1,3
4	13	CG	N 363 038-1	46	0,8	1,4	3,0	0,2	1,5
4	14	ČD	Railjet 72	136	0,7	1,3	3,1	0,2	2,7
4	15	ČD	R 371 015-9	95	0,3	0,5	1,3	0,1	0,8
4	16	Arriva vlaky	845 103-1	120	0,8	1,1	3,7	0,1	3,5
4	17	Leo Express	jednotka FLIRT	130	1,1	1,3	4,2	0,2	3,9
4	18	ČD	OS 162 096-2	75	0,3	0,7	2,2	0,1	1,0
4	19	ČD	R 661 105-7	95	0,5	0,8	2,6	0,1	0,7
4	20	ČD	R 151 097-2	30-45	0,0	0,1	0,3	0,0	0,2
4	21	CG	130 030-0	25	0,0	0,1	0,2	0,0	0,2
4	22		N 386 032-5	86	0,2	0,4	1,5	0,1	1,1
4	23	RegioJet	RJ 117	128	0,7	1,6	4,0	0,2	3,1
4	24	ČD	R 380 032-5	136	0,5	2,0	5,6	0,1	1,8

PŘÍLOHA C:

Časová a frekvenční analýza:

Maximální a minimální hodnoty

vybrané skupiny vlaků

C.1 Maximální hodnoty zrychlení vibrací

TYP VLAKU	V.Č.	v [km·h ⁻¹]	MAXIMÁLNÍ HODNOTY ZRYCHLENÍ VIBRACÍ [m·s ⁻²]				
			KK _x	KK _y	KK _z	P _z	SL _z
RAILJET	3	131	117	247	719	70	29
	4	133	110	272	515	143	60
PENDOLINO	3	146	191	301	997	65	31
	4	160	247	379	510	134	60
LEO EXPRESS	3	132	193	239	839	62	33
	4	130	110	300	379	145	53
REGIOJET	3	131	157	243	776	86	43
	4	127	158	423	497	185	65
LOKOMOTIVA 361	3	120	154	223	816	110	32
	4	120	88	251	496	157	51

C.2 Minimální hodnoty zrychlení vibrací

TYP VLAKU	V.Č.	v [km·h ⁻¹]	MINIMÁLNÍ HODNOTY ZRYCHLENÍ VIBRACÍ [m·s ⁻²]				
			KK _x	KK _y	KK _z	P _z	SL _z
RAILJET	3	131	-193	-204	-559	-80	-28
	4	133	-183	-212	-507	-118	-65
PENDOLINO	3	146	-286	-226	-712	-68	-79
	4	160	-241	-268	-477	-117	-62
LEO EXPRESS	3	132	-175	-192	-638	-70	-40
	4	130	-164	-243	-453	-132	-59
REGIOJET	3	131	-164	-229	-729	-98	-38
	4	127	-168	-303	-564	-132	-70
LOKOMOTIVA 361	3	120	-178	-232	-696	-100	-57
	4	120	-140	-172	-462	-115	-73

C.3 Efektivní hodnoty zrychlení vibrací

TYP VLAKU	V.Č.	v [km·h ⁻¹]	EFEKTIVNÍ HODNOTY ZRYCHLENÍ VIBRACÍ [m·s ⁻²]				
			KK _x	KK _y	KK _z	P _z	SL _z
RAILJET	3	131	14	24	65	10	4
	4	133	13	24	52	18	4
PENDOLINO	3	146	19	32	80	11	3
	4	160	21	35	70	16	3
LEO EXPRESS	3	132	15	23	65	9	3
	4	130	13	22	50	17	3
REGIOJET	3	131	15	25	67	12	4
	4	127	15	27	59	20	3
LOKOMOTIVA 361	3	120	16	25	67	11	3
	4	120	10	19	43	14	2

C.4 Hodnoty frekvencí s maximální amplitudou

TYP VLAKU	V.Č.	v [km·h ⁻¹]	FREKVENČNÍ SPEKTRUM [Hz]				
			KK _x	KK _y	KK _z	P _z	SL _z
RAILJET	3	131	546	373	369	57	115
	4	133	564	255	255	86	128
PENDOLINO	3	146	507	507	377	61	84
	4	160	939	939	297	65	129
LEO EXPRESS	3	132	674	452	359	75	83
	4	130	559	390	246	85	130
REGIOJET	3	131	540	454	352	60	80
	4	127	654	283	154	85	76
LOKOMOTIVA 361	3	120	437	493	356	80	108
	4	120	637	213	213	69	125

C.5 Maximální hodnoty amplitudového spektra

TYP VLAKU	V.Č.	v [km·h ⁻¹]	MAXIMÁLNÍ AMPLITUDOVÉ SPEKTRUM [m·s ⁻²]				
			KK _x	KK _y	KK _z	P _z	SL _z
RAILJET	3	131	0,7	1,6	4,6	1,4	0,4
	4	133	0,7	1,3	3,1	2,7	0,3
PENDOLINO	3	146	1,2	2,6	5,3	1,3	0,4
	4	160	3,2	3,6	8,7	3,5	0,5
LEO EXPRESS	3	132	0,8	1,5	4,7	1,5	0,4
	4	130	1,0	1,2	4,2	3,5	0,2
REGIOJET	3	131	0,6	1,6	4,4	1,5	0,3
	4	127	0,7	1,3	3,6	3,0	0,2
LOKOMOTIVA 361	3	120	0,7	1,5	4,6	1,6	0,3
	4	120	0,4	0,7	2,6	1,5	0,1

PŘÍLOHA D:

Časová a frekvenční analýza:

Maximální a minimální hodnoty

osobního vlaku

D.1 Tabulkové hodnoty časové analýzy osobního vlaku

TYP VLAKU	V.Č.	v [km·h ⁻¹]	MAXIMÁLNÍ HODNOTY ZRYCHLENÍ VIBRACÍ [m·s ⁻²]				
			KK _x	KK _y	KK _z	P _z	SL _z
OSOBNÍ	3	71	86	131	404	70	16
	4	75	83	148	349	110	24
TYP VLAKU	V.Č.	v [km·h ⁻¹]	MINIMÁLNÍ HODNOTY ZRYCHLENÍ VIBRACÍ [m·s ⁻²]				
			KK _x	KK _y	KK _z	P _z	SL _z
OSOBNÍ	3	71	-93	-103	-385	-71	-20
	4	75	-110	-146	-438	-98	-37
TYP VLAKU	V.Č.	v [km·h ⁻¹]	EFEKTIVNÍ HODNOTY ZRYCHLENÍ VIBRACÍ [m·s ⁻²]				
			KK _x	KK _y	KK _z	P _z	SL _z
OSOBNÍ	3	71	6	11	34	6	1
	4	75	7	13	31	9	1

D.2 Tabulkové hodnoty frekvenční analýzy osobního vlaku

TYP VLAKU	V.Č.	v [km·h ⁻¹]	MAXIMÁLNÍ AMPLITUDOVÉ SPEKTRUM [m·s ⁻²]				
			KK _x	KK _y	KK _z	P _z	SL _z
OSOBNÍ	3	71	0,3	0,7	2,5	0,8	0,1
	4	75	0,3	0,7	2,2	1,0	0,1
TYP VLAKU	V.Č.	v [km·h ⁻¹]	FREKVENČNÍ SPEKTRUM [Hz]				
			KK _x	KK _y	KK _z	P _z	SL _z
OSOBNÍ	3	71	663	513	237	71	46
	4	75	481	265	249	88	89

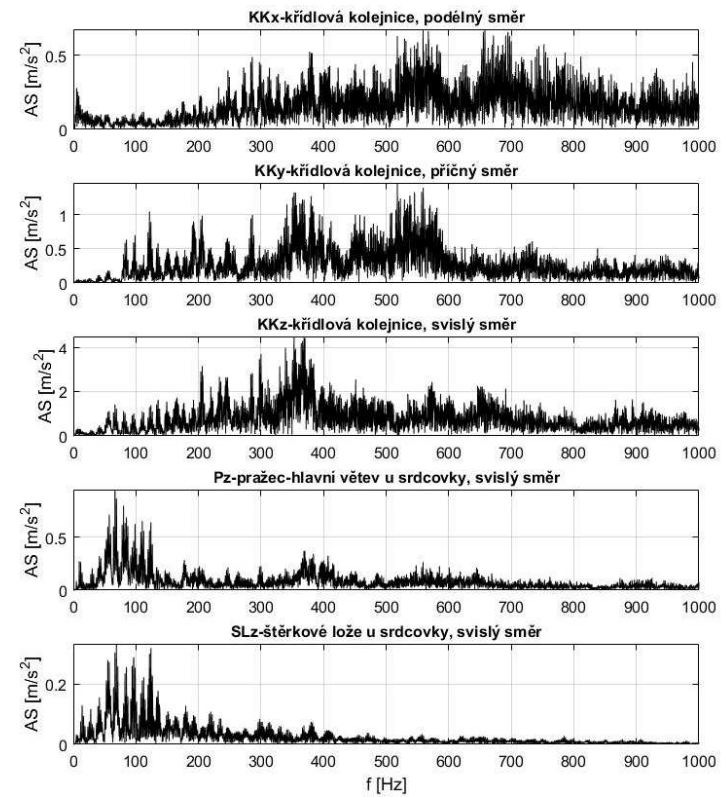
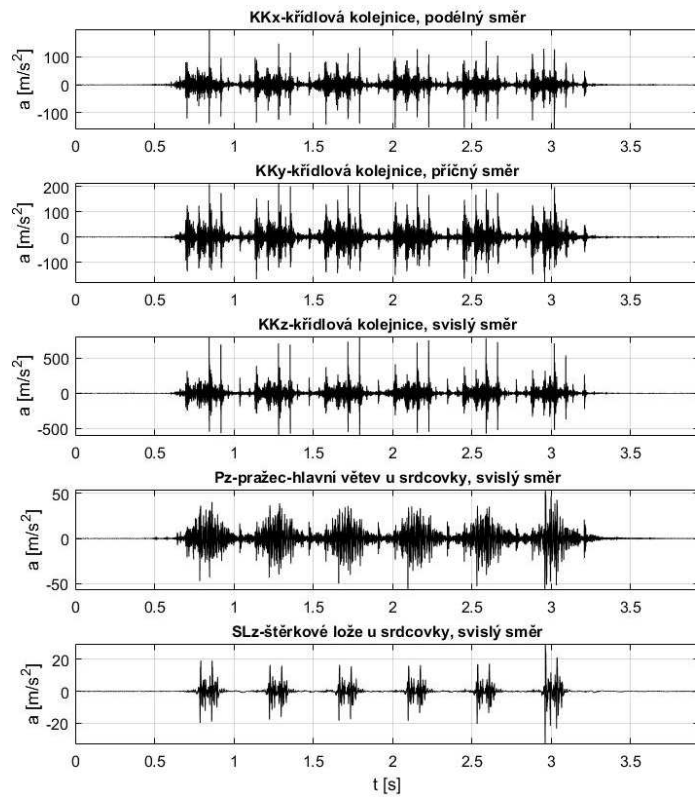
PŘÍLOHA E:

Časová a frekvenční analýza:

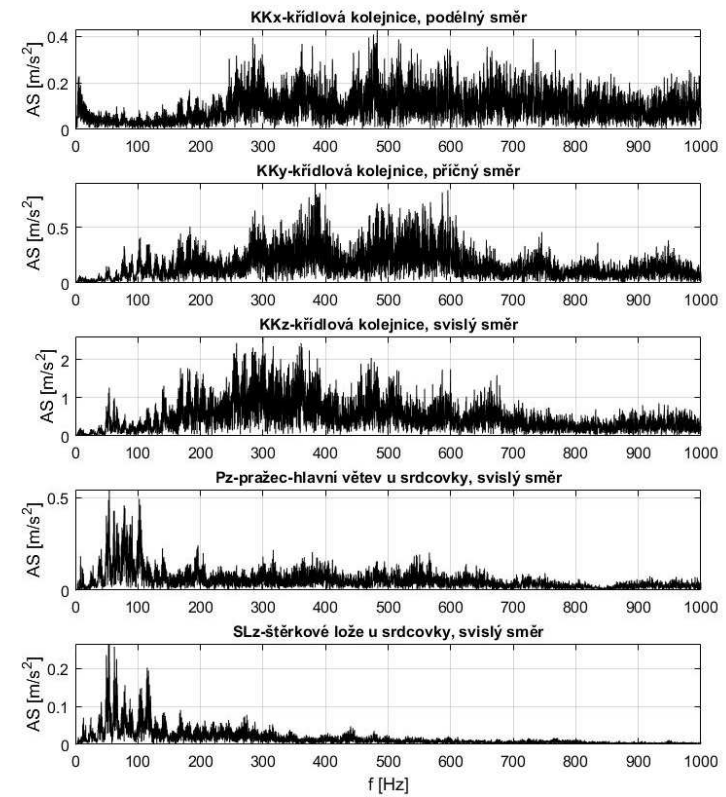
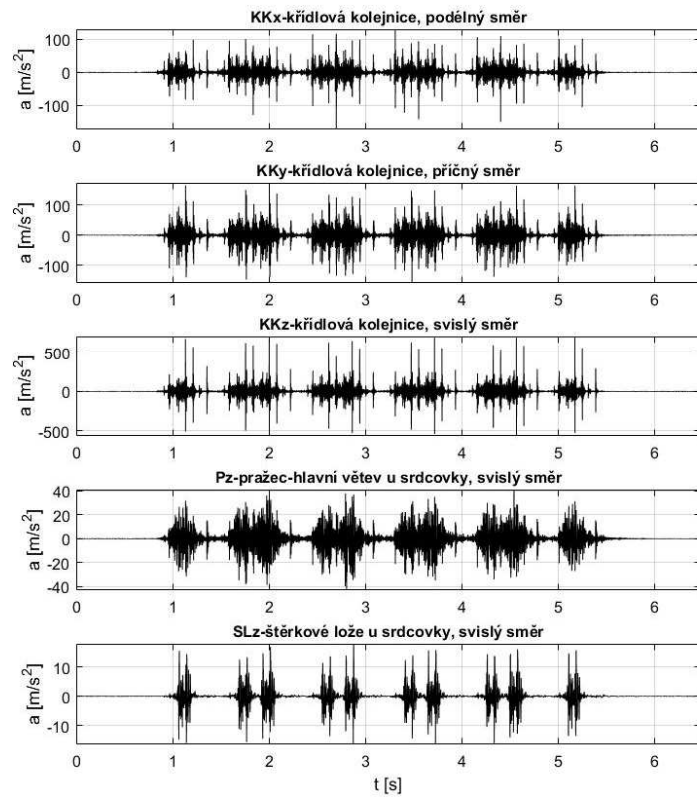
Grafické zobrazení srdcovky

výhybky č. 3

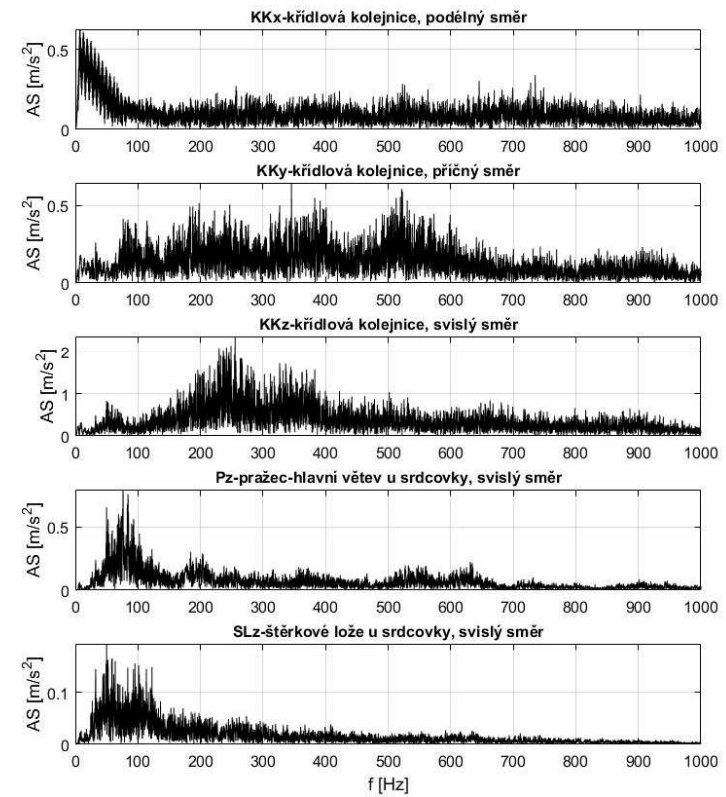
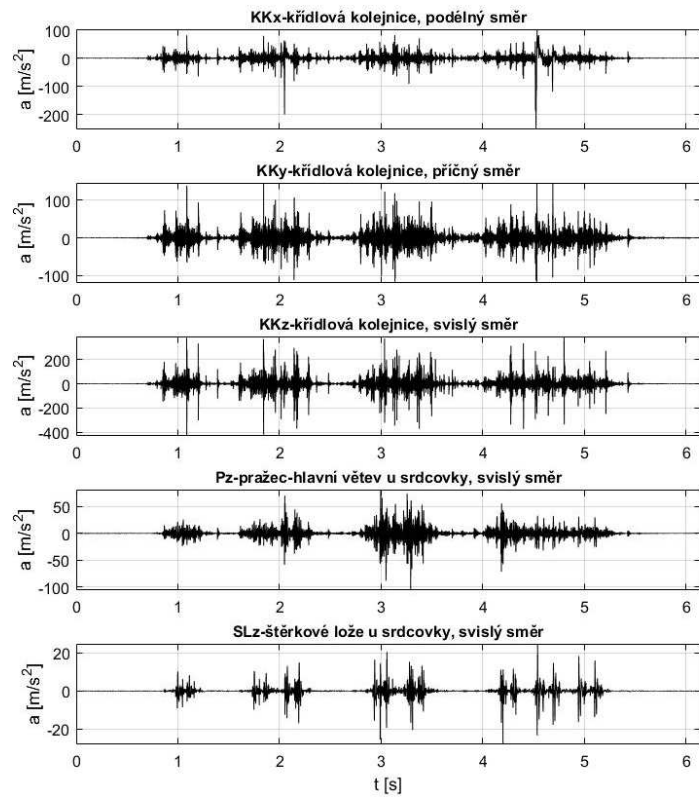
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_3\Vlak_1_1.mat



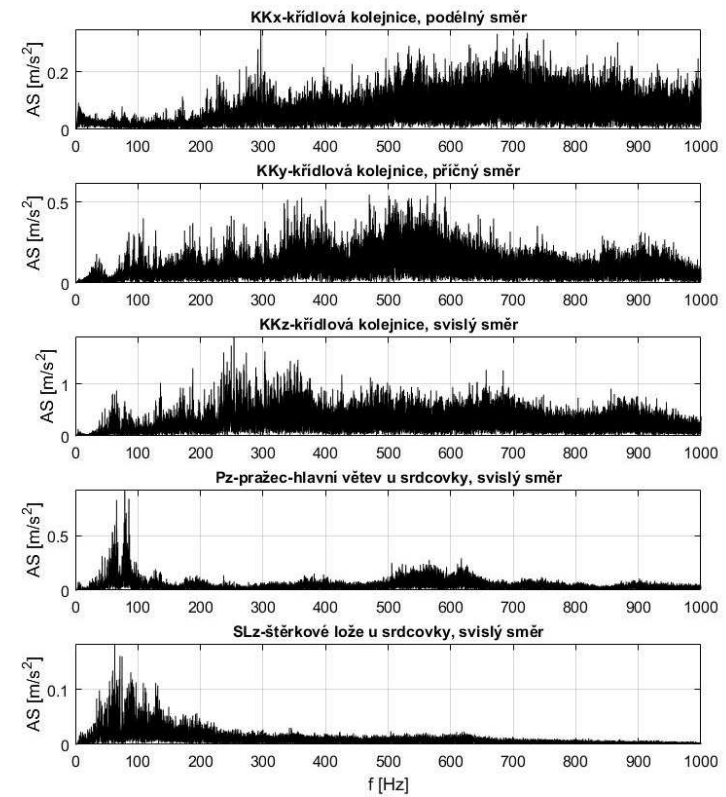
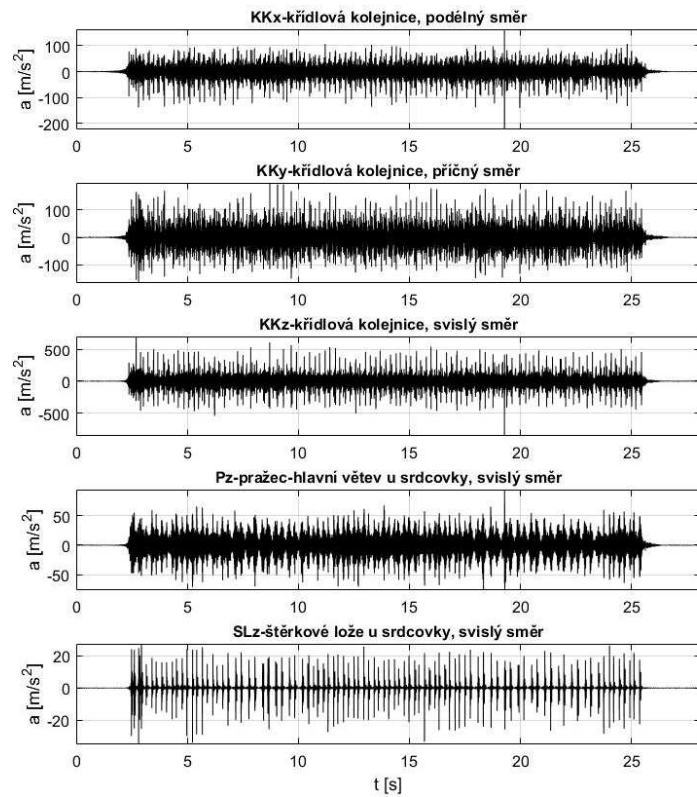
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_3\Vlak_1_2.mat



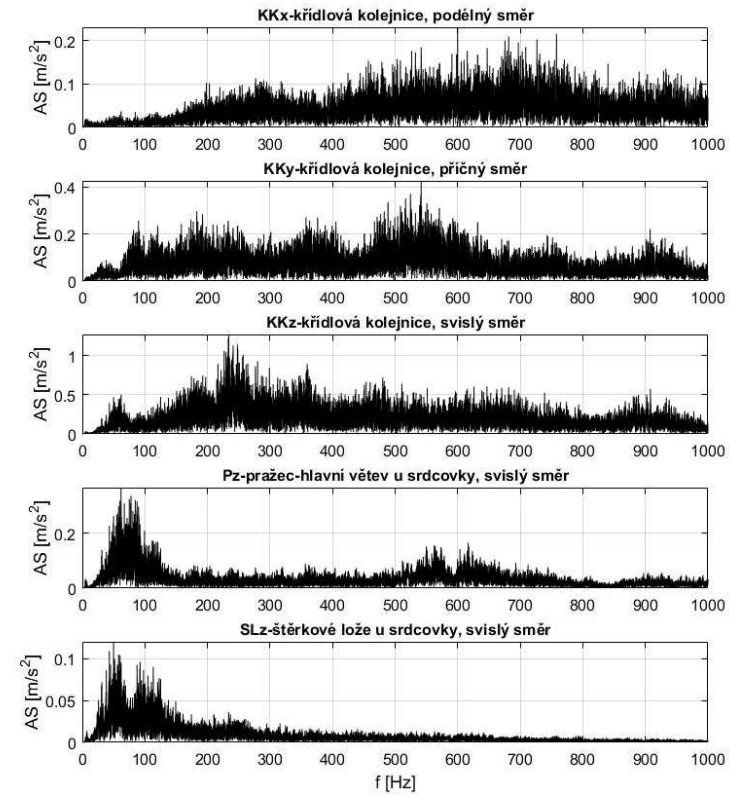
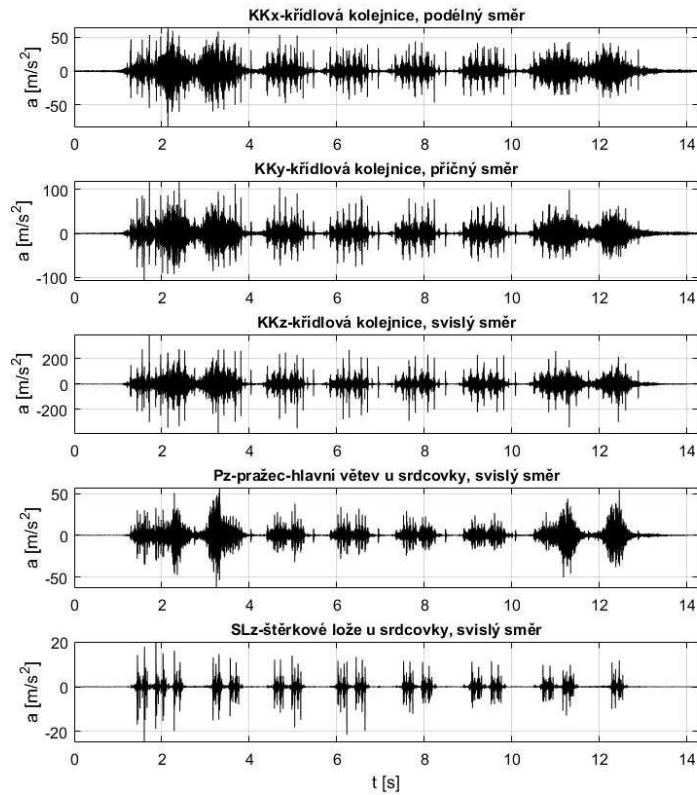
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_3\Vlak_1_3.mat



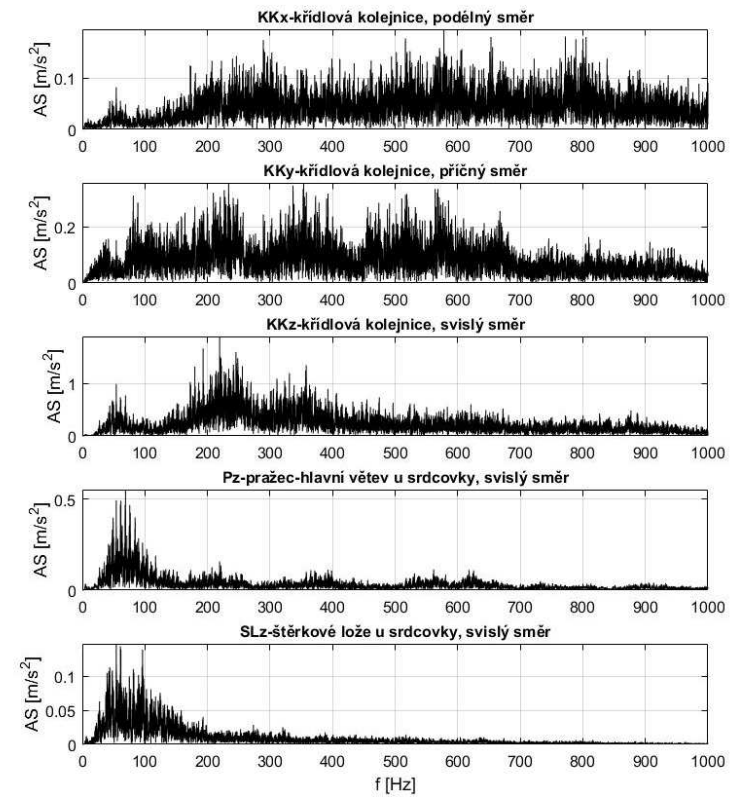
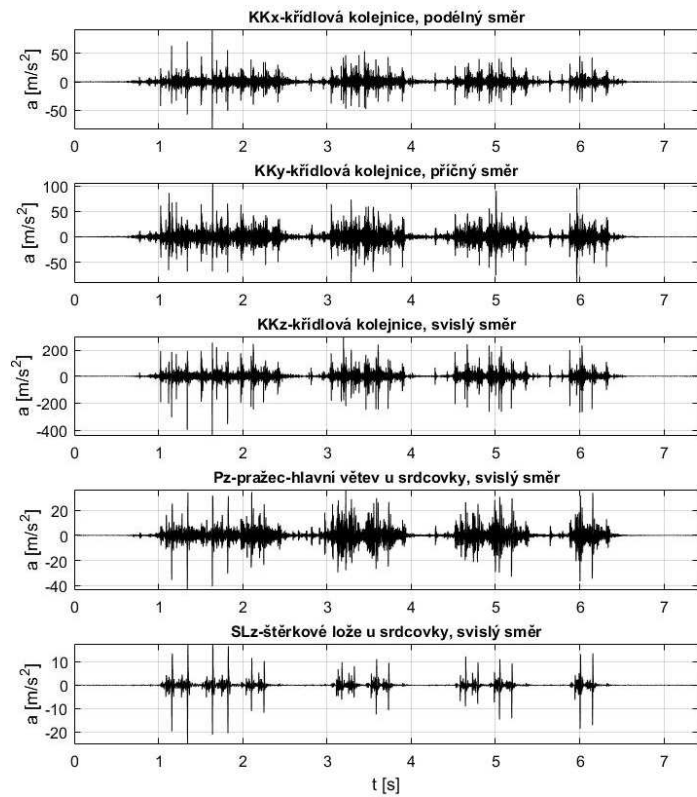
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_3\Vlak_1_4.mat



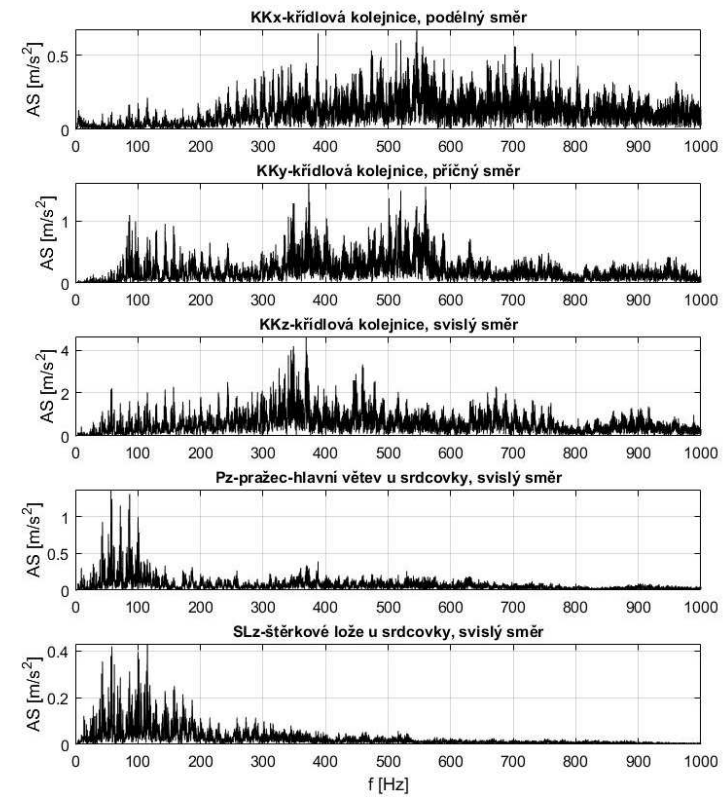
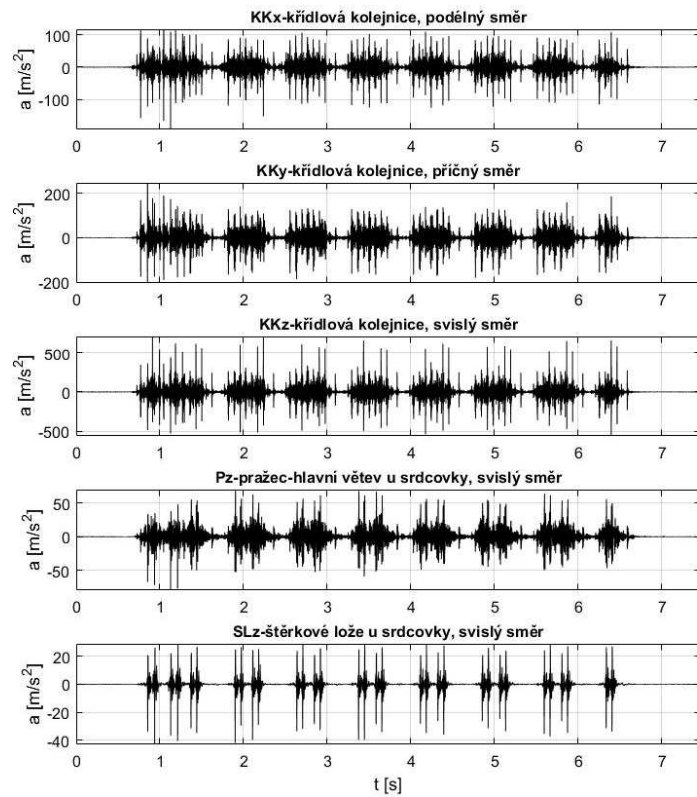
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_3\Vlak_1_5.mat



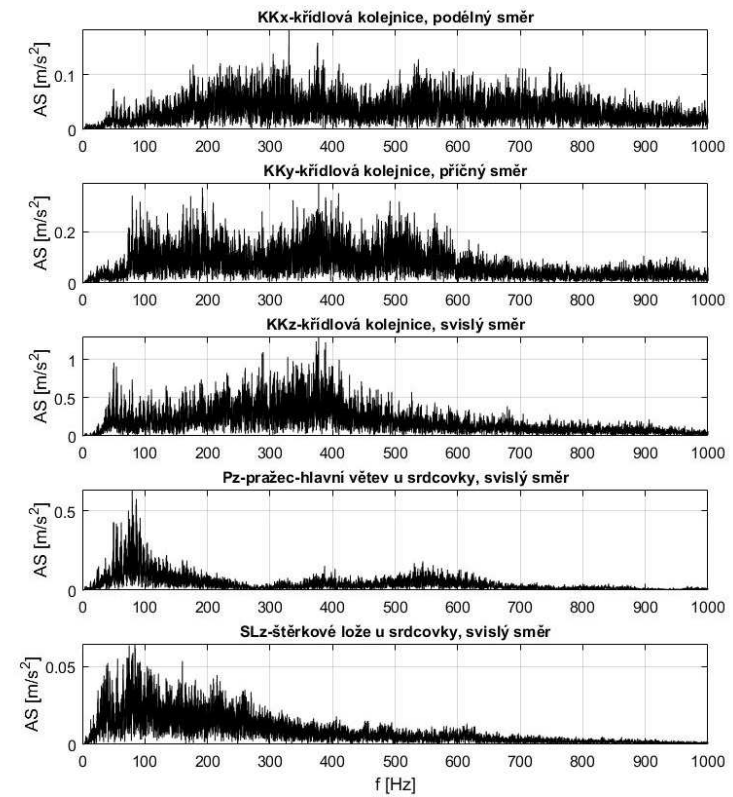
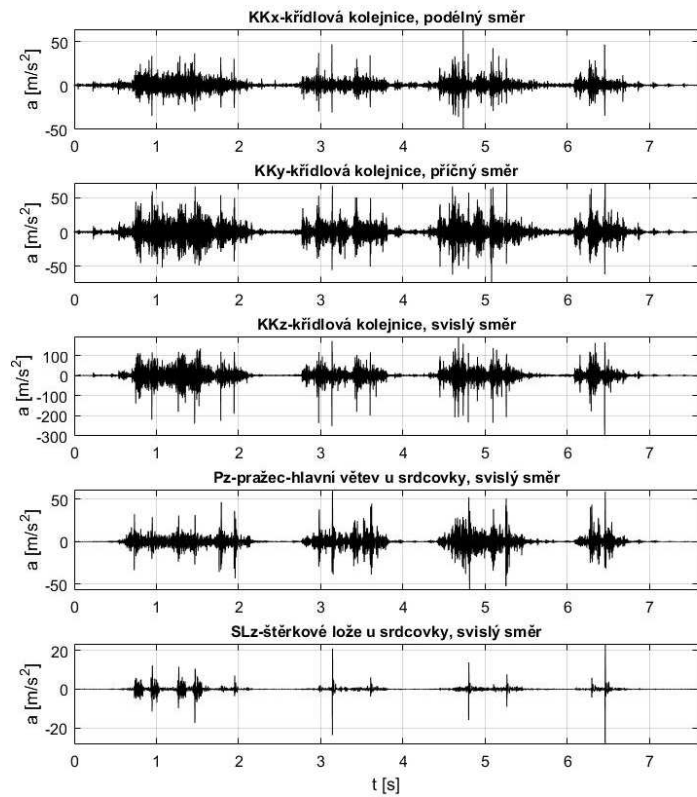
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_3\Vlak_1_6.mat

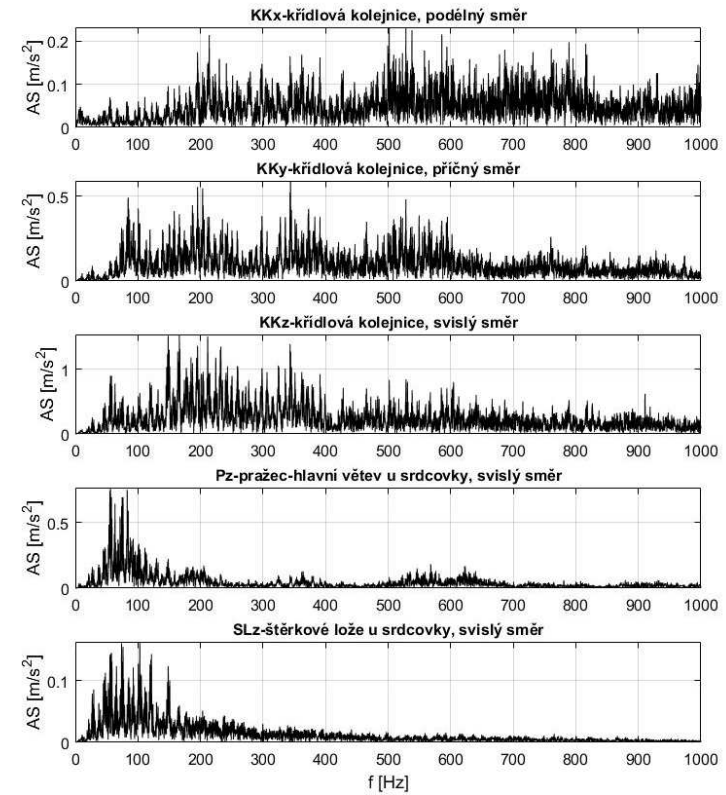
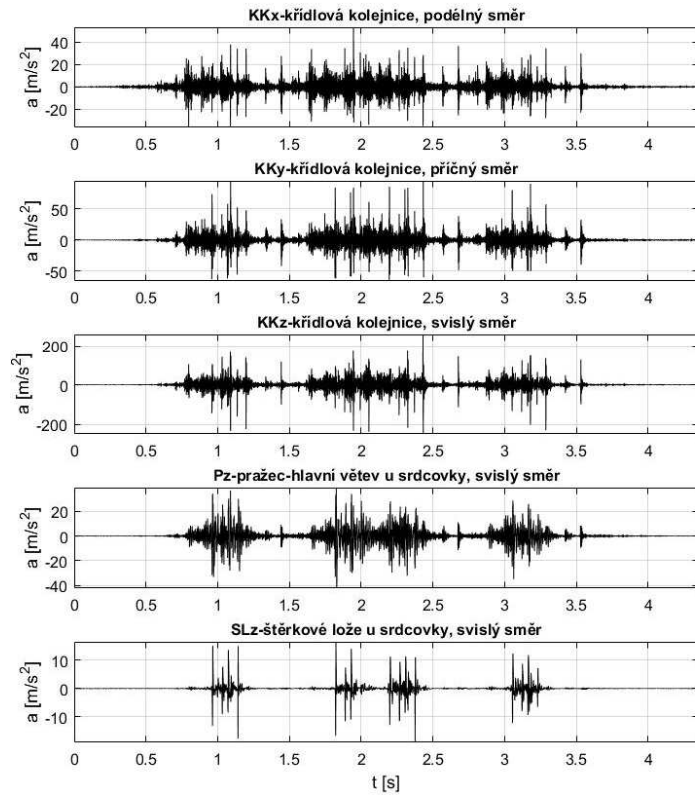


C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_3\Vlak_1_7.mat

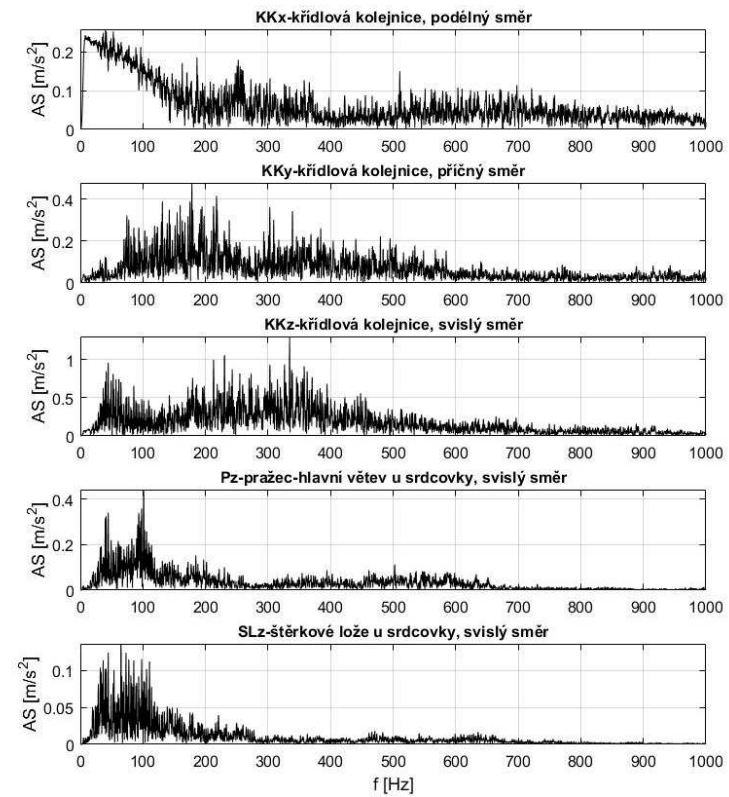
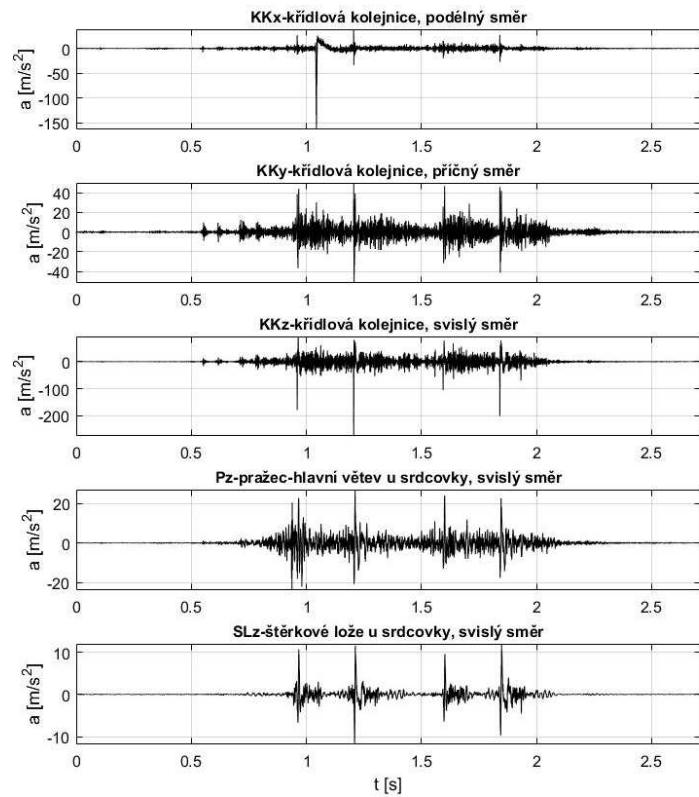


C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_3\Vlak_1_8.mat

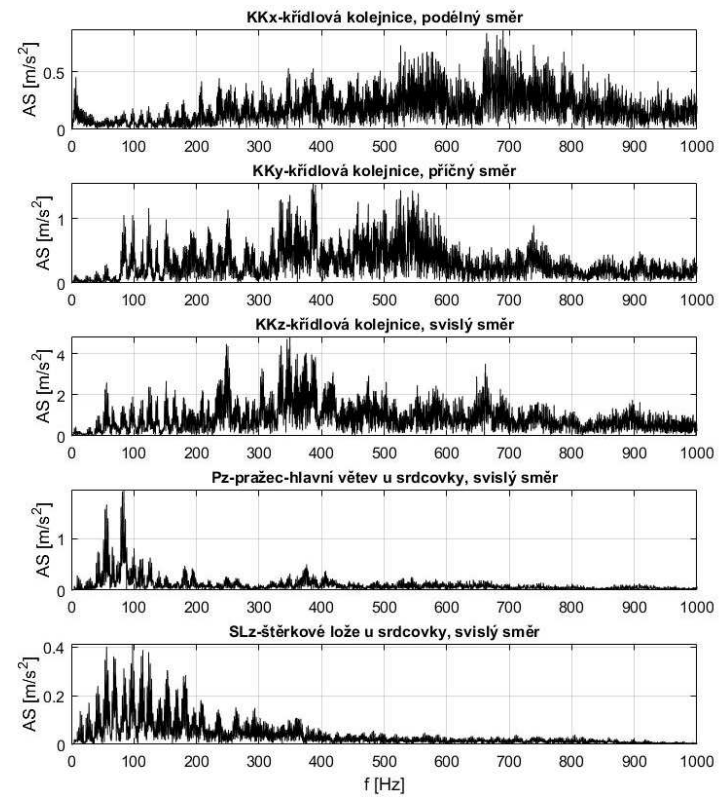
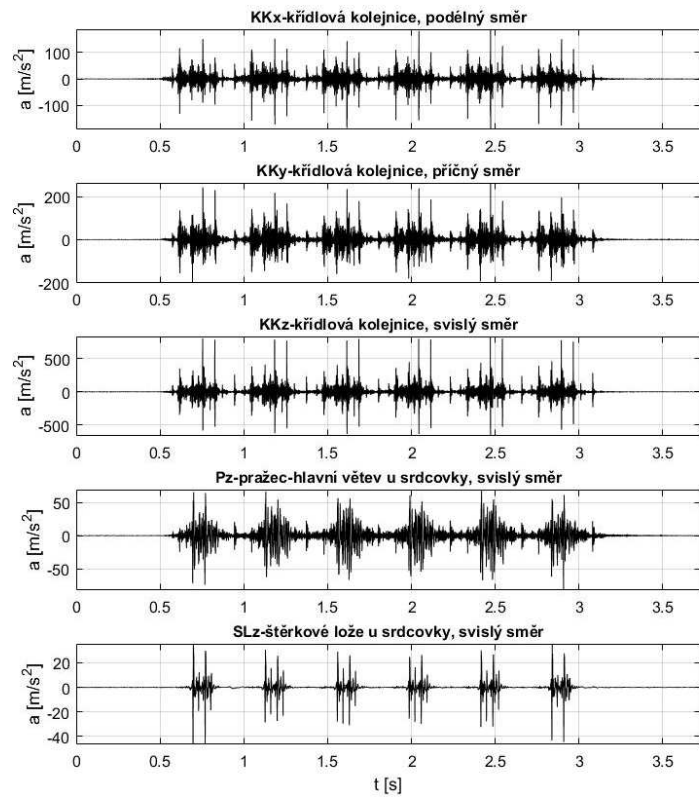




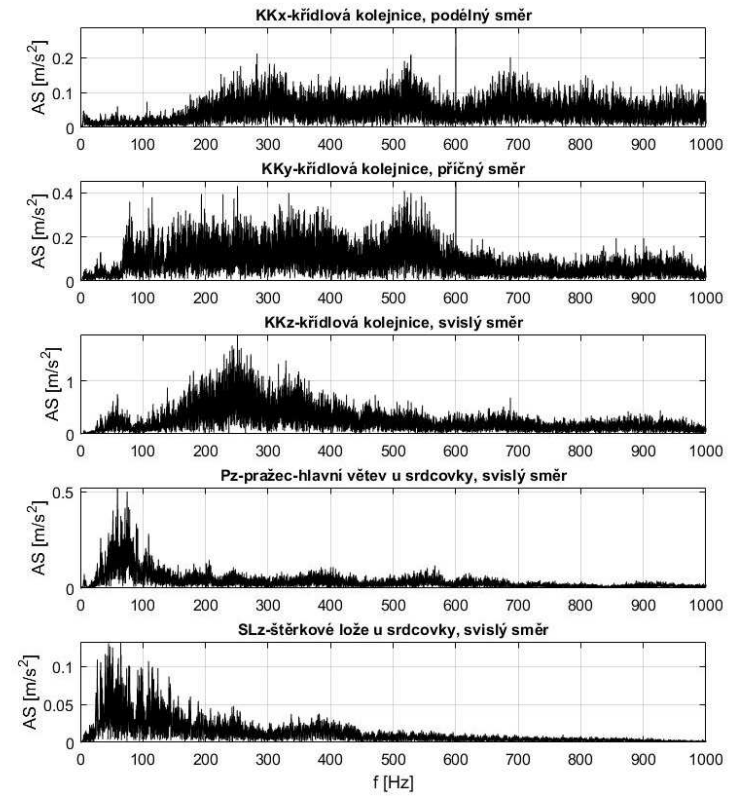
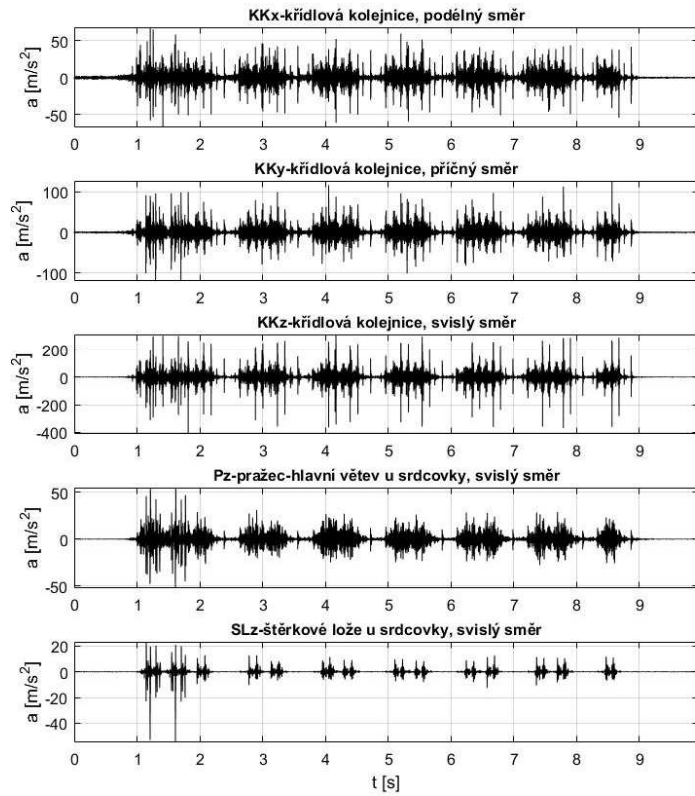
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_3\vlak_1_10.mat



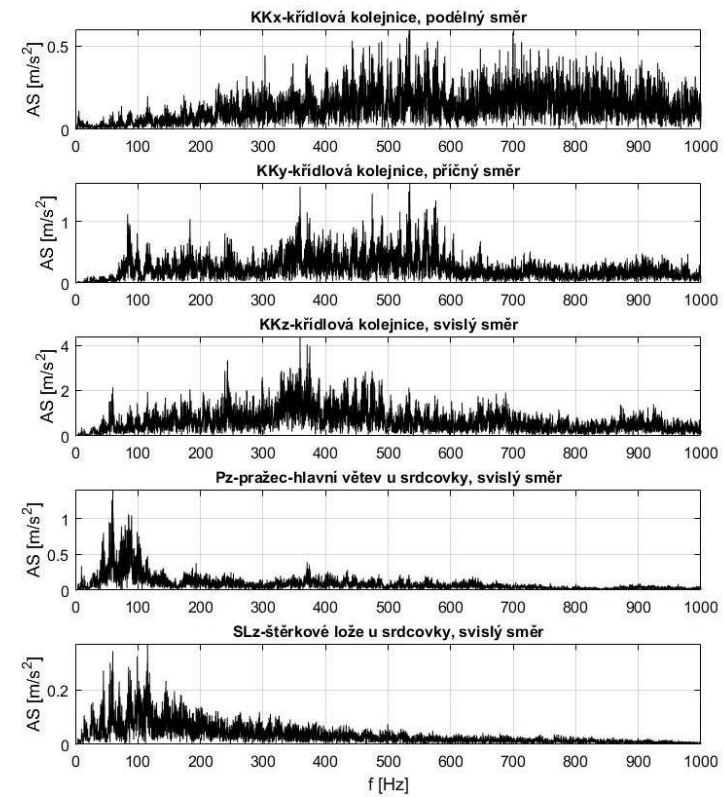
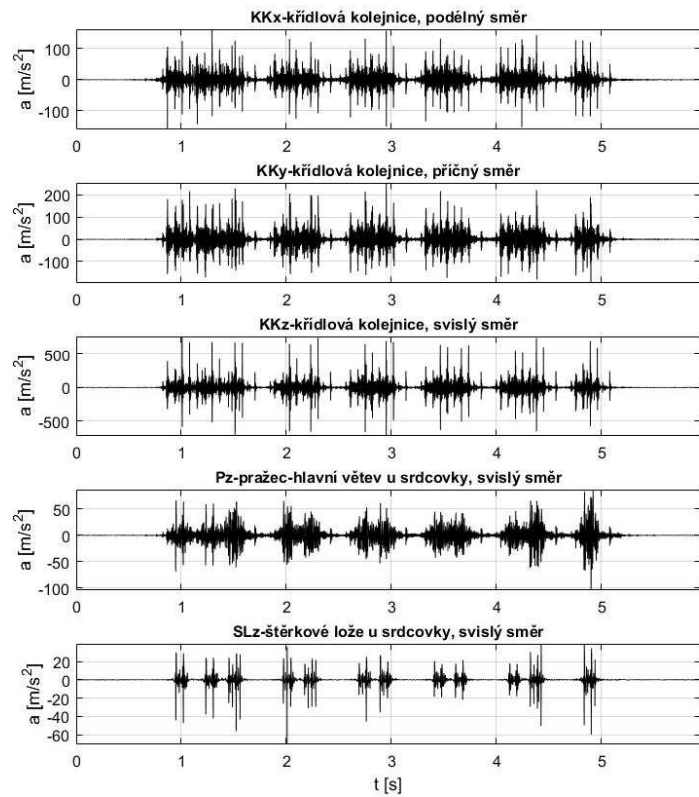
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_3\vlak_1_11.mat



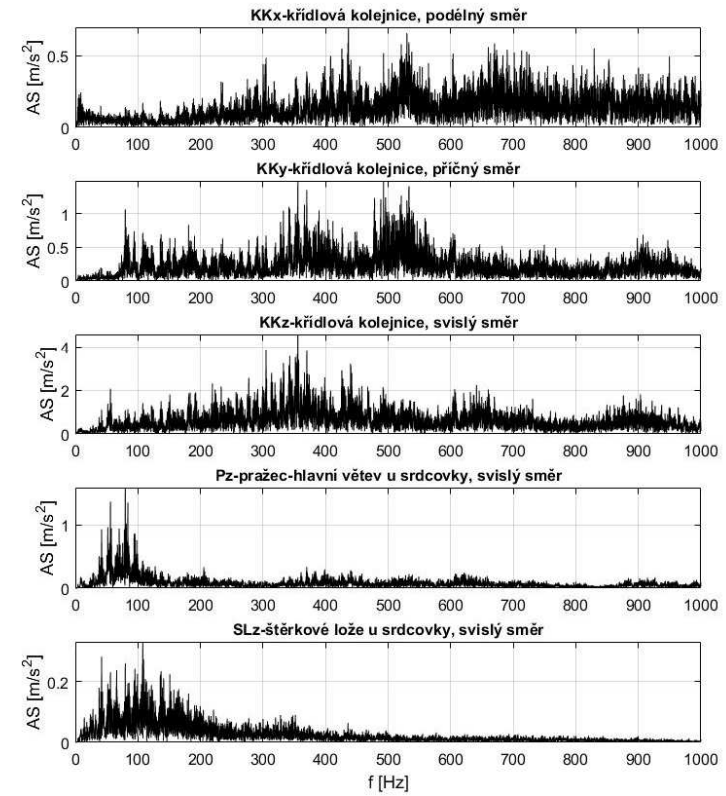
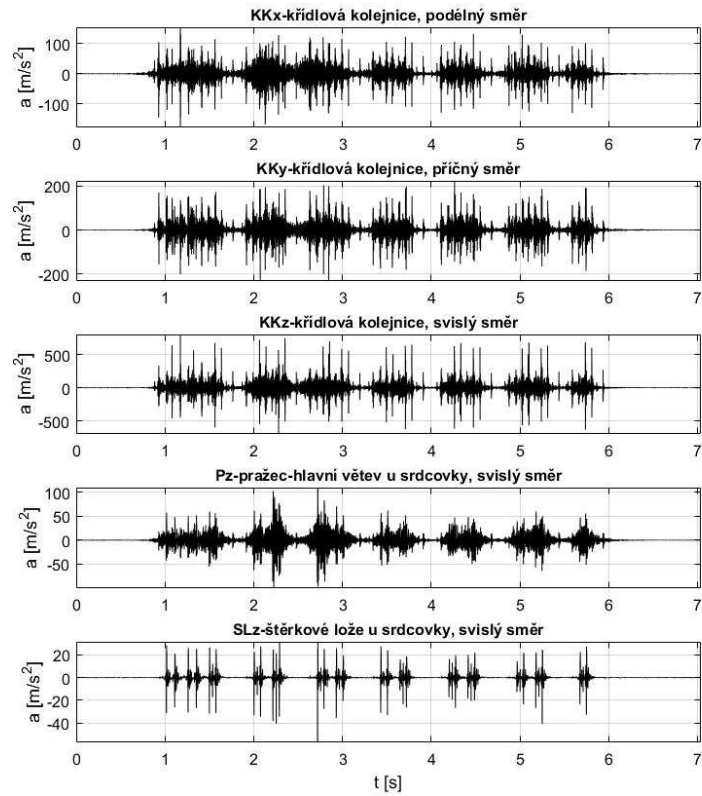
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_3\vlak_1_12.mat



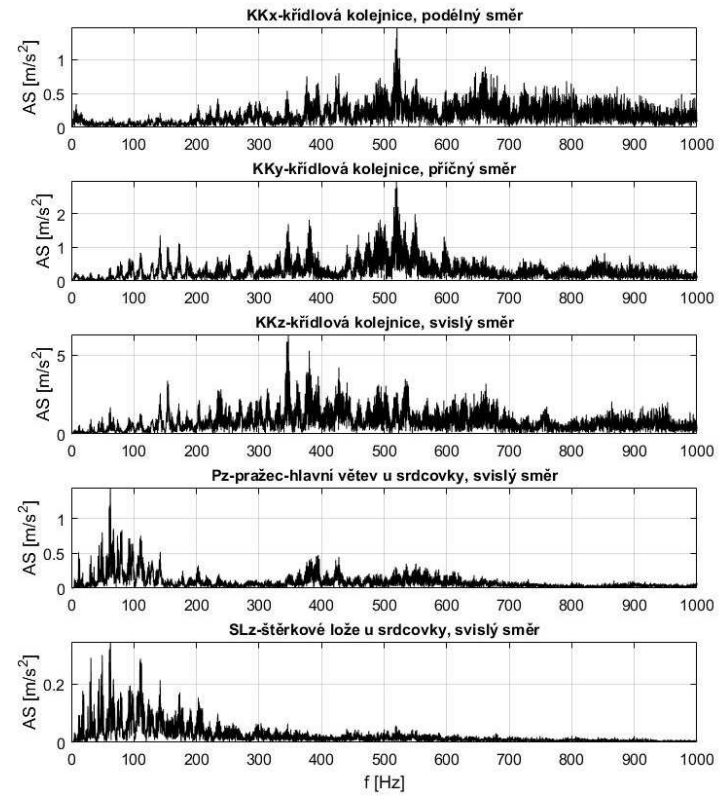
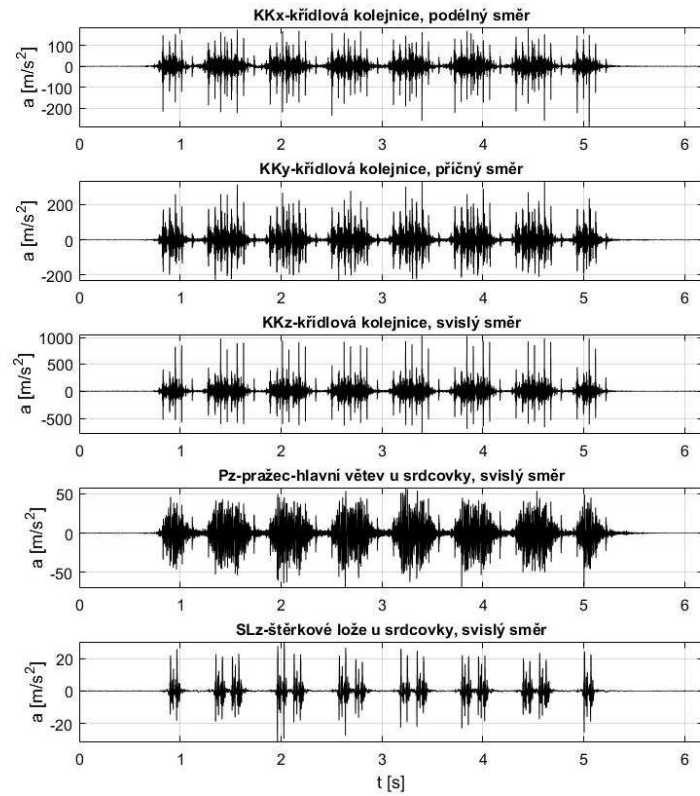
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_3\vlak_1_13.mat



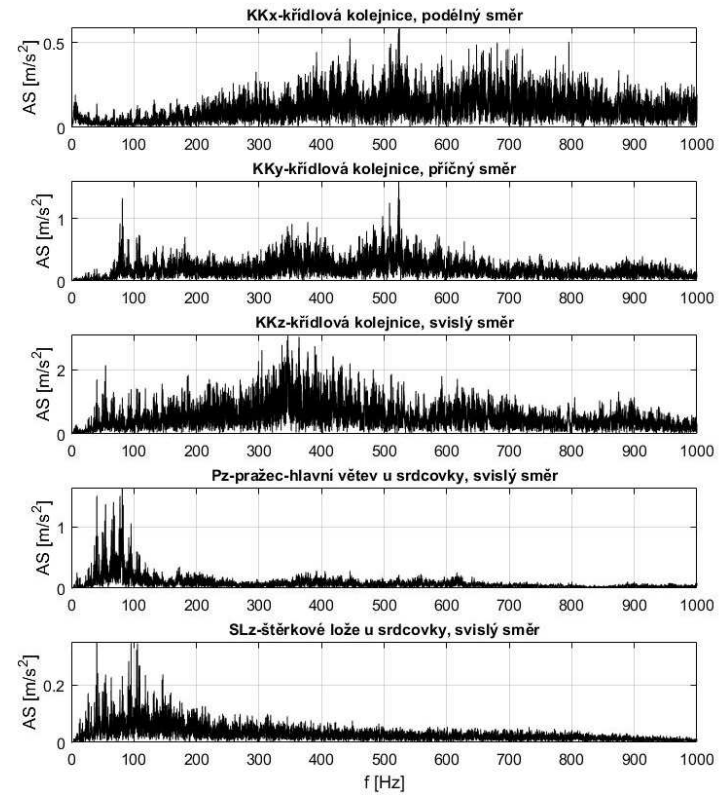
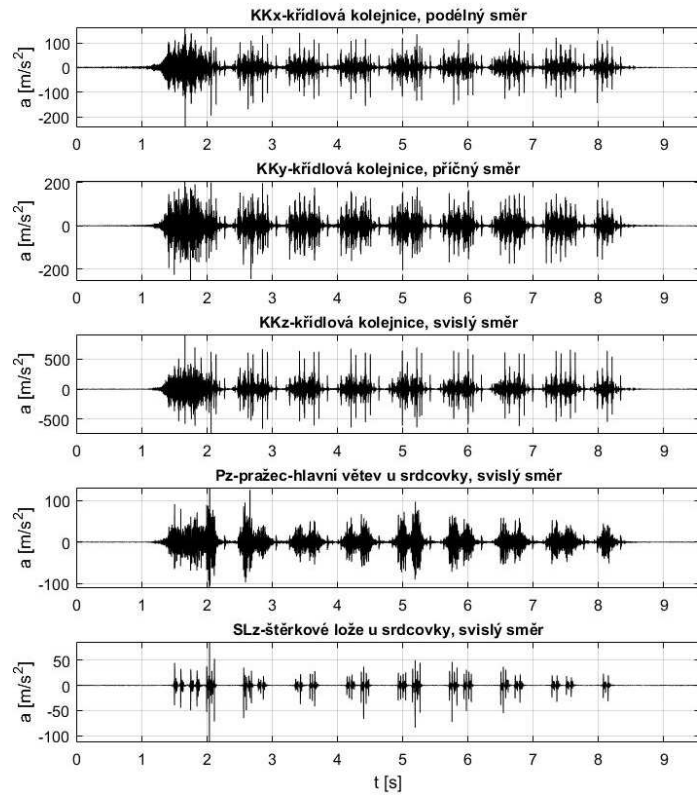
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_3\vlak_1_14.mat



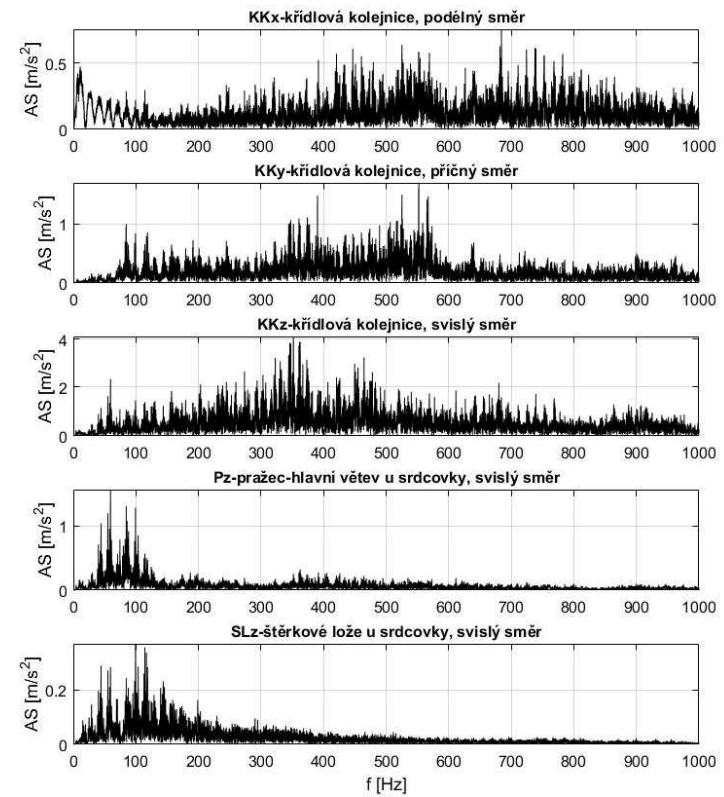
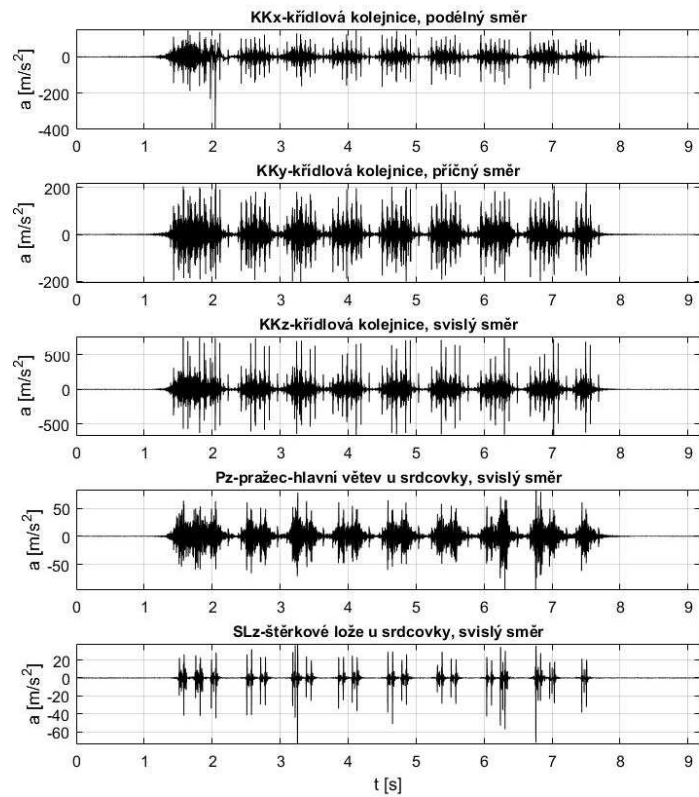
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_3\vlak_1_15.mat



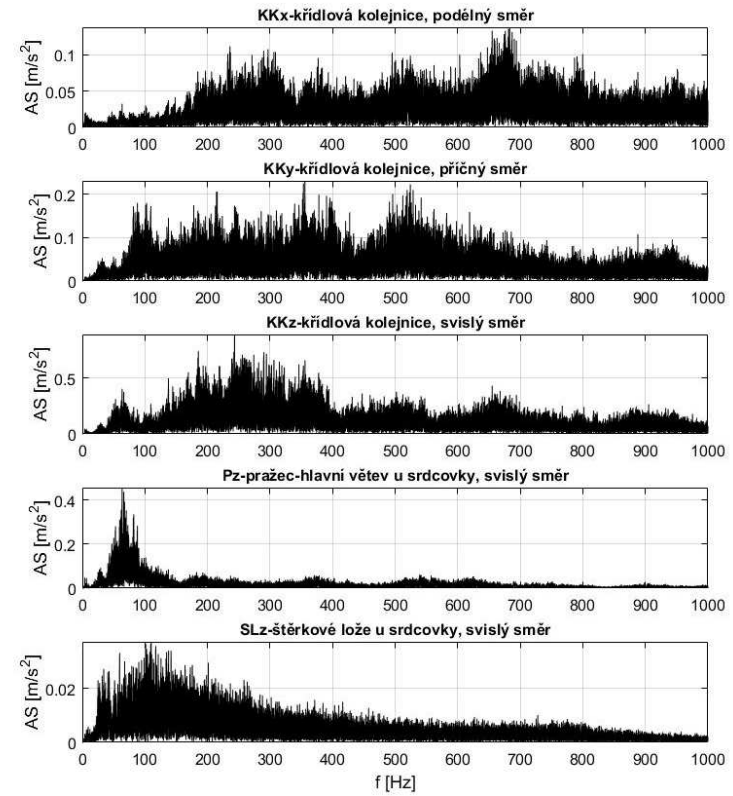
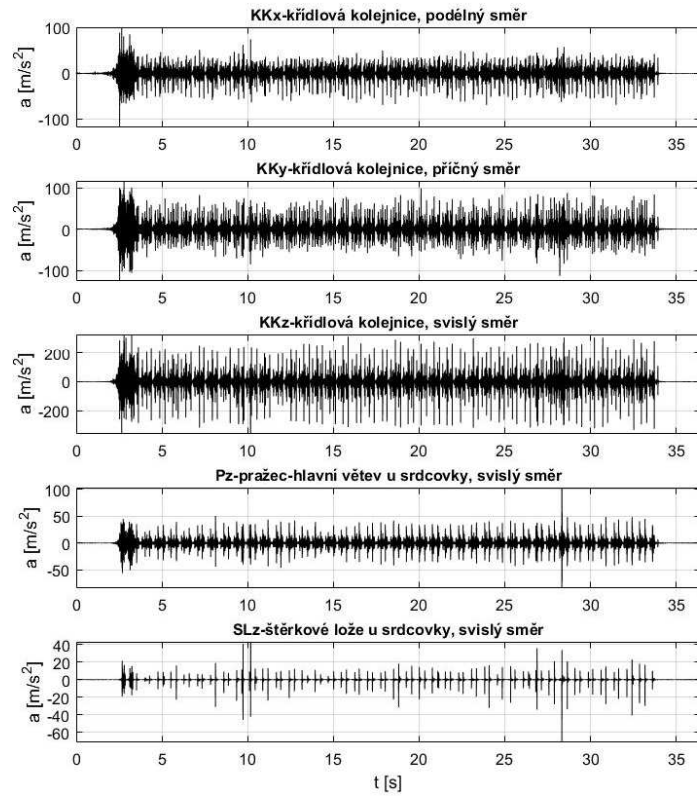
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_3\vlak_1_16.mat



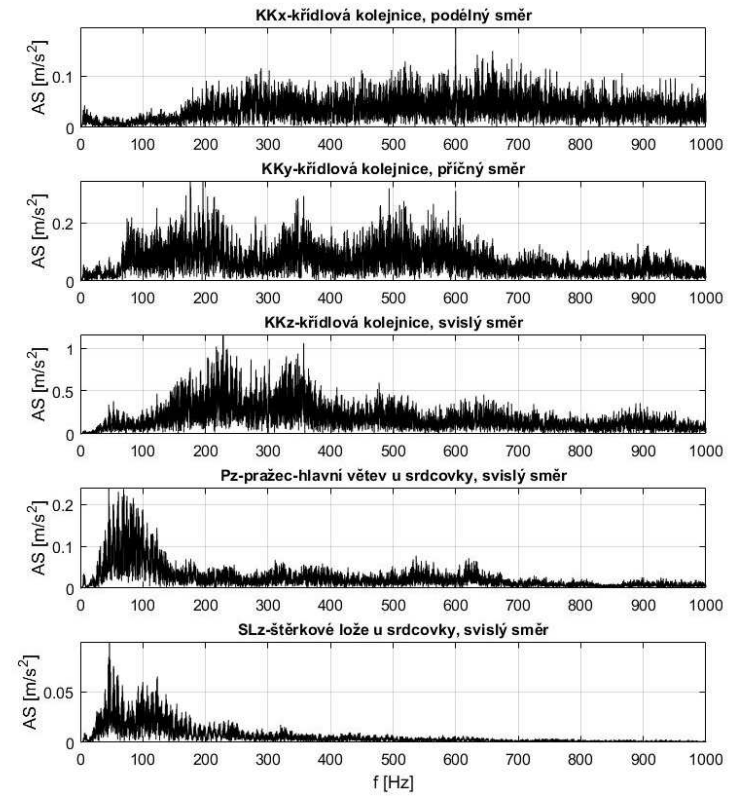
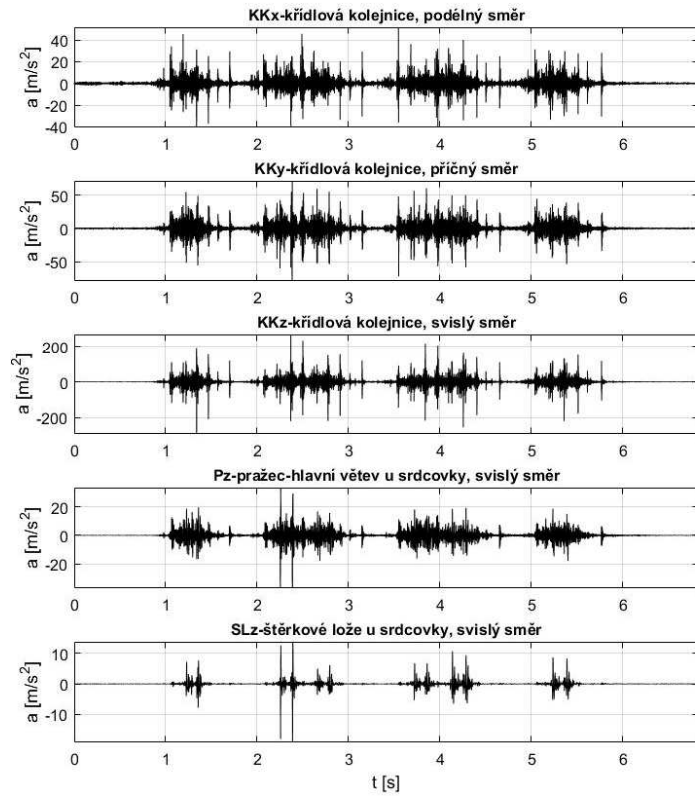
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_3\vlak_1_17.mat



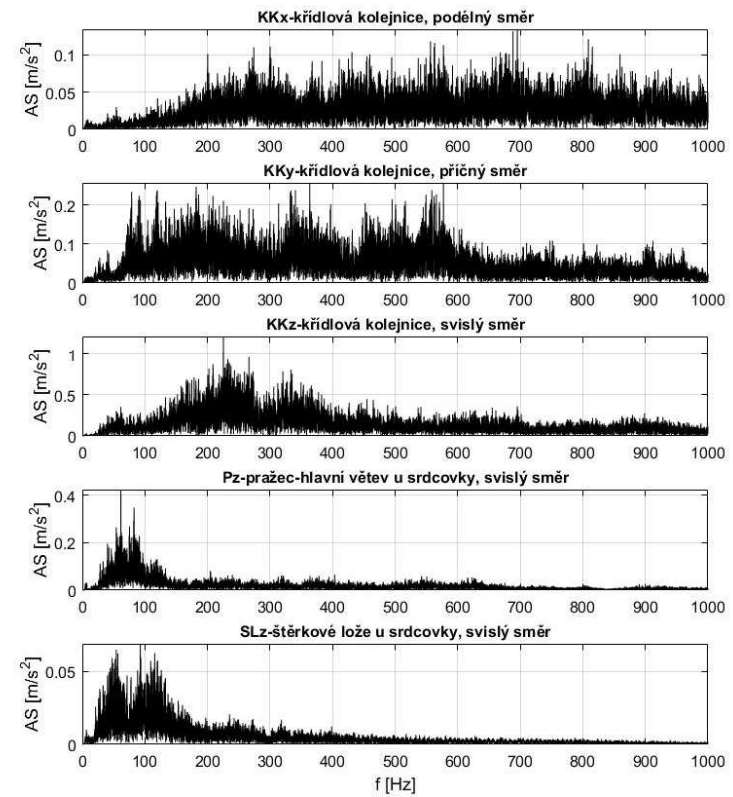
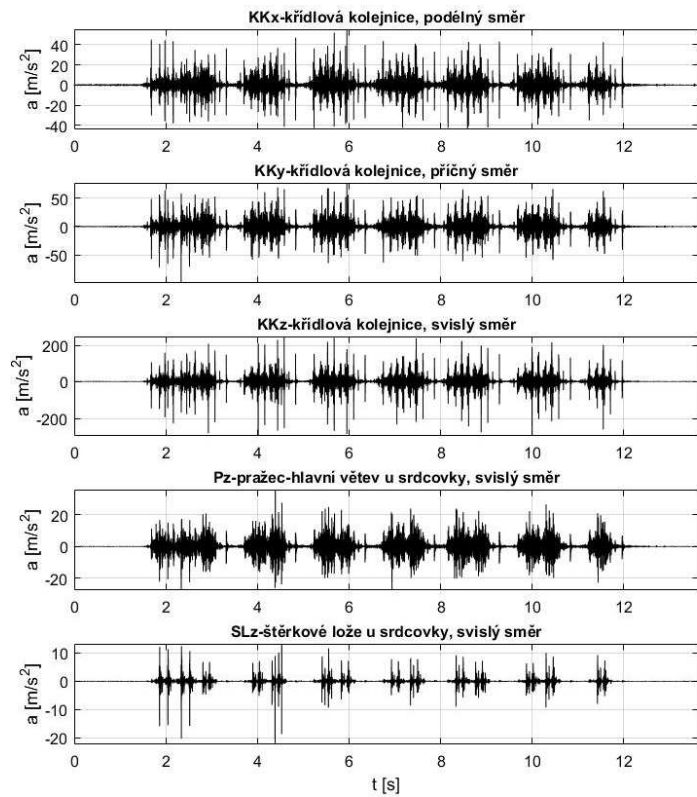
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_3\vlak_1_18.mat



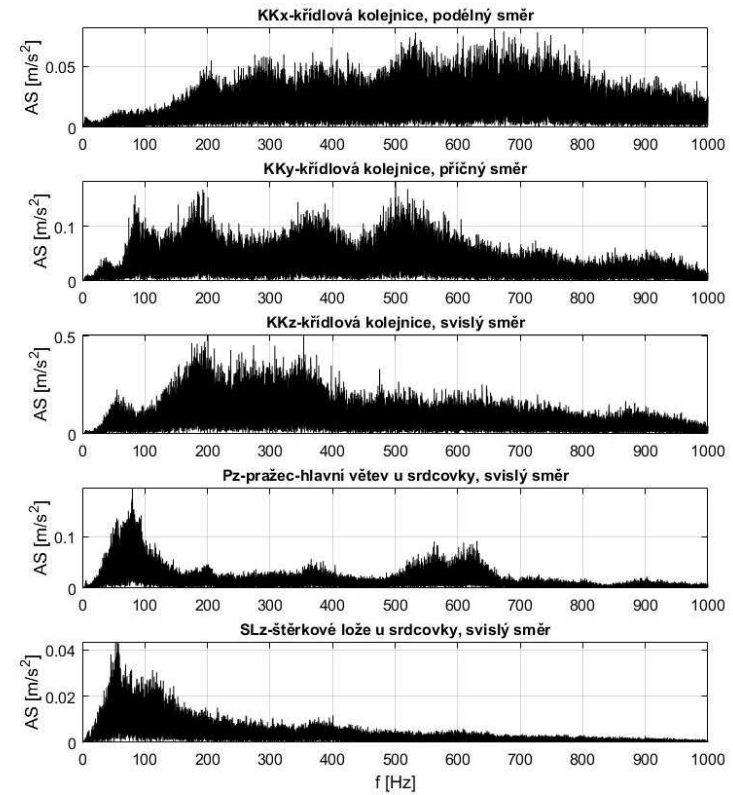
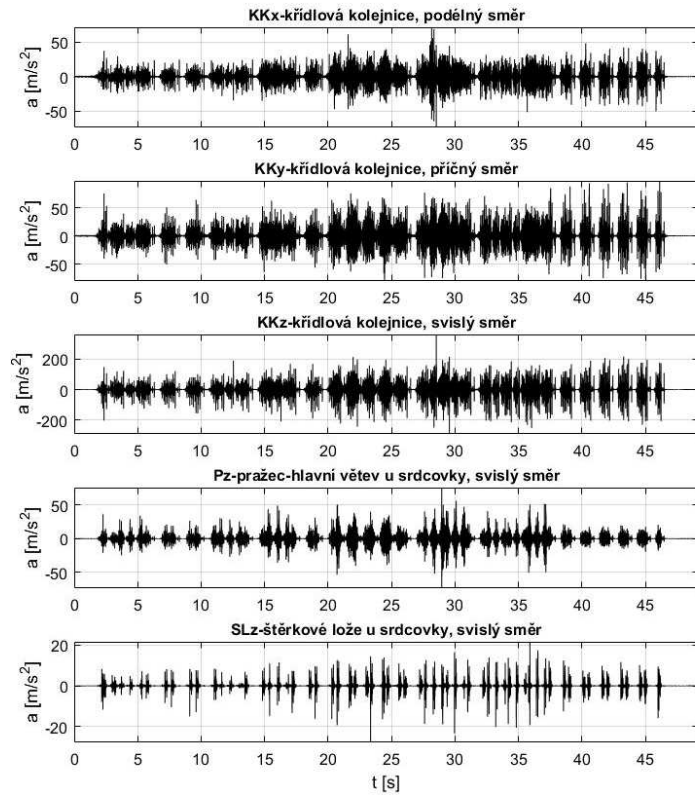
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_3\vlak_1_19.mat



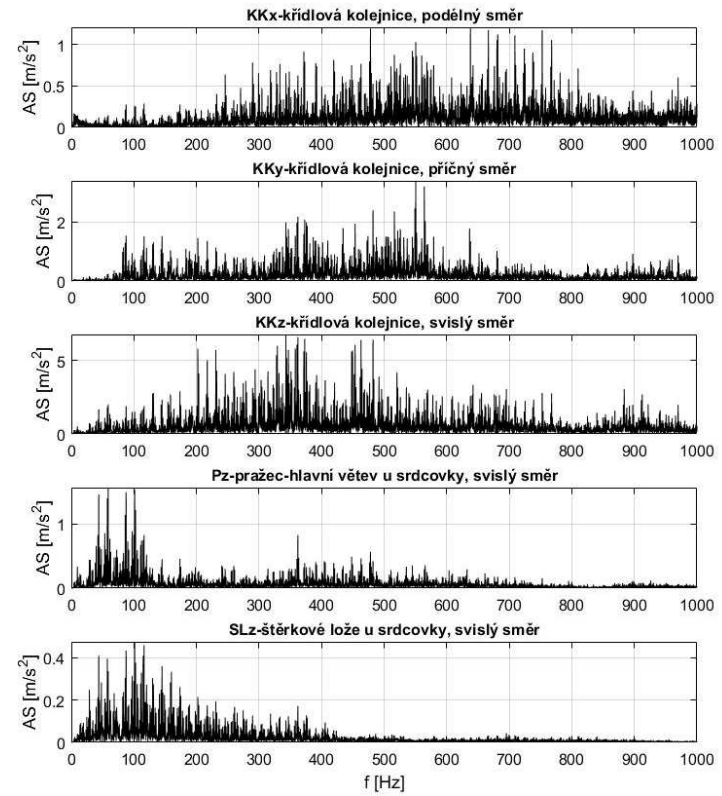
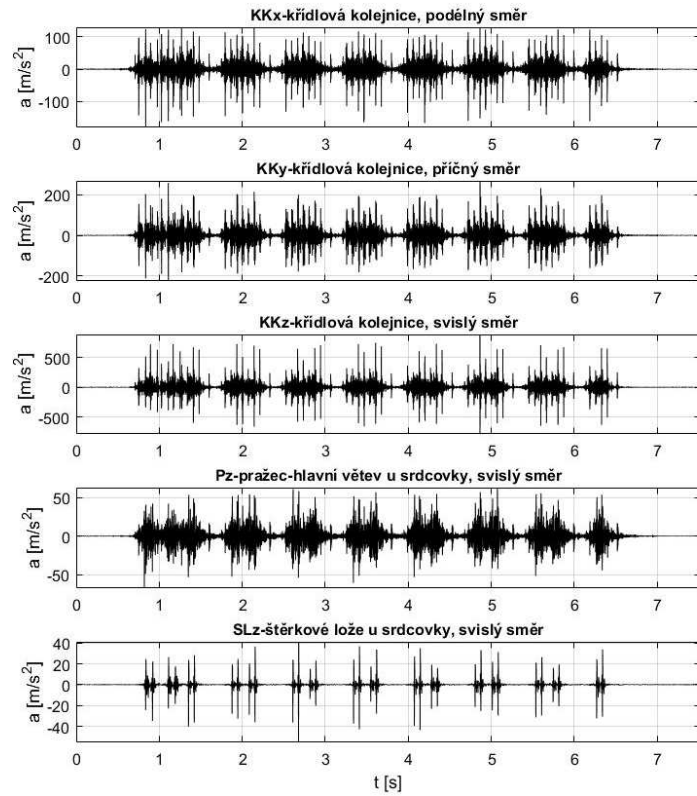
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_3\vlak_1_20.mat



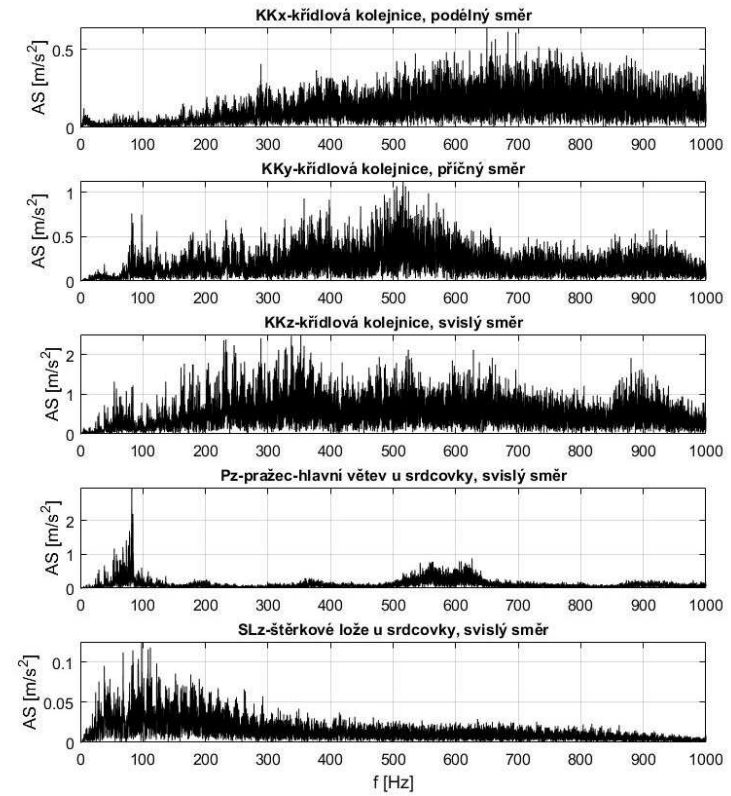
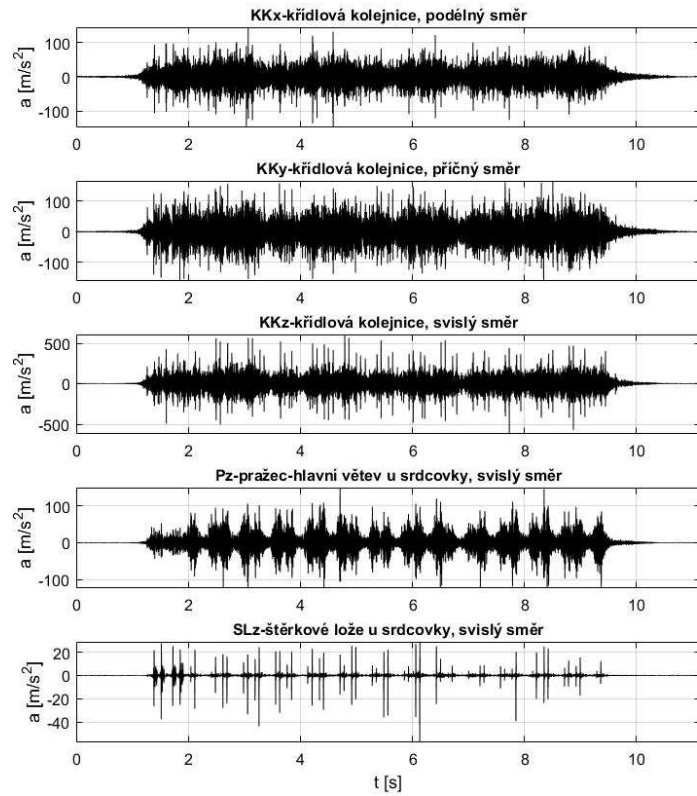
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_3\vlak_1_21.mat



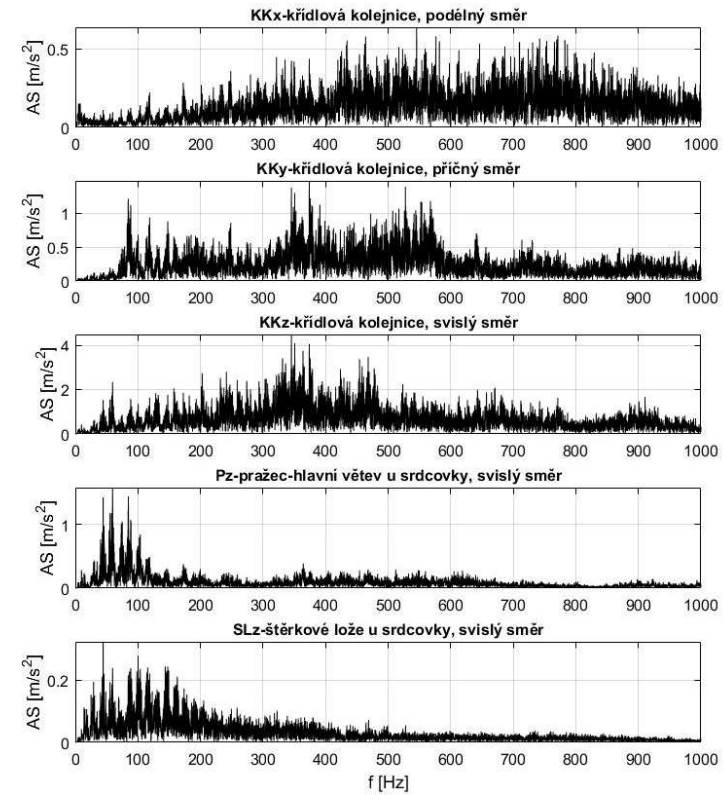
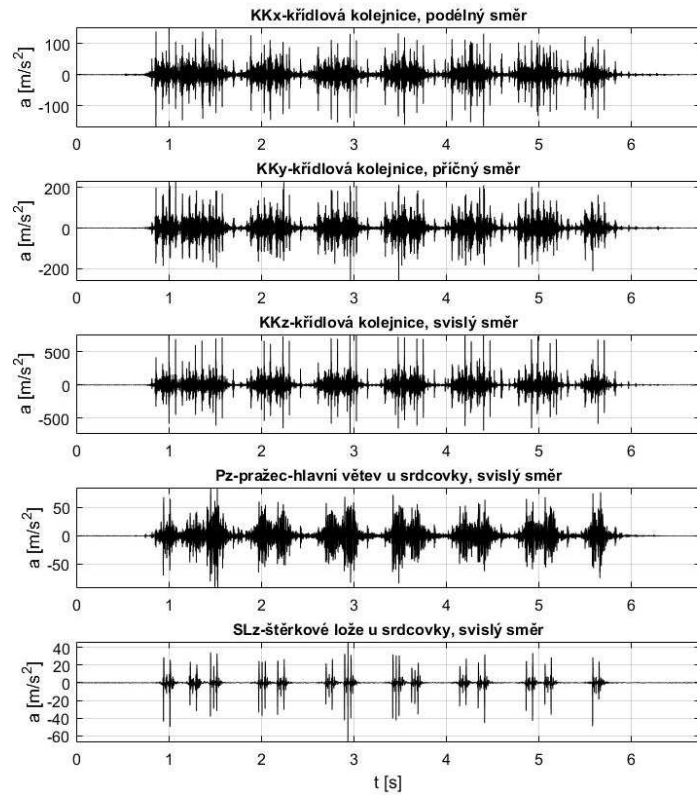
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_3\vlak_1_22.mat



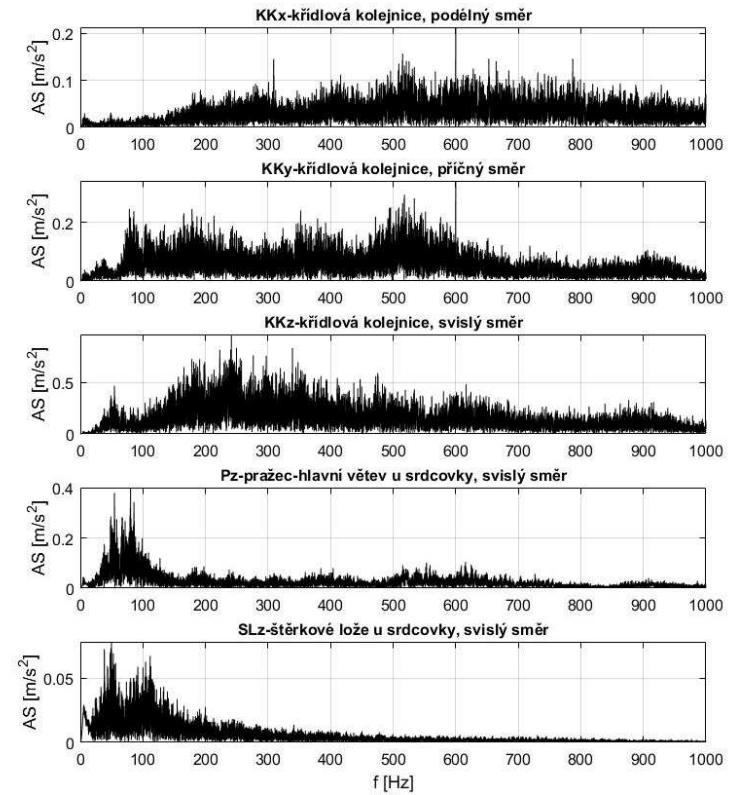
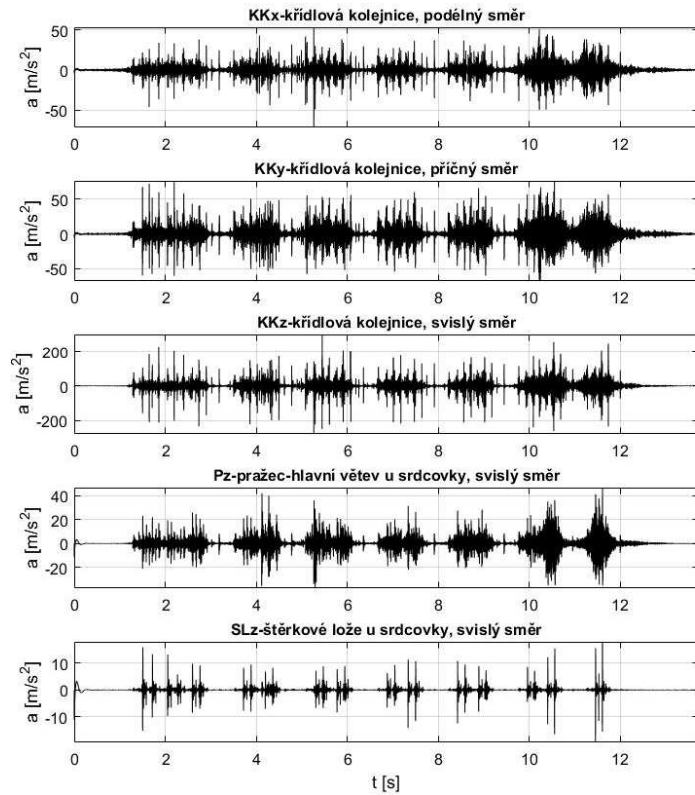
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_3\vlak_1_23.mat



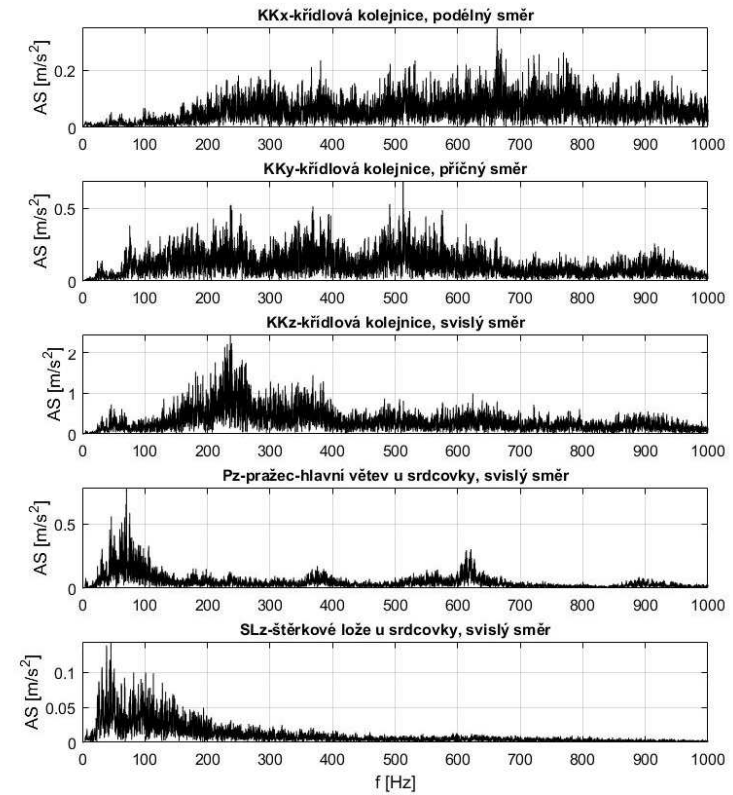
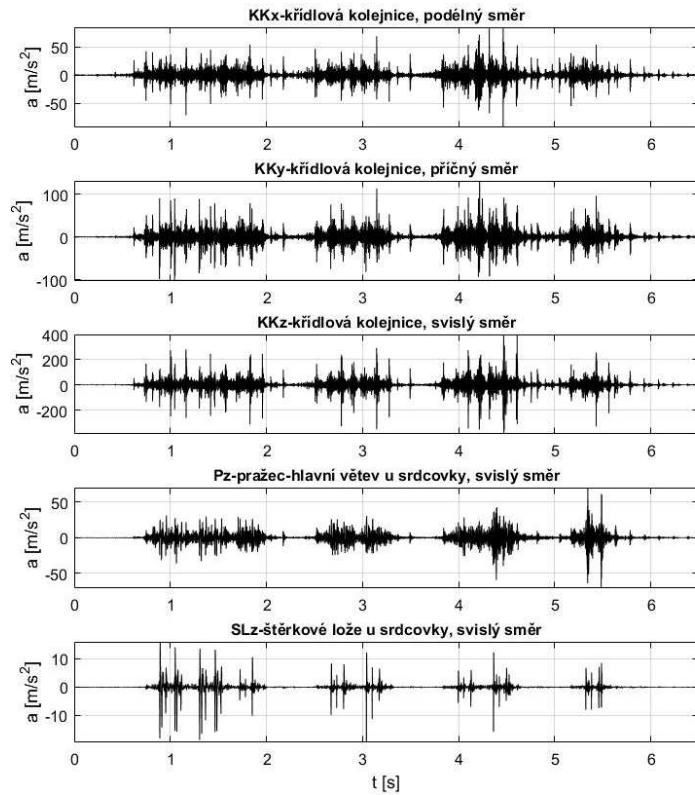
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_3\vlak_1_24.mat



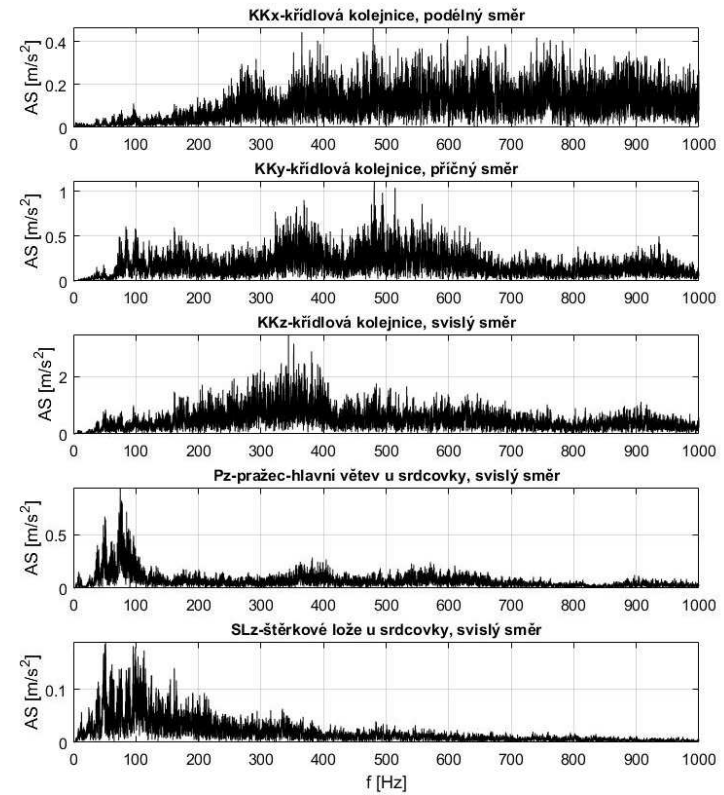
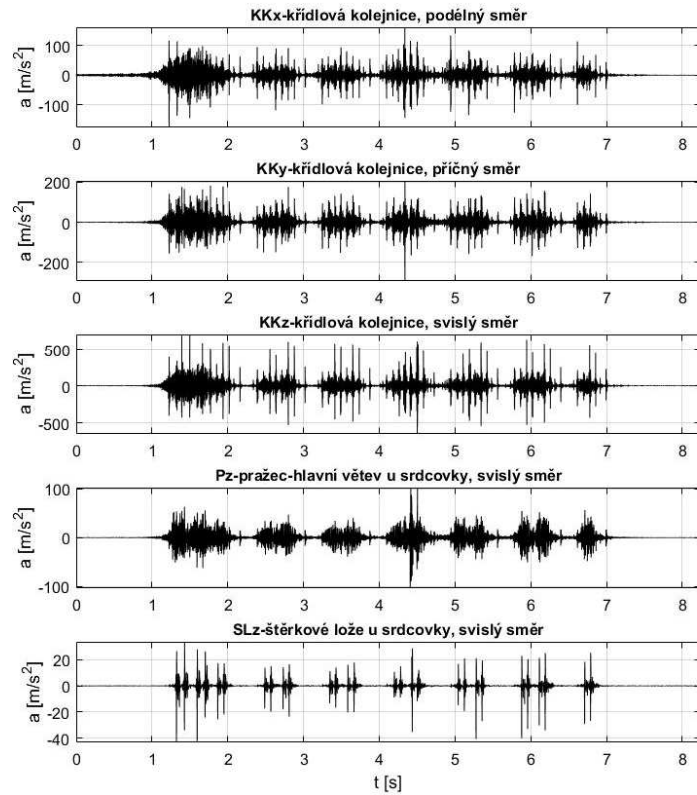
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_3\vlak_1_25.mat



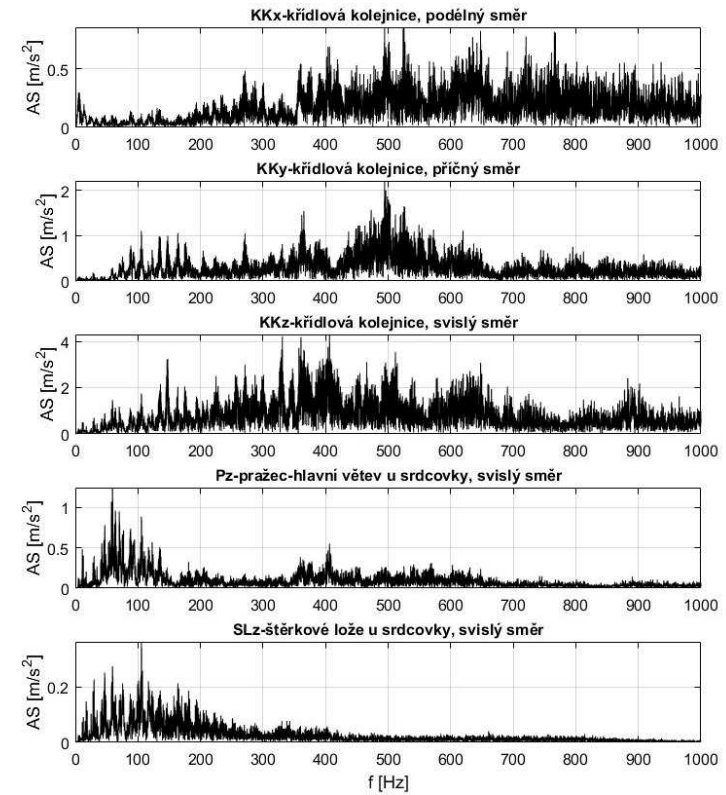
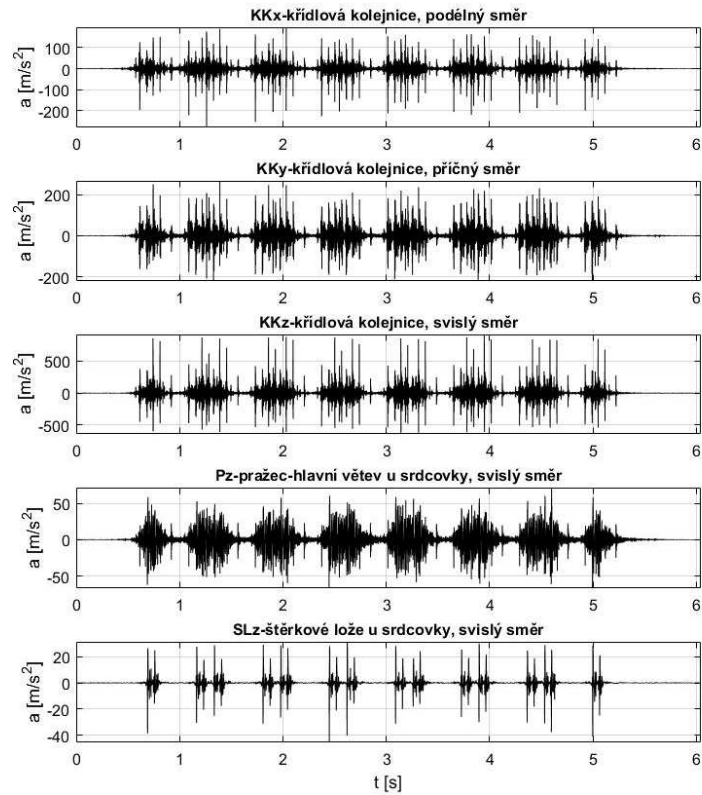
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_3\vlak_1_26.mat



C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_3\vlak_1_27.mat



C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_3\vlak_1_28.mat



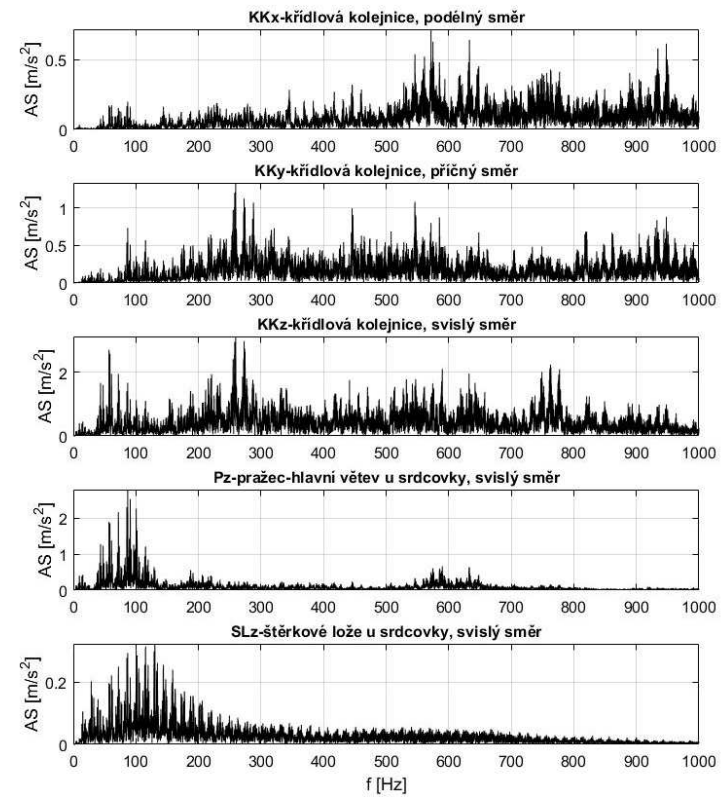
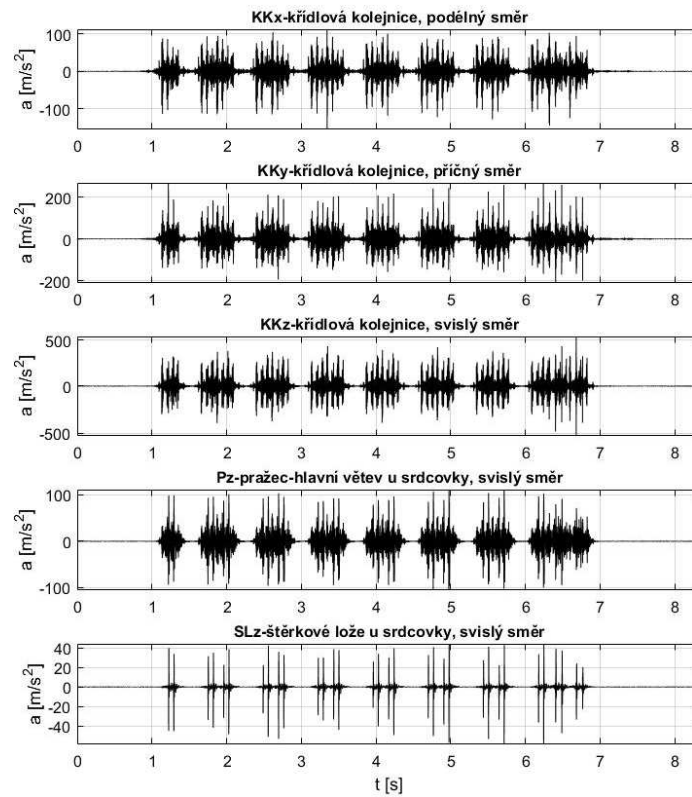
PŘÍLOHA F:

Časová a frekvenční analýza:

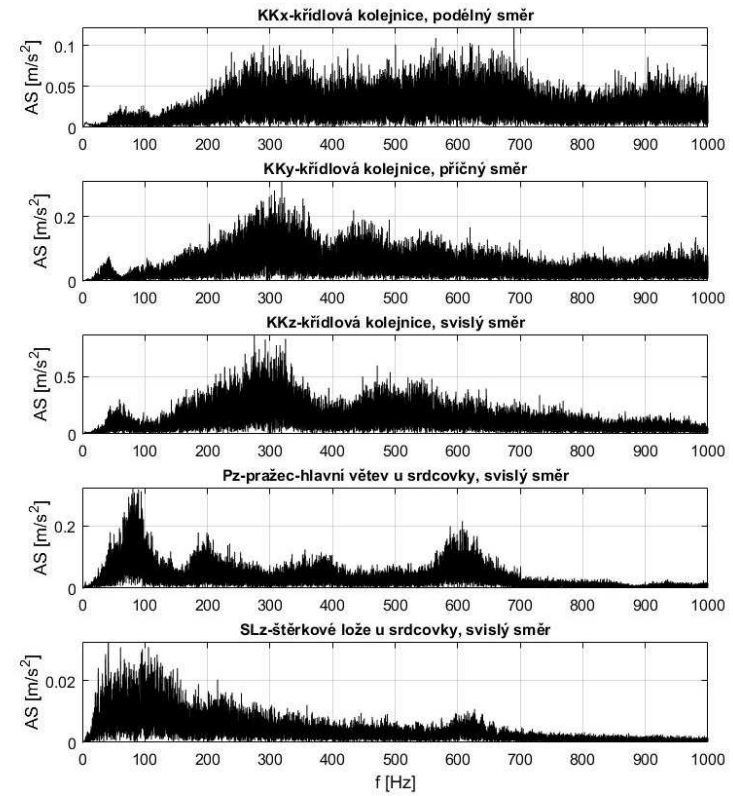
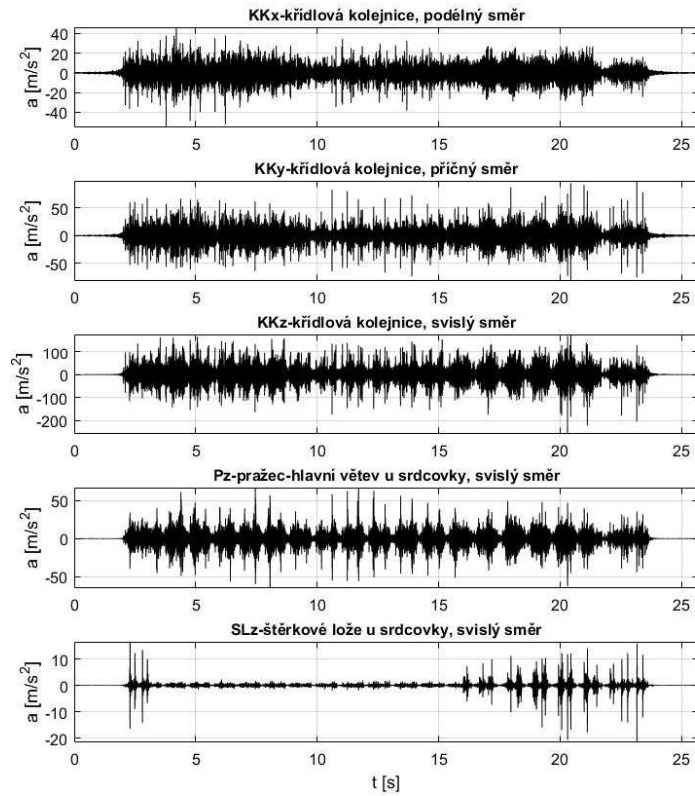
Grafické zobrazení srdcovky

výhybky č. 4

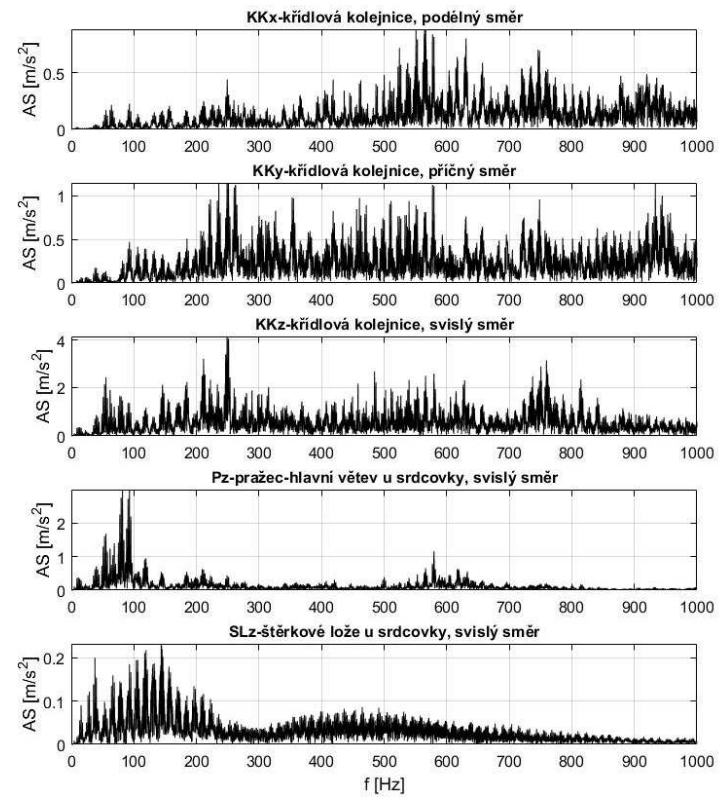
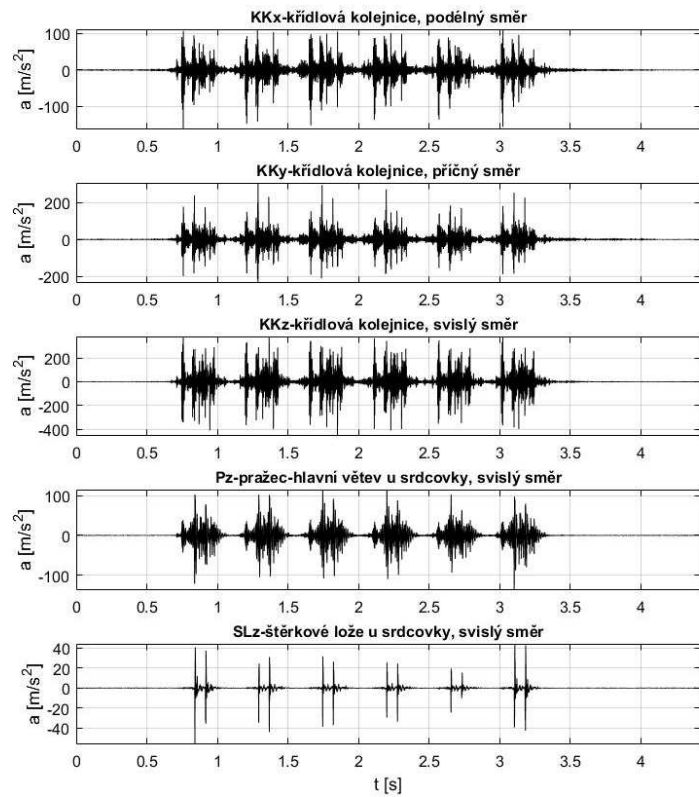
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_4\Vlak_1.mat



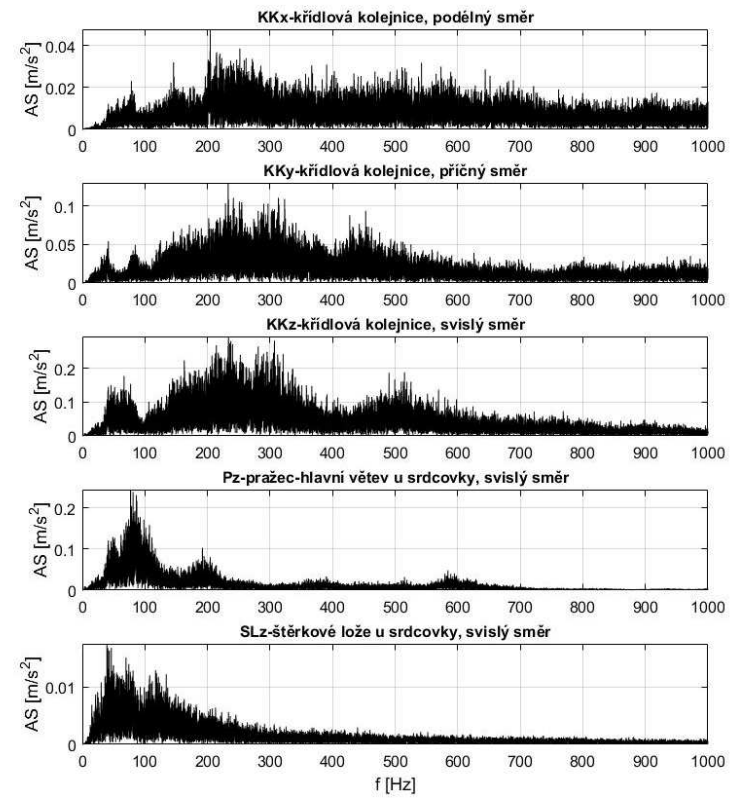
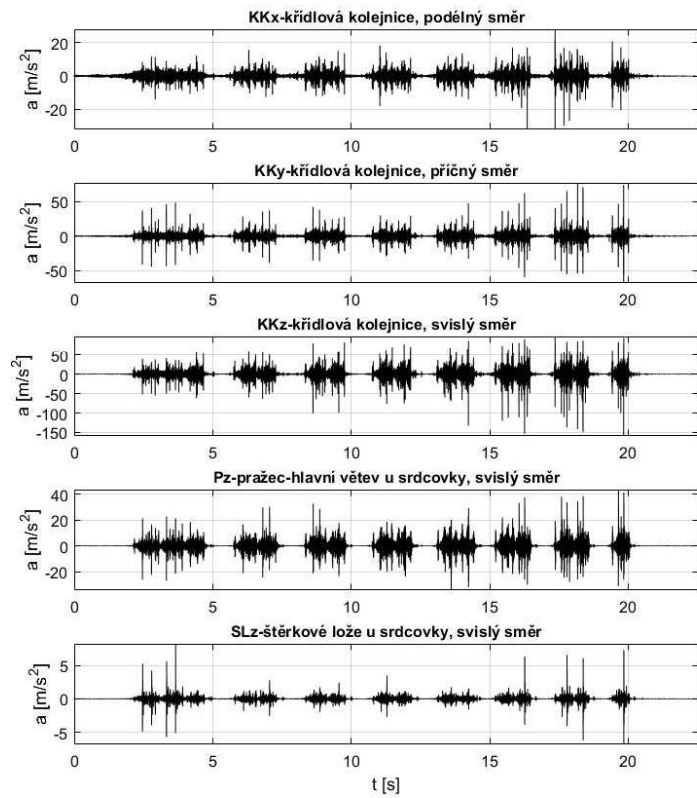
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_4\Vlak_1_2.mat



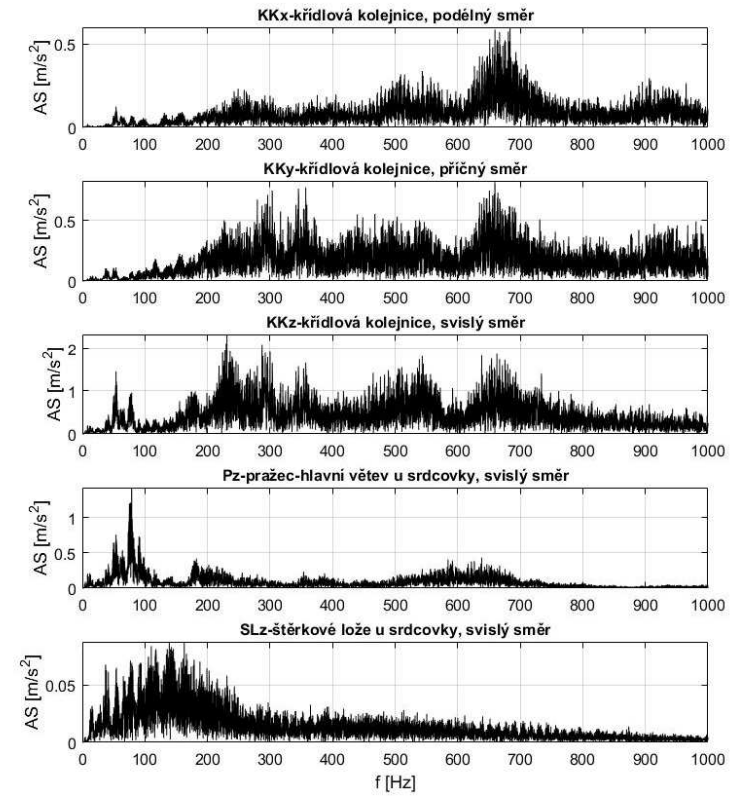
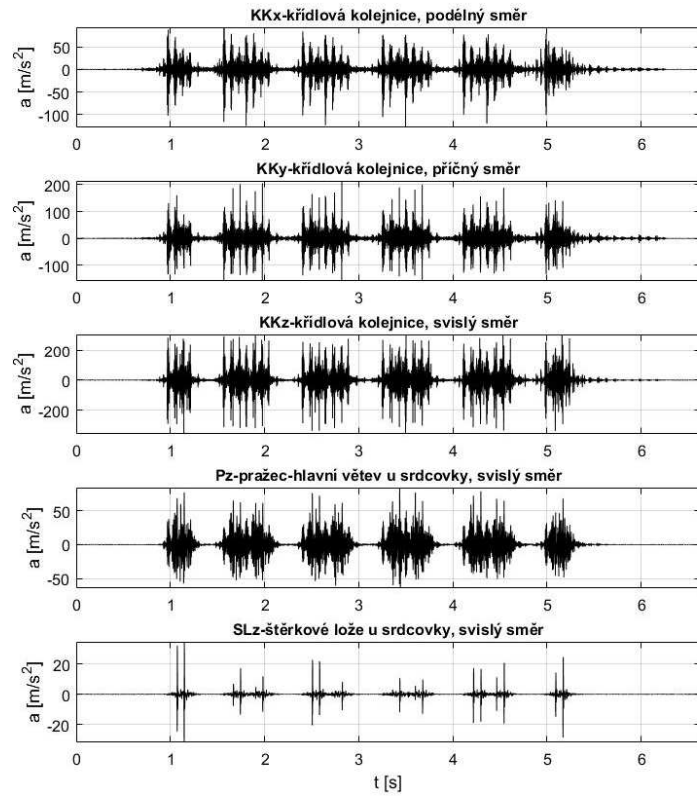
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_4\Vlak_1_3.mat

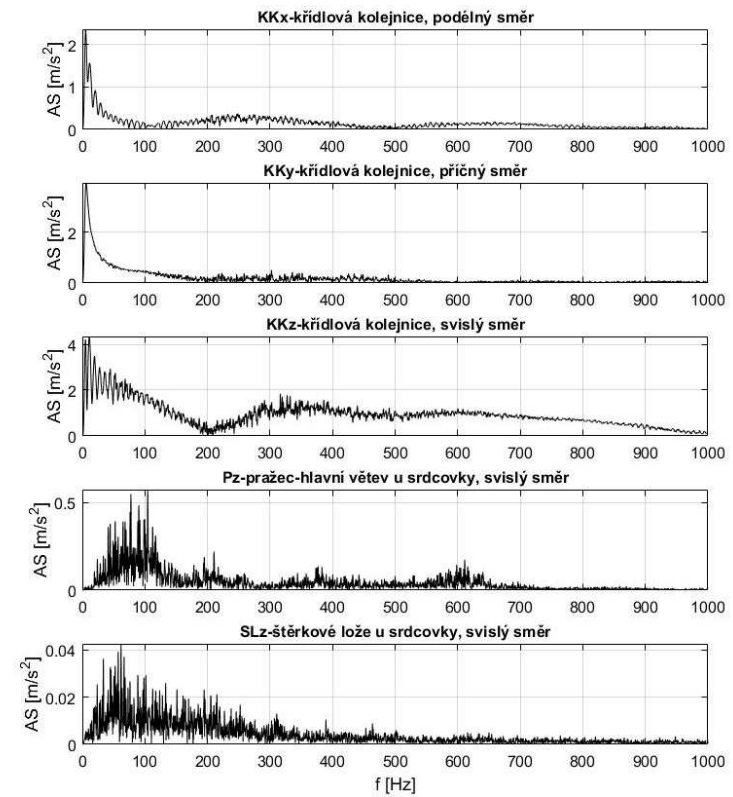
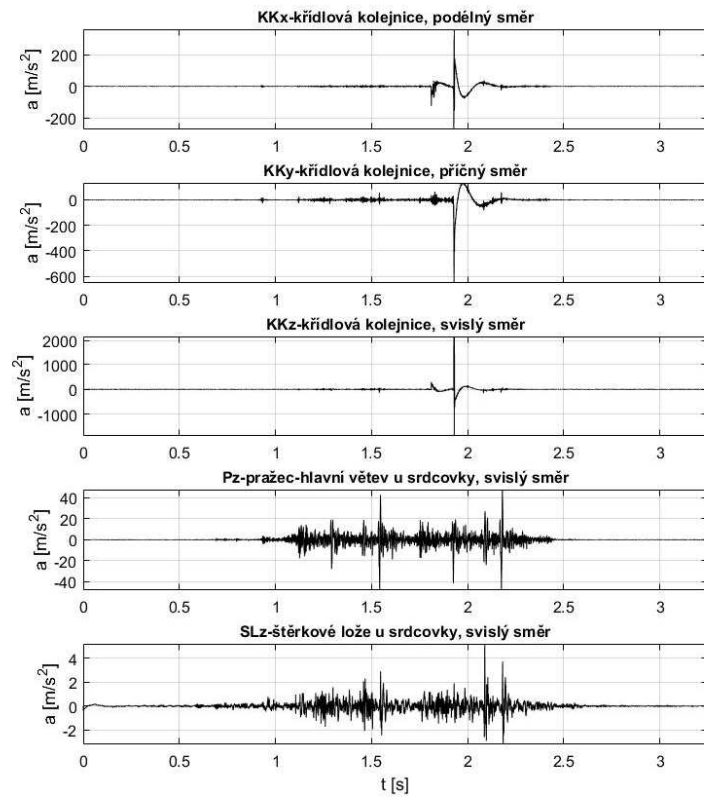


C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_4\Vlak_1_4.mat

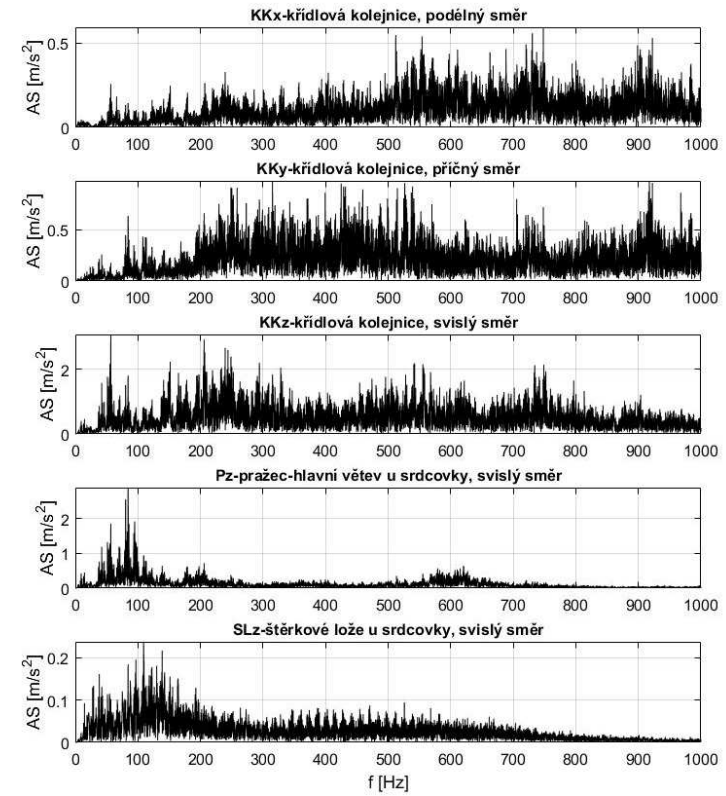
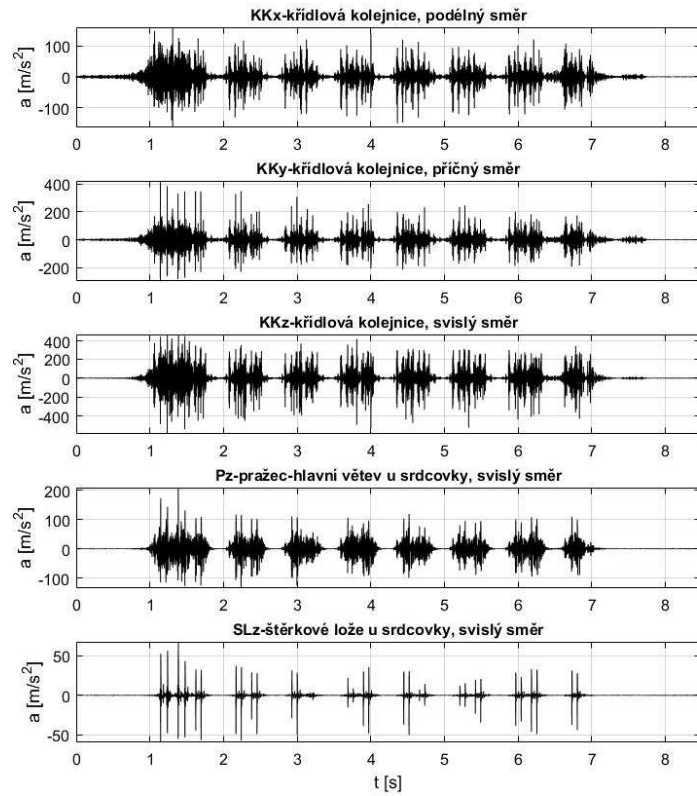


C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_4\Vlak_1_5.mat

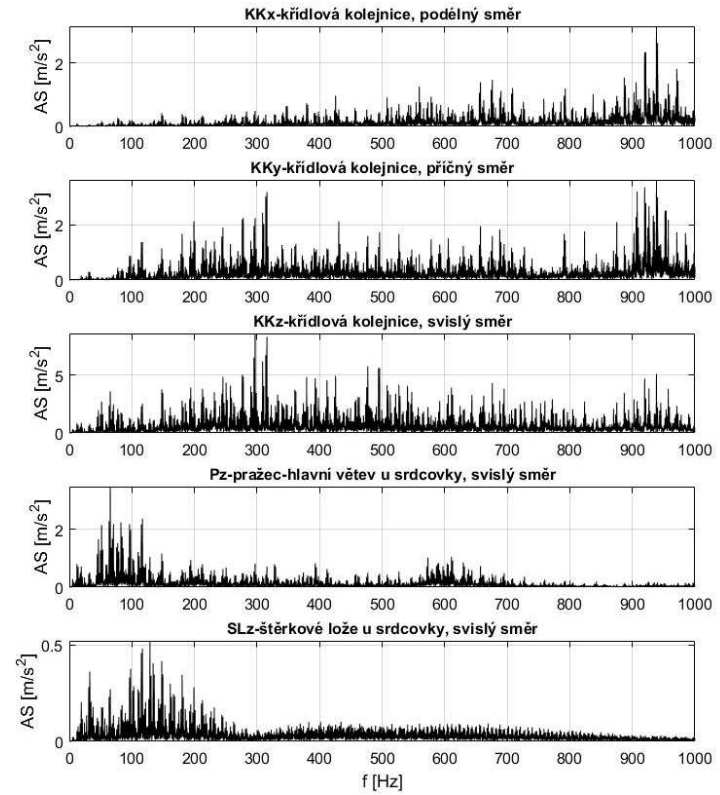
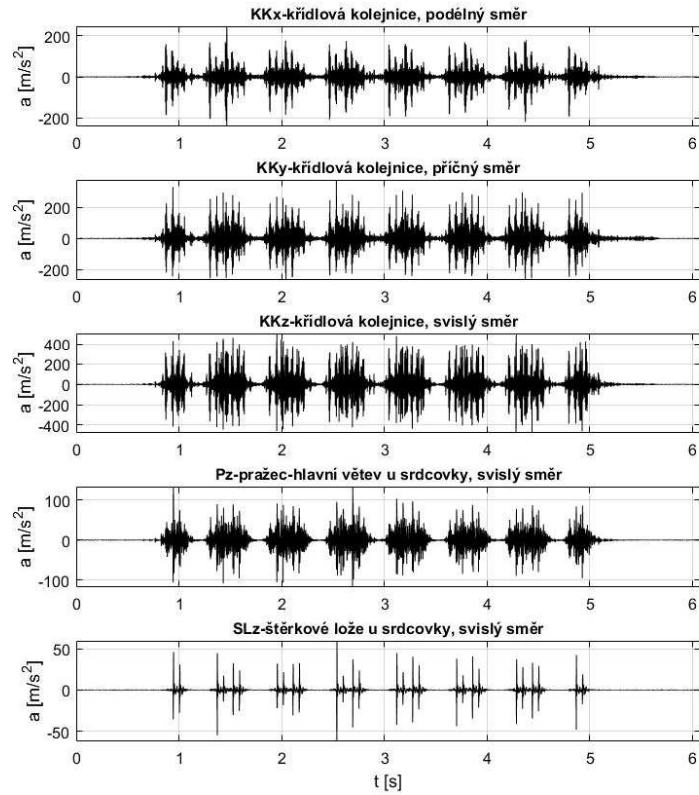




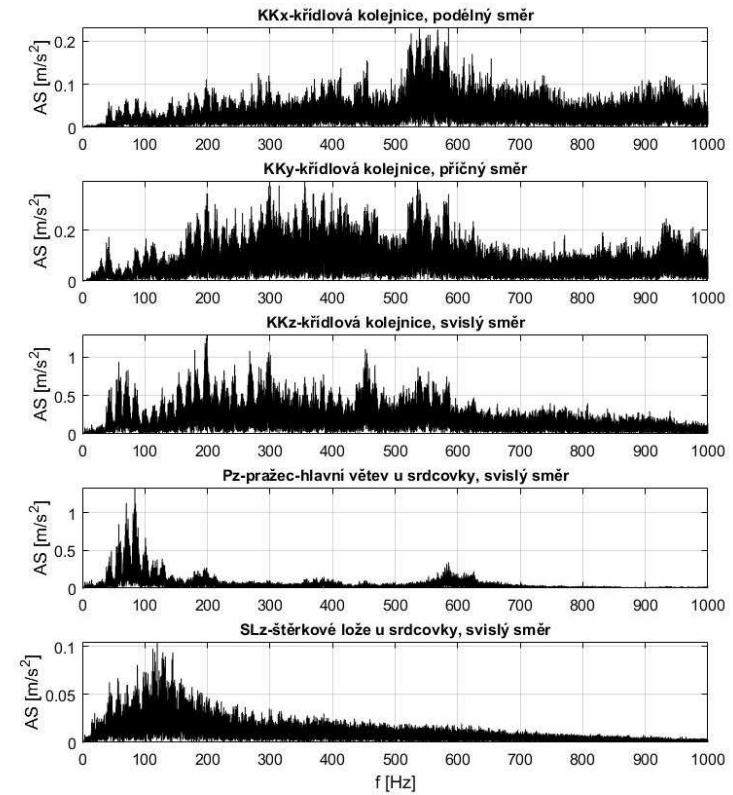
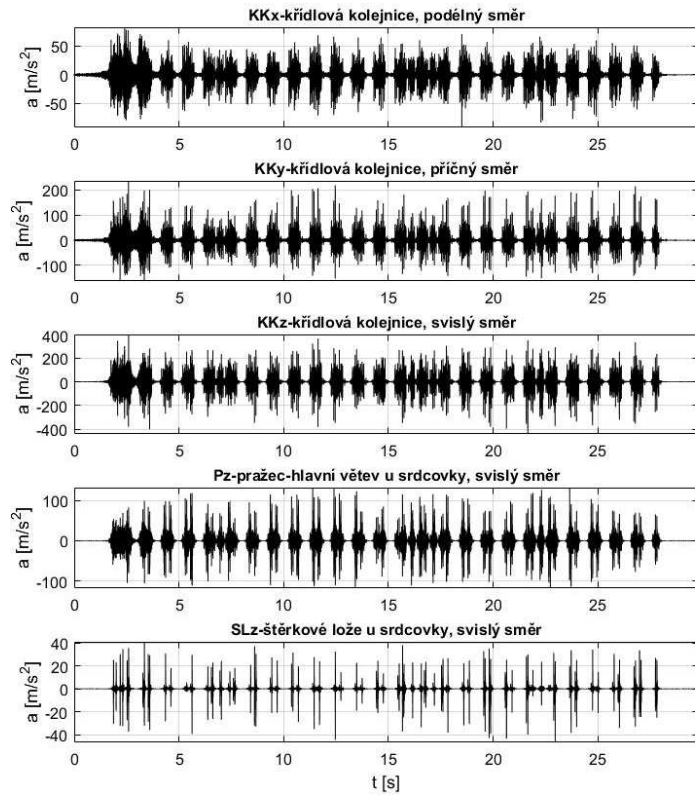
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_4\Vlak_1_7.mat



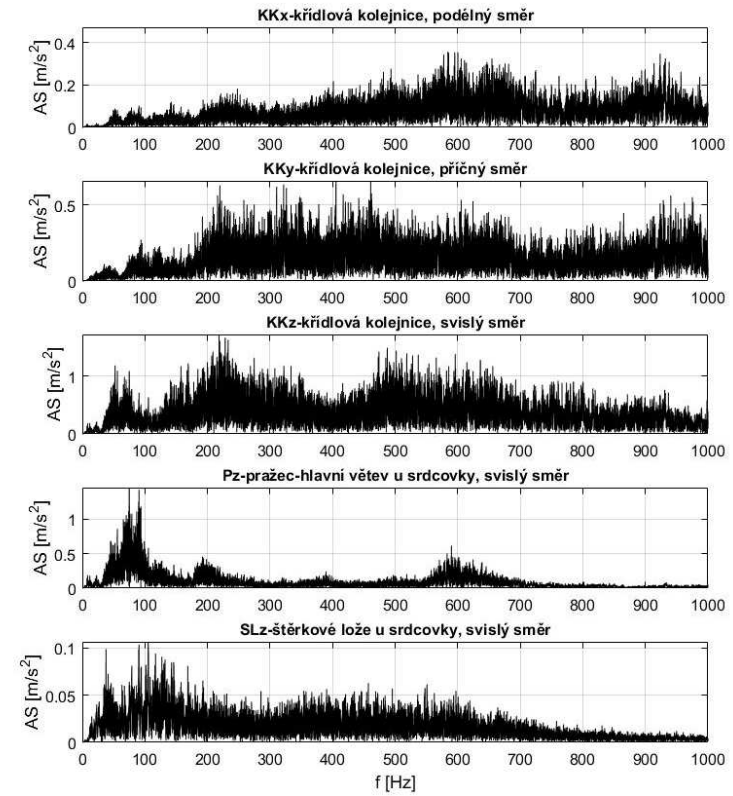
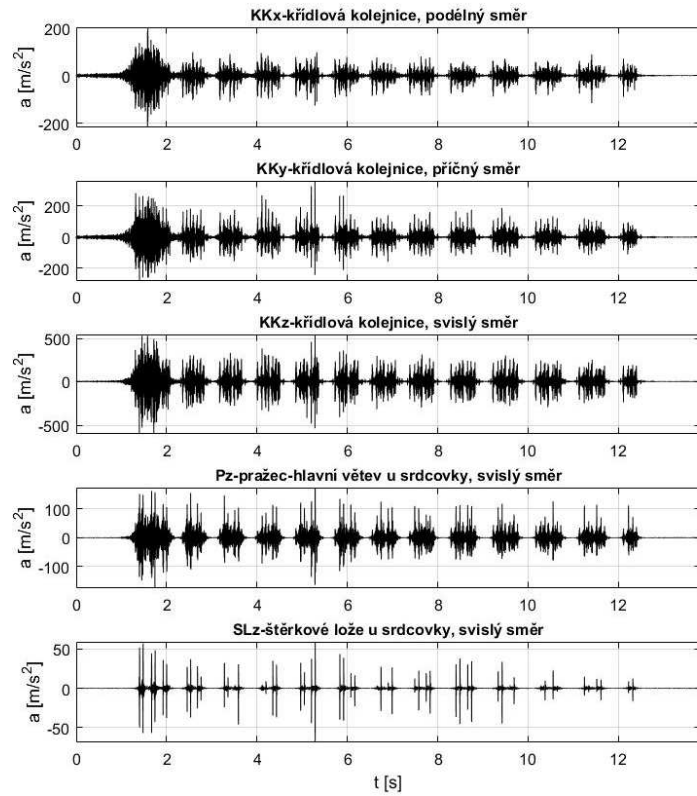
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_4\Vlak_1_8.mat



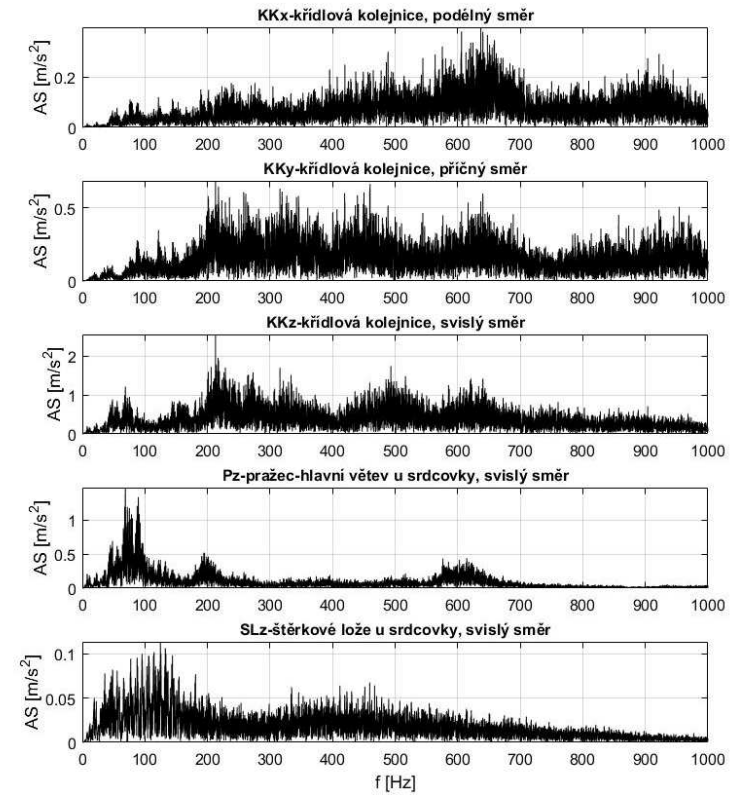
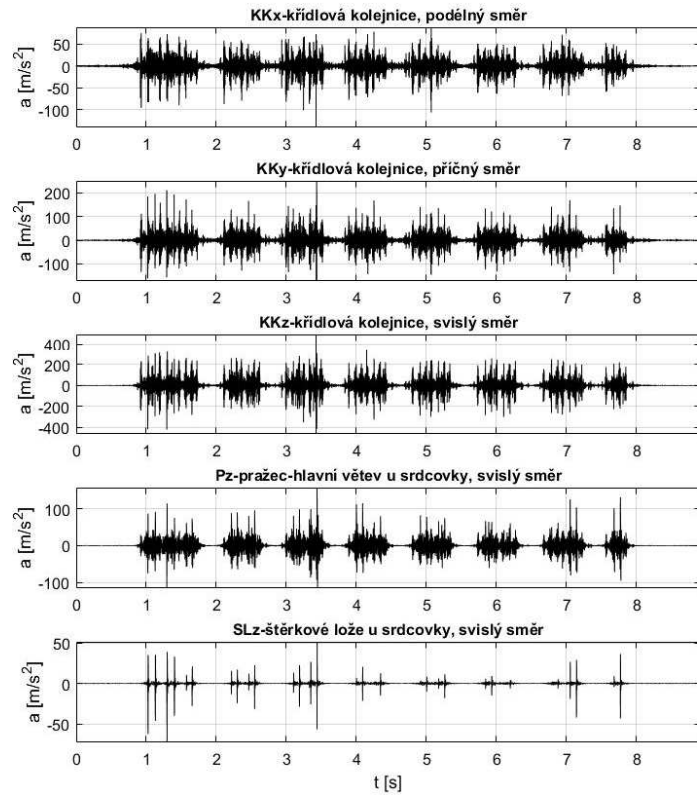
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_4\Vlak_1_9.mat



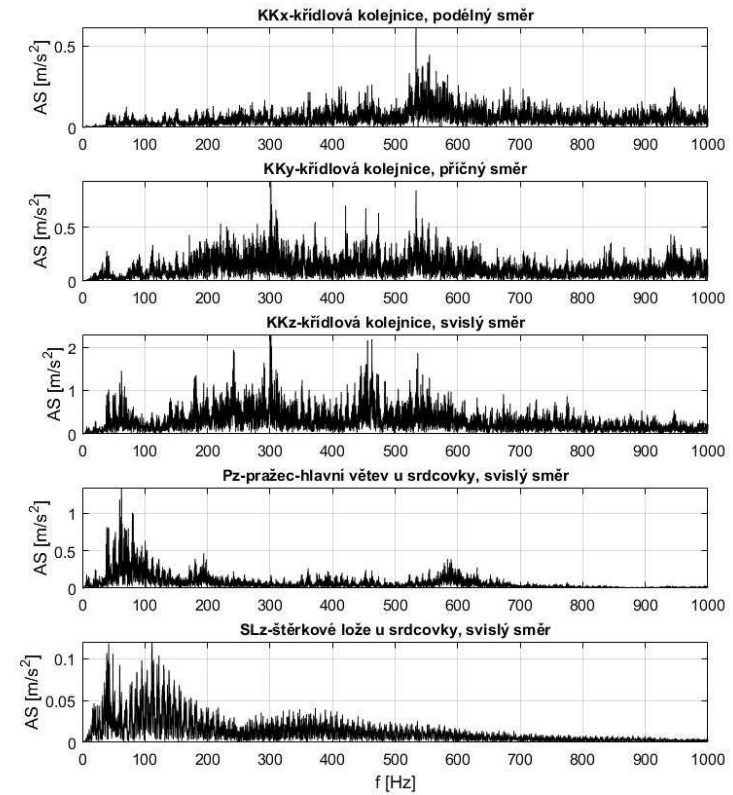
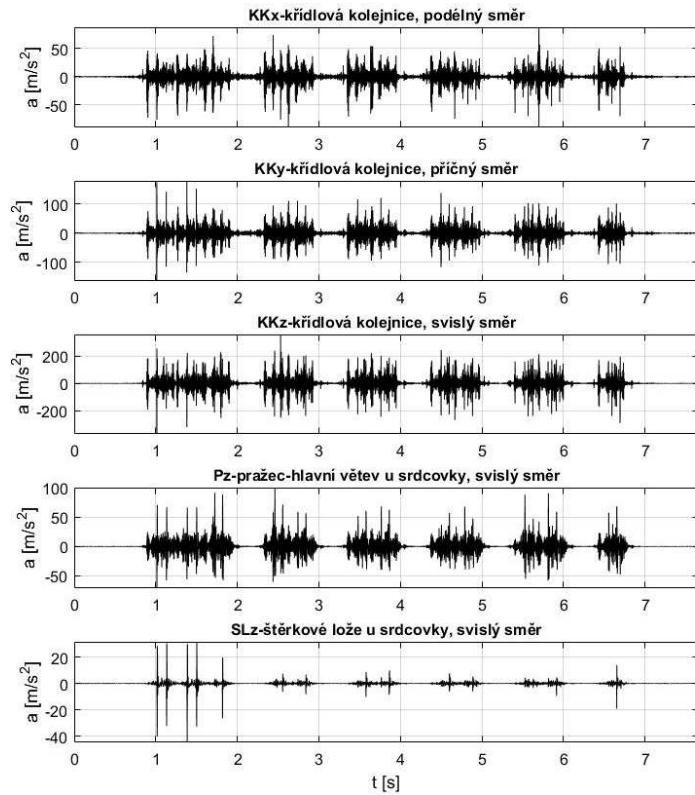
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_4\vlak_1_10.mat



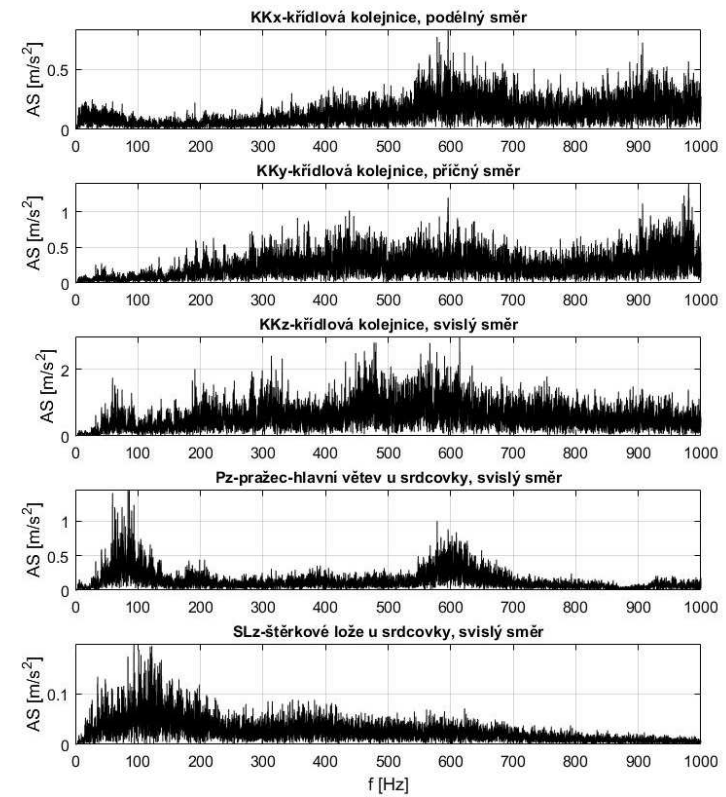
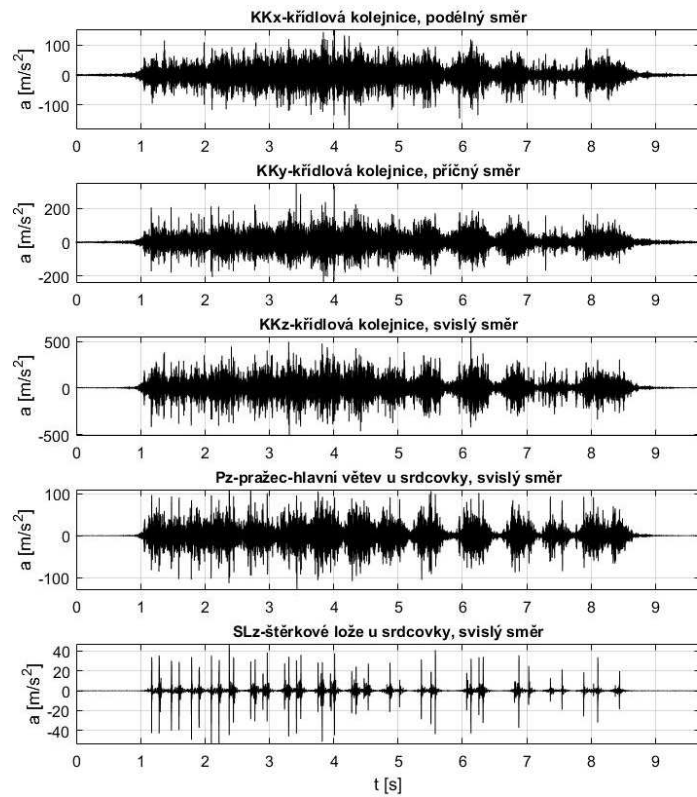
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_4\Vlak_1_11.mat



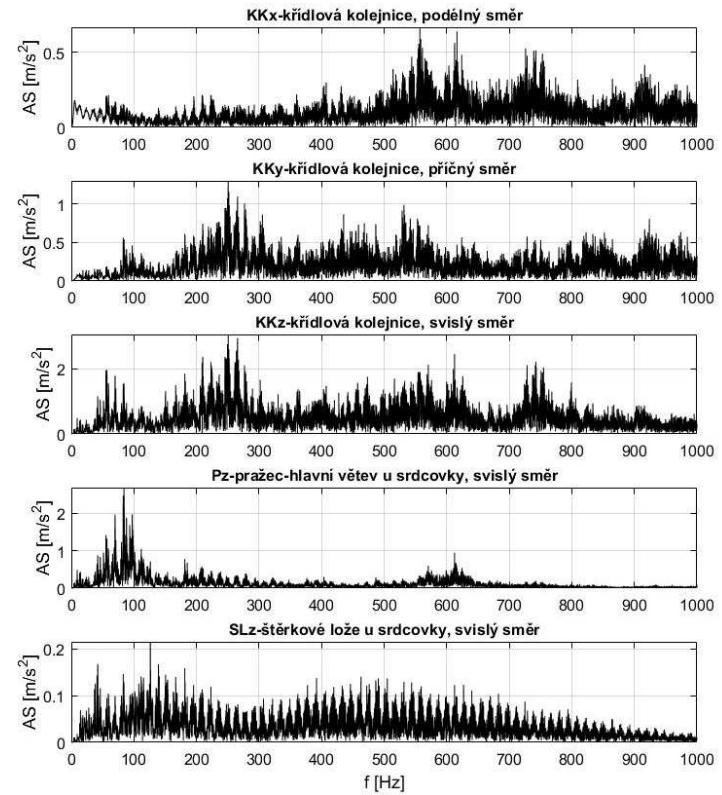
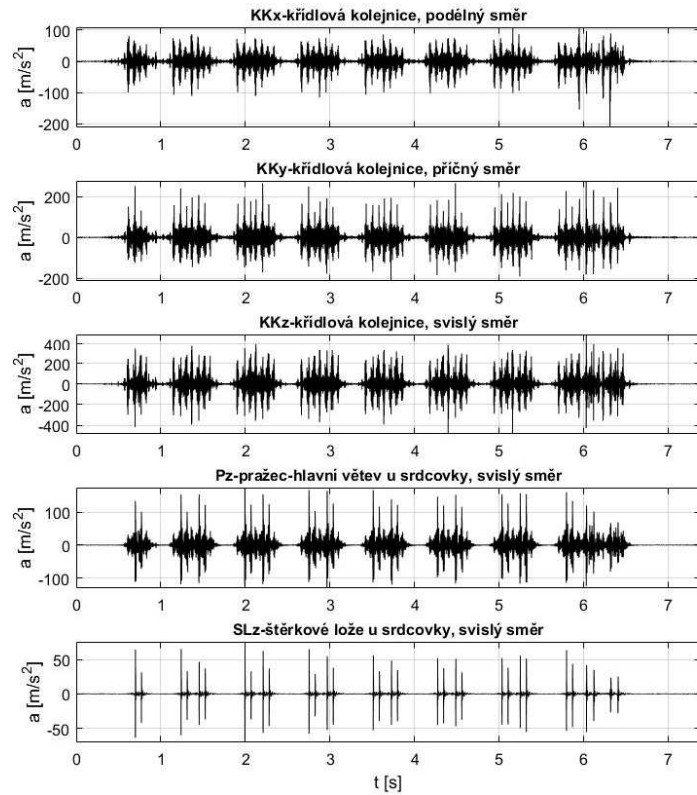
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_4\vlak_1_12.mat



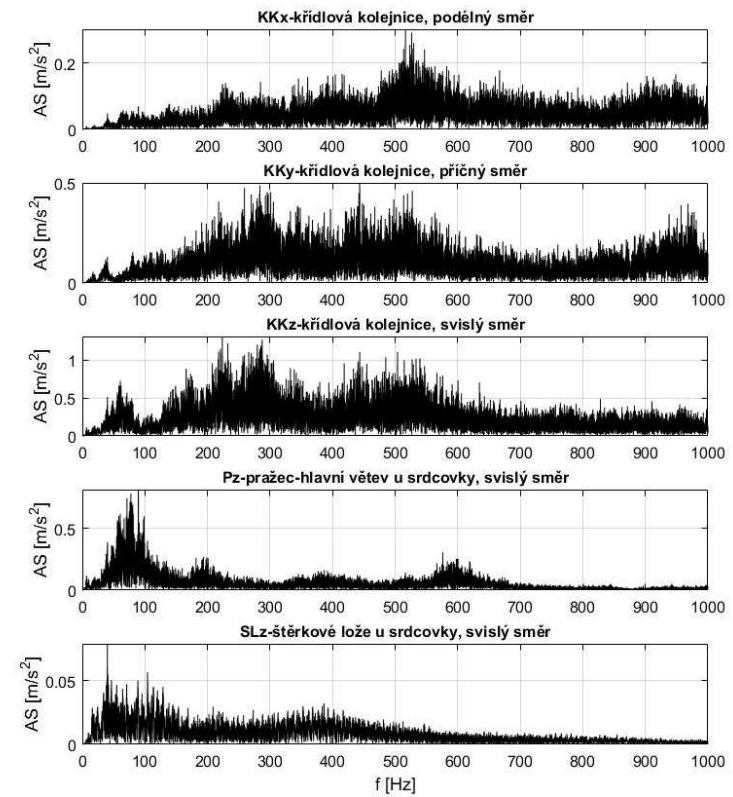
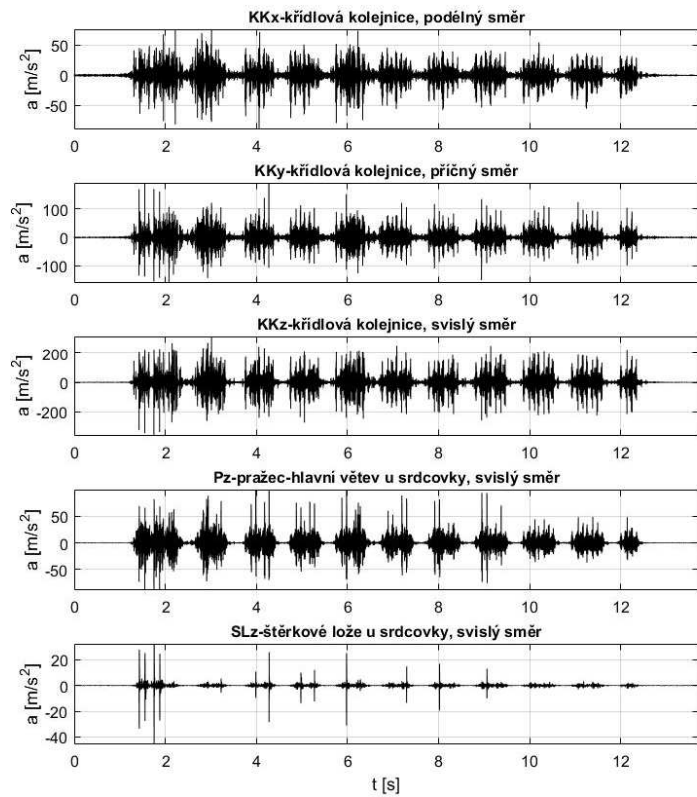
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_4\vlak_1_13.mat



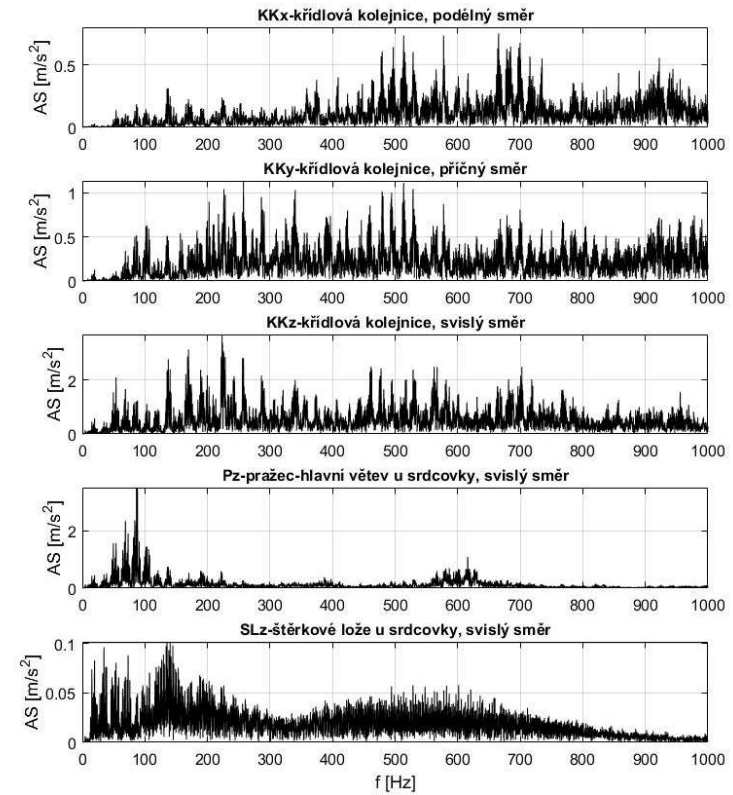
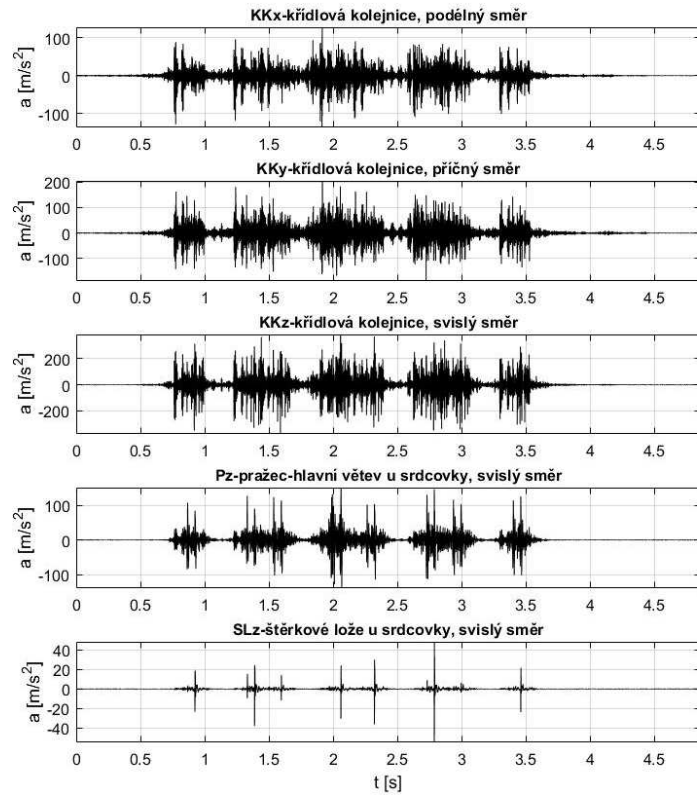
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_4\Vlak_1_14.mat



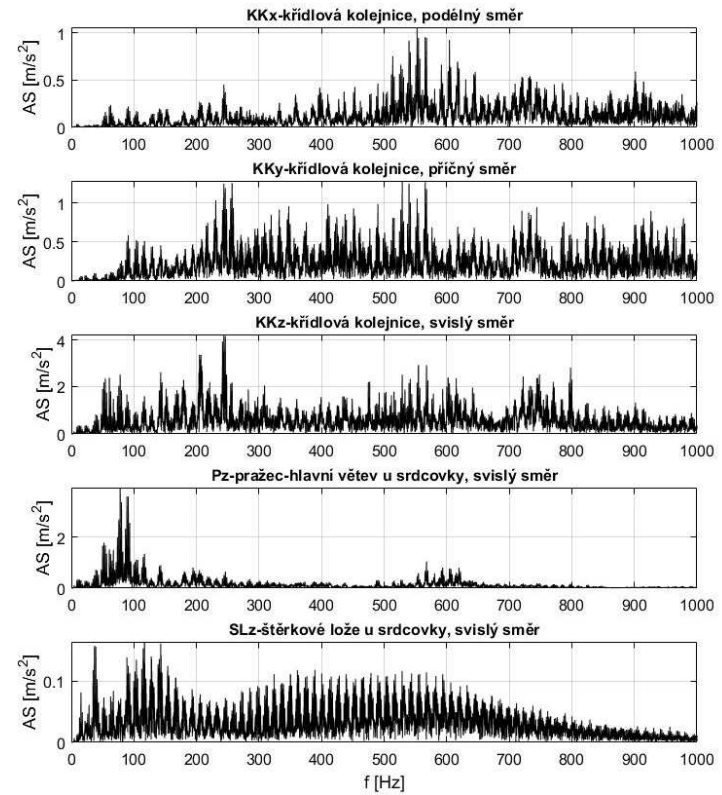
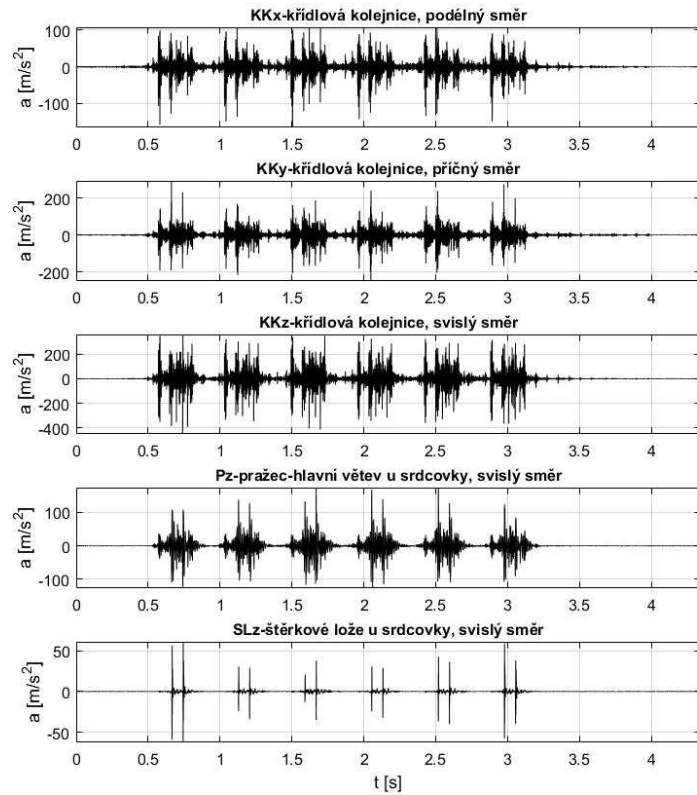
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_4\vlak_1_15.mat



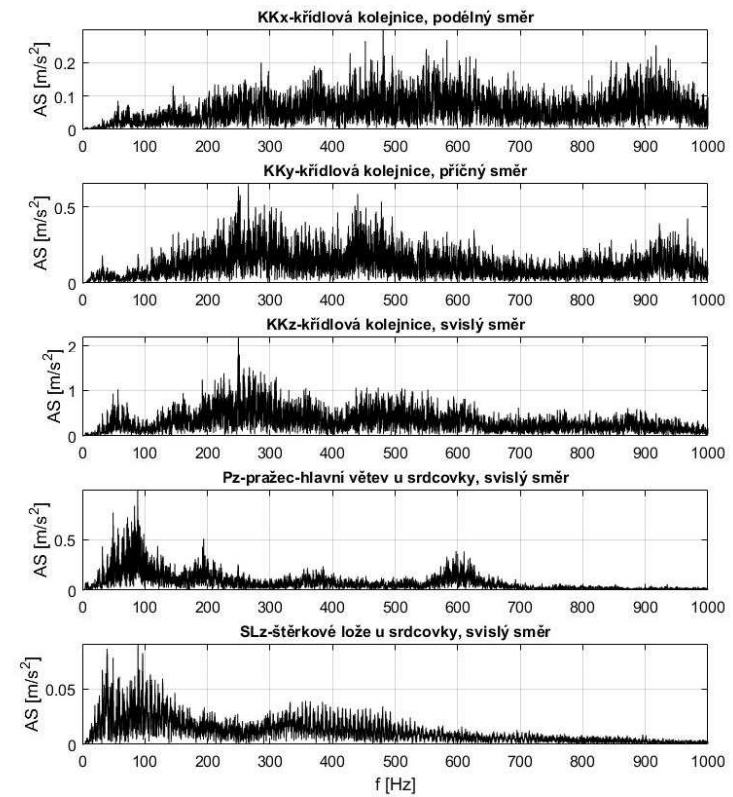
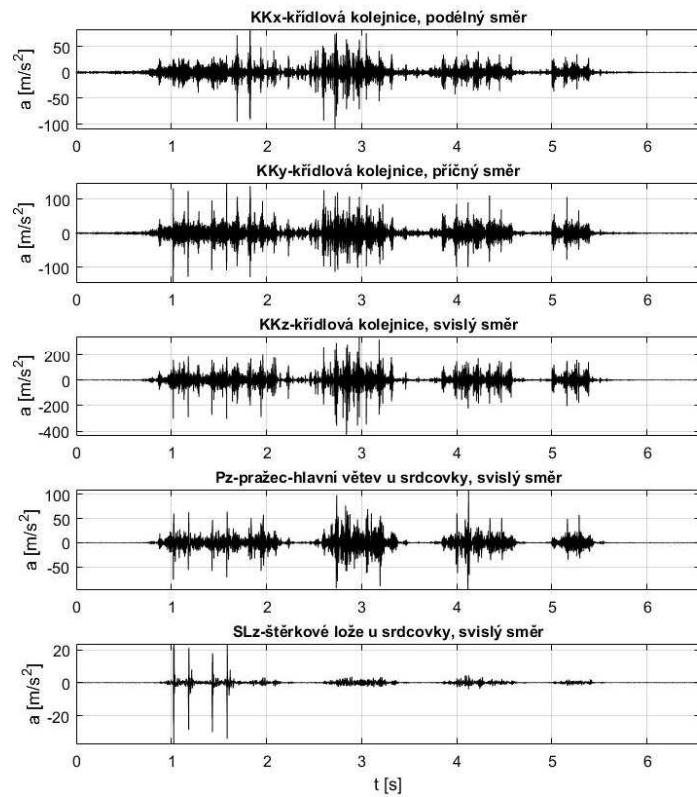
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_4\vlak_1_16.mat



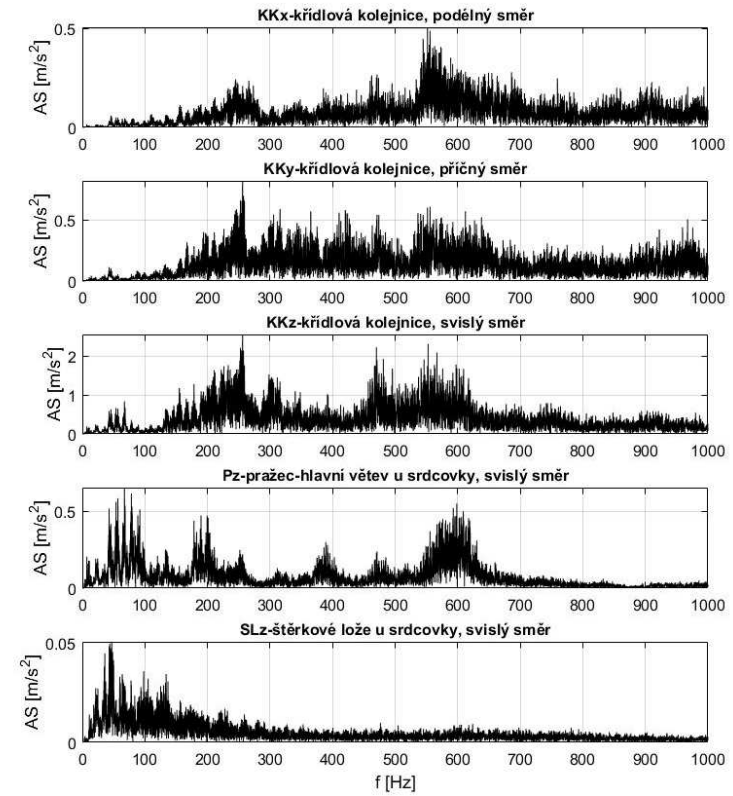
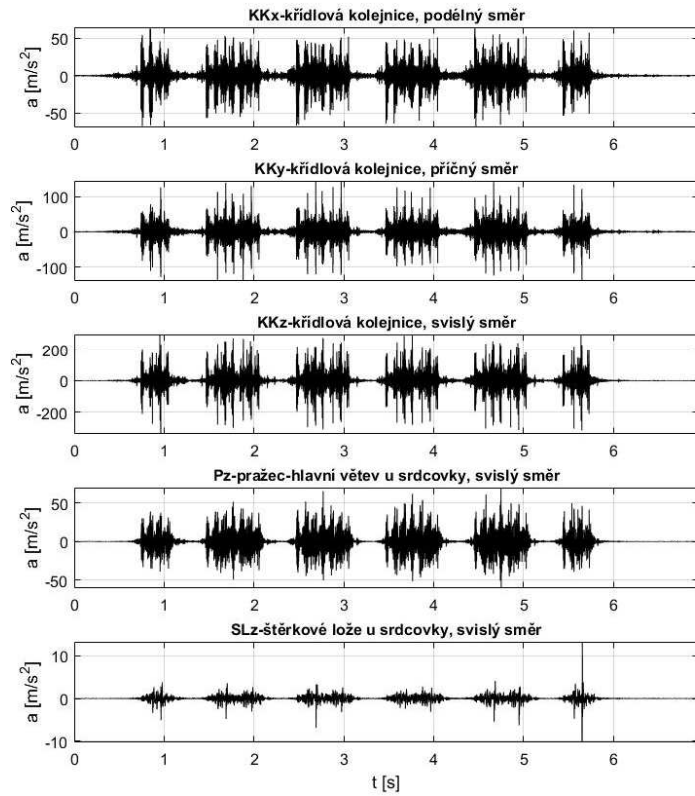
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_4\vlak_1_17.mat



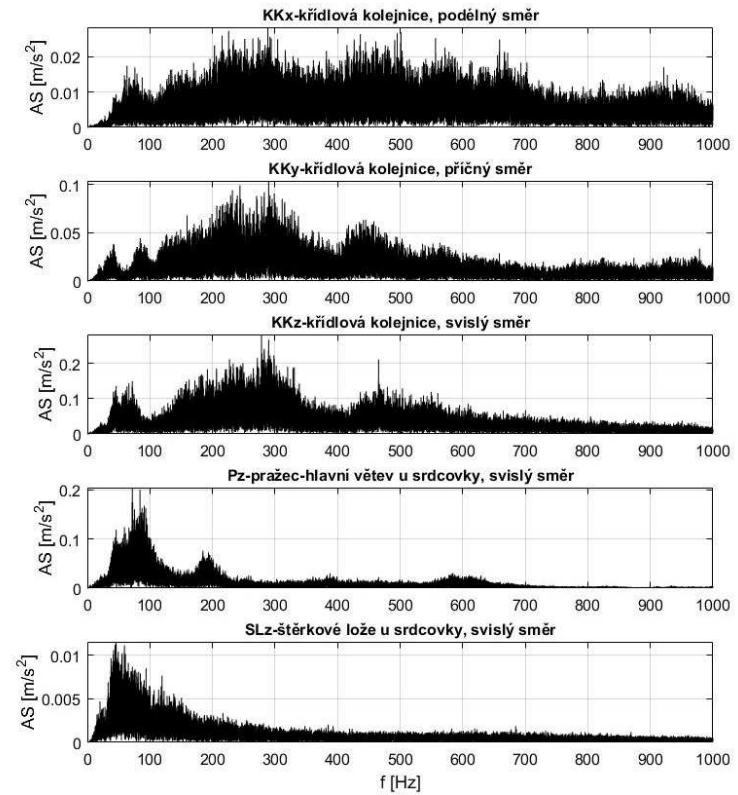
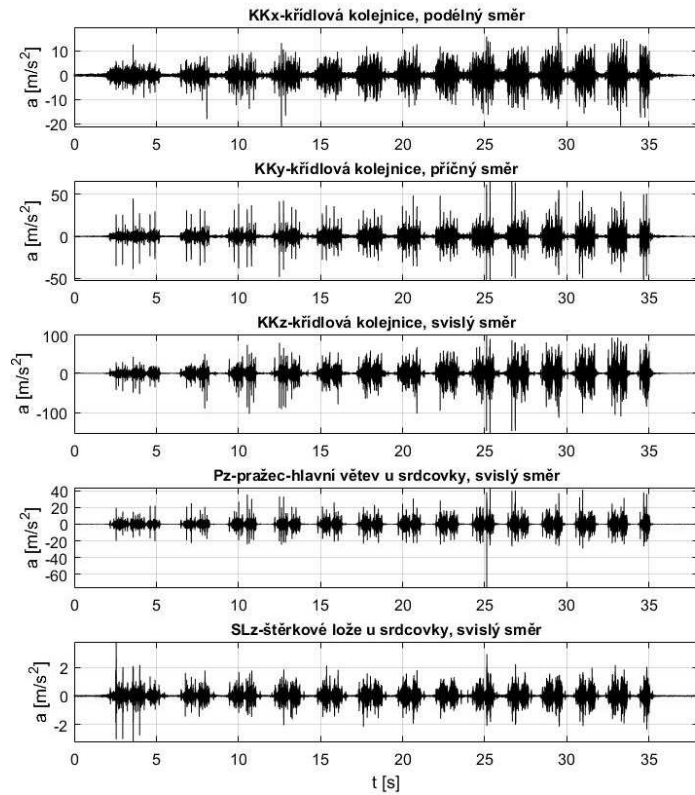
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_4\Vlak_1_18.mat



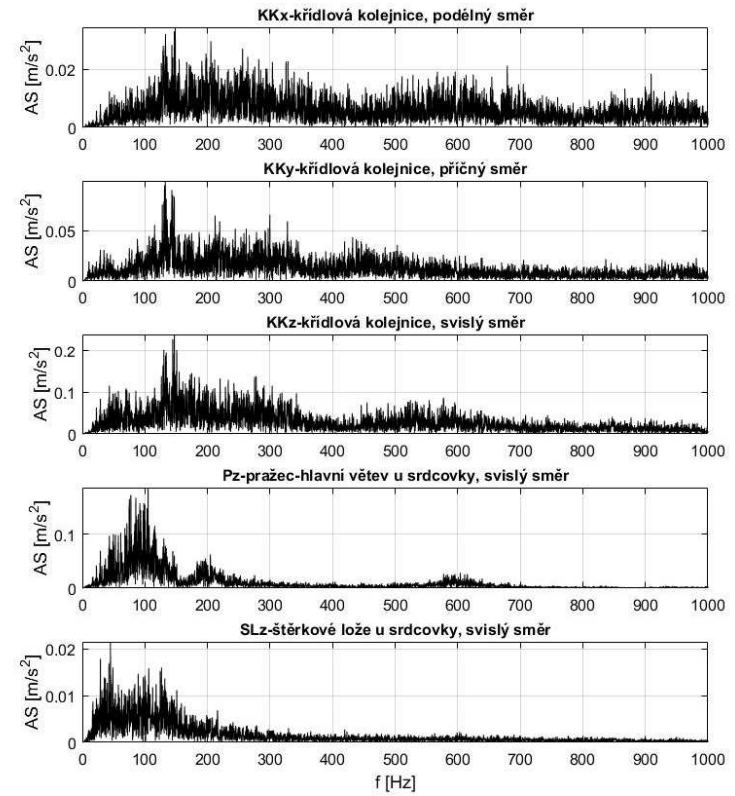
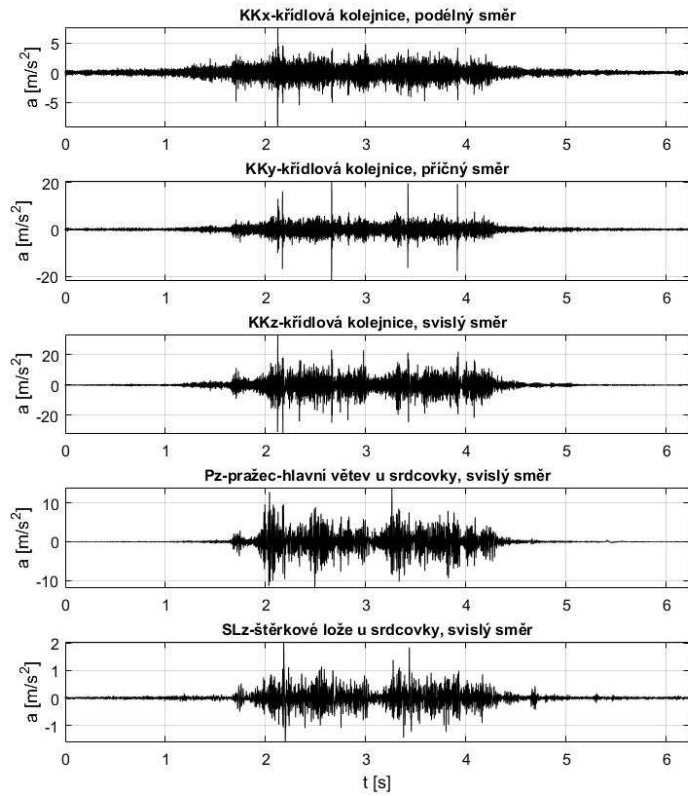
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_4\vlak_1_19.mat



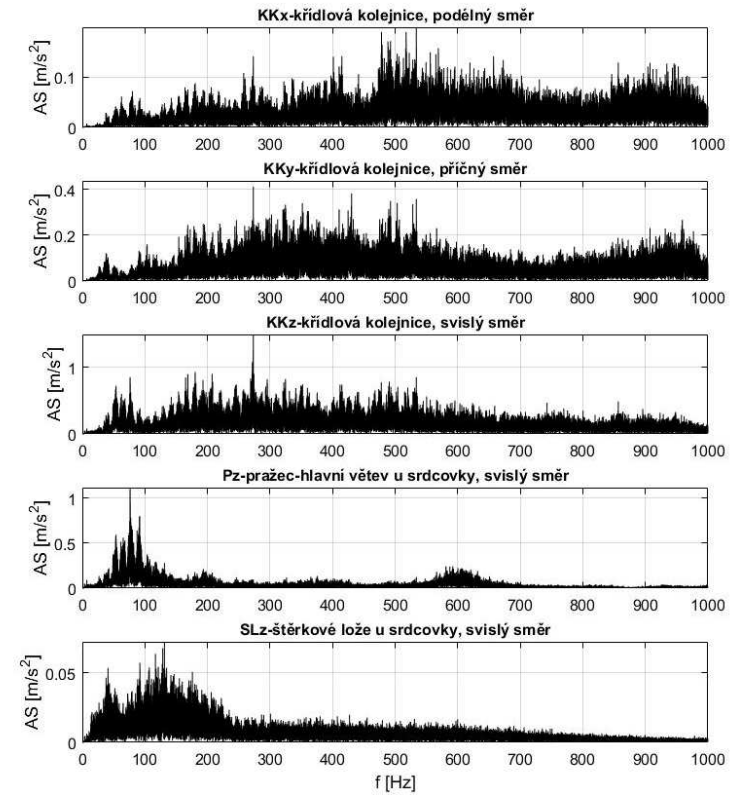
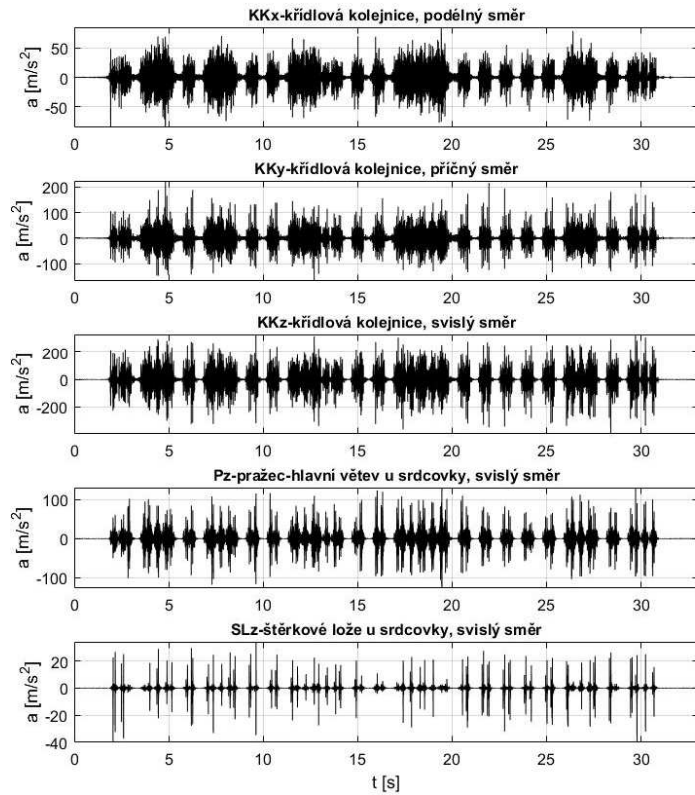
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_4\vlak_1_20.mat



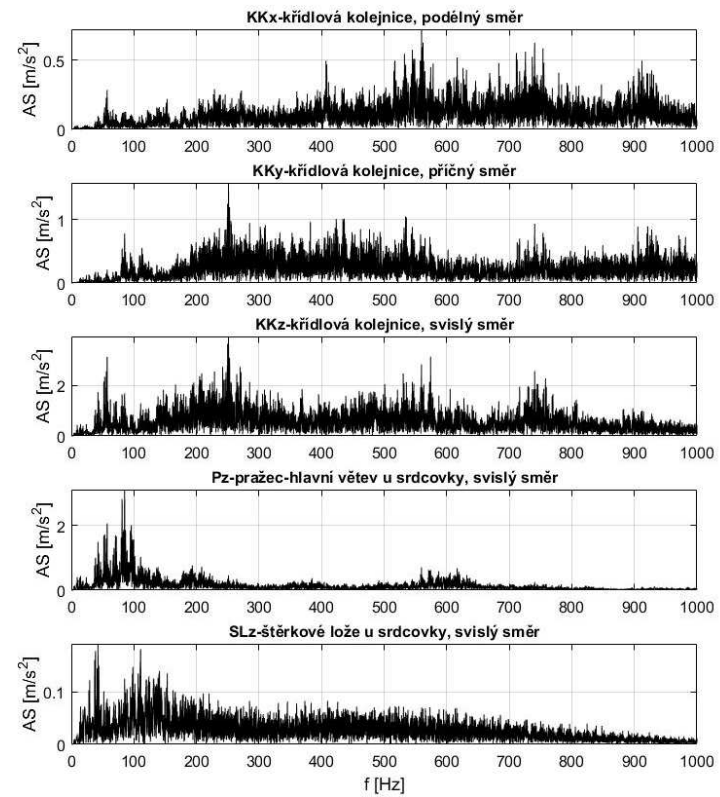
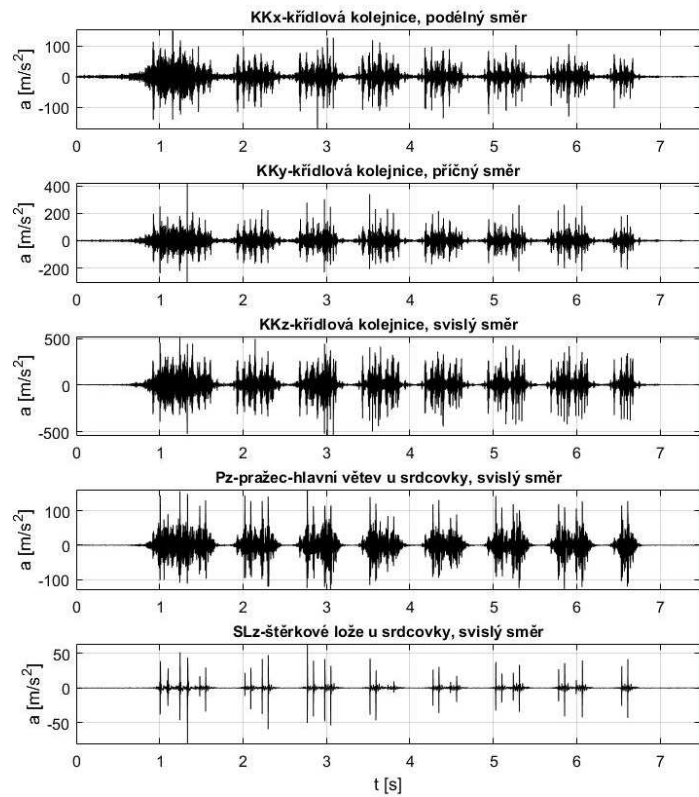
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_4\vlak_1_21.mat



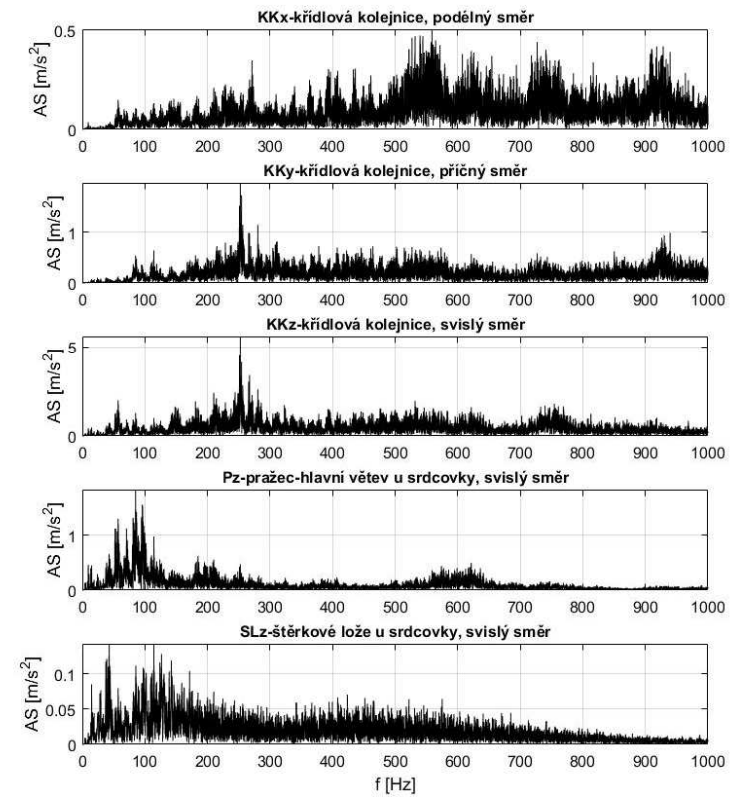
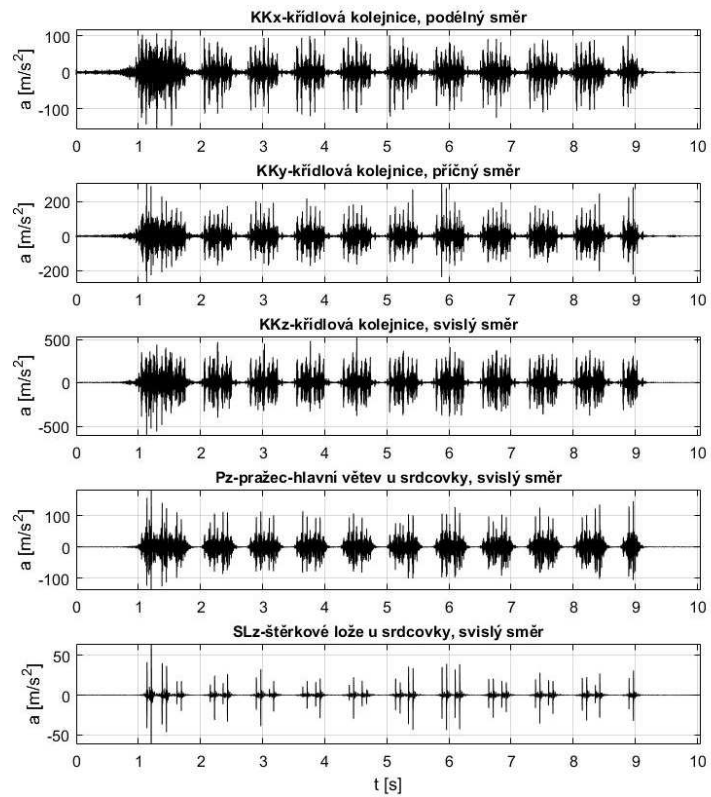
C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_4\vlak_1_22.mat



C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_4\vlak_1_23.mat



C:\BK_RECORDING\Usti_nad_Orlici_separ_vyh_4\Vlak_1_24.mat



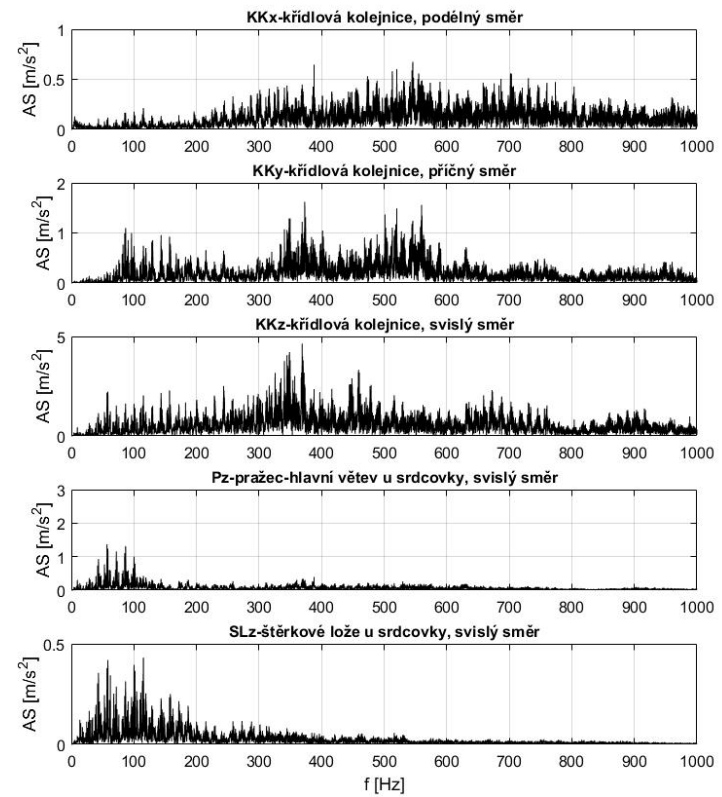
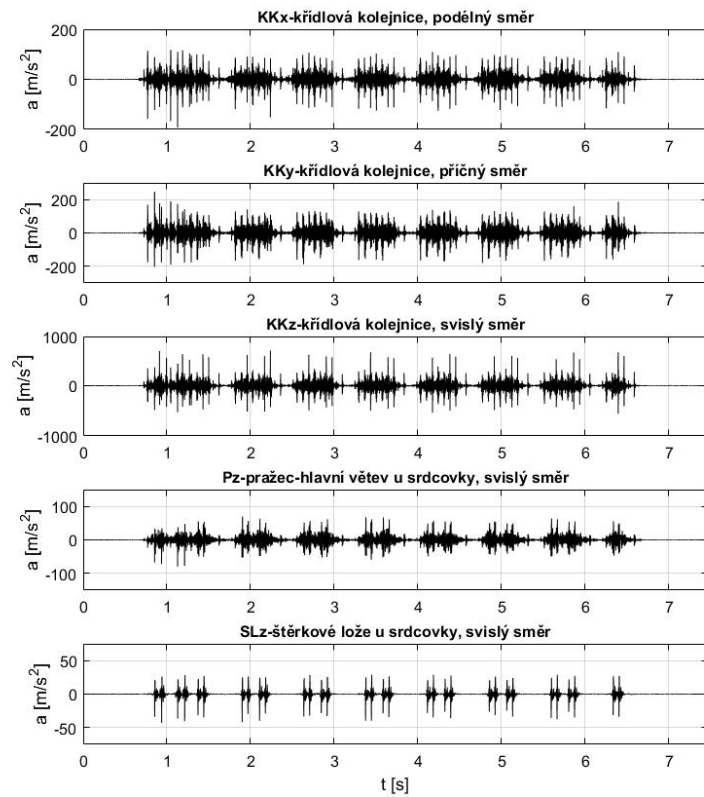
PŘÍLOHA G:

Časová a frekvenční analýza:

Grafické zobrazení vybrané skupiny

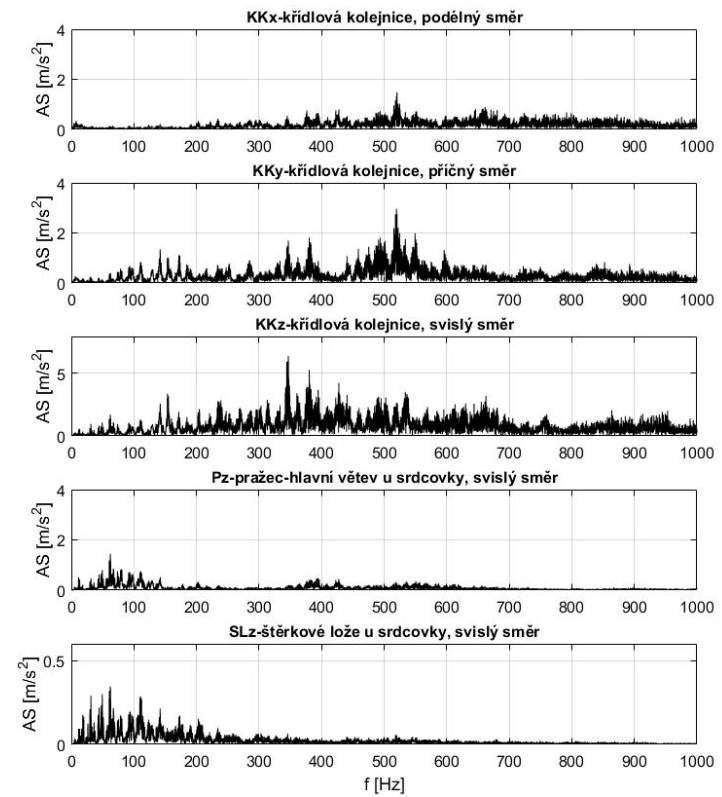
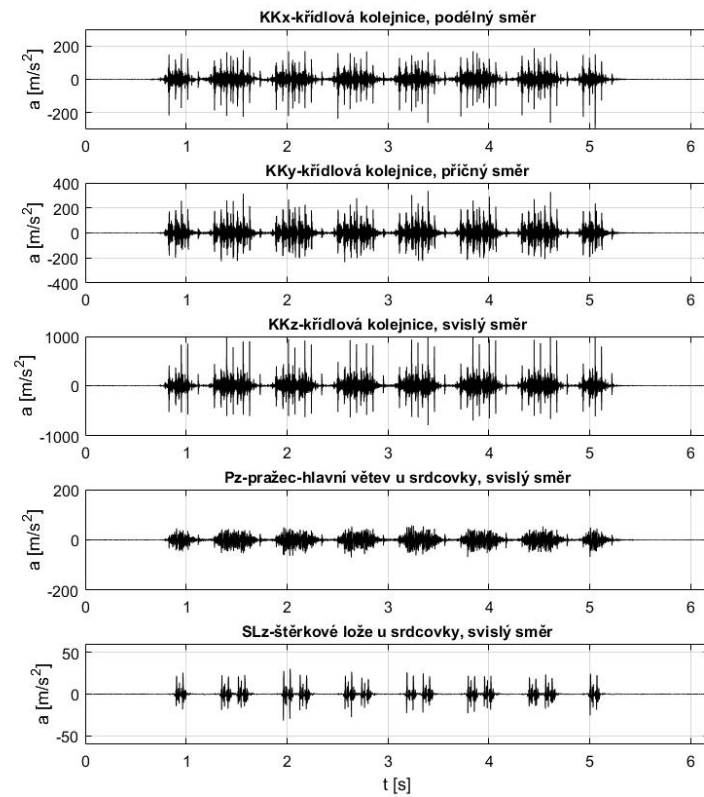
vlaků na srdcovce výhybky č. 3

C:\BK_RECORDING\Usti\Vlak_1_7.mat



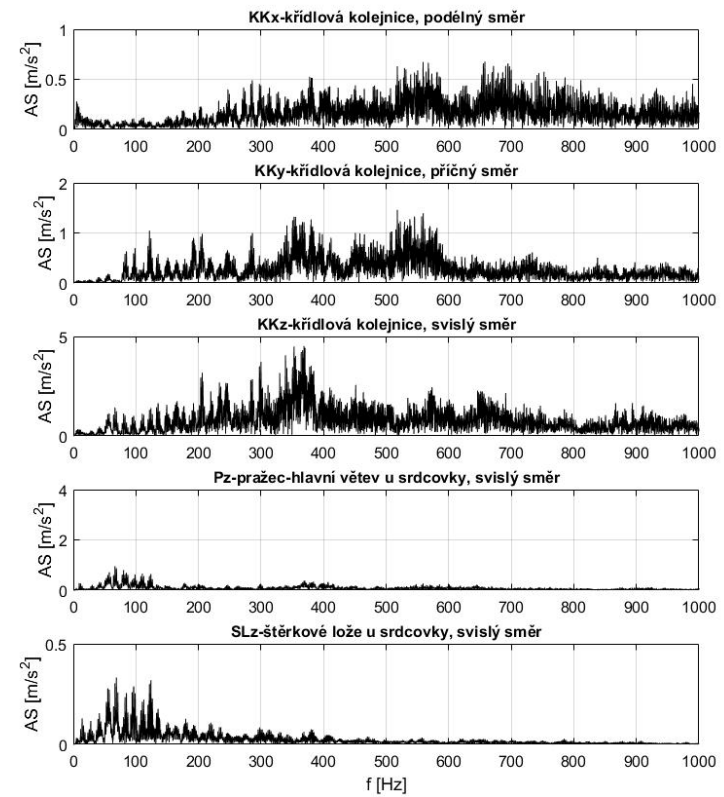
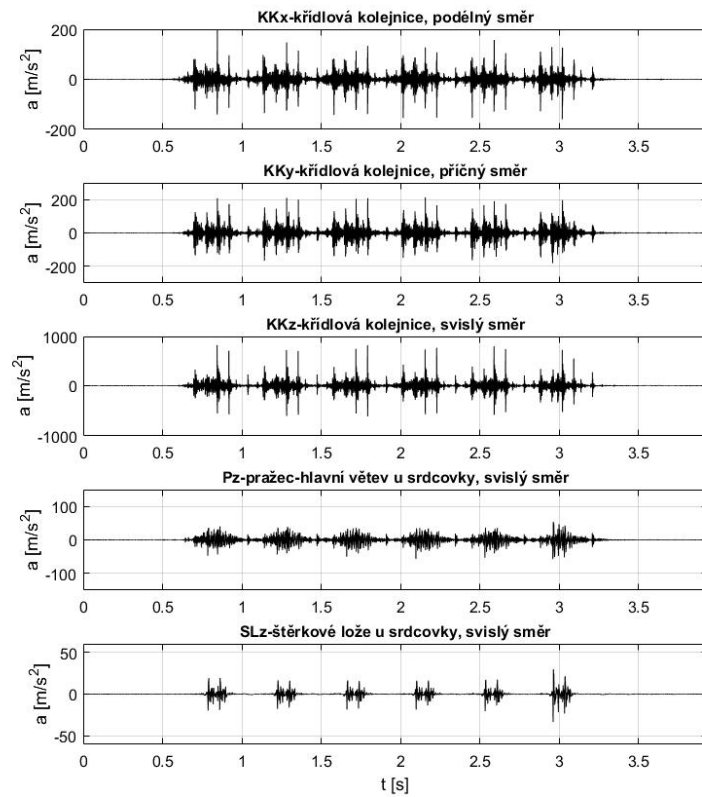
Railjet

C:\BK_RECORDING\Usti\Vlak_1_15.mat

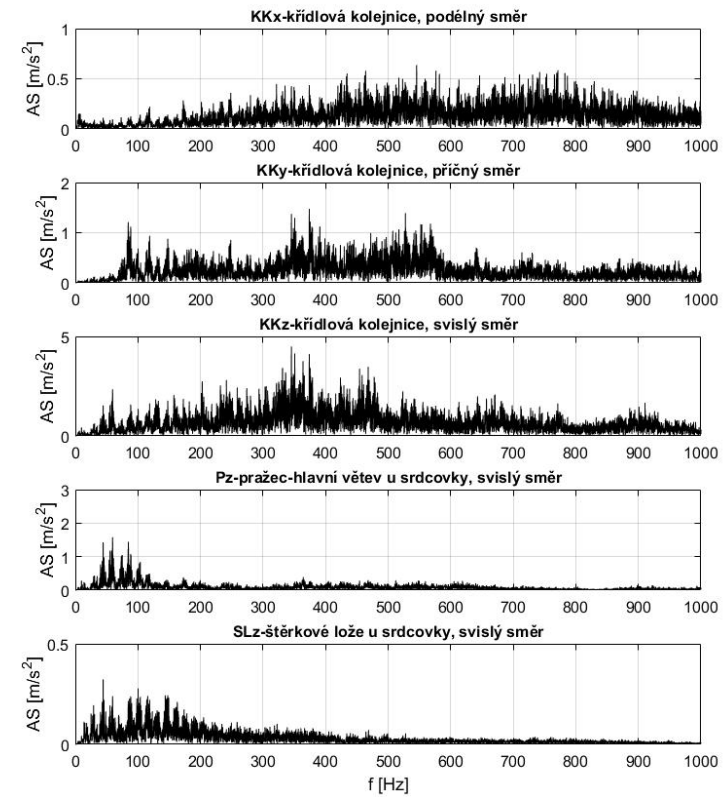
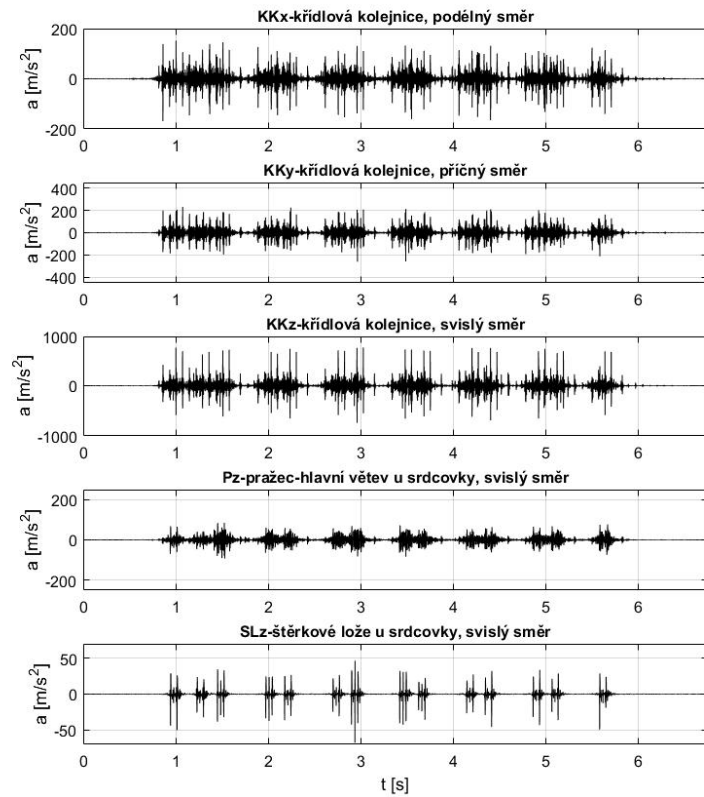


Pendolino

C:\BK_RECORDING\Usti\Vlak_1_1.mat

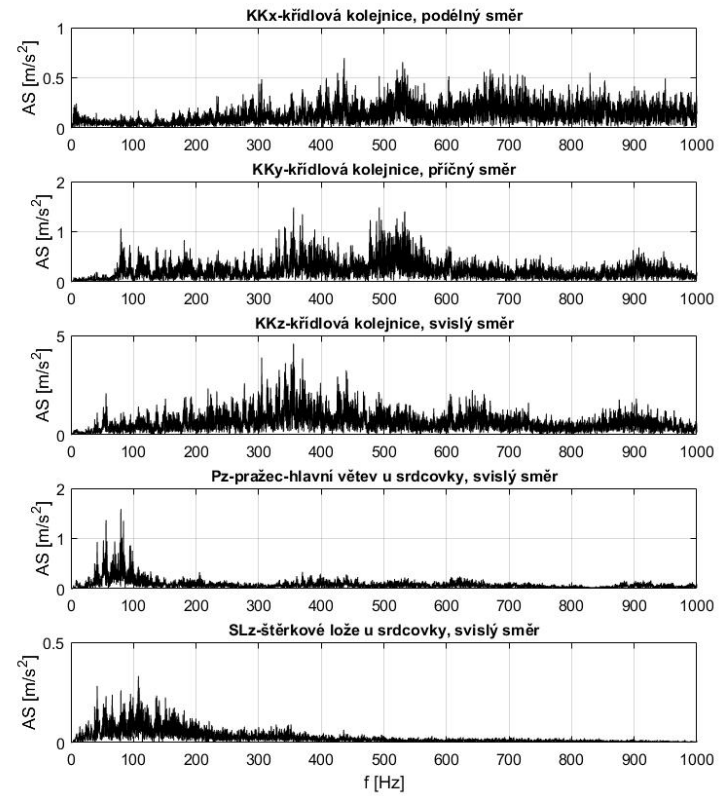
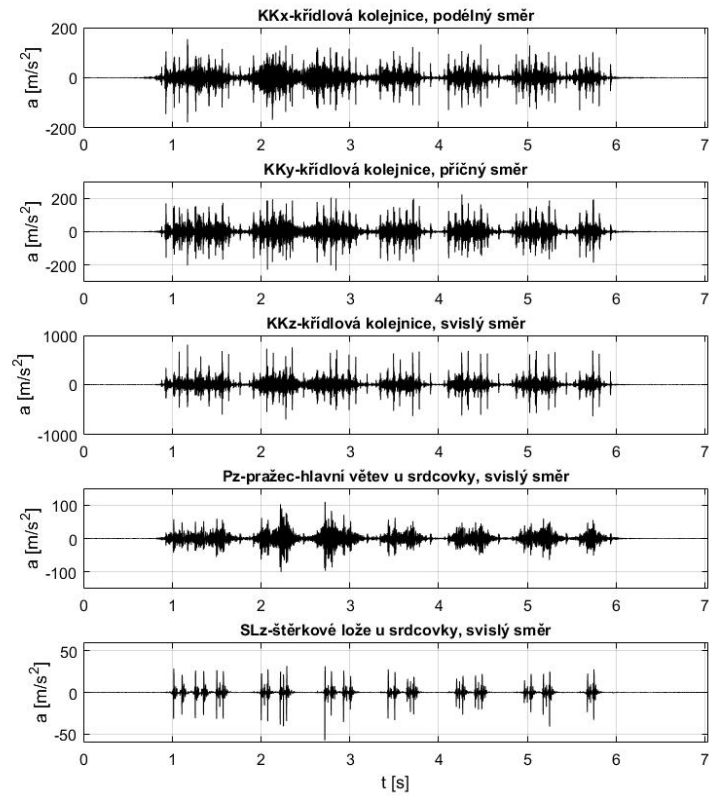


Leo Express



RegioJet

C:\BK_RECORDING\Usti\Vlak_1_14.mat



Lokomotiva řady 361

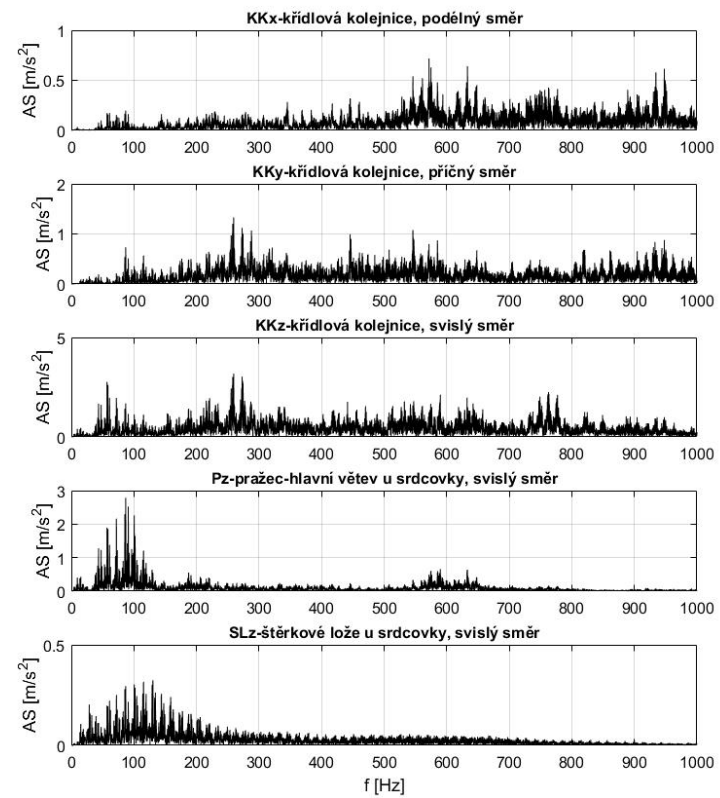
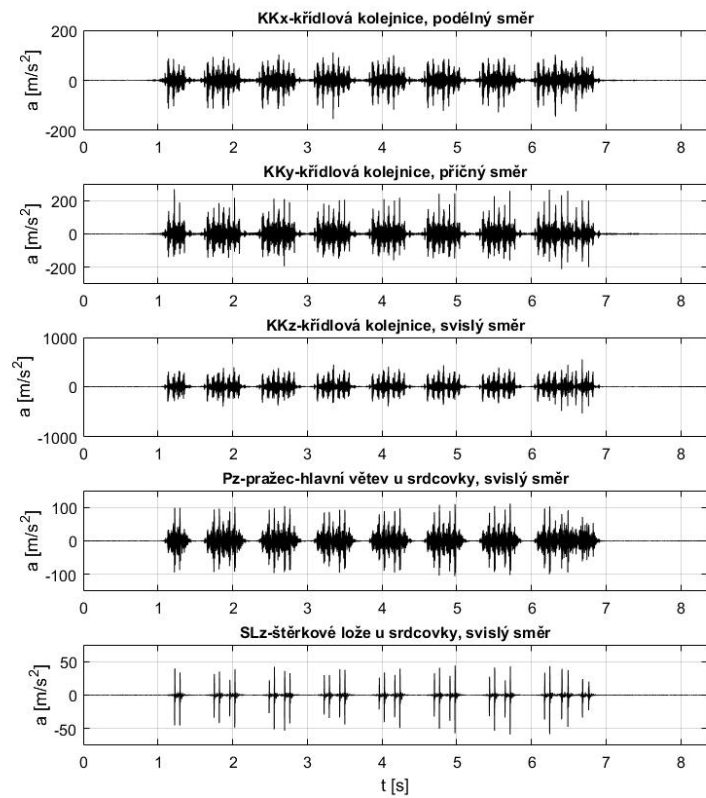
PŘÍLOHA H:

Časová a frekvenční analýza:

Grafické zobrazení vybrané skupiny

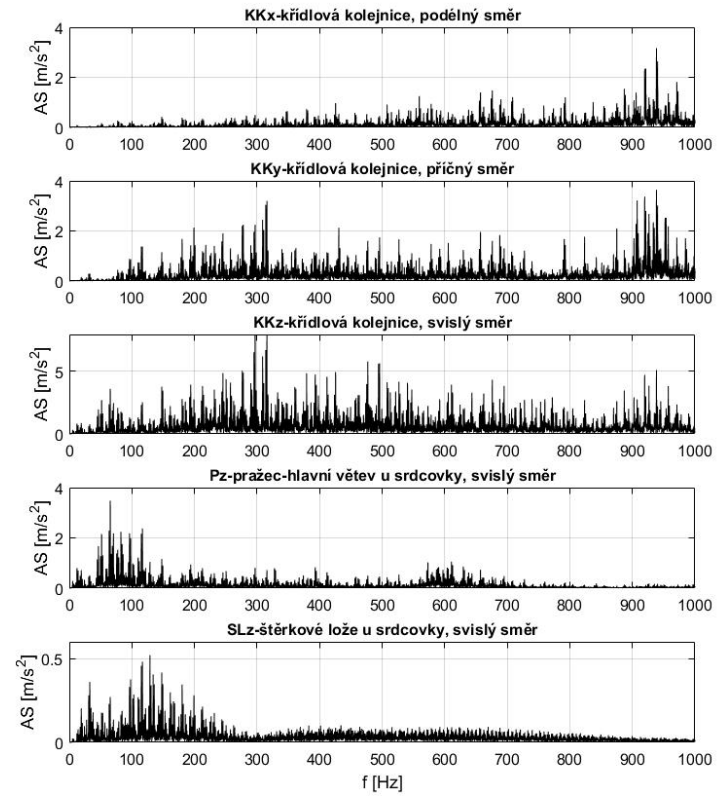
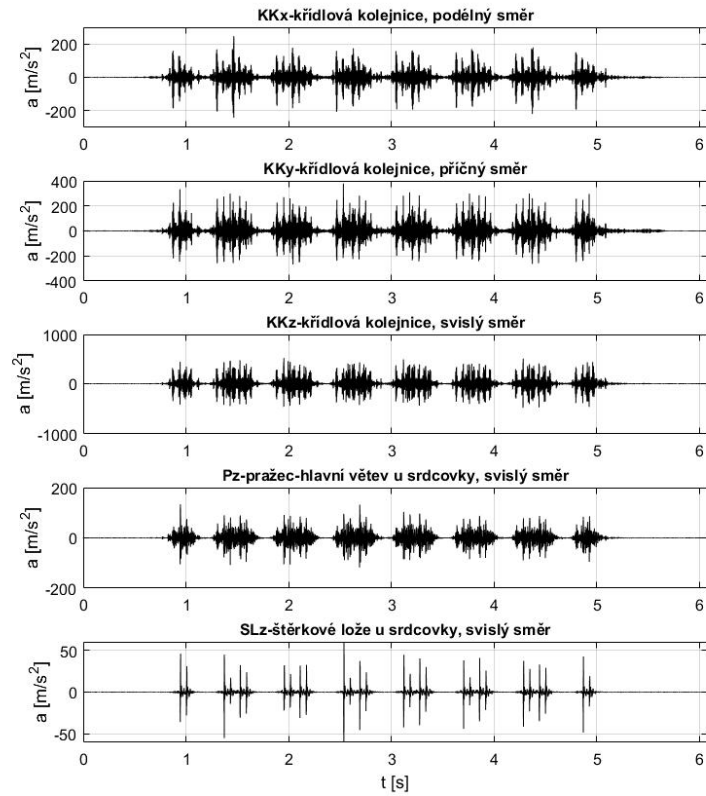
vlaků na srdcovce výhybky č. 4

C:\BK_RECORDING\Usti\Vlak_1.mat



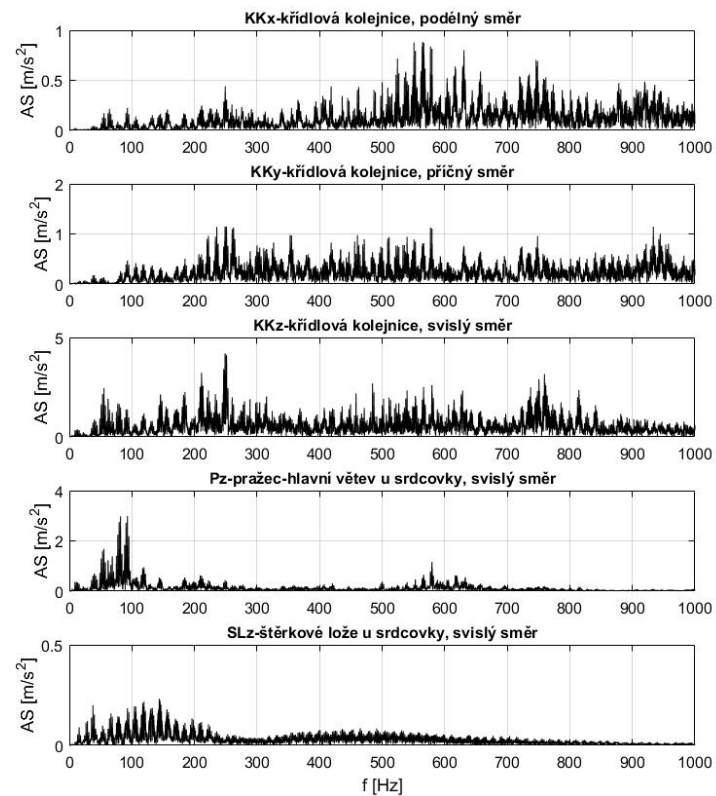
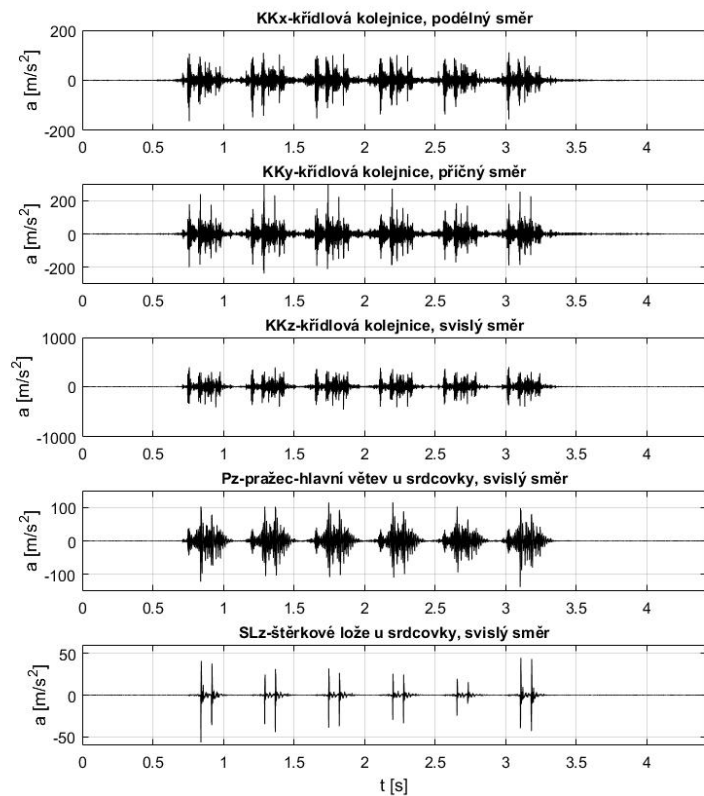
Railjet

C:\BK_RECORDING\Usti\Vlak_1_8.mat



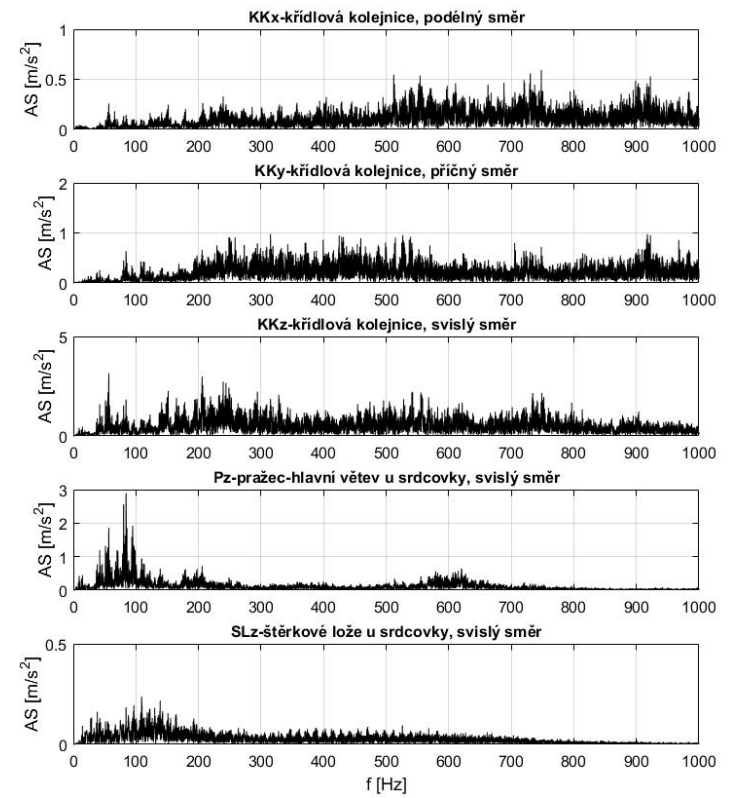
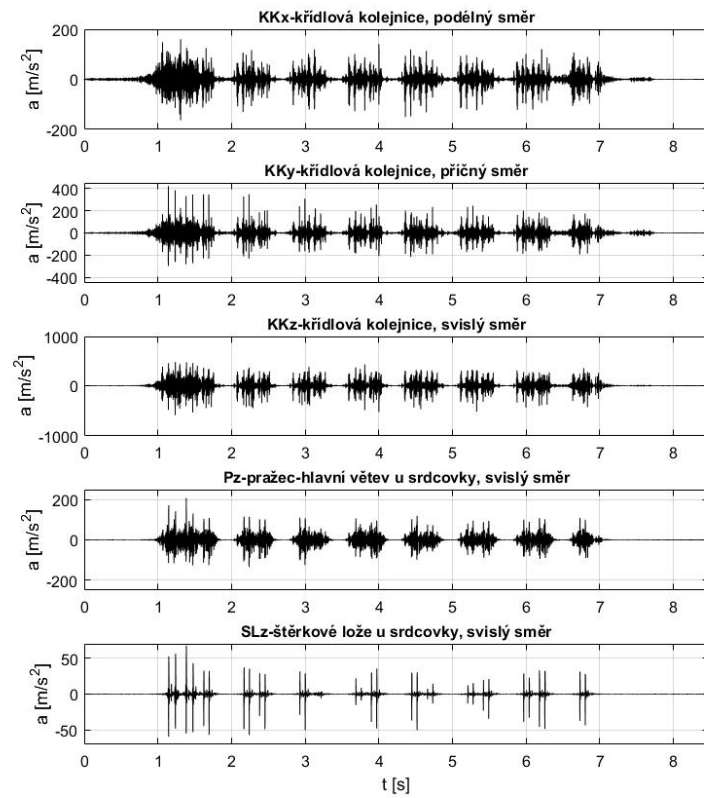
Pendolino

C:\BK_RECORDING\Usti\Vlak_1_3.mat



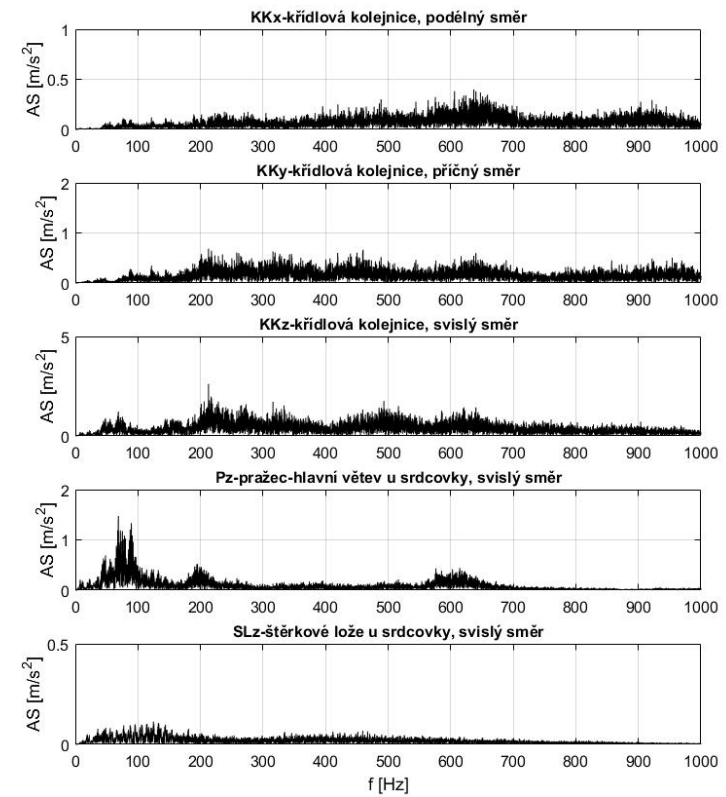
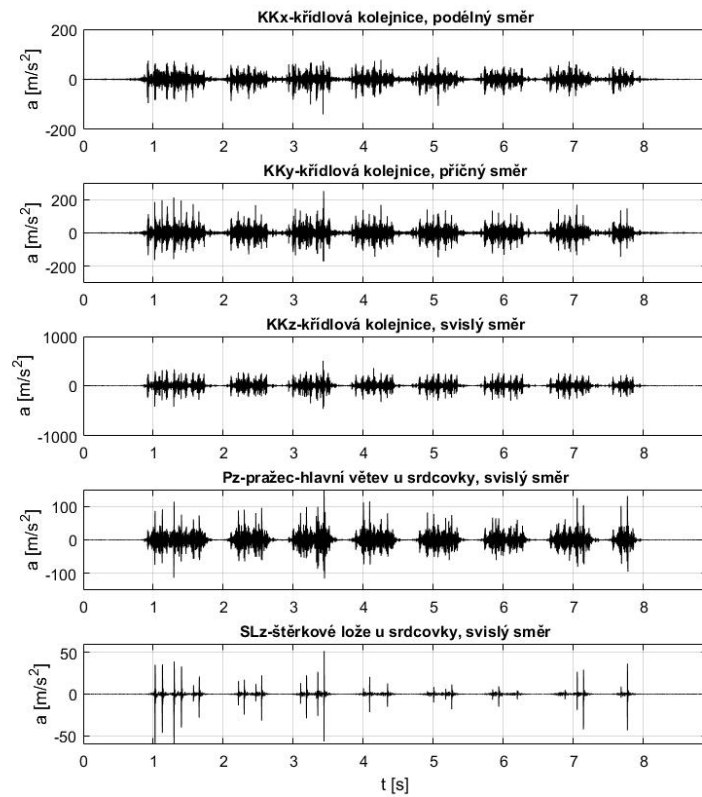
Leo Express

C:\BK_RECORDING\Usti\Vlak_1_7.mat



RegioJet

C:\BK_RECORDING\Usti\Vlak_1_11.mat



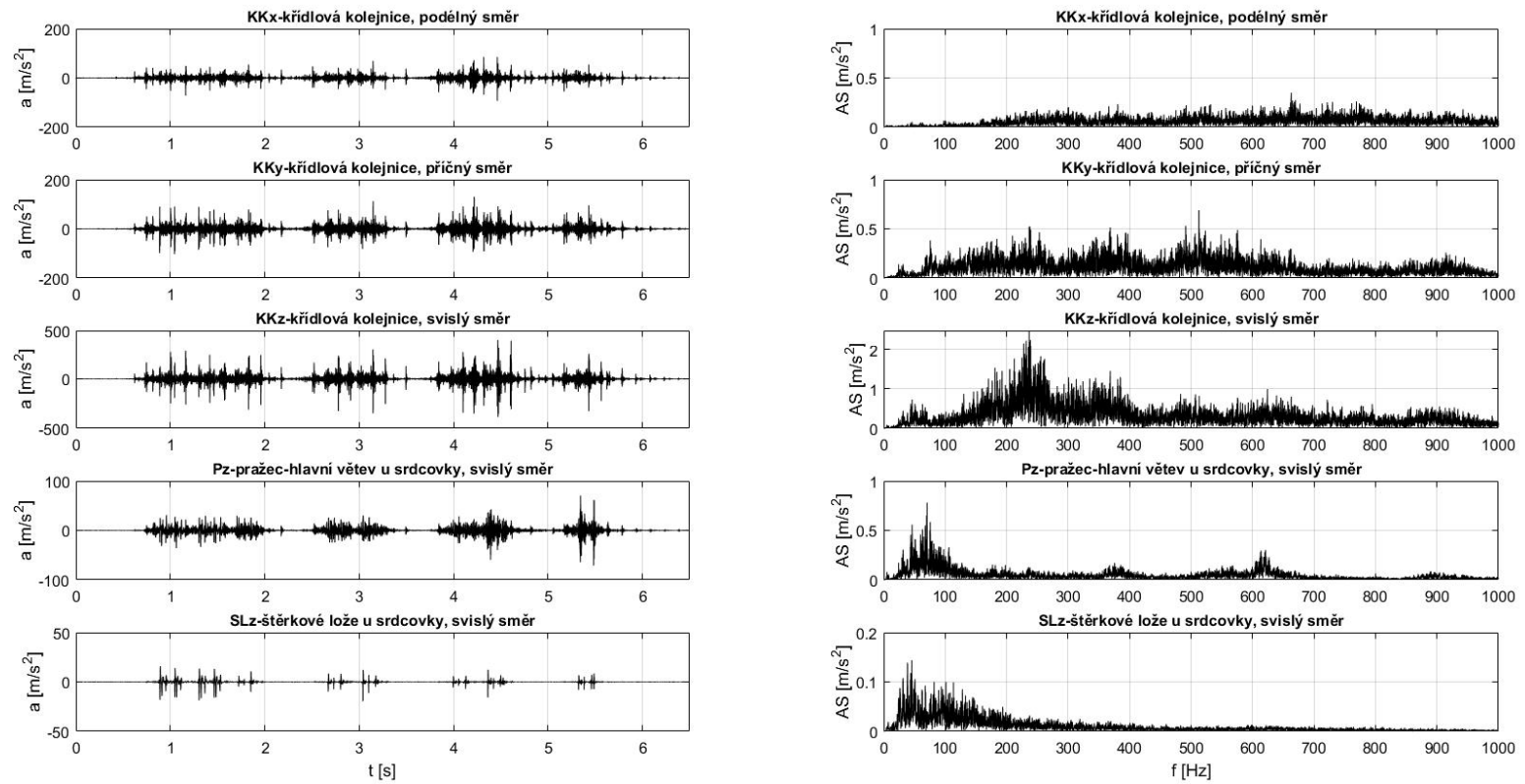
Lokomotiva řady 361

PŘÍLOHA I:

Časová a frekvenční analýza:

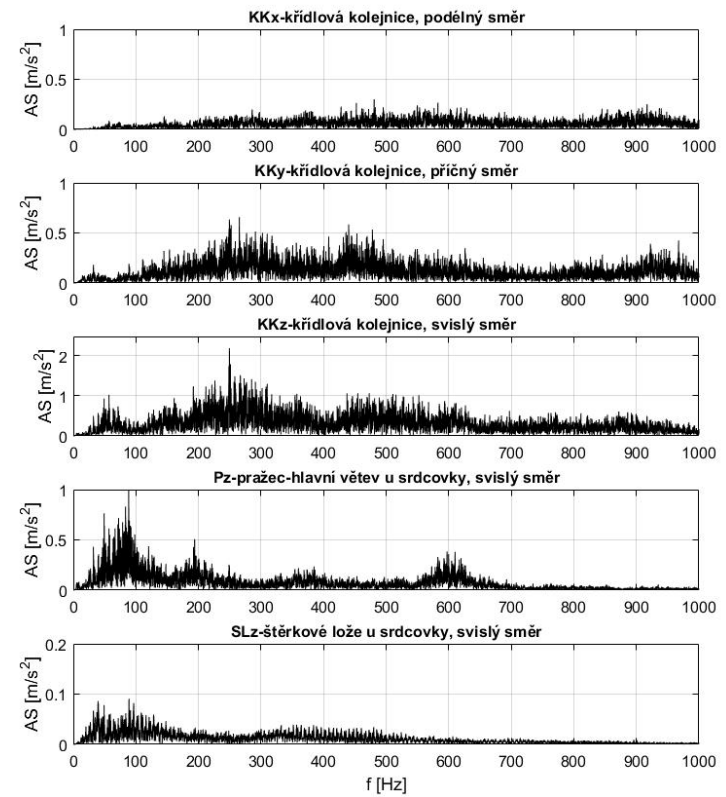
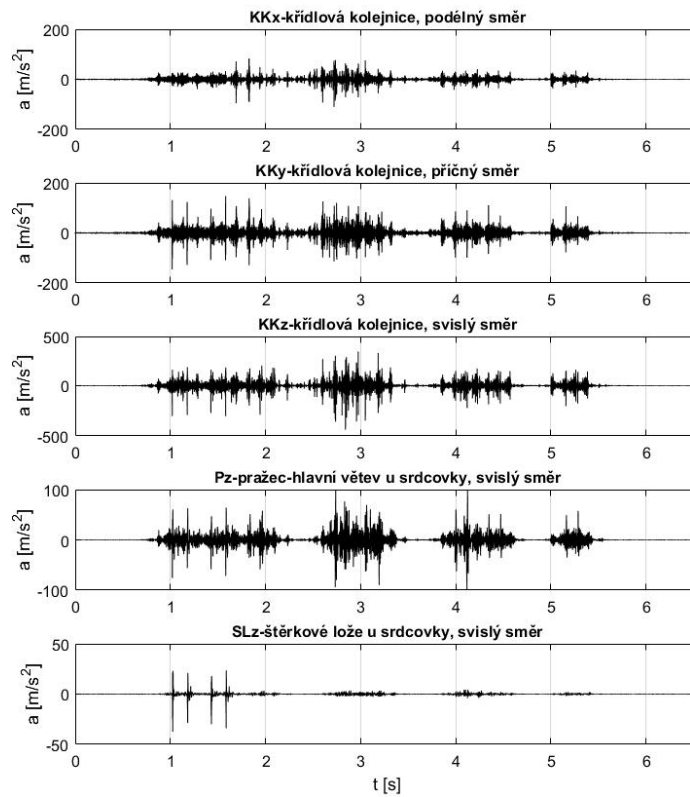
Grafické zobrazení osobního vlaku

C:\BK_RECORDING\UstiVlak_1_26.mat



Osobní vlak srdcovka výhybky č. 3

C:\BK_RECORDING\UstiVlak_1_18.mat



Osobní vlak srdcovka výhybky č. 4

PŘÍLOHA J:

Dvojná integrace

J.1 Maximální zatlačení pražce pod srdcovkou výhybky č. 3

Srdcovka výhybky č. 3			
Č.M.	Vlak	Rychlost [km·h⁻¹]	Max. zatlačení nápravy [mm]
1	LEO EXPRESS	131	0,5
7	RAILJET	131	0,8
11	LEO EXPRESS	132	0,6
13	REGIOJET	132	1,1
14	LOKOMOTIVA 361	120	0,7
15	PENDOLINO	149	1,2
24	REGIOJET	130	0,7
28	PENDOLINO	143	0,6

J.2 Maximální zatlačení pražce pod srdcovkou výhybky č. 4

Srdcovka výhybky č. 4			
Č.M.	Vlak	Rychlost [km·h⁻¹]	Max. zatlačení nápravy [mm]
1	RAILJET	130	0,8
3	LEO EXPRESS	130	0,9
7	REGIOJET	126	0,8
8	PENDOLINO	160	1,4
11	LOKOMOTIVA 361	120	1,3
14	RAILJET	136	1,4
17	LEO EXPRESS	130	0,9
23	REGIOJET	128	1,2

J.3 Vyhodnocení maximálního zatlačení pražce

Srdcovka výhybky č. 3			Srdcovka výhybky č. 4		
Vlak	Rychlost [km·h⁻¹]	Zatlačení [mm]	Vlak	Rychlost [km·h⁻¹]	Zatlačení [mm]
RAILJET	131	0,8	RAILJET	133	1,1
PENDOLINO	146	0,9	PENDOLINO	160	1,4
LEO EXPRESS	132	0,6	LEO EXPRESS	130	0,9
REGIOJET	131	0,9	REGIOJET	127	1,0
LOKOMOTIVA 361	120	0,7	LOKOMOTIVA 361	120	1,3

PŘÍLOHA K:
Fotografie z měření



1 Pohled na srdcovku výhybky č. 3



2 Pohled na srdcovku výhybky č. 4



3 Měřicí stanoviště srdcovky č. 4



4 Měřicí stanoviště srdcovky č. 3



5 Rozmístění snímačů na srdcovce ve výhybce č. 4



6 Rozmístění snímačů na srdcovce ve výhybce č. 3