



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

MĚŘENÍ ZRYCHLENÍ NA STRUKTUŘE VOZU PŘI BOČNÍCH NÁRAZOVÝCH ZKOUŠKÁCH

MEASUREMENT OF CAR CHASSIS ACCELERATION FOR SIDE IMPACT CRASH TESTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. MICHAL LENDĚL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. PETER RAFFAI

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2014/15

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Michal Lenděl

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Automobilní a dopravní inženýrství (2301T038)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Měření zrychlení na struktuře vozu při bočních nárazových zkouškách

v anglickém jazyce:

Measurement of Car Chassis Acceleration for Side Impact Crash Tests

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě analýzy naměřených dat z akcelerometrů při zkoušce bočního nárazu vozidla navrhnete vhodnější místo a způsob uchycení těchto snímačů. Výsledky porovnejte a vyhodnoťte. Diplomová práce je řešena ve spolupráci s firmou Škoda Auto a.s.

Cíle diplomové práce:

1. rešerše v současnosti používaných způsobů měření zrychlení při zkouškách bočního nárazu vozidla a jeho vyhodnocování
2. seznámení s dokumenty a analýza dat z dosavadních měření
3. vlastní návrh umístění měřicího zařízení na karosérii vozidla (snímač, tlumič)
4. experimentální ověření funkčnosti navrženého měřicího zařízení
5. vyhodnocení naměřených hodnot na základě vhodně navržené metody
6. porovnání nových výsledků s výsledky předchozích zkoušek
7. shrnutí práce a vyvození závěrů

Seznam odborné literatury:

[1] Euro NCAP. [online]. [cit. 2013-11-28]. Dostupné z: <http://www.euroncap.com>

[2] NASHIF, Ahid D, David I JONES a John P HENDERSON. Vibration Damping. New York: Wiley, c1985. ISBN 04-718-6772-1.

[3] Interní informace firmy Škoda Auto a.s.

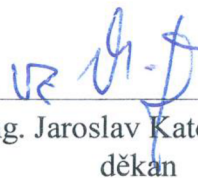
Vedoucí diplomové práce: Ing. Peter Raffai

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/15.

V Brně dne 20. 10. 2014



prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan



ABSTRAKT

Tato diplomová práce je věnována tématu měření bočních nárazových zkoušek prováděných ve společnosti Škoda Auto a.s. Je zde popsán měřicí řetězec laboratoře nárazových zkoušek, způsob, jakým je signál zpracován i vyhodnocen. Hlavním motivem práce je nalezení vhodného způsobu připevnění akcelerometru k měřeným místům na B-sloupku vozidel.

KLÍČOVÁ SLOVA

Boční nárazové zkoušky, měření zrychlení, akcelerometr, EuroNCAP, Škoda Auto a.s.

ABSTRACT

This master's thesis is dedicated to Side Impact Crash Tests Measurement in company Skoda Auto a.s.. Thesis describes measuring chain devices of Crash Test Laboratory, and also transferring and assessment process of crash record. Main part of Thesis describes eligible acceleration transducer attachment to B-Pillar of a vehicle.

KEYWORDS

Side Impact Crash Tests, acceleration measurement, Accelerometer, EuroNCAP, Skoda Auto a.s.



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

LENDĚL, M. *Měření zrychlení na struktuře vozu při bočních nárazových zkouškách.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 111 s. Vedoucí diplomové práce Ing Peter Raffai.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Petera Raffaie a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 29. května 2015

.....

Michal Lenděl



PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Peteru Raffaiovi za konzultace a vedení při psaní diplomové práce. Děkuji panu doc. Ing. Ivanu Mazůrkovi CSc. za věcné rady a konzultace. Dále děkuji panu Ing. Rudolfu Tesárkovi, Ing. Janu Domkářovi a také personálu laboratoře nárazových zkoušek Škoda Auto za pomoc a spolupráci při měření nárazových zkoušek. V neposlední řadě děkuji své rodině za podporu při studiu na VUT.



OBSAH

Úvod.....	10
1 Měřicí řetězec CrashLab Škoda Auto a.s.	11
1.1 Měřicí řetězec	11
1.1.1 Akcelerometry.....	11
1.1.2 Black box.....	18
1.1.3 On-Board adapter K3765	19
1.1.4 On-Board Battery K3785	19
1.1.5 Airbag Timer K3789	20
1.1.6 MiniComBox 312.03.....	20
1.1.7 Crashlink/DTI Interface	21
1.2 Předpisy pro provádění nárazových zkoušek	23
1.2.1 Shannonova věta	23
1.2.2 Filtry CFC	24
1.2.3 CAC.....	24
1.3 DIAdem	25
1.4 Crashdesigner	25
1.5 Crash normy EuroNCAP	26
1.5.1 Boční náraz jiným vozidlem – Car to Car Side Impact	26
1.5.2 Boční náraz do sloupu – Pole Side Impact.....	27
2 Dosavadní výzkum měření zrychlení	29
2.1 B-sloupek vozidla.....	30
2.1.1 Montážní pozice B-sloupku	31
2.2 Chyby v měřicím řetězci.....	35
2.3 Náhodné chyby měření	36
2.4 Chyby snímačů zrychlení	36
2.4.1 Základní parametry akcelerometrů.....	36
2.4.2 Jevy ovlivňující parametry akcelerometrů	38
2.5 Metody uchycení snímačů	39
2.6 Vliv natočení snímací osy akcelerometru v průběhu zkoušky	41
2.7 Chyby při zpracování signálu	42
2.7.1 Posun na klidovou hodnotu.....	42
2.7.2 Numerická integrace signálu.....	43
3 Analýza dat z dosavadních měření	44
3.1 Způsob vyhodnocování bočního nárazu deformovatelnou bariérou	44
3.2 Způsob vyhodnocování bočního nárazu na sloup	46



3.3	Vyhodnocení způsobů montáže snímačů	47
4	Návrh uchycení akcelerometru.....	49
4.1	Ideální tlumič vibrací	49
4.2	Způsob výběru vhodného vzorku	49
4.2.1	Přípevnění ke struktuře.....	49
4.2.2	Tlumicí schopnosti	50
4.2.3	Analýza současných způsobů montáže	58
4.2.4	Způsob vyhodnocení rázu kyvadla.....	60
4.3	Komerčně vyráběné tlumicí materiály	63
4.3.1	Cellutec Impaxx	63
4.3.1	Den Braven – Mamut glue	63
4.3.2	Gergonne	64
4.3.3	Imballaggi Protettivi.....	65
4.3.4	Magnetix.....	65
4.3.1	Rogers Corporation	66
4.3.2	Rollatech.....	68
4.3.3	Rubena a.s.	68
4.3.4	Tesa	70
4.3.5	Technická univerzita v Liberci.....	71
4.4	Ostatní testované materiály	74
4.5	Vyhodnocení.....	77
5	Ověření funkčnosti nového snímače pro měření bočních nárazových zkoušek.....	78
5.1	Kistler M101A	78
	Závěr.....	81
	Použité informační zdroje	82
	Seznam použitých zkratk a symbolů	84
	Seznam příloh.....	86



ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá měřením zrychlení při bočních nárazových zkouškách v laboratoři nárazových zkoušek Škoda Auto a.s.. Zrychlení je při bočních nárazových zkouškách měřeno na celé struktuře vozu a práce je zaměřena na měření zrychlení B-sloupku vozidla. Boční část vozu nedisponuje velkými deformačními zónami, a tak je nutné přesně nastavit postupné absorbování nárazové energie do deformace. Správnost konstrukce je sledována na rychlosti deformace, kde je nejdůležitější její plynulost, která umožní pozvolné urychlení pohybu posádky do strany a poskytne dostatečný čas pro rozbalení airbagů. Hlavním přínosem práce by mělo být nalezení vhodného způsobu přichycení akcelerometru k B-sloupku, který zaručí správnost měření a zároveň bude fungovat jako mechanický filtr bránící vstupu snímače do nelineární oblasti.

V první části je popsán měřicí řetězec laboratoře nárazových zkoušek společnosti Škoda Auto a.s., postup, jakým způsobem probíhá měření a také způsob, jakým se vyhodnocují nárazové zkoušky. Jsou zde stanoveny základní technické předpoklady, které musí být dodrženy při provádění bočních nárazových zkoušek, tedy při bočním nárazu pohyblivou barierou a také při bočním nárazu na sloup.

Druhá kapitola tvoří rešerši poznatků získaných v předešlých letech, jaký způsob je vhodný k připevnění akcelerometru ke struktuře vozidla. Dále jsou zde stanoveny místa na struktuře B-sloupku, kde je podle vnitřních směrnic Volkswagen Group nutno měřit zrychlení, aby bylo možno určit rychlost deformace B-sloupku.

Ve třetí části diplomové práce jsou shrnuty výsledky bočních nárazových zkoušek z období mezi lety 2011 až 2015 se zaměřením na stabilitu metody uchycení akcelerometru při měření zrychlení.

Kapitola čtvrtá popisuje způsob hledání nové metody pro uchycení akcelerometru a tím zajištění správnosti měření. Jsou popsány základní předpoklady, které upínací materiály musí splňovat, vhodnost jednotlivých materiálů a také způsob, jakým byly jednotlivé testované materiály porovnány.

V poslední části diplomové práce je provedeno ověření funkčních vlastností nového akcelerometru, který nahradí v akcelerometry používané v současné době. Jsou zde zobrazeny výsledky demonstrující chybu měření vzhledem k referenčnímu akcelerometru porovnávacím způsobem. Vlastnosti nového snímače byly ověřovány frekvenčním sweepem a také rázovým šokem od hodnot 50 g až 1000 g.



1 MĚŘICÍ ŘETĚZEC CRASHLAB ŠKODA AUTO A.S.

V této kapitole je popsáno funkční vybavení CrashLab Škody Auto a.s. a také jednotlivé crash normy, jimiž se zkušebna při testech řídí. Obecně je možné říct, že provoz tohoto zařízení probíhá jako v každé akreditované crashové zkušebně. K tomuto areálu přiléhá testovací polygon, který je využíván k testování aktivních bezpečnostních systémů vozidla. V CrashLab jsou prováděny vývojové a homologační nárazové zkoušky nových modelů vozů i saňové zkoušky. Saňové zkoušky jsou důležitým nástrojem pro ověřování zádržných systémů a airbagů. Při těchto zkouškách nedochází k nárazu a deformaci, ale struktura je pevně připojena k vlečeným saním. Při nárazových i saňových zkouškách jsou testované objekty roztahovány navijákem s elektrickým pohonem a kloužou ve vodicích drážkách, které zajišťují jejich bezpečný a přímý pohyb. Pokud je vedením Škody Auto podán požadavek na provedení homologačního testu, je přizván kontrolní orgán, který je zajišťován společností TÜV SÜD Czech. Tento pracovník poté působí u zkoušky jako kontrolní autorita, která dohlíží na provedení zkoušky a po vyhodnocení výsledků vydá homologační list.

1.1 MĚŘICÍ ŘETĚZEC

Oddíl měřicí řetězec popisuje technické vybavení CrashLab, jeho logické řazení a také funkci jednotlivých zařízení.

1.1.1 AKCELEROMETRY

Akcelerometr je elektrické zařízení, které umožňuje měřit velikost zrychlení. Zrychlení obecně charakterizuje míru změny rychlosti hmotného bodu či celé soustavy hmotných bodů v čase. Výstupem akcelerometru bývá nejčastěji napěťový signál, který je následně zesílen, navzorkován analogově-digitálním převodníkem (dále jen A/D převodníkem) a zaznamenán. Zrychlení je vektorová veličina, pro kterou platí:

$$a = a_n + a_t = \frac{dv}{dt} \quad (1)$$

a	Vektor okamžitého zrychlení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]
a_n	Vektor normálové složky zrychlení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]
a_t	Vektor tečné složky zrychlení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]
v	Vektor rychlosti [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
d/dt	Časová derivace



Lze měřit:

- Dynamické zrychlení – jedná se o sílu vzniklou změnou rychlosti pohybujícího se předmětu
- Statické zrychlení – resp. sílu vzniklou působením zemské gravitace

Příklady použití akcelerometrů:

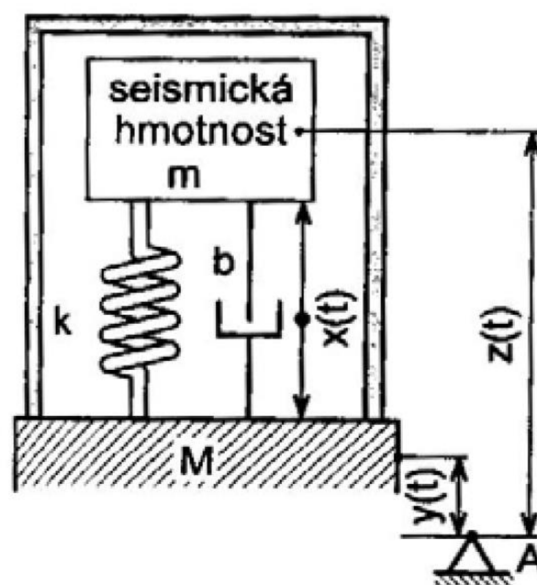
- Měření vibrací (např. diagnostika správné funkce ložiska, seismická aktivita Země)
- Přesné měření náklonu (inerciální jednotky letadel)
- Měření natočení a detekce otáčení
- Měření zrychlení
- Měření a detekce pohybu a rychlosti
- Měření odstředivé síly [3]

Princip činnosti akcelerometru:

- Měření absolutního zrychlení – akcelerometr měří zrychlení vůči Zemi, příkladem může být zemská přitažlivost
- Měření relativního zrychlení – měření zrychlení se provádí vzhledem k pohybujícímu se předmětu [3]

KONSTRUKCE AKCELEROMETRU:

- Základna – akcelerometr je pomocí základny připevňován k měřenému předmětu (M) pevným spojením (magnet, lepení voskem či lepidly, šroubem)
- Pružina (k) – na této pružině je uložena seismická hmota, jejíž výchylka se vzhledem k základně vyhodnocuje
- Tlumení (b) – tlumení snímače lze uvažovat jako tlumení fyzickými tlumiči nebo jako prosté proudění vzduchu při pohybu hmoty ve snímači. [3]



Obrázek 1: Model akcelerometru; [3]

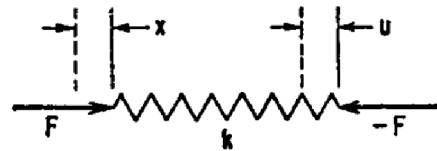


FYZIKÁLNÍ POHLED NA AKCELEROMETR:

Pružina – uvažujme lineární pružinu, na kterou působí síla F způsobující její rovnoměrné stlačení na obou koncích. Uvažujeme nehmotnou pružinu, kde síla na levé straně odpovídá síle na pravé straně. Vlastnost vyjadřující charakter pružiny označujeme k neboli tuhost pružiny. [6]

$$F = k(x - u) \quad (2)$$

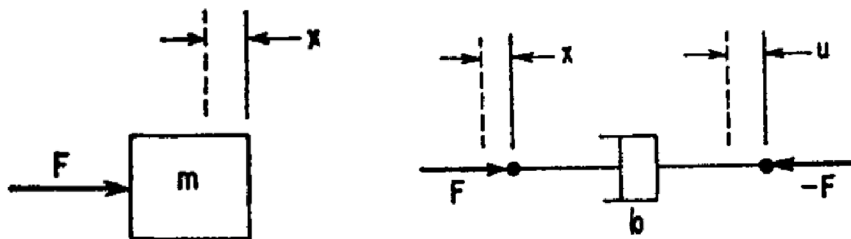
F Síla [N]
 k Tuhost pružiny [$\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$]
 x, u Změna délky [m]



Obrázek 2: Lineární pružina; [6]

Seismická hmota m – hmota je tuhé těleso, jehož zrychlení $\frac{d^2x}{dt^2}$ podle druhého Newtonova zákona je úměrné výsledné F všech sil působících na hmotnost. [6]

$$F = m \frac{d^2x}{dt^2} \quad (3)$$



Obrázek 3: Vlevo tuhá hmota, vpravo jednoduchý tlumič; [6]

Tlumič – viskózní tlumič je zatížen v přípojných bodech rovnoměrnou silou vzhledem k relativní rychlosti. Proměnná b vyjadřuje koeficient útlumu, který vyjadřuje základní vlastnosti tlumiče. Ideální tlumič by měl být nehmotný a zároveň zatížení na jedné straně by mělo odpovídat zatížení na straně druhé. [6]

$$F = b \frac{d}{dt} (x - u) \quad (4)$$

b Koeficient útlumu [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$]
 $\frac{d}{dt}$ Rychlost [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]
 m Hmotnost tělesa [kg]
 $\frac{d^2}{dt^2}$ Zrychlení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]



ROZDĚLENÍ AKCELEROMETRŮ

Pro měření zrychlení platí nutná podmínka o vysoké vlastní rezonanční frekvenci snímače ω_0 . Tento fakt vede k použití piezoelektrických materiálů z důvodu vysoké tuhosti a nízké hmotnosti. Vlastní rezonanční frekvence takovýchto snímačů dosahují až $\omega_0 = 250$ kHz.

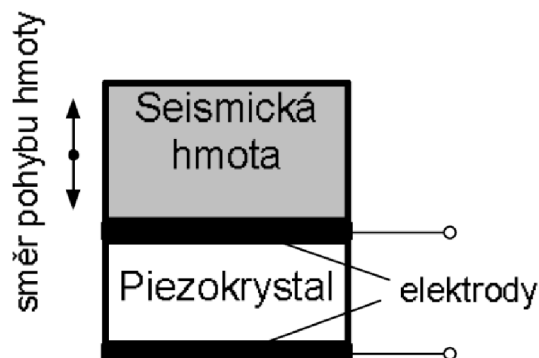
a) Piezoelektrické akcelerometry

Fungují na principu smykové, kompresní nebo ohybové deformace, kde se měří poloha seismické hmoty vzhledem k pouzdru senzoru. Při deformaci piezoelektrického krystalu silou vzniká elektrický náboj. Piezoelektrické akcelerometry nemohou být použity pro měření statické složky zrychlení, protože vzniklý náboj se vybíjí přes vnitřní odpor a svody. Vztah vyjadřující vzniklý náboj na piezokeramickém elementu:

$$Q(t) = dF(t) \quad (5)$$

$$F(t) = ku(t) \quad (6)$$

Q	Náboj [C]
F	Síla [N]
k	Tuhost pružiny [$\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$]
u	Změna délky [m]



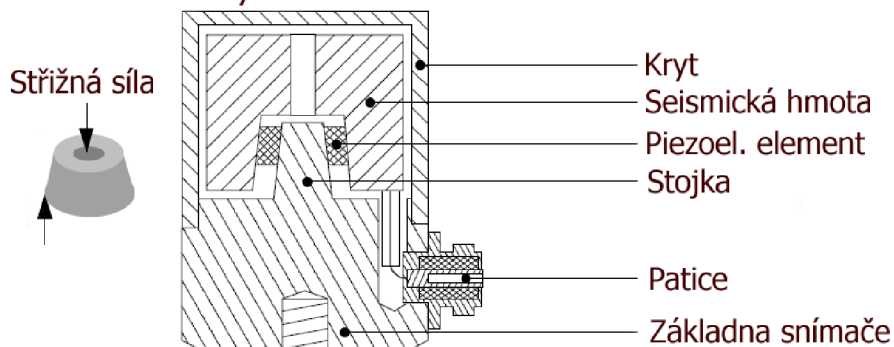
Obrázek 4: Jednoduché schéma piezoelektrického akcelerometru; [3]

Piezoelektrické snímače mají nábojový výstup, který je nutné zesílit nábojovým zesilovačem. Nábojové zesilovače jsou označovány jako Deltatron, ICP, IEPE. Nábojový zesilovač v provedení Deltatron je osazen přímo ve snímači a na výstupu je napěťový signál. Snímače IEPE jsou napájeny zdrojem konstantního proudu. Piezoelektrické snímače se vyznačují nejvyšším rozlišením, ale na druhou stranu se u nich projevuje posuv nuly při rázových zrychleních. Dále také poskytují špatnou odezvu pro nízkofrekvenční signály. Hlavní výhodou těchto akcelerometrů je průběh velikosti generovaného náboje, který je do určité amplitudy kmitů lineární a velmi dobře opakovatelný. Náboj vzniklý ve snímači odpovídá časové změně zrychlení neboli ryvu (jerk). Nábojový zesilovač má význam analogového integrátoru. Pokud bychom byli schopni vyrobit ideální integrátor, tj. bez parazitních vlivů, nevznikal by problém s potlačením nízkofrekvenčních složek signálu zrychlení. Tato okolnost není pouze jediný chybový faktor, ale do samotného integračního postupu vstupují svodové

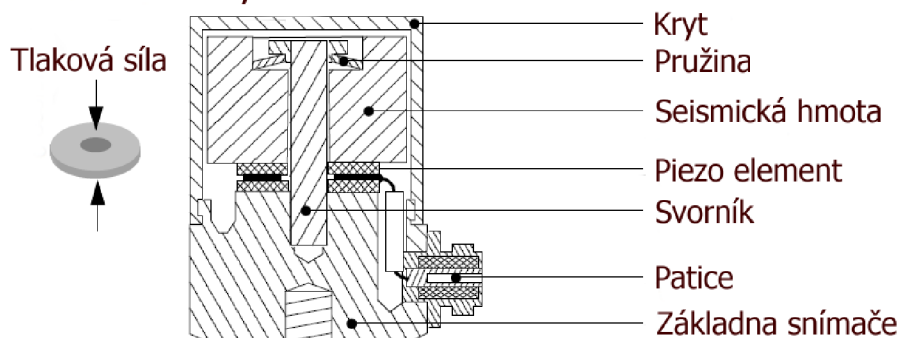


a parazitní proudy, které jsou vyvolány dielektrikem integračního kondenzátoru nebo klidovými proudy operačního zesilovače. Dále také svodem po povrchu součástek. Následkem těchto vlivů jsou nízkofrekvenční signály natolik zkresleny, že je vhodné je zanedbat a provést úpravu nábojového zesilovače tak, aby přenášel jen složky s vyšší frekvencí. Nevhodností pro použití při crash aplikacích je neschopnost zachování nízkofrekvenčních složek. [20]

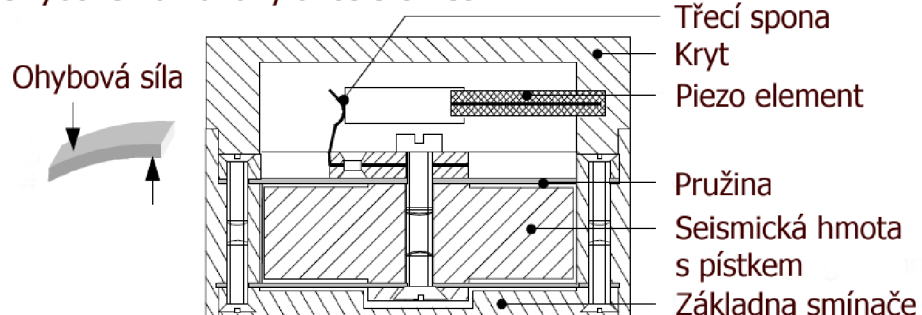
Stříhově namáhaný akcelerometr



Tlakově namáhaný akcelerometr



Ohybově namáhaný akcelerometr



Obrázek 5: Konstrukční provedení piezoelektrických akcelerometrů; [17]



b) Piezorezistivní akcelerometr

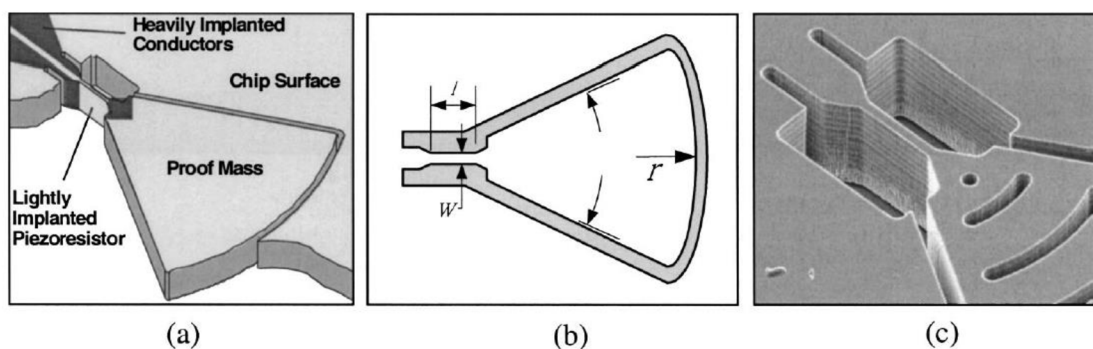
Základní princip funkce je dán piezorezistivním dějem, který je vyvozen změnou polohy $u(t)$ a je charakterizován lineární závislostí elektrického odporu na síle, neboli mechanickému napětí působícímu na element seismické hmoty. Pružná část tvaru vetknutého nosníku nesoucí seismickou hmotu je vyrobena z křemíku. Na tomto nosníku jsou na předem určených místech metodou difúze donorových prvků vytvořeny polovodičové oblasti, představující snímací piezorezistory. Průběh hodnoty odporu $R(t)$ piezorezistoru v čase t je přímo úměrný jeho okamžité deformaci $\varepsilon(t)$, a tedy přímo úměrný síle setrvačné,

$$F_m(t) = ma(t) \quad (7)$$

působící na seismickou hmotu dle

$$R(t) = k_1\varepsilon(t) = k_2F_m(t) \quad (8)$$

Konstanta k_1 je výrazně ovlivněna teplotou. Z důvodu potlačení tohoto negativního vlivu se používá můstkové zapojení. Pro napájení piezorezistivních snímačů se používá zdroj produkující konstantní napětí a dále také diferenční zesilovač. Diferenční zesilovač je určen k zesilování rozdílových signálů. Charakteristickou vlastností tohoto zesilovače je jeho vysoká citlivost k rozdílnému napětí a necitlivost k souhlasnému napětí. Piezorezistivní snímače mají oproti piezoelektrickým mnohem nižší rozlišení, přesto jsou používány jako hlavní snímače při nárazových zkouškách, a to z důvodu vysokého rozsahu a také dobré odezvy pro nízké frekvence. Nižší rozlišení snímače je dáno nelinearitou piezorezistivního jevu, protože při převodu mechanického napětí na změnu odporu je při tomto ději přítomno vícero fyzikálních jevů přinášejících nelinearitu a také nejistotu měření. [20]



Obrázek 6: Typický piezorezistivní akcelerometr a) Mechanické schéma; b) Konstrukční schéma; c) Fotografie vetknutého nosníku držícího seismickou hmotu; [7]

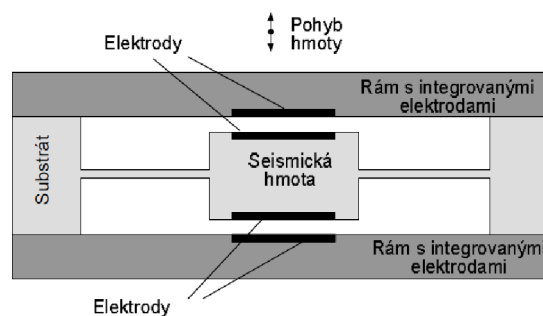


c) Kapacitní akcelerometry

Pro určení výchylky $u(t)$ se využívá měření napětí $U(t)$ na plovoucí společné elektrodě dvou kondenzátorů.

Kapacitní akcelerometry je v měřicím řetězci nutno napájet konstantním napětím, a také je nutné použít diferenční zesilovač. Kapacitní akcelerometry bývají nejčastěji konstrukce MEMS s integrovanými obvody pro převod kapacity, respektive zrychlení, na napěťový signál. Tento typ konverzních obvodů pracuje na principu měření kapacity vysokofrekvenčním proudem a umožňuje bezproblémové měření stejnosměrných a nízkofrekvenčních složek zrychlení. Elektronika MEMS musí být napájena, a proto je připojení snímače řešeno proudovou smyčkou. Kapacitní mají sice vyšší rozlišení než piezorezistivní, ale jejich konstrukce je omezuje v měření vysokých zrychlení. V těchto situacích dochází k ohybovým kmitům měřicích elektrod a sensor ztrácí měřicí přesnost. Vyšší rozlišení kapacitních senzorů je hlavně dáno jednodušším fyzikálním principem měření hodnoty, díky čemuž také nabízejí vyšší opakovatelnost. Pokud je použit senzor s integrovanou elektronikou MEMS, lze nelinearity převodu elektronicky korigovat. [20]

$$C_1(t) = C_0 \frac{d_0}{d_0 + u(t)} \quad (9)$$



Obrázek 7: Jednoduchý kapacitní akcelerometr; [3]



1.1.2 BLACK BOX

Neméně důležitým prvkem při nárazových testech jsou tzv. black boxy. Jedná se o paměťové jednotky, do kterých jsou připojeny jednotlivé snímače. Tyto jednotky v sobě mají implementovanou baterii, která zajišťuje jejich napájení v případě výpadku dodávky elektrického proudu.

MINIDAU K3700

Black box jednotky používané ve Škoda Auto a.s. byly zpočátku označovány jako Minidau a byly vyrobeny společností Kayser-Threde. Tato jednotka disponuje 32 analogovými a 16 digitálními vstupy. V Minidau je integrován A/D převodník. Jeho výstupní rozlišení je 12 bitů. Každému vstupu je přiřazen integrovaný signálový zesilovač s můstkovým buzením. Maximální vzorkovací frekvence je 20 kHz a při této frekvenci lze uchovat 100 s záznamu pro každý kanál. Tato jednotka je uložena v kovovém pouzdře působícím jako pevný mechanický obal odolný vůči nárazu s rozměry (272 x 111 x 93) mm. [8]



Obrázek 8: Vlevo Black box jednotka Kayser-Threde Minidau K3700, vpravo Kidau Basic 3882

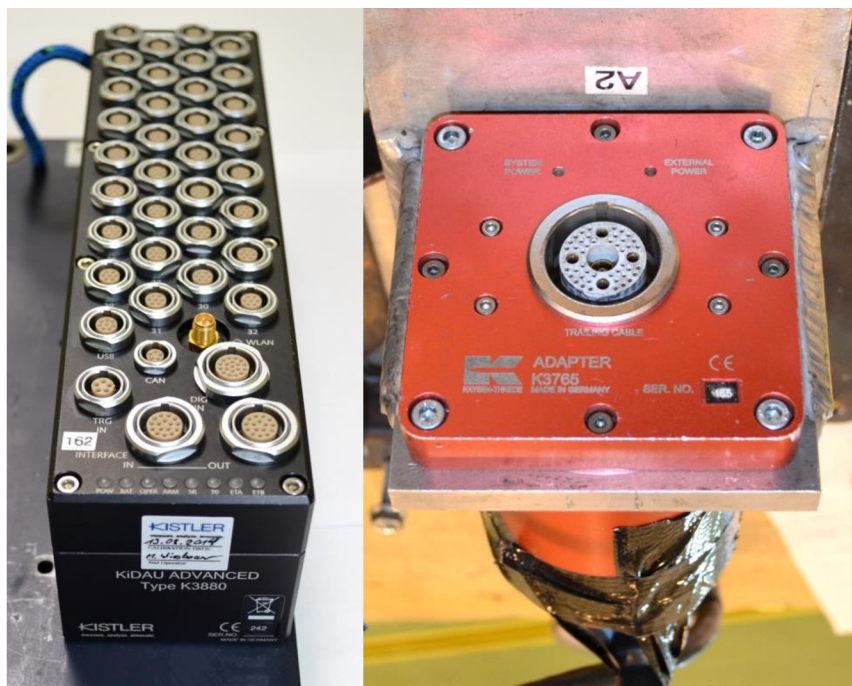
KIDAU BASIC K3882

Tato black box jednotka je vyrobena společností Kistler. Crash laboratoř Škoda Auto a.s. má k dispozici 4 kusy této jednotky a počet používaných jednotek při jednotlivých testech se liší. Rozdílný počet je dán požadovaným množstvím snímaných kanálů. Pro měřené kanály je připraveno 32 analogových vstupů s rozlišením 16 bitů a také 16 digitálních vstupů. Napětí na vstupu je $\pm 2,5$ V. Maximální vzorkovací frekvence je 100 kHz. Doba záznamu je 529 s při frekvenci 20 kHz. Rozměry jsou (210 x 64 x 65,5) mm a hmotnost 1,26 kg. [10]



KIDAU ADVANCED K3880B

Jednotka Kidau Advanced má na rozdíl od Kidau Basic posílené napájení snímačů až 18 V a je doplněna CAN Bus rozhraním, které lze využít při propojení s vnitřním systémem vozidla umožňující datový přenos rychlostí až 500 kbaud/s a ukládání do vyhrazené paměti. Zařízení dále disponuje WIFI Lan rozhraním umožňující bezdrátový přenos dat a propojení s testovacími figurínami. [9]



Obrázek 9: Vlevo Kidau Advanced, vlevo On-Board adapter K3765

1.1.3 ON-BOARD ADAPTER K3765

Jedná se o rozhraní mezi vlečným kabelem a konektorem připojeným k jednotce Minidau. Vlečným kabelem je zajištěno napájení vozidla během zkoušky, distribuce trigger signálu a také je pomocí něho zprostředkován přenos dat z paměťových modulů do PC. Správná funkce je zobrazena dvoubarevnými LED diodami. Hlavní funkcí tohoto zařízení je zamezení vzniku falešného triggeru, rušení vlivem odpojení nebo připojení konektorů. [11]

1.1.4 ON-BOARD BATTERY K3785

Tato doplňková baterie zajišťuje ochranu při ztrátě napájení nebo při manipulaci s vlečným kabelem. Zároveň umožňují činnost jednotky Minidau bez vlečného kabelu. Pokud je připojen vlečný kabel, jsou paměťové jednotky i ostatní zařízení napájeny přímo z něho. Při poruše nebo odpojení vlečného kabelu je napájení okamžitě zajištěno zařízením On-Board Battery. Vstupní stejnosměrné napětí je v rozsahu (18-36) V. Výstupní stejnosměrné napětí z bateriového boxu je 24 V. Bateriový box má rozměry (272 x 111 x 150) mm a hmotnost 8 kg. [12]



1.1.5 AIRBAG TIMER K3789

Jednotka Timer K3789 je zařízení používané na odpalování airbagů a dalších prvků zádržných systémů. V prvních fázích testování nových modelů, kdy ještě není automobil osazen řídicí jednotkou pro odpalování airbagů, je jejich funkce ovládána právě tímto zařízením. Zařízení je schopno ovládat osm až dvanáct kanálů, kdy každý kanál je monitorován kontrolními LED diodami, které ukazují správné zapojení airbagu a také jeho připravenost k odpalu. Jednotlivé kanály lze odpalovat odstupňovaně po 0,1 ms v různých časech nárazu 0,1 ms až 3 s a také je možné jejich zablokování blokovací zástrčkou na čelním panelu. Softwarové nastavení se provádí přes rozhraní Ethernet a je řízeno aplikací Crashdesigner, odkud jsou řízeny i další používané moduly. V případě výpadku externího napájení je zařízení schopno samostatně fungovat po dobu 100 s. Jednotka se nachází v kovovém pouzdře, které je odolné vůči nárazům, s rozměry (271 x 110 x 110) mm a hmotností 3 kg. [13]

1.1.6 MINICOMBOX 312.03

Rozhraní této jednotky je určeno k připojení testovací figuríny se zabudovaným In-Dummy systémem. Jednotlivé figuríny se připojí do předepsaných vstupů a datový výstup je připojen do jednotky Crashlink/DTI. [14]



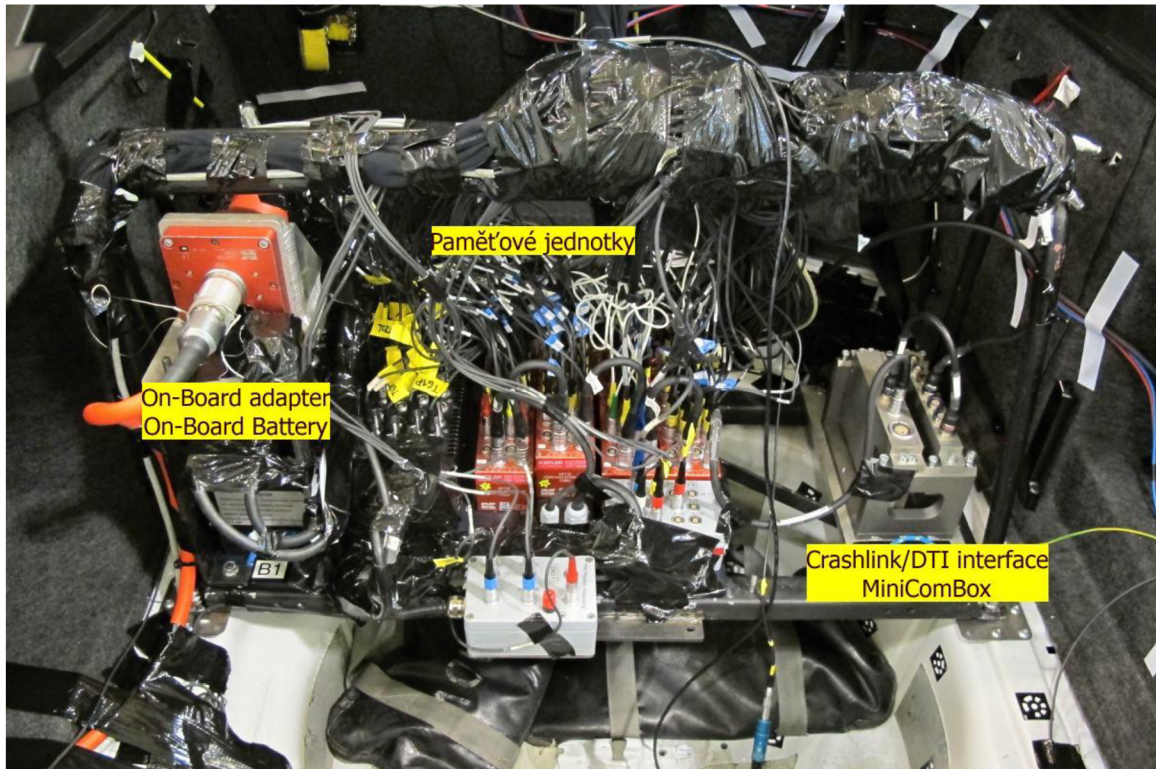
Obrázek 10: Jednotka MiniComBox; [14]

In-Dummy systémy nahrazují masivní kabelové svazky vedoucí z figuríny jediným kabelem vedoucím se zabudovaným In-Dummy. Masivní svazek (3-4 cm) je dán množstvím snímačů, kterými je figurína osazena, protože z každého snímače vede samostatný kabel. Každý tento jednotlivý kabel je osazen konektorem LEMO a zapojuje se do jednotek Kidau. Při osazení automobilu čtyřmi figurínami to znamená nutnost dostatečného počtu záznamových jednotek, které ale zvyšují hmotnost vozidla a zvětšují náročnost příprav před testem. Svazek kabelů v případě figuríny ES-2 používané ve Škoda Auto je tvořen celkem 57 kabely. 56 kabelů je od jednotlivých snímačů a poslední 57. je využíván při usazování figuríny, kdy se kontroluje přímota usazení a také sklon hlavy. Nasazením In-Dummy systémů vedlo ke zjednodušení přípravné fáze zkoušky. Z figuríny vede jeden slabý svazek dvou kabelů, který je složen ze slabšího, používaného při usazování figuríny, a silnějšího datového kabelu. Samotné In-Dummy moduly v sobě nesou záložní baterii, zajišťující napájení v případě výpadku elektrického proudu.



1.1.7 CRASHLINK/DTI INTERFACE

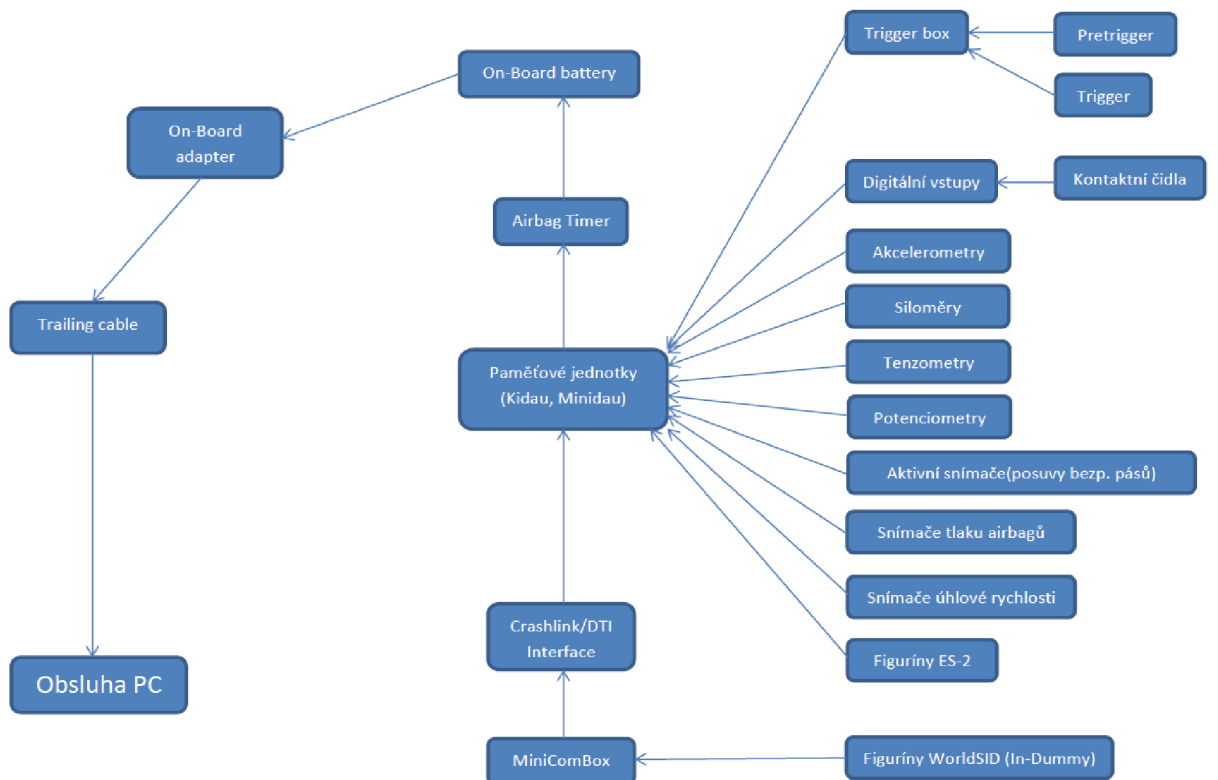
Rozhraní Crashlink/DTI působí jako step up konvertor, který zvyšuje napájecí napětí připojených zařízení. Do tohoto zařízení vstupuje kabel z jednotky MiniComBox, kam jsou připojeny testovací figuríny. Výstup je zapojen do paměťových jednotek Kidau.



Obrázek 11: Zapojený měřicí řetězec v kufrovozdila



Obrázek 12: Vlevo figurína ES-2 s detailem kabelového svazku, vpravo figurína WorldSID vybavená In-Dummy



Obrázek 13: Schéma měřicího řetězce Škoda Auto



1.2 PŘEDPISY PRO PROVÁDĚNÍ NÁRAZOVÝCH ZKOUŠEK

Aby bylo možné měření nárazových zkoušek považovat za validní, musí měřicí řetězec i zpracování signálu probíhat za předem stanovených podmínek. Tyto předpisy jsou stanoveny normou SAE J211-1: Instrumentation for Impact Test, Part 1, Electronic Instrumentation. V této normě jsou stanoveny všechny veličiny vystupující v nárazové zkoušce. Podobnou normou je ISO 6487, která stanovuje předpisy pro testy EHK i EuroNCAP a vychází ze SAE J211.

Akcelerometr je snímač neelektrických veličin, který převádí detekovanou veličinu na elektrický signál a ten je následně zpracován a vyhodnocován. Tento elektrický signál je charakterizován jako spojitý analogový signál a následně je A/D převodníkem vzorkován na diskrétní hodnoty. Vzorkování je proces, při kterém je spojitému signálu přiřazena vzorkovaná posloupnost $x_d\{n\}$, pro kterou platí:

kde T je vzorkovací interval. Pro vzorkovací frekvenci platí:

$$x_d\{n\} = x(n.T) \quad (10)$$

$$f_{vz} = 1/T \quad (11)$$

1.2.1 SHANNONOVA VĚTA

Pro zaručení správnosti rekonstruovaného spojitého signálu z jeho diskrétních vzorků je nutné dodržet poměr minimální vzorkovací frekvence a maximální frekvence měřeného signálu. Tento vztah je dán Nyquistovou podmínkou.

Není-li splněna Nyquistova podmínka, dojde při frekvenční analýze chybně navzorkovaného signálu k tzv. překrývání frekvenčních pásem neboli aliasingu.

Od výrobců měřicí techniky je doporučováno použití anti-aliasingového filtru, který bude fungovat jako dolní propust, tedy že nepropustí frekvence vyšší než je mezní.

$$f_{vz} > 2 \cdot f_{max} \quad (12)$$

Kayser Threde stanovuje tento vztah:

$$f_{vz} > 5 \cdot f_c \quad (13)$$

Kde f_c je frekvence anti-aliasingového filtru se ztlumením 3 dB. Při zaznamenávání vzorkovací frekvencí 20000 Hz je používán 6-polový filtr Butterworth s dělicí frekvencí 4000 Hz a tlumením 3dB. Tento filtr je zařazen před A/D převodníkem.



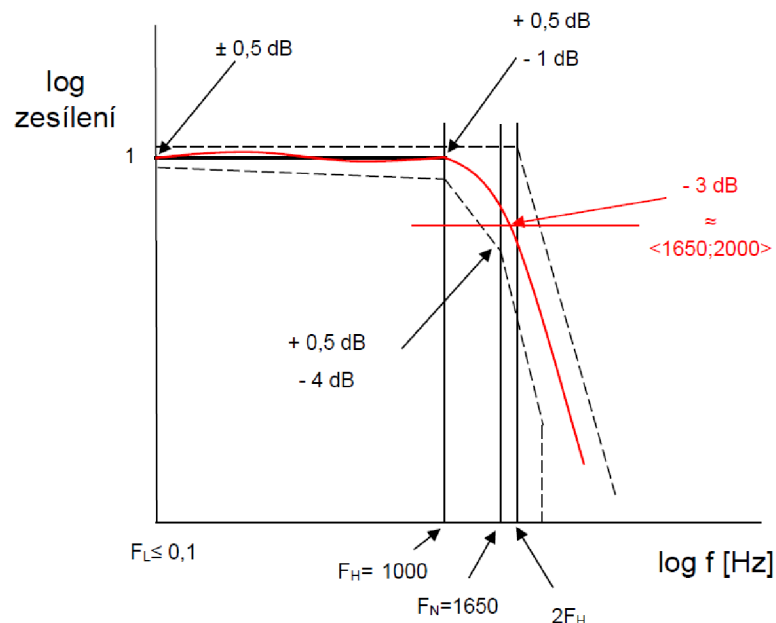
1.2.2 FILTRY CFC

Pro další zpracování signálů jsou pro jednotlivé kanály předpisem stanoveny digitální filtry. Označení CFC znamená Channel Frequency Class a číselné označení mezní frekvenci, za kterou začíná zeslabení o 3 dB.

Důležitým parametrem filtru je strmota poklesové charakteristiky, ve Škoda Auto a.s. jsou používány filtry s poklesem 6 polů.

Tabulka 1: Parametry filtrů CFC; [24]

Označení filtru	F_H [Hz]	F_N [Hz]	Použití filtru
CFC 60	60	100	Zrychlení na struktuře
CFC 180	180	300	Zrychlení pro integrování rychlosti a dráhy
CFC 600	600	1000	Analýza komponent
CFC 1000	1000	1650	Zrychlení na hlavě figuríny



Obrázek 14: Princip filtru CFC 1000; [24]

1.2.3 CAC

Channel Amplitude Class označuje maximální amplitudu kmitu, která svojí hodnotou odpovídá maximálnímu měřicímu rozsahu snímače. Pro měření bočních nárazových zkoušek je používáno CAC 1000 až CAC 3000.

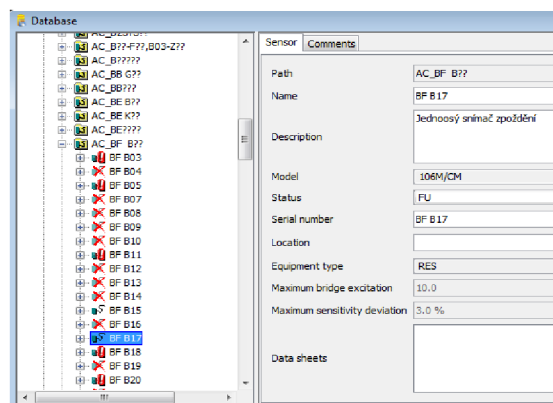


1.3 DIADEM

National Instruments DIAdem je komplexní nástroj pro správu a zpracování dat. Obsahuje moduly určené k vytvoření a zpracování grafů. Důležitým nástrojem jsou matematické moduly umožňující provádět například frekvenční analýzy záznamu. Výhodou tohoto software je také možnost vytvoření automatického skriptu, který následně provádí jednotlivé operace sám, bez nutnosti manuálního provedení obsluhou a tím zjednodušení a urychlení práce. Zpracovaná data lze převést na technickou zprávu, která může mít formu podle zvolené šablony. Ve Škoda Auto jsou vytvořeny automatické vyhodnocovací skripty, které načtou naměřená data vyexportovaná z Crashdesigneru a zpracují je do výstupní technické zprávy. Kroky matematických operací jsou prováděny automaticky podle názvu jednotlivých kanálů, které je DIAdem schopen rozlišit. Zjednotlivých kanálů jsou poté vypsány charakteristické hodnoty, které jsou sdruženy do tabulek. Mezi tyto charakteristické hodnoty patří například biomechanické parametry z testovacích figurín, jako je stlačení hrudníku, zrychlení hlavy nebo čas kontaktu figuríny s komponenty kabiny. Dalším prvkem technické zprávy jsou křivky záznamů pro jednotlivé kanály s vyznačenými význačnými hodnotami. Do výstupu patří i vykreslení křivek zrychlení v rozhodovacích koridorech s výpočtem hodnot ZMO.

1.4 CRASHDESIGNER

Crashdesigner je specializovaný software, který byl vyvinut ke správě a ovládání snímačové a záznamové techniky firmy Kistler. Tento výrobce produkuje široké spektrum snímací techniky pro obecné použití, ale i specializované nástroje k provádění nárazových zkoušek. Společnost vyrábí paměťové In-Dummy moduly pro testovací figuríny. Dále jsou v nabídce SmartCrash bariéry, které umožňují snímat sílu nárazu vyvinutou například nárazníkem testovaného automobilu. Dále také čelní kryty pohyblivých bariér, které opět umožňují měřit silové pole nárazové plochy.



Obrázek 15: Crashdesigner-detail snímače



Rozvržení pracovní plochy programu Crashdesigner používané v CrashLab Škoda Auto je tvořeno základní dvojicí oken. V horním okně se vybírají senzory a měřicí zařízení, která budou snímat průběh zkoušky. Veškerá měřicí technika je uložena v databázi, která umožňuje její přehledné zpravování a upozorňuje např. na nutnost kalibrace senzorů. Sensory musejí být v pravidelných intervalech kalibrovány, aby byla zajištěna jejich správná měřicí schopnost. V této databázi jsou dále zavedeny jednotlivé informace o citlivosti snímače, což usnadňuje přípravu měřicích setů, kdy není nutné před každou zkouškou ručně zadávat všechny nutné parametry pro měření. Sensory jsou v databázi vyhledávány podle výrobního čísla, které je vyznačeno na pouzdře snímače i na štítku u kabelového konektoru Lemo.

Ve spodním okně probíhá sestavení pracovního setu, kam se přetáhnou zvolené snímače a k nim se přiřadí číslo vstupu na záznamové jednotce. Dále je možné nastavit měřicí rozsah a invertovat měřicí osy snímače. Sloupec „Status“ uživatele informuje o stavu snímače, kdy žluté zatržení značí všechno v pořádku, žlutý křížek informuje o nutnosti kalibrace snímače. Sloupec „Sensor ...“ vypisuje výrobní číslo snímače jakožto rozlišovací prvek při samotném zapojení měřicího řetězce. „Device channel“ vypisuje číslo vstupu (v závorce) záznamové jednotky, která ukládá záznam. V tomto případě je to jednotka Kidau Advanced K3880. Následuje sloupec „CAC“ určující rozsah snímače a další vedle „Inv“ umožňuje invertovat měřicí osu snímače. Další sloupce umožňují provedení offsetu, jak hardwarového tak i softwarového. Sloupec „SampleF“ vypisuje přednastavenou vzorkovací frekvenci a sloupec vpravo vypisuje maximální excitační napětí můstku jednotlivých snímačů.

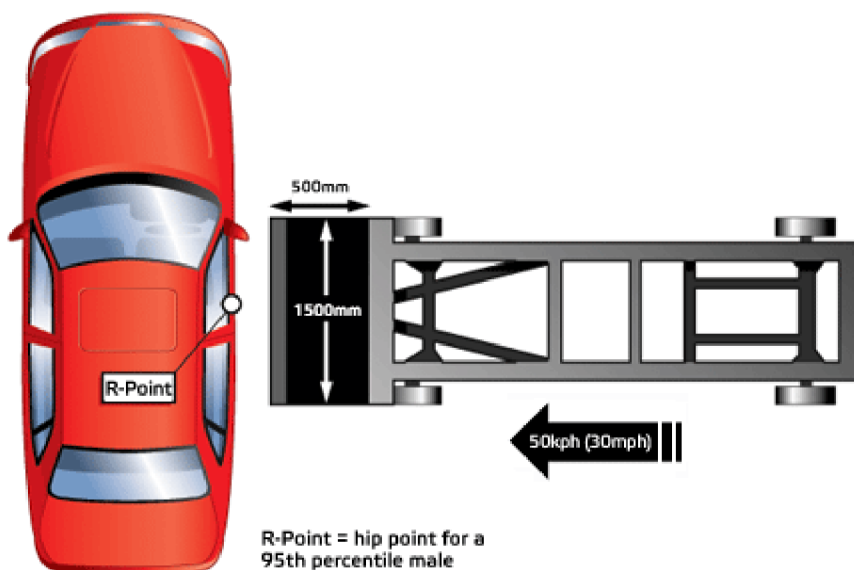
Status	Location	Sensor	Device channel	CAC	Inv	Off adj (HW)	Off adj (SW)	SampleF	Ek...	Limit
1	00ferencni000000 (referencni sekundak)	BF B03	NXT_5_156_KIDAU(A)(1)	1000 g	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	20000 Hz	10.0 V	g (AC)
2	00vka+vtz.c.40000	BG D80	NXT_5_156_KIDAU(A)(2)	1000 g	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	20000 Hz	10.0 V	g (AC)
3	00vka+vtz.c.0000P	Q21452	NXT_5_156_KIDAU(A)(3)	1000 g	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	20000 Hz	10.0 V	g (AC)
4	00sapska000000P (Sacrum force Y)	B4 P52	NXT_5_156_KIDAU(A)(4)	1000 g	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	20000 Hz	10.0 V	g (AC)
5	00elivosk000000P	001396	NXT_5_156_KIDAU(A)(5)	1000 g	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	20000 Hz	10.0 V	g (AC)
6	00vysnimec_s000P	A136506	NXT_5_156_KIDAU(A)(6)	1000 g	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	20000 Hz	10.0 V	g (AC)

Obrázek 16: Crashdesigner - přehled všech měřicích kanálů

1.5 CRASH NORMY EURO NCAP

1.5.1 BOČNÍ NÁRAZ JINÝM VOZIDLEM – CAR TO CAR SIDE IMPACT

V praxi je tento test spíše označován jako boční bariérový test (MDB test – Mobile Deformable Barrier test), protože je prováděn pohyblivým kolovým vozíkem, který naráží v rychlosti 50 km/h do bočních dveří automobilu. Ohodnocení možných zranění je snímáno testovací figurínou pro boční náraz. Ačkoliv je obtížné posoudit úroveň poskytované ochrany z rozsahu narušení struktury, je kontrola jak vozidlo naruší konstrukci velice důležitá. Prostřednictvím programu EuroNCAP se podařilo značně zlepšit ochranu cestujících při bočních nárazech a značný vliv na to mělo zavedení bočních airbagů v automobilu. V dnešní době již bývá běžné osazovat automobily bočními airbagy. [27]



Obrázek 17: Boční náraz deformovatelnou bariérou; [27]



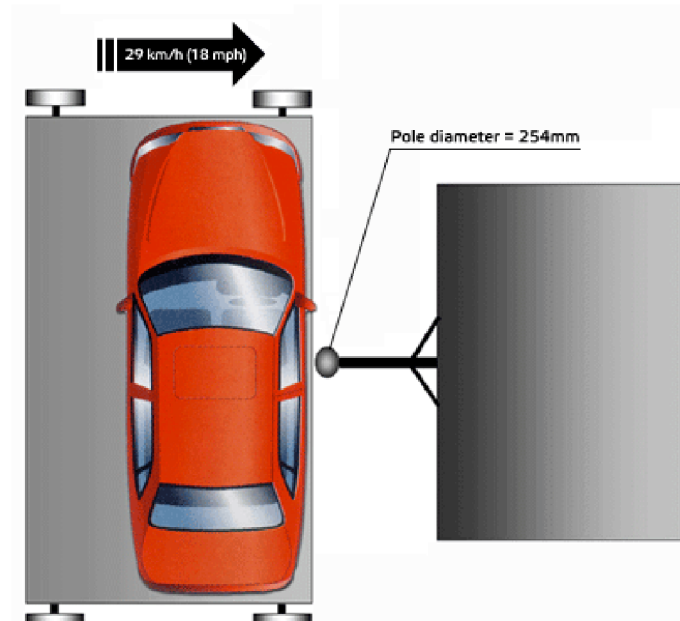
Obrázek 18: Skutečný průnik deformovatelné bariéry do struktury vozu; [26]

1.5.2 BOČNÍ NÁRAZ DO SLOUPU – POLE SIDE IMPACT

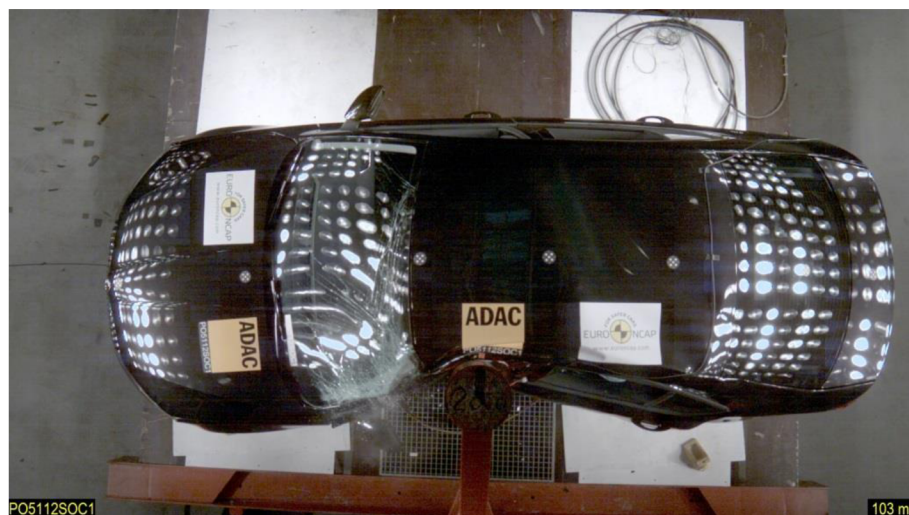
Varianta bočního nárazu, kdy v modelové situaci vozidlo dostane smyk a bokem vozidla narazí do sloupu či stromu. Tato varianta nehody bývá velmi tragická a má čtvrtinový podíl na všech smrtelných dopravních nehodách. Při testu je ověřována především správná funkce bočních a hlavových airbagů i samotná pevnost karoserie. K provedení testu je automobil umístěn na pohyblivé plošině s teflonovým povrchem. Mezi pneumatikami a teflonovým povrchem plošiny jsou vloženy další teflonové desky, aby byl umožněn boční pohyb vozidla po plošině. Při testu je plošina vlečena směrem ke sloupu rychlostí 29 km/h pomocí lanového navijáku. Při nárazu testovaného vozidla dochází k hlubokému průniku sloupu do jeho struktury. Při absenci hlavového airbagu by mohlo dojít ke kontaktu řidičovy hlavy s nárazovým sloupem a způsobit tím smrtelná



zranění. Typické kritérium poranění hlavy 5000 ukazuje pětinasobek toho, co by pravděpodobně způsobilo vážné poranění mozku. Jako protiklad ke kritériu poranění hlavy se běžné výsledky ochrany hlavy pomocí airbagů pohybují mezi hodnotami 100-300, z čehož je patrné, jak dobře je hlava chráněna. Boční hlavové airbagy dělají tento druh havárie navzdory celkové závažnosti přežitelnou. Před rokem 2009 organizace EuroNCAP umožnila výrobcům provádět náraz na sloup jako důkaz účinnosti ochranných systémů hlavy. Hodnocením zaměřeným pouze na ochranu hlavy bylo rozšířeno výsledné skóre bočních nárazových testů prováděných pohyblivou bariérou. Od roku 2009 se boční náraz na sloup stal povinný a nyní zahrnuje i další části lidského těla, které by mohly být zasaženy, jako jsou hrudník a břicho. [28]



Obrázek 19: Boční náraz na sloup; [28]



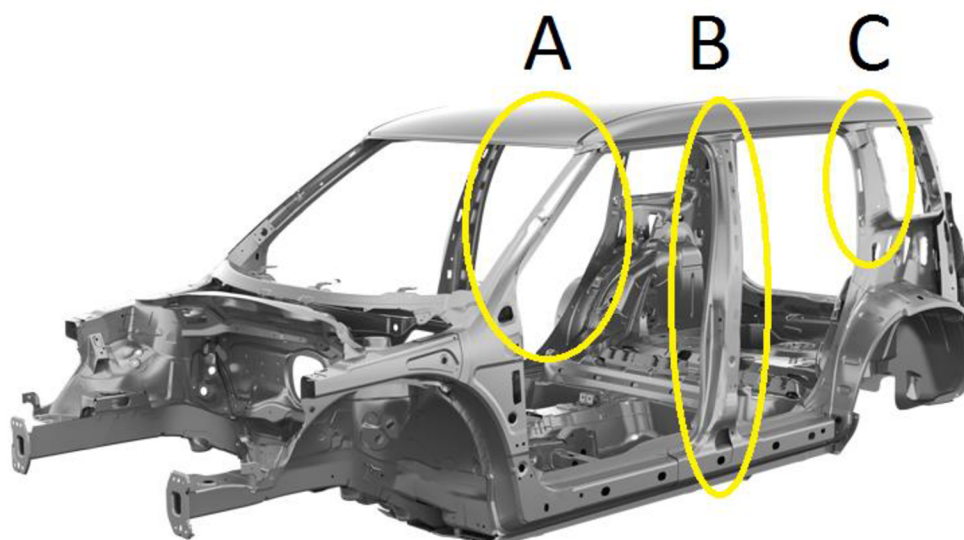
Obrázek 20: Skuteční průnik sloupu do struktury vozu; [26]



2 DOSAVADNÍ VÝZKUM MĚŘENÍ ZRYCHLENÍ

V této kapitole je shrnut výzkum, který byl proveden Ing. Vlastimilem Remišem v předešlých letech. Tato problematika byla již zkoumána delší časový horizont a doposud nebylo nalezeno jednoznačné řešení, jakým způsobem připevnit akcelerometr ke struktuře vozu. Z tohoto důvodu bylo provedeno opětovné přezkoumání situace se záměrem nalezení nové metody pro uchycení.

První podněty k tomuto výzkumu se objevily v roce 2006, kdy se při opakovaných nárazových zkouškách prováděnými TÜV SÜD Czech se shodnými výchozími podmínkami objevovaly odchylky ve vypočtených průbězích rychlostí, které byly porovnávány s obrazovým záznamem ze zkoušky. K těmto odchylkám docházelo na totožných montážních místech na struktuře B-sloupku vozidla.



Obrázek 21: Grafické znázornění výztužných prvků konstrukce střechy; [29]

V roce 2010 byla na Technické Univerzitě v Liberci vypracována studie s názvem „Posouzení zdrojů chyb snímačů pro měření zrychlení při nárazových zkouškách prováděných v TÜV SÜD“. Tento projekt byl rozdělen do tří etap, z nichž byly provedeny dvě. První etapa se zabývala konstrukcí akcelerometrů a porovnáním jejich vhodností pro snímání nárazů. Dále také dynamickou odezvou akcelerometrů. Druhá etapa byla zaměřena na rozbor zpracování signálu s rázovým průběhem, kde byl zpracován konkrétní průběh zrychlení z nárazové zkoušky.

Dílčí závěr první etapy stanovuje, že nejslabším místem měřicího řetězce je akcelerometr, který bývá v průběhu nárazového děje přetížen. Zkreslení snímače je způsobováno vychýlením jeho odezvy z lineární oblasti a vysokou amplitudou nebo vysokou frekvencí budícího signálu. Vzniklé jevy jsou závislé na době trvání silového impulsu a jeho frekvenčním obsahu. Těmto jevům se výrobci snaží předejít vnitřní konstrukcí akcelerometru, jako je například vnitřní mechanický filtr, tlumení apod. Je zde podán podnět k vytvoření vhodného mechanického filtru, který zamezí vzniku nestandardní funkce snímače. Deformací křivky zrychlení je způsobována chyba



v integrovaném průběhu rychlosti, která se poté rozchází s její předpokládanou velikostí a také se skutečným pohybem vozidla.

V druhé etapě projektu byl vyvozen závěr, že příčiny chyb jsou způsobeny kombinací nelinearity snímače a silně asymetrického průběhu zrychlení. Asymetrií signálu byla myšlena vysoká kladná hodnota zrychlení trvající krátký časový okamžik, následována výrazně nižší hodnotou záporného zrychlení, které trvalo déle. Následkem tohoto jevu mohlo dojít k přebuzení snímače a tím vstupu do nelineární oblasti. Dále bylo v závěru stanoveno, že integraci dochází k zesílení nízkofrekvenčních složek a potlačení vysokofrekvenčních. Integraci lze tedy charakterizovat jako filtr typu dolní propust. Průběh rychlosti je tedy nejvíce ovlivňován nízkofrekvenčními složkami zrychlení. Chyby v průbězích zrychlení mohou být způsobeny i změnou střední hodnoty signálu zrychlení. Změna středního průběhu může být způsobena kmitavými ději, kde však samotná frekvence nebude hlavní příčinou. Dominantním jevem bude vysoká amplituda zrychlení, která způsobí skokovou změnu nulové hodnoty.

Ve studii Posouzení měřicího řetězce pro měření zrychlení při nárazových zkouškách prováděných v TÜV SÜD jsou popsány především parametry snímačů zrychlení, které by mohly ovlivnit správnou měřicí schopnost. Tyto parametry jsou popsány v kapitole 2.3 a 2.4 diplomové práce. Závěr studie klade důraz především na analyzování časové a frekvenční oblasti záznamu s cílem hledat zkraslení, dříve než proběhne další zpracování signálu.

2.1 B-SLOUPEK VOZIDLA

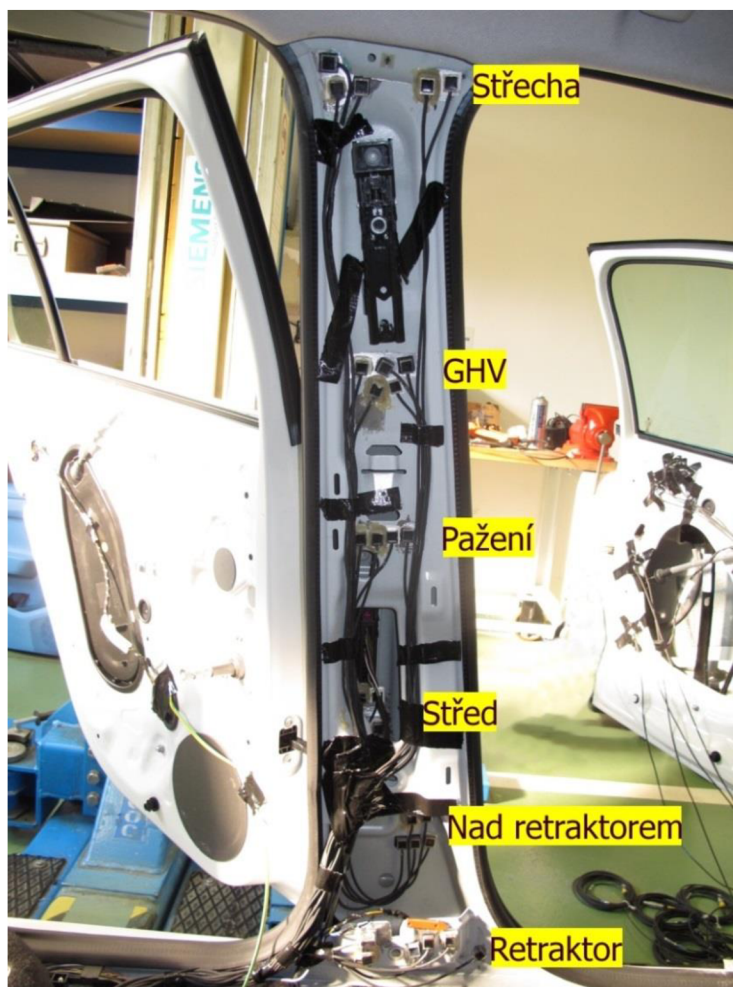
Nosná konstrukce střechy automobilu plní dvojí základní funkci. První funkcí je nesení střechy chránící posádku při nepřízní počasí. Druhou funkcí rozumíme vytvoření ochranné klece kolem cestujících, která zajišťuje základní pasivní bezpečnost. Tato klec je tvořena svislými nosníky, na které jsou montovány další části vozu, jako jsou okna a dveře. Převážná většina vyráběných vozidel je konstruována s trojicí nosných sloupků. Sloupek A vychází z přední části vozu, kde je k němu přilepeno čelní sklo vozidla. B-sloupek má za úlohu vyztužit střední část střechy a také svázat strukturu z hlediska torzní tuhosti karosérie. Jsou k němu montovány dveře i uchyťvány zádržné systémy pro posádku. Z tohoto ohledu se jedná o důležitý bezpečnostní prvek, protože ve většině případů dopravních nehod dochází při boční srážce k nárazu v oblasti B-sloupku. Střecha je dále podepřena C-sloupkem, který klesá k zadní části vozu. U vozidel kategorie kupé bývá B-sloupek vynechán, protože střecha nemá takovou délku, aby ji bylo nutné podpírat. Rodinná vozidla kategorie kombi jsou konstruována se čtvrtým nosným sloupkem, označovaným D.



2.1.1 MONTÁŽNÍ POZICE B-SLOUPKU

Na struktuře B-sloupku bylo v rámci koncernu Volkswagen zvoleno šest kontrolních bodů, na které se umísťují akcelerometry. Naměřené zrychlení je následně integrováno na rychlost deformace sloupku. Prováděna je také druhá časová integrace, která znázorňuje tvar B-sloupku v průběhu nárazu. Vypočtený tvar sloupku je porovnáván se skutečným tvarem. Při tomto porovnání se projevuje rozdíl výsledků, které vedou k otázce, čím je způsoben tento rozdíl.

K povrchu B-sloupku jsou snímače lepeny do těsné blízkosti u sebe podle předem určeného montážního místa. Přesná umístění na šesti montážních bodech jsou odvozena od výpočtových modelů nárazu, které jsou prováděny v programu PAM-CRASH a vyhodnoceny v Animator. Po vytvoření několika prvních simulací nárazu je postaven prototyp vozu a na daná místa sloupku jsou připevněny snímače, kterými se změní skutečná nárazová zkouška. Provedení skutečného testu má dva hlavní výstupy, kde důvodem prvním je reálné otestování bezpečnosti karoserie vozu. Druhý důvod je validace výpočtových modelů, kdy je provedeno porovnání sledovaných veličin na shodných místech při simulaci a reálné zkoušce. Data získaná ze zkoušky jsou použita pro modifikaci simulačních modelů, čímž je zvyšována jejich přesnost. Tento proces probíhá simultánně v průběhu celého vývoje vozu a ve finálních fázích je dosahována shoda simulace s reálným testem na úrovni 85%.



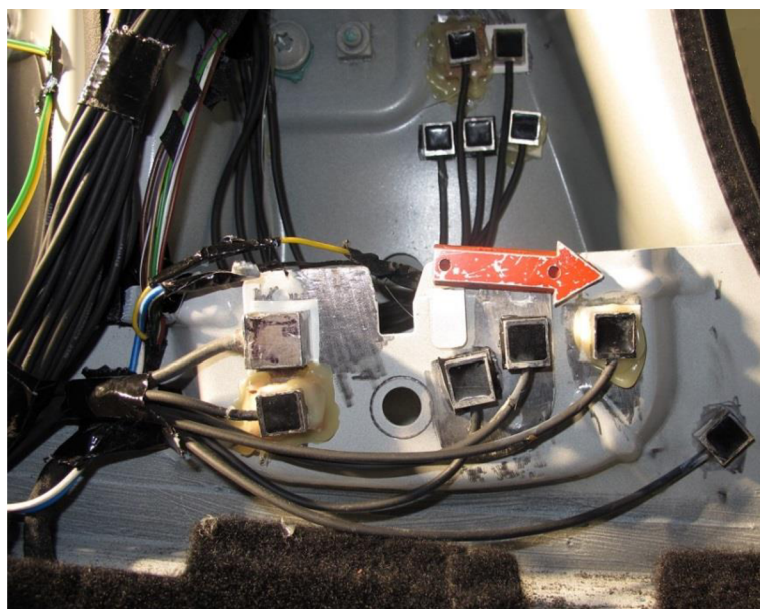
Obrázek 22: Celkový pohled na B-sloupek



Pro zajištění správnosti měření by snímače měly být umístěny do ideálně tuhých míst na struktuře, aby nemohlo dojít k rozvibrování dílce a tím k ovlivnění měření. Z reálného hlediska není tato varianta proveditelná, protože tato tuhá místa nemají rovný nebo dostatečně velký povrch, ke kterému by bylo možné snímač připevnit. Často by se jednalo o místa prolisů nebo spoje plechů. Druhý předpoklad pro správné měření by mělo být uchycování akcelerometrů do míst, kde by nemělo dojít k rozdílné deformaci povrchů s akcelerometry umístěnými blízko sebe.

RETRAKTOR

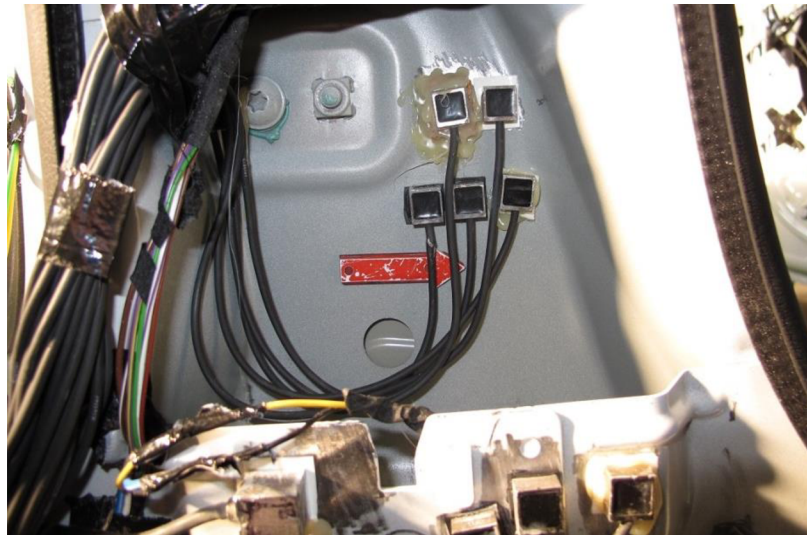
Jedná se o montážní pozici na spodním okraji B-sloupku, kde je propojen s bočním prahem vozidla. K tomuto místu je také přišroubován naviják bezpečnostního pásu. Během nárazu dochází k velmi výrazné deformaci a protlačení struktury sloupku a prahu k sedačce. Při tomto ději jsou přitlačovány i plastové kryty, které tlačí na snímače a mohou je i odtrhnout od měřeného místa. V nejhroším případě může dojít k přestřížení kabelu žebry plastového okrytování.



Obrázek 23: Příklad montáže snímačů na Retraktor, červená šipka označuje směr pohybu vozidla

NAD RETRAKTOREM

Pozice Nad retraktorem je umístěna na vnitřní straně profilu B-sloupku. Připevněné snímače jsou na vnitřní straně vnějšího plechování. Jejich dráha možné deformace je omezena rozměry navijáku bezpečnostních pásů, kdy při velké deformaci může docházet k odpadnutí snímače nebo k jeho destrukci. Snímač může být poškozen rozmáčknutím jeho pouzdra nebo přestřížením napájecího vodiče. Z těchto důvodů je důležité vybrat vhodné umístění snímače a vedení jeho kabeláže, aby nemohlo dojít k jeho rozdrčení mezi retraktorem a vnějším oplechováním nebo k přestřížení kabelu o hranu plechu.



Obrázek 24: Snímače na pozici Nad retraktorem

STŘED

Montážní pozice zvolená v prostřední části sloupku. V tomto místě prochází kabeláž elektroinstalace do zadních dveří. Na této pozici je teoreticky hodně volného prostoru pro osazení snímači, avšak montáž je zde velmi obtížná z důvodu špatné přístupnosti pro ruce, protože se nachází uvnitř struktury sloupku.

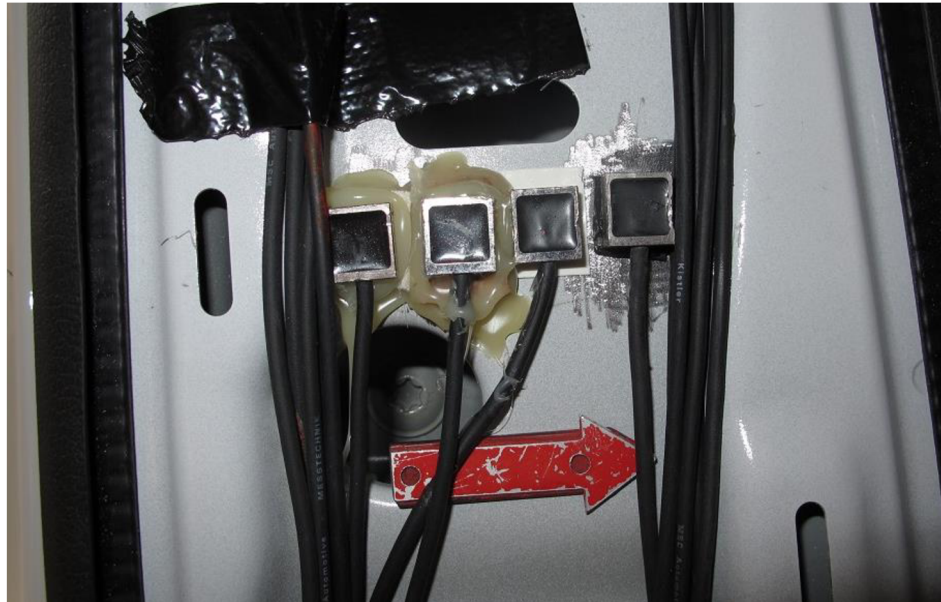


Obrázek 25: Pozice Střed



PAŽENÍ

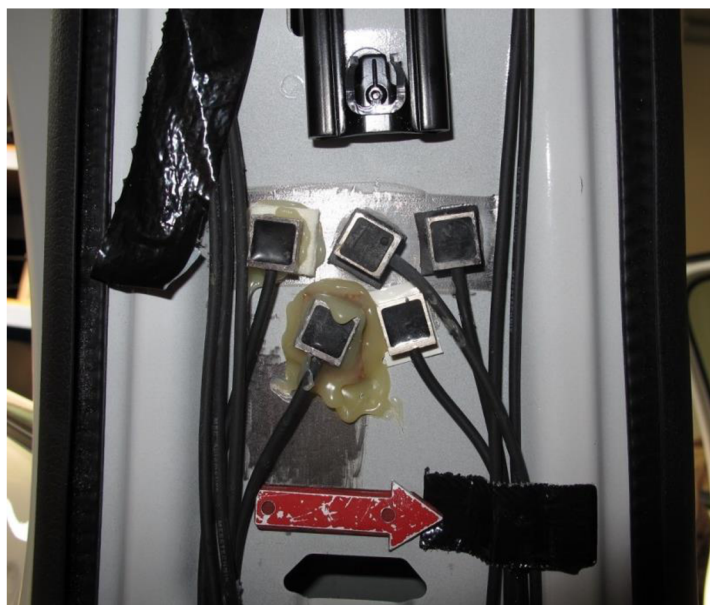
Zvolená pozice Pažení výškově odpovídá pažní opěře dveří. V tomto místě je B-sloupek bez výraznějších prolisů a zároveň plastové okrytování neposkytuje mnoho prostoru pro další snímače.



Obrázek 26: Pažení

GHV

Jedná se o pozici na B-sloupku, kde končí spodní okraj posuvné kolejnice horního závěsu bezpečnostního pásu. Připevnění snímačů musí být provedeno tak, aby při výškovém nastavení horního závěsu nedošlo k jejich odtržení ani zabránění správné funkce bezpečnostního pásu. Do otvoru pod snímači je namontováno vodící oko bezpečnostního pásu, proto musí být snímače dostatečně vysoko nad tímto otvorem.

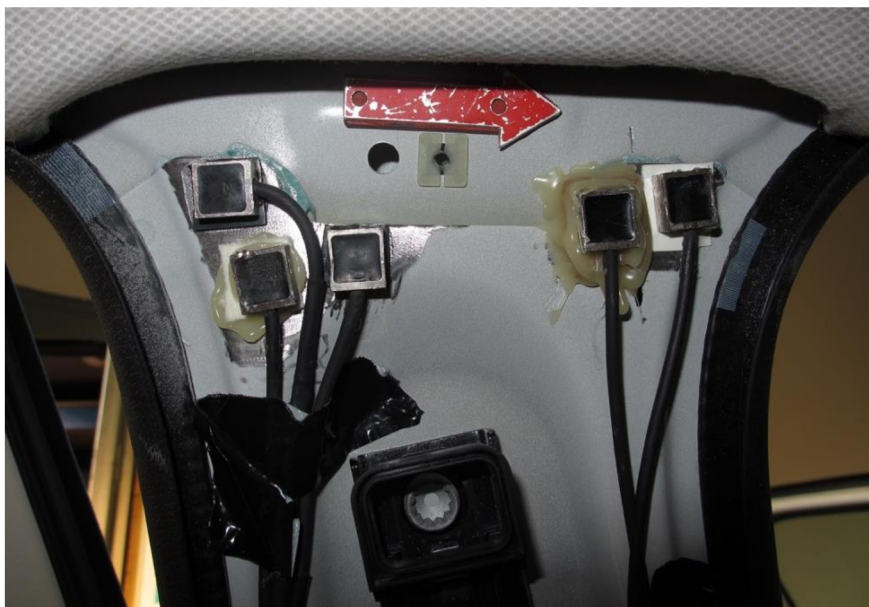


Obrázek 27:GHV



STŘECHA

Montážní pozice, která se nachází ve spoji sloupku a střechy vozidla. Zde je nejdůležitější, aby montáži snímačů nebylo ovlivněno správné rozbalování hlavového airbagu. Ten by mohl za snímač uváznout, případně se protrhnout, což je nepřipustné. V tomto místě nedochází k tak velké deformaci profilu B-sloupku, ale při rozbalení airbagu může dojít k posunu plastového krytování, které odtrhne snímač.



Obrázek 28: Střecha

2.2 CHYBY V MĚŘICÍM ŘETĚZCI

Při nárazových zkouškách je používána měřicí technika firmy Kistler, popřípadě technika Kayser-Threde. Měřicí systém, způsob zpracování signálu i metodika měření je popsáno v příručce SAE J211-1. Tento předpis stanovuje obecné požadavky na provádění nárazových testů.

Při nárazových testech byla primárně používána vzorkovací frekvence 10 kHz, která byla vzhledem k udávané frekvenční odezvě akcelerometru 3 kHz dostatečně vysoká. Při testech, kdy je nasazena figurína WorldSID nebo 5-ti procentní Hybrid 3, je nutné použít vzorkovací frekvenci 20 kHz, aby byla zajištěna synchronizace dat. Pro filtraci vysokofrekvenčních složek je používán 6-pólový anti-aliasingový filtr Butterworth, výrazně potlačující frekvence nad 4 kHz. [22]

Amplitudové rozlišení vstupních A/D převodníků měřicích analyzátorů je 12 bitů pro Minidau K 3700 a pro jednotky Kidau Basic i Kidau Advanced 16 bitů. Pro boční nárazové zkoušky je zvolen dynamický rozsah CAC 3000. Kvantizační krok pro rozlišení 12 bitů je cca 1,46 g, což není pro nárazové zkoušky dostatečně vhodné, proto je 12 bitová jednotka používána především pro snímání tlaku v airbazích. Při rozlišení 16 bitů je tato hodnota kroku 0,1 g. Působením kvantizačního šumu při nízkých úrovních signálu může docházet ke zkreslení naměřeného zrychlení, ale při aplikaci na nárazových zkouškách je tento vliv nevýznamný. [22]



2.3 NÁHODNÉ CHYBY MĚŘENÍ

Náhodné chyby měření se většinou vyskytují ve formě šumu, který však lze odstraňovat opakováním měření a statistickým vyhodnocením výsledků. Při crashových zkouškách mohou neustále vznikat nové a nové náhodné chyby, které lze potlačit jen dlouhodobými opatřeními v kritických místech. Je tedy nutné počítat s určitým rozptylem hodnot.

2.4 CHYBY SNÍMAČŮ ZRYCHLENÍ

2.4.1 ZÁKLADNÍ PARAMETRY AKCELEROMETRŮ

MĚŘICÍ ROZSAH

Při měření nárazových zkoušek je dosahováno maximální peakové hodnoty zrychlení až 900 g. Takovýmito hodnotám zpomalení je snímač vystaven jen krátkodobě, a tudíž by nemělo docházet k ovlivnění měření. Zrychlení činné při deformaci dosahuje hodnot 60 g. Měřicí rozsah snímače by měl být vždy mnohem vyšší než maximální zrychlení dosahované při zkoušce. Zamezí se tím deformaci signálu v okrajových hodnotách. [22]

FREKVENČNÍ ODEZVA

Pro správné zachycení všech jevů při crashové situaci je nutné, aby akcelerometr přenášel všechny frekvence do 1 kHz nezkráceně. Z těchto vibrací lze následně odhalit například praskání bodových svarů, výztuh a podobně. Dále je nezbytná vysoká přesnost při převodu nízkofrekvenčních a stejnosměrných složek, které mají vysoký vliv při následném zpracování signálů. [22]

OPAKOVATELNOST

Aby bylo možné porovnávání více signálů mezi sebou, je důležitá opakovatelnost měření, pro kterou je nutný dostatečný souhlas dvou akcelerometrů, které měří zrychlení resp. zpomalení při nárazové situaci. Podle technické zprávy z TUL Liberec může být maximální možná odchylka v rozsahu (0 – 20) Hz těchto dvou akcelerometrů od ideálně ploché frekvenční charakteristiky nejvýše $\pm 0,1\%$. Pro vyšší frekvence může být tato odchylka vyšší, např. pro frekvence <200 Hz – 1%, <2000 Hz – 10%. [22]

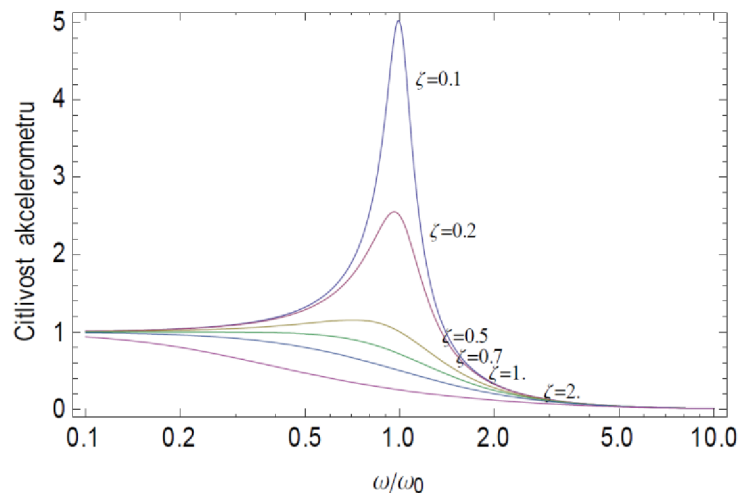
REZONANČNÍ KMITOČET

Rezonanční kmitočet snímače musí ležet mnohem výš, než se pohybují frekvence vybuzečné při nárazové zkoušce. Při dosažení této frekvence by mohlo dojít ke zničení snímače nebo také k deformaci frekvenčního pásma a tím změně jeho vlastností. Česká technická norma [2] doporučuje, aby nejvyšší měřené frekvence nebyly vyšší než 20% základního rezonančního kmitočtu přípevněného snímače. Z tohoto důvodu bylo zavedeno používání akcelerometrů s vnitřním tlumením. [22]



VNITŘNÍ TLUMENÍ

Tlumení snímače je „vnitřní pasivní, ztrátový odpor senzoru proti pohybu“ [22] Toto zatlumení musí být takové, aby byla zajištěna požadovaná plochost frekvenční charakteristiky. Dále vnitřní tlumení zabraňuje mechanickému poškození kmitajících elementů impulzy zrychlení na rezonanční frekvenci. Pokud se přenášené frekvenční pásmo blíží rezonanční frekvenci akcelerometru a nelze použít jiný typ, musí být použit snímač s vnitřním tlumením. Vnitřní tlumení zajistí minimální deformaci přenášené charakteristiky do 1 kHz. Snímače s vlastní frekvencí vyšší než 20 kHz nemusí podle příručky SAE J211-1 mít vnitřní tlumení.



Obrázek 29: Vliv úrovně vnitřního tlumení na citlivost snímače; [22]

CITLIVOST

Údaj o citlivosti stanovuje, jaké bude výstupní napětí na svorkách akcelerometru při zatížení určitou silou. Frekvenci napětí na výstupu odpovídá frekvence vibrací. Akcelerometry jsou navrhovány do dvou kategorií citlivostí. Snímače s nízkou úrovní výstupu se používají pro měření vyšších vibrací, naproti tomu s akcelerometry s vyšší citlivostí pro nižší úrovně vibrací. [22]

Snímače určené pro měření zrychlení při nárazových zkouškách mají hodnotu citlivosti 0,2 mV/g. Celý vůz je nastaven jedním typem snímačů, pouze na nenárazové straně vozidla je použit jako referenční 3-osý snímač zrychlení Kistler M301M/LC. Tento snímač je používán k monitorování pohybu v ostatních směrech mimo hlavní osu nárazu.

NELINEARITA

Maximální hodnotu nelinearity nelze snadno stanovit, protože se jedná o složitou funkci, jejíž špičková hodnota může mít zanedbatelnou hodnotu. Nelinearita piezorezistivního akcelerometru popisuje stav, kdy je snímač zatížen hodnotou zrychlení na jeho mezním rozsahu, která způsobí deformaci detekovaného zrychlení a tím jeho nepřesnost. [22]

HYSTEREZE

Hystereze snímače ovlivňuje nízkofrekvenční i stejnosměrné složky signálu. Podmínka maximální povolené chyby rychlosti stanovuje, že absolutní hodnota musí být menší než $5,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Pro senzor s rozsahem $\pm 1000 \text{ g}$ to znamená 0,05 %. [22]



PŘÍČNÁ CITLIVOST

Při nárazu může nastat situace, kdy dojde v důsledku velké deformace struktury vozu k natočení snímače mimo hlavní směr snímání. Tento vliv může mít za následek zkreslení signálu z akcelerometru, a tedy změně rychlosti deformace. Příčná citlivost snímače pro zrychlení < 40 g nesmí přesáhnout 0,3%, pro vyšší hodnoty zrychlení postačuje 6%. [22]

Pro snímače připevňované k B-sloupku není nutno uvažovat příčnou citlivost, protože tyto senzory jsou pouze jednoosé a nemůže tedy dojít k přeslechu do druhé měřicí osy.

2.4.2 JEVY OVLIVŇUJÍCÍ PARAMETRY AKCELEROMETRŮ

ZERO MEASURAND OUTPUT (ZMO)

Udává hodnotu výstupní veličiny snímače, tedy rozdíl napětí na můstku při nulovém zrychlení. Tato hodnota je bezprostředně před zkouškou změřena a pomocí ní je nastavena nula na měřicím rozsahu. V průběhu zkoušky může v důsledku například přetížení nebo vysokých hodnot zrychlení docházet k posunu ZMO. Tento jev je popisován nelinearitou a hysterezí. [22]

TEMPERATURE DRIFT – ZMO

Posuv ZMO způsobený změnou teploty senzoru. Celkový čas nárazové zkoušky trvá velmi krátkou dobu, a tudíž by neměl mít významný vliv. Lze tedy předpokládat, že teplotní drift ZMO je dostatečně kompenzován nulováním na počátku měření. [22]

TEMPERATURE DRIFT – SENSIVITY

Změna citlivosti senzoru K_{ACC} [$\mu Vg^{-1}V^{-1}$] v důsledku změny teploty senzoru. Tento faktor může způsobovat multiplikační chyby naměřeného zrychlení a následně i rychlosti v případě, pokud by počáteční kalibrace proběhla při jiné teplotě než nárazová zkouška. V laboratoři nárazových zkoušek je však udržována stabilní teplota v rozmezí (19 až 21) °C, která je vyžadována pro uložení a používání testovacích figurín. Kalibrace akcelerometrů je prováděna v prostředí s teplotou okolo 24°C. Rozdíl teplot tedy není nijak významný a nemá výrazný vliv na změnu citlivosti snímače v důsledku změny teploty. [22]

MAXIMUM SINE LOAD

Určuje maximální hodnotu amplitudy sinusového, harmonického zrychlení, kterému může být snímač trvale vystaven. [22]

WARM UP PERIOD

Tato konstanta stanovuje dobu, po které dojde k ohřevu senzoru procházejícím proudem a ke stabilizaci teploty s okolním prostředím. Jedná se o přechodový exponenciální děj, jenž pokračuje do nekonečna, a uvažujeme tedy stabilizaci teploty na 1%. [22]



2.5 METODY UCHYCENÍ SNÍMAČŮ

Pro připevnění snímačů zrychlení existuje několik způsobů montáže, kde každý způsob má svá specifika. Obecné způsoby montáže akcelerometrů s jednotlivými specifiky jsou popsány Českou Technickou normou ČSN ISO 5348: Vibrace a rázy – Mechanické připevnění akcelerometrů. [2] Pro aplikace při crashových zkouškách však nelze všechny způsoby použít.

PŘIPEVNĚNÍ ŠROUBEM

Tento způsob montáže má vynikající vlastnosti z hlediska tuhosti připojení a také teplotní stálosti a lze ho uvažovat jako nejvhodnější způsob montáže. Pro připevnění snímače ke struktuře jsou využívány šrouby se závitem M3 nebo M5. Nutnost vrtání díry a řezání závitu má však i svá omezení. Při montáži na malé nebo tenké předměty pak není dostatečně silná vrstva materiálu pro tvorbu závitu. Z tohoto důvodu není tento způsob montáže využíván při nárazových zkouškách, protože tloušťka plechu B-sloupku je 1 mm. Minimální délka závitu v oceli je stanovena na jednonásobek průměru šroubu. Tímto spojením je zajištěn ideální přenos frekvencí zhruba do 10 kHz. [2]

LEPENÍ LEPIDLEM

Lepení kyanoakrylátovým lepidlem označovaným jako „vteřinovým“ je všeobecně považováno za vhodný a pevný způsob připojení snímače ke struktuře. Lepidla na této bázi mají vysokou tvrdost lepeného spoje a jsou chemicky i teplotně stálá. Samotní výrobci snímačů tento způsob také doporučují. Tento způsob montáže je využíván pro snímače umístěné na středovém tunelu vozidla a dalších površích, které se nijak výrazně nedeformují. Z toho vyplývá, že lepení vteřinovým lepidlem je nevhodné na plochy, které se v důsledku nárazu výrazně deformují. Lepený spoj tíhne ke křehkému lomu. Montáž snímačů vteřinovým lepidlem na B-sloupek se tedy nepoužívá. Dále také dochází k chemickému poškozování pouzdra snímače a není snadné zaschlé lepidlo z pouzdra senzoru odstranit. Dle ČSN ISO 5348 je zajištěn ideální přenos frekvencí do 7,5 kHz. Při nárazových zkouškách Škoda Auto je používáno lepidlo Loctite 454. [2]

PŘIPEVNĚNÍ LEPICÍ PÁSKOU

Montáž oboustrannou lepicí páskou usnadňuje technické provedení této operace, protože není nutno nanášet lepidlo ani nehrozí křehké odlomení snímače. Nelze však přesně charakterizovat přenos vibrací, z důvodu možného tečení (creepu) lepicí vrstvy. Dále je též nutné lepení na rovné povrchy. [2]

CrashLab Škoda Auto používá pro lepení snímačů oboustrannou lepicí pásku Tesa Powerstrips tloušťky 1 mm. Pro volbu této pásky byly dva důvody. Prvním je snadná montáž snímače ke struktuře vozu, která nemusela být nutně naprosto rovná. Druhý důvod bylo použití jako mechanického tlumiče, kde 1 mm vrstva umožňuje utlumení parazitních vibrací. S možností tlumení vibrací se nese i riziko posunu rezonanční frekvence snímače. Z tohoto důvodu byla vypracována metrologická expertiza [1], kterou Český metrologický institut provedl kontrolu posunu rezonanční frekvence. Z této zprávy vyplývá, že použití této pásky neovlivňuje rezonanční kmitočet. Dle ČSN ISO 5348 je zabezpečen přenos do 5 kHz. Páska je používána pro montáž snímačů na B-sloupek vozidla. [2]



TAVNÁ LEPICÍ PISTOLE

Pomocí tavné lepicí pistole je možné provést kvalitní a pevné připevnění snímače ke struktuře. Tento způsob montáže není zmíněn v normě ČSN ISO 5348. V laboratoři Škoda Auto je tento způsob kombinován s použitím 3 mm tlumicí korkové destičky. Celková tloušťka lepicí vrstvy tavná tyčinka-korek-tavná tyčinka je široká 4,5 mm. Tento způsob montáže je používán pro snímače na B-sloupku a vytváří tedy zdvojení snímačů.

Ke struktuře B-sloupku jsou tedy snímače při nárazových zkouškách přilepeny dvěma způsoby, oboustrannou lepicí páskou Tesa Powerstrips a tavnou lepicí tyčinkou. Oba tyto způsoby jsou používány, protože se nedá jednoznačně říct, která metoda připojení je vhodnější.

PŘIPEVNĚNÍ MAGNETEM

Dalším způsobem připevnění je použití magnetu. Pro tuto montáž je nutný předpoklad, aby plocha, na kterou má být snímač připevněn, byla magnetická a zároveň aby pouzdro snímače bylo magnetické. Frekvenční odezva tohoto připojení je závislá na směru upevnění, rovinnosti základny a povrchu, magnetickými vlastnostmi snímače a hmotností a tloušťkou magnetu. Magnetické uchycení by mělo být schopno přenášet frekvence do 5 kHz. Při nárazových zkouškách není tento způsob využíván z více důvodů. Prvním důvodem je nedostatečná pevnost připojení v kolmé rovině k ose nárazu, kdy by mohlo dojít ke změně polohy snímače. Dalším důvodem je fakt, že pouzdra používaných snímačů jsou hliníková a bylo by tedy nutné snímače s magnetem pevně slepit. Nejistým faktorem je také ovlivnění vlastností snímače. [2]

PŘIPEVNĚNÍ VČELÍM VOSKEM

Připevnění snímače k měřené struktuře včelím voskem je poměrně jednoduché, ale nese s sebou jistá omezení. Hlavní nevýhodou včelího vosku je teplotní nestálost, kdy nejvyšší teplota jeho použití je 40 °C. Měření je dále ovlivňováno tloušťkou vrstvy vosku a jeho komplexním elastickým modulem. Při ověřovacích testech se výrazně projevila změna mechanických vlastností spoje již při změně teploty o 8°C. Při samotné zkoušce je oblast nárazu intenzivně osvětlena a mohlo by dojít k ohřevu karoserie a odpadnutí snímače. [2]

PŘIDRŽENÍ SNÍMAČE RUKOU

Jedná se o nejjednodušší způsob měření vibrací a je omezen frekvencí 200 Hz. Snímání je ovlivněno stálostí držení měřeného směru, stálostí přítlaču a také oblastí kontaktu. Tento způsob nelze použít pro měření rázů při nárazových zkouškách. [2]



2.6 VLIV NATOČENÍ SNÍMACÍ OSY AKCELEROMETRU V PRŮBĚHU ZKOUŠKY

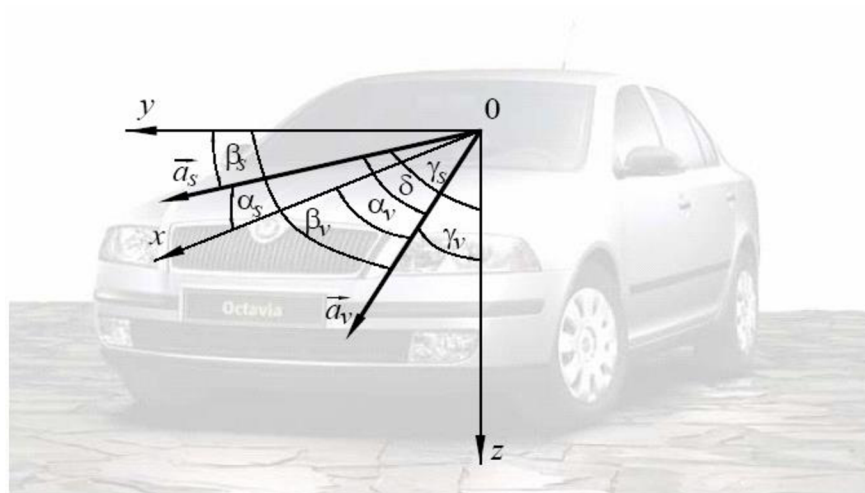
Při deformaci B-sloupku vozidla dochází ke změně polohy akcelerometru v prostoru a dále také k natočení hlavní snímací osy akcelerometru o určitý úhel. Po nárazu vozidla je celý sloupek zatlačen do vnitřní struktury a změní se jeho původní vnější prohnutí tvaru luku na rovný. Tato deformace způsobí změnu natočení montážních ploch.

V průběhu nárazu je celková deformace sloupku složena ze dvou fází. První fází je plastická deformace, kdy je sloupek deformován do konečného stavu. Druhá část je tvořena elastickou deformací, kdy materiál díky svým vlastnostem podléhá pružnému ohybu a celkové prohnutí B-sloupku je v průběhu nárazu mnohem vyšší než průhyb změřený po nárazu. Skutečnou hodnotu prohnutí celého sloupku v jednotlivých fázích nárazu nelze přesně stanovit.

Pro potlačení tohoto jevu je vhodné provést matematický přepočítání hodnoty zrychlení. Směrová korekce signálu zrychlení spočívá v přepočítání naměřených hodnot zrychlení a_s na hodnotu a_v . Směr osy snímače je dán jednotkovým vektorem \vec{o}_s , případně směrovými úhly $\alpha_s, \beta_s, \gamma_s$. Směr pohybu měřeného bodu je popsán jednotkovým vektorem \vec{o}_v , případně směrovými úhly $\alpha_v, \beta_v, \gamma_v$. Zrychlení a_v je vypočteno z naměřeného zrychlení a_s vztahy: [23]

$$a_v = \frac{a_s}{\cos \delta} \quad (14)$$

$$\delta = \arccos(\cos \alpha_s \cos \alpha_v + \cos \beta_s \cos \beta_v + \cos \gamma_s \cos \gamma_v) \quad (15)$$



Obrázek 30: Schéma změny snímací osy snímače v důsledku deformace; [23]

Změřením sklonu montážních ploch před a po nárazu byla zjištěna maximální odchylka $\delta=15^\circ$. Ve zhodnocení technické zprávy [23] byl uveden rozdíl u přepočítaných zrychlení $0,349 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ a u rychlostí $0,183 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Tyto hodnoty jsou velmi nízké a lze tedy říci, že tato okolnost způsobuje jen nepatrný rozdíl hodnot.

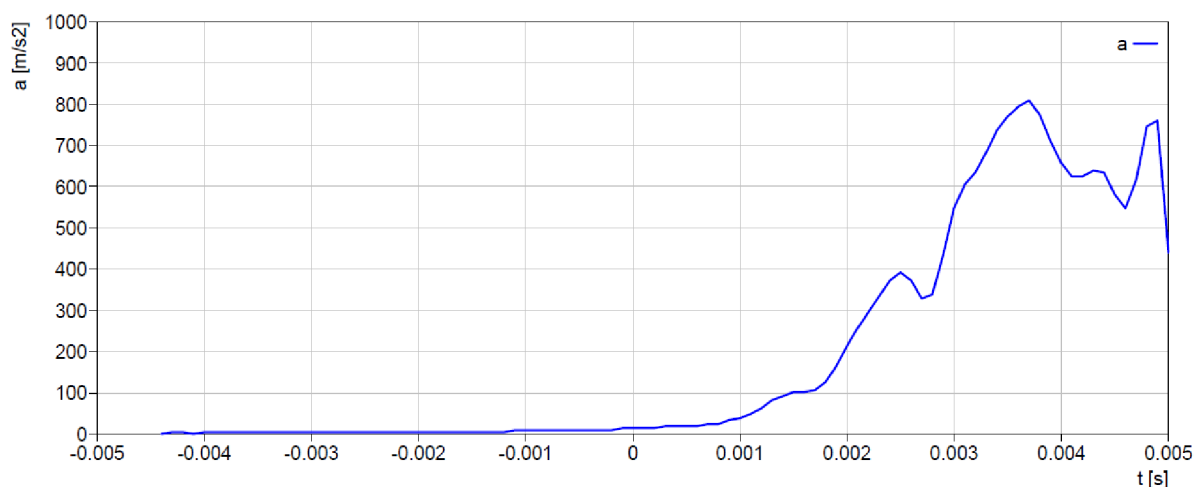


2.7 CHYBY PŘI ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU

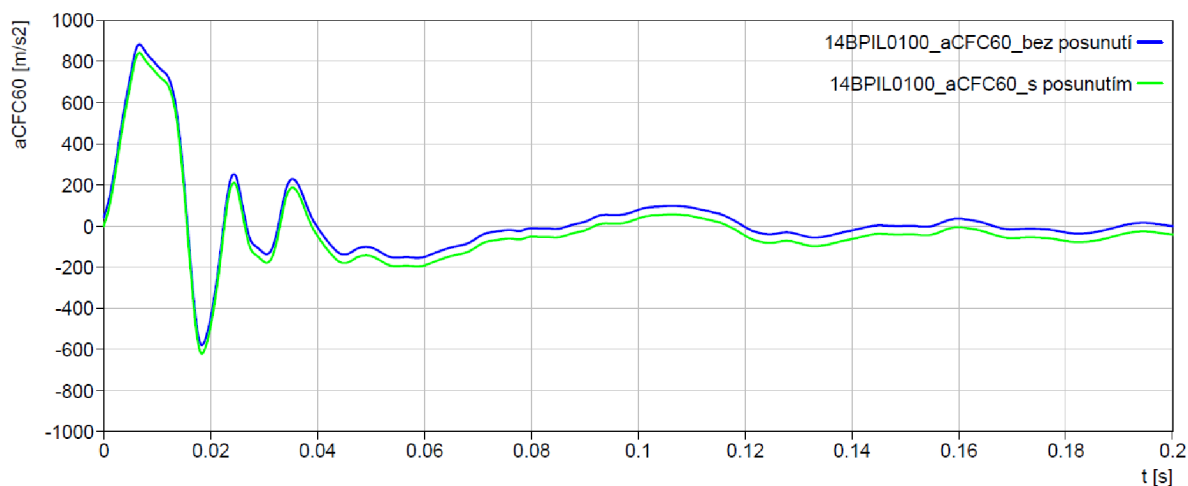
2.7.1 POSUN NA KLIDOVOU HODNOTU

Pro měření nárazových zkoušek platí počáteční předpoklady o velikosti jednotlivých kinematických veličin. V čase $t=0$ s by podle předpokladu mělo být zrychlení $a=0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Vlivem nevyvážení měřícího řetězce dochází ke snímání nízké hodnoty zrychlení ještě před triggerem $t=0$ s.

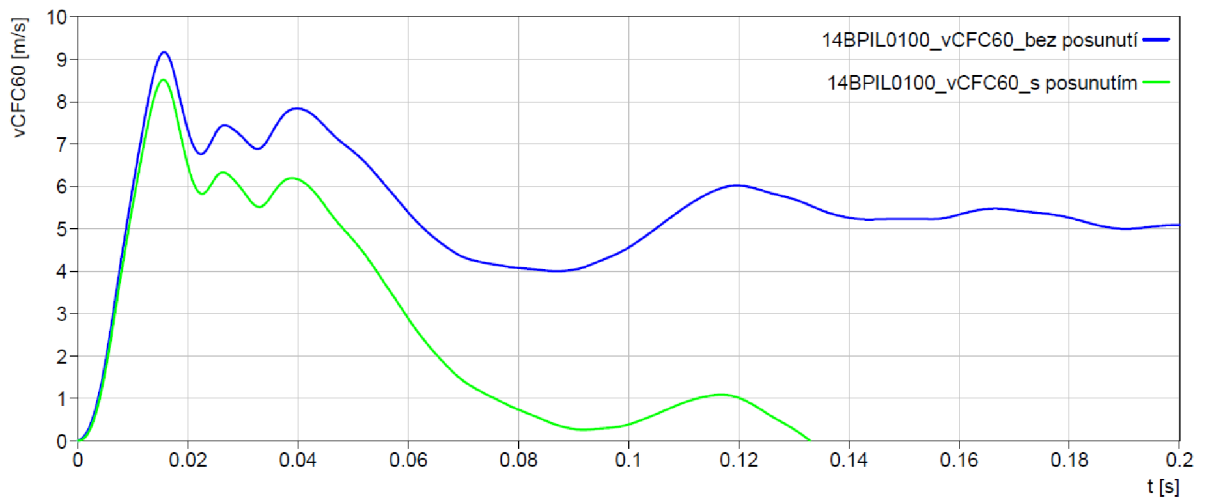
Při následném nevhodném zpracování signálu je softwarově nastavena nulová hodnota zrychlení pro čas $t=0$ s. Touto operací je změněna celková směrnice křivky zrychlení, která se nevhodně projeví v integrovaném průběhu rychlosti.



Obrázek 31: Naměřený průběh zrychlení při boční nárazové zkoušce; [23]



Obrázek 32: Porovnání průběhu zrychlení s prostým posunem; [23]



Obrázek 33: Rozdíl v průběhu rychlosti vlivem nastavení nulové hodnoty; [23]

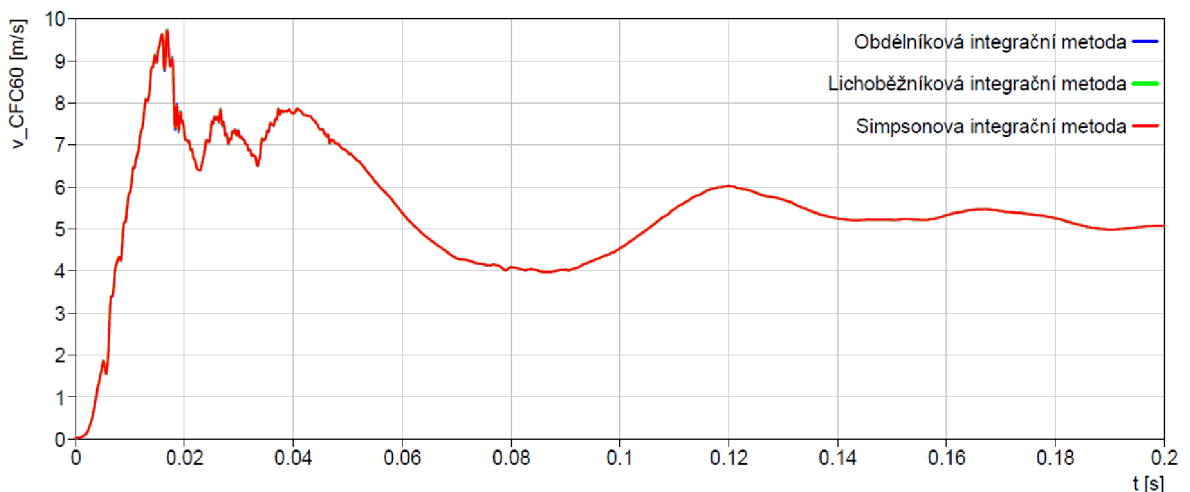
Pro správnost zpracování dat by mělo být dosahováno nulové hodnoty zrychlení v čase $t=0$ s, proložením nástupní křivkou zrychlení s exponenciálním charakterem. [23]

Posun na klidovou hodnotu zrychlení je ve Škoda Auto a.s. prováděn pomocí výpočtu střední hodnoty zrychlení v časovém intervalu (-40 až -10) ms. Celý průběh zrychlení je poté o tuto hodnotu posunut.

2.7.2 NUMERICKÁ INTEGRACE SIGNÁLU

Zpracování signálu zrychlení z nárazové zkoušky je prováděno v softwaru DIAdem. Je zde provedeno digitální filtrování dat a následná integrace na rychlost deformace. Numerická integrace záznamu probíhá lichoběžníkovou metodou, která má dostatečnou přesnost.

Porovnáním přesnosti jednotlivých integračních metod na signálu zrychlení z nárazové zkoušky se zabývala studie provedená na Technické univerzitě v Liberci. Z jejích výsledků uvedených v [23] vyplývá velice malý rozdíl ve vypočtených hodnotách rychlosti. Metoda integrace nemá tedy výrazný vliv na vypočítanou rychlost deformace B-sloupku.



Obrázek 34: Průběh rychlosti deformace B-sloupku; [23]



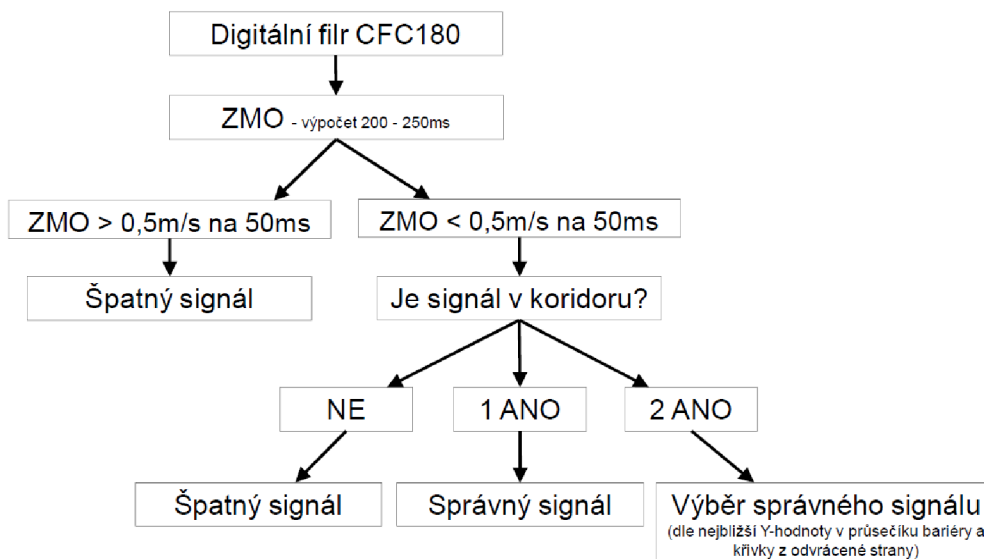
3 ANALÝZA DAT Z DOSAVADNÍCH MĚŘENÍ

Kapitola obsahuje vyhodnocení vysokorychlostních nárazových testů, při kterých byly zdvojeny snímače umístěné na B-sloupku. Výběr vhodného způsobu montáže pro konkrétní test se vždy lišil, a tak nelze jednoznačně rozhodnout, která metoda se projevila jako vhodnější.

3.1 ZPŮSOB VYHODNOCOVÁNÍ BOČNÍHO NÁRAZU DEFORMOVATELNOU BARIÉROU

Pro vyhodnocení správnosti průběhu křivky bočního nárazu bariérou byl vytvořen vyhodnocovací skript, který porovnává průchod konkrétní křivky stanoveným koridorem. Zmíněný koridor je tvořen referenčními průběhy rychlostí B-sloupku na nenárazové straně vozidla. Další křivka určující tvar koridoru je odvozena od průběhu rychlosti kolového podvozku s deformovatelnou bariérou (MDB), na které je zvolen interval s posunem rychlosti o $\pm 0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ve svislé ose. [4]

Pro vyhodnocení správnosti se postupuje dle stanoveného schématu, ve kterém se nejprve vyhodnocuje hodnota ZMO v časovém intervalu (200 – 250) ms po iniciaci nárazu. V případě, že hodnota ZMO je v daném intervalu větší než $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, je posuzovaný signál označen jako špatný a není dále vyhodnocován. V případě, že ZMO signálu je menší než $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, nastává kontrola signálu, zda prochází koridorem. Pokud koridorem neprochází, je signál označen za neplatný. Při průchodu koridorem je zjišťováno, zda jsou oba signály platné nebo pouze jeden. Pokud nastane situace, že jsou oba signály platné, je nutno je dále posuzovat pomocí dalšího kritéria ohodnocujícího blízkost průběhu s průsečíkem bariéry a referenční křivky. [4]



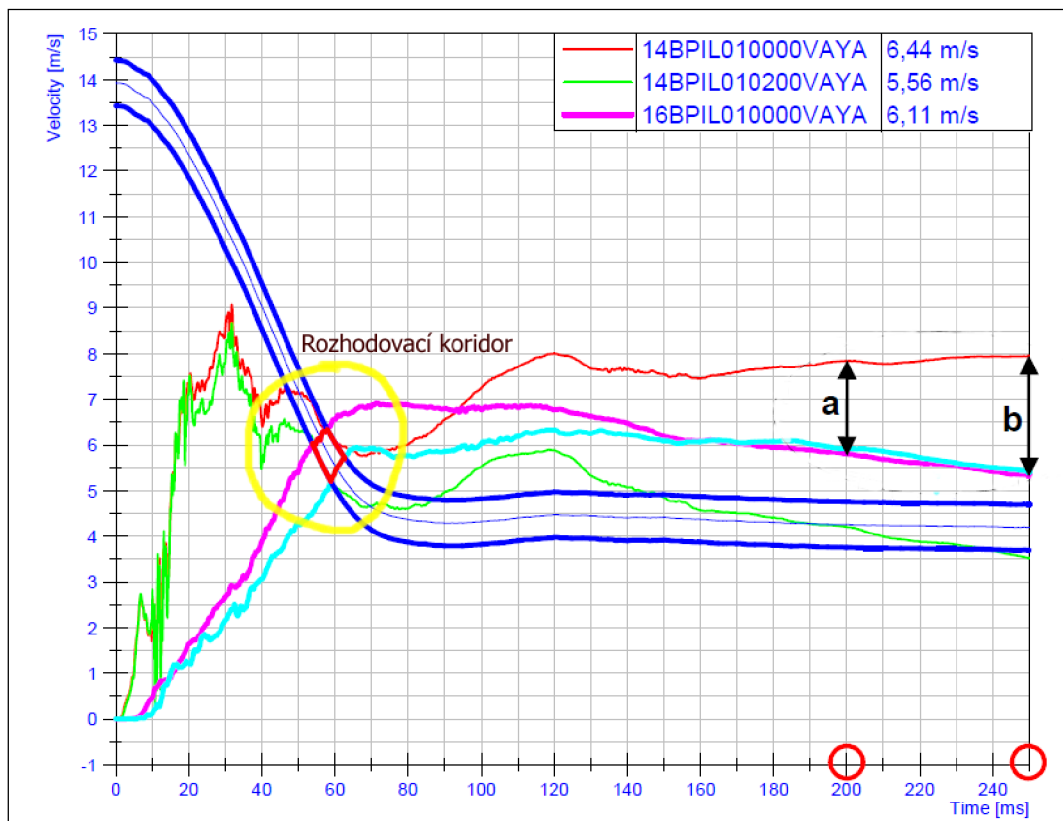
Obrázek 35: Vyhodnocovací schéma bočního nárazu bariérou pro pozice Retraktor, Nad retraktor, Pažení, Střed; [4]



Výpočet odchylky směrnice ZMO je prováděn vztahem:

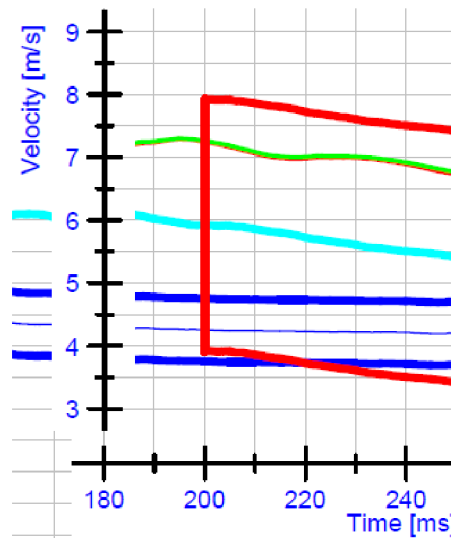
$$ZMO = |a - b| < 0,5 \text{ m/s} \quad (16)$$

Pro montážní pozice Retraktor, Nad retraktorem, Střed, Pažení je používána fialová křivka Retraktor z nenárazové strany vozidla. Pro signály z pozic GHV a Střecha je používána referenční křivka Střecha na nenárazové straně tyrkysové barvy. [4]



Obrázek 36: Grafické znázornění výpočtu ZMO a zakroužkovaný rozhodovací koridor pozic Retraktor, Nad retraktor, Pažení, Střed (červený obdélník); [4]

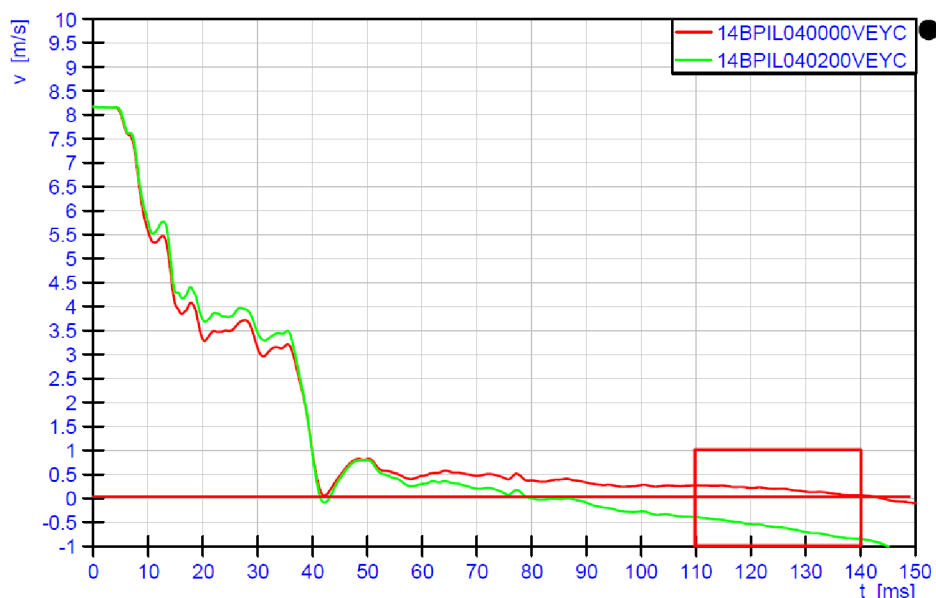
Pro vyhodnocení situace na pozicích GHV a Střecha je rozhodováno podle průchodu koridorem v intervalu (200 – 250) ms. Koridor je zde tvořen intervalem rychlostí s posunem $\pm 2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ve svislé ose. Pokud dochází k průchodu obou křivek koridorem, je vypočítáván obsah ploch pod křivkami vzhledem ke křivce Střecha na odvrácené straně v časovém intervalu (200 – 250) ms. Správný signál je poté takový, který se blíže přimyká k relativnímu nebo jehož vypočítaná plocha pod křivkou je menší. [4]



Obrázek 37: Vyhodnocovací koridor pro pozici GHV a střecha; [4]

3.2 ZPŮSOB VYHODNOCOVÁNÍ BOČNÍHO NÁRAZU NA SLOUP

U varianty bočního nárazu na sloup probíhá vyhodnocení podle jiných kritérií než v případě bočního nárazu deformovatelnou bariérou. Při této variantě je vozidlo navedeno pohybující se plošinou na pevný nehybný sloup, a tak nelze uvažovat průsečíky křivek pohybů jednotlivých elementů. Rozhodování o správnosti křivky tu probíhá na základě předpokladu, že rychlost bortící se struktury se v čase 110 ms až 140 ms blíží nule. V tomto časovém rozmezí se vytvoří hodnotící koridor, který ohraničuje nulovou rychlost se šířkou pásma $\pm 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Následně se zkoumá průchod křivek signálů tímto koridorem. Signál, jehož průběh se v určeném koridoru pohybuje těsněji podél přímky nulové rychlosti, je vybrán jako správný. [5]



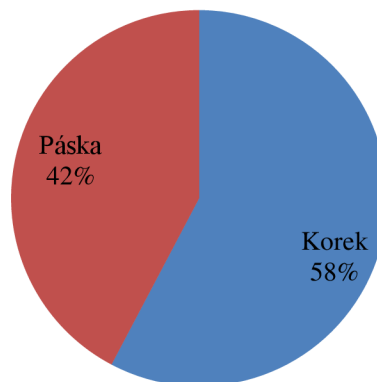
Obrázek 38: Vyhodnocení bočního nárazu na sloup, červeně vyznačený hodnotící koridor, správný signál červený; [5]



3.3 VYHODNOCENÍ ZPŮSOBŮ MONTÁŽE SNÍMAČŮ

Tato pasáž shrnuje výsledky měření vysokorychlostních bočních nárazů při osazení struktury B-sloupku dvojicí snímačů připevněných pomocí oboustranné lepicí pásky Tesa PowerStrips a pomocí korkového tlumiče, který je ke snímači i ke struktuře vozu přilepen pomocí tavné pistole. Informace byly zpracovány z pěti modelových řad automobilů Škoda, testovaných mezi roky 2011 až 2015.

Celková vhodnost montáže



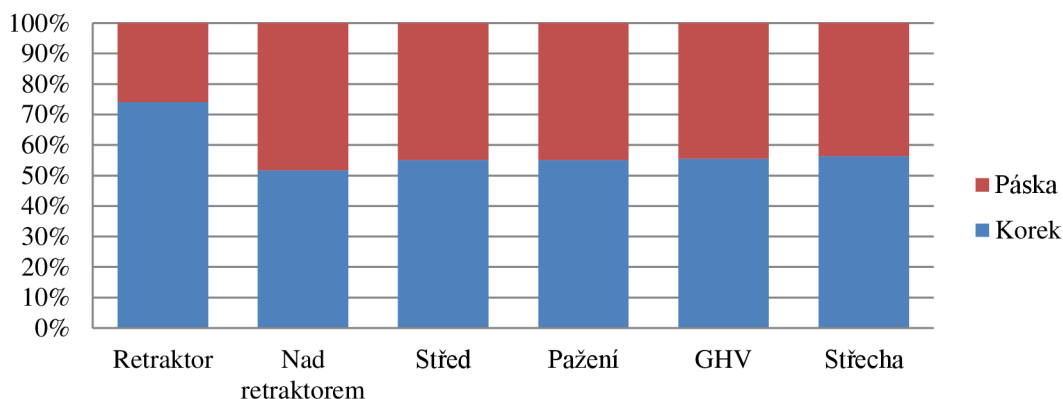
Obrázek 39: Srovnání vhodnosti způsobu montáže

Podnětem ke zhodnocení dvojice způsobů montáže akcelerometrů byl záměr zjednodušit a zkrátit přípravnou fázi vozidla před nárazovou zkouškou. Montáž akcelerometrů dvěma způsoby prodlužuje celkovou přípravu vozu a také klade zvýšené nároky na volbu umístění na struktuře B-sloupku. Na některých pozicích je pouze omezená vhodná montážní plocha, ke které je snímač možno připevnit. Z celkového zhodnocení montáže pro všechny pozice a všechny modely vozů vyplývá, že v 58% byl za správný signál vybrán záznam snímače připevněný pomocí tavné pistole s korkovým tlumičem. Použití oboustranné lepicí pásky Tesa Powerstrips se prokázalo ve 42% platných záznamů. Obecně tedy nelze jednoznačně rozhodnout o vhodnosti jednotlivých montážních způsobů.

Z tohoto důvodu bylo provedeno srovnání způsobů montáže pro jednotlivé pozice na B-sloupku. Na montážní pozici Retraktor se prokázalo jako vhodný montážní způsob lepení tavnou pistolí s použitím korkového tlumiče, a to v 74% případů. Dá se tedy odvodit, že na této montážní pozici mělo stabilnější výsledky použití tavné lepicí pistole a korku nežli pásky Tesa. Na ostatních pozicích se neprojevil ani jeden způsob jako stabilnější a hodnoty se pohybovaly v rozsahu 49% až 57%.

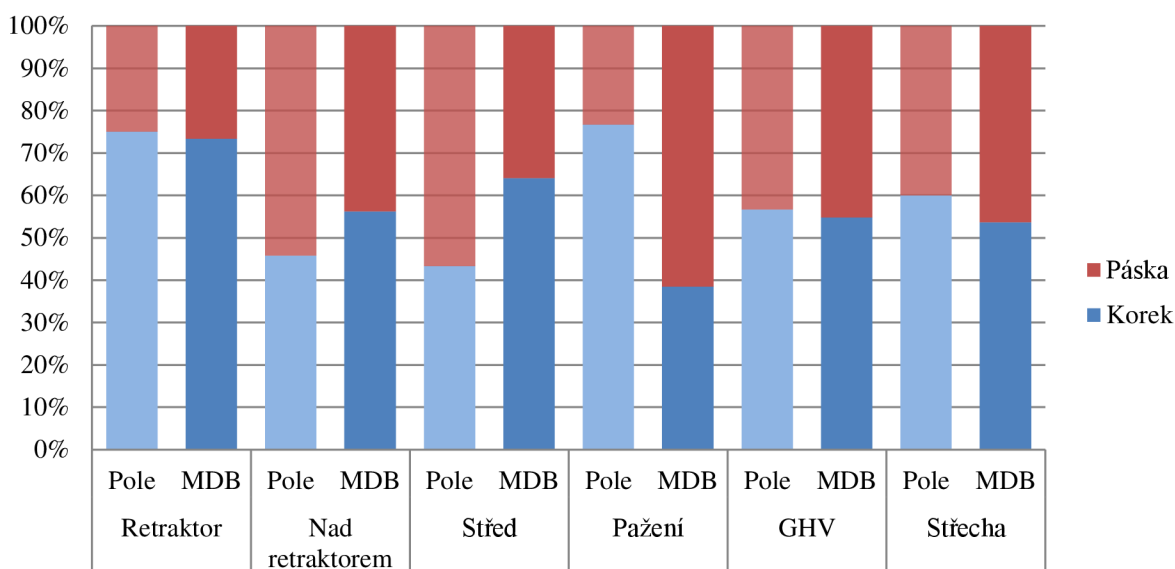


Vhodnost montáže na pozici



Obrázek 41: Procentuální porovnání montáže na jednotlivých pozicích

Porovnání při různých zkouškách



Obrázek 40: Porovnání vhodnosti montáže se zahrnutím druhu zkoušky

Zdvojování snímačů je prováděno na obou variantách bočních nárazů, tedy bočním nárazu na sloup a nárazu deformovatelnou barierou. Bylo tedy potřeba ověřit konzistentnost, zda výsledky platí pro obě varianty. Velký rozskok výsledků se projevil na pozici Pažení, kde při bočním nárazu barierou vyšla varianta montáže přes korek pouze v 38% případů. Naproti tomu při nárazu na sloup vyšla montáž přes korek výhodněji v 78% případů. Ostatní měřené pozice vyšly přibližně shodně s rozptylem do 18%.

Shrnutí tedy je, že na pozici Retraktor lze doporučit uchycení snímače pomocí tavné lepicí pistole s korkovým tlumičem, a to pro obě varianty bočních testů. Dále jednoznačně vyplývá, že při bočním nárazu na sloup je pro stabilnější měření na pozici Pažení vhodné volit uchycení akcelerometru tavnou lepicí pistolí s korkem. Konkrétní výsledky pro jednotlivé modely vozů jsou přiloženy v příloze P1 a P2.



4 NÁVRH UCHYCENÍ AKCELEROMETRU

Kapitola popisuje nalezení vhodného způsobu přichycení akcelerometru k povrchu B-sloupku, který zaručí správnost měření zrychlení při bočních nárazových zkouškách.

Základní myšlenka spočívá v nalezení pružného uchycení, které bude dostatečně mechanicky odolné a nijak neovlivní vlastní rezonanční frekvenci akcelerometru a zároveň nezpůsobí deformaci přenášeného signálu. Ideou je použití materiálu sloužícího jako mechanický filtr, který přeneseme vibrace činné při deformaci a odfiltruje rezonance jednotlivých dílů karoserie. Z tohoto důvodu byla oslovena řada firem zabývajících se tlumením rázů a vibrací.

4.1 IDEÁLNÍ TLUMIČ VIBRACÍ

Návrh ideálního mechanického tlumiče pro utlumení parazitních vibrací a zároveň potlačení možných excitovaných stavů akcelerometru podléhá několika základním podmínkám. Prvním určujícím parametrem je frekvenční rozsah pracovního pásma. Při měření vzorkovací frekvencí 10 kHz jsou HW filtrem výrazně potlačeny frekvence nad 2,6 kHz a při měření 20 kHz jsou to frekvence nad 4 kHz. Mechanický tlumič je tedy nutné naladit do této frekvenční oblasti. Navazujícím parametrem na přenášené frekvence je následné zpracování signálu, který je numericky integrován na rychlost, kdy je směrnice křivky rychlosti nejméně ovlivněna nízkými frekvencemi rázu.

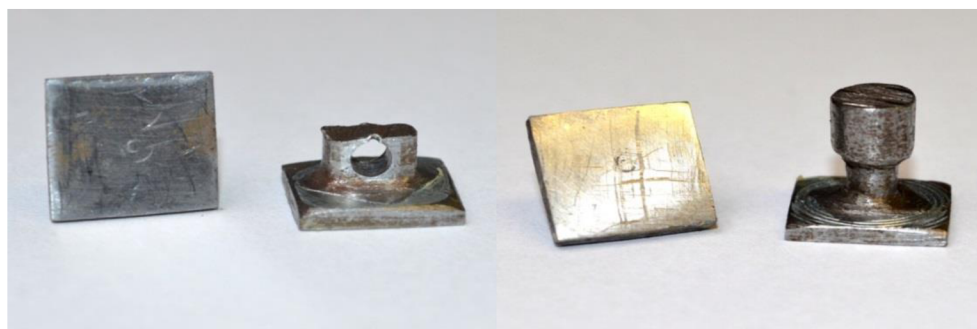
4.2 ZPŮSOB VÝBĚRU VHODNÉHO VZORKU

4.2.1 PŘIPEVNĚNÍ KE STRUKTUŘE

Pro připevnění tlumiče ke struktuře B-sloupku byly zvoleny tři způsoby lepení. První způsob bylo lepení vteřinovým lepidlem Loctite 454. Další způsob byl pomocí tavné lepicí tyčinky a třetím způsobem lepení Chemoprenem.

U lepených spojů byly ověřovány mechanické vlastnosti, kdy byla zjišťována dostatečná pevnost v tahu a ve střihu. Pro tyto testy byly vyrobeny testovací přípravky, které mají shodnou montážní plochu jako snímače MSC 1010, tedy rovinnou plochu (12 x 13) mm.

Měření mechanických vlastností bylo prováděno pomocí siloměru Chatillon DFE-200, který je používán pro měření otevírací síly dveří. Naměřené hodnoty sil nutných pro odtržení přípravku od struktury byly vyhodnoceny a bylo stanoveno, že nejvhodnějšími způsoby pro připevnění vzorků je vteřinové lepidlo a tavná lepicí tyčinka. Zamítnutí chemoprenu bylo především podmíněno vysokou pracností montáže. Dále bylo u jednotlivých tlumících materiálů zjišťováno místo odpadnutí, zda došlo k oddělení v adhezni vrstvě nebo k porušení struktury materiálu.



Obrázek 42: Přípravky na ověření pevnosti spoje, vlevo přípravek pro namáhání tahem, vpravo přípravek pro namáhání střihem

4.2.2 TLUMICÍ SCHOPNOSTI

Prvotní zkoušky tlumicích vlastností byly prováděny rázovým kyvadlem generujícím ráz se zrychlením až 700 g. Rázové kyvadlo navrhl Ing. Vlastimil Remiš. Po zpracování dat bylo rozhodnuto, zda zkoumaný tlumicí materiál správně funguje a může být použit k otestování při reálném nárazovém testu.

RÁZOVÉ KLADIVO

Rázové kladivo je složeno ze čtyř základních částí. Nejdůležitější částí jsou dvě kyvadla o různých hmotnostech. Těžší kyvadlo je zaaretováno ve 140° nad svislou polohou a po uvolnění pákou západky je zemskou přitažlivostí urychlováno až do spodní svislé polohy, kde předá rázovou energii lehčímu kyvadlu. Lehčí kyvadlo je tvořeno trubicí s obdélníkovým profilem s přivařenou montážní plochou pro snímače. Další částí ústrojí je nosná konstrukce a aretační páka, která vypouští velké kyvadlo.

Při průchodu velkého kyvadla svislou polohou dochází ke srážce a předání kinetické energie s malým kyvadlem. Tento okamžik je zakryt nosnou konstrukcí samotného kyvadla a není možno sledovat jeho skutečný pohyb. Z tohoto důvodu byla vytvořena nová stojná noha, umožňující sledovat pohyb kyvadel v celém jejich rozsahu.



Obrázek 43: Vlevo původní rázové kyvadlo, vpravo přepracovaná stojná noha



Obrázek 44: Montážní plocha osazená snímači zrychlení, montážní způsob zprava: včeli vosk, vteřinové lepidlo, Tesa Powerstrips, tavná tyčinka s korkovou destičkou



POČÁTEČNÍ PŘEDPOKLADY O POHYBU KYVADEL

Základním parametrem pro rozhodování o vhodnosti jednotlivých tlumičů byly stanoveny základní předpoklady, jaký průběh by měly mít měřené kinematické veličiny. Snímače umístěné na kyvadle by měly v počáteční svislé poloze detekovat nulové zrychlení. Pohybem po kruhové dráze akcelerometry detekují zrychlení vyvolané rázem druhého kyvadla. Při výkmitu kyvadla do maximální výchylky dochází k zastavení malého kyvadla v této pozici, a tudíž by zde rychlost měla být nulová. Z časové integrace zrychlení by měla být tato hodnota patrná. Pro ověření správnosti tohoto předpokladu byl cyklus kyvadla natáčen vysokorychlostní kamerou se snímkovací frekvencí 2000 Hz. Videozáznam byl použit pro určení časového okamžiku nejvyšší výchylky. Zjištěný čas maximální výchylky z videozáznamu byl 0,342725 s. V intervalu (0-0,342725) s, by se rychlost kyvadla měla pohybovat od její maximální záporné hodnoty k nule, v daném okamžiku mít nulovou hodnotu a následně růst až do její maximální kladné hodnoty. V okamžiku 0,765 s dochází k druhému rázu kyvadla, který se podle předpokladu projevuje skokovou změnou rychlosti do záporných hodnot.



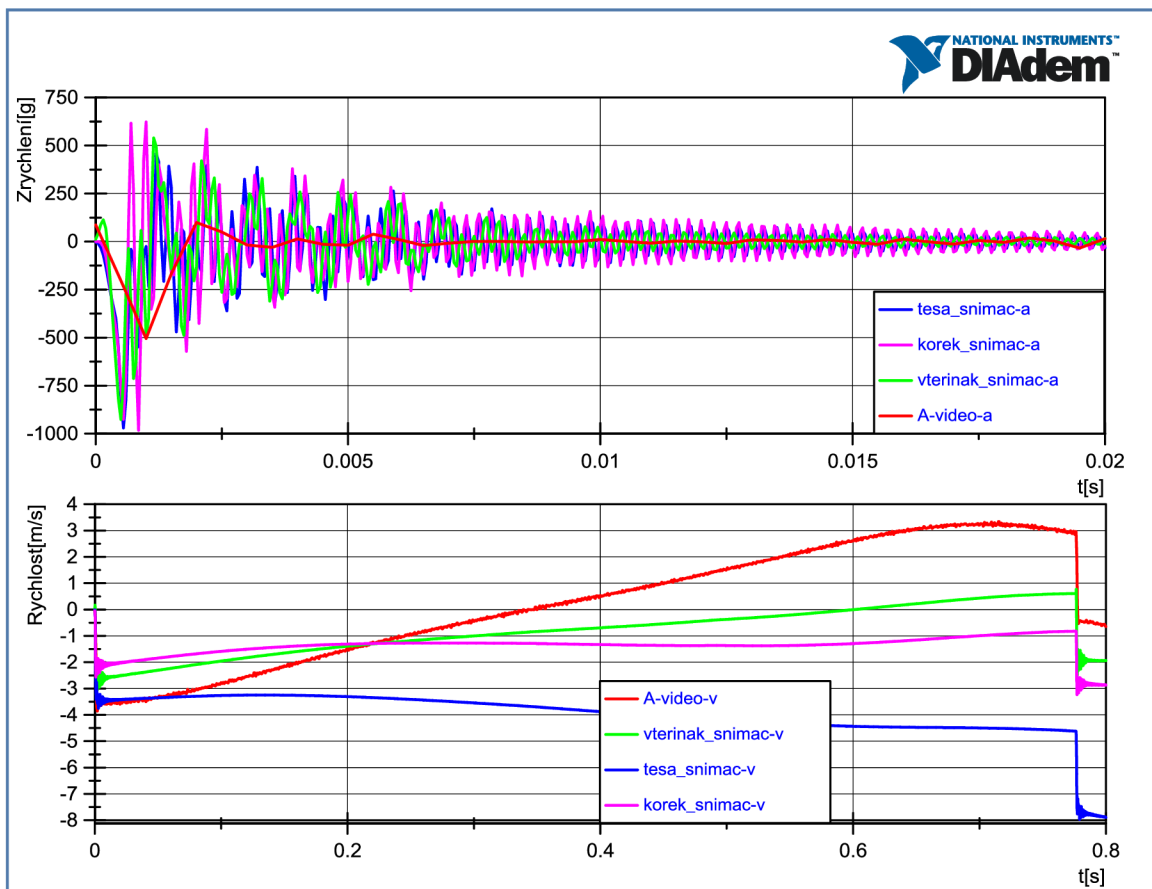
Obrázek 45: Charakteristické polohy dvojice kyvadel, levý horní - okamžik počátečního rázu, pravý horní - maximální vychýlení kyvadla se snímači, levý dolní - průchod nulovou hodnotou, pravý dolní - druhý ráz kyvadel



Na dvojice kyvadel byly přilepeny charakteristické body, u kterých lze pomocí speciálního softwaru sledovat jejich pohyb. Hodnoty změřené snímači by měly odpovídat hodnotám z obrazové analýzy. Pro porovnání s naměřeným signálem platí jistá omezení z důvodu rozdílnosti vzorkovacích frekvencí. Ráz kyvadel byl zaznamenáván vzorkovací frekvencí 20 kHz a software zpracovává videozáznam o frekvenci 2 kHz. Nelze tedy přesně porovnávat průběhy rychlostí a zrychlení. Porovnáním křivek zrychlení snímačů a bodu z obrazové analýzy je patrný rozdíl. Křivka rychlosti pohybu bodu na kyvadle byla použita pro porovnání počáteční rychlosti rázu a poté pro stanovení přesné hodnoty maximální výchylky, kde by měla být rychlost pohybu nulová.

Omezením je nízká citlivost snímače, který po zachycení silného rázu projeví určitou necitlivost a nezachytí nízké složky zrychlení působící při pohybu kyvadla. Tento jev je způsoben hodnotou citlivosti, která je pro používaný akcelerometr MSC 1010M/LC 0,2 mV/g. Tato hodnota je pro zjišťování výchylky ze signálu zrychlení příliš nízká. Aby bylo možné přesněji určovat výchylku měřeného objektu, měla by citlivost snímače dosahovat hodnot stovek mV/g. Snímač s vysokou citlivostí je však již z principu nevhodný pro použití na měření nárazových zkoušek, protože zde dochází k vysokým hodnotám zrychlení a prudkým šokům.

Z těchto důvodů nelze porovnávat průběhy rychlostí, protože směrnice rychlostí a jejich návrat k nulové hodnotě nedosahuje počátečních předpokladů. Tyto okolnosti byly ověřeny dalšími experimenty, které prokázaly stejnou věc.



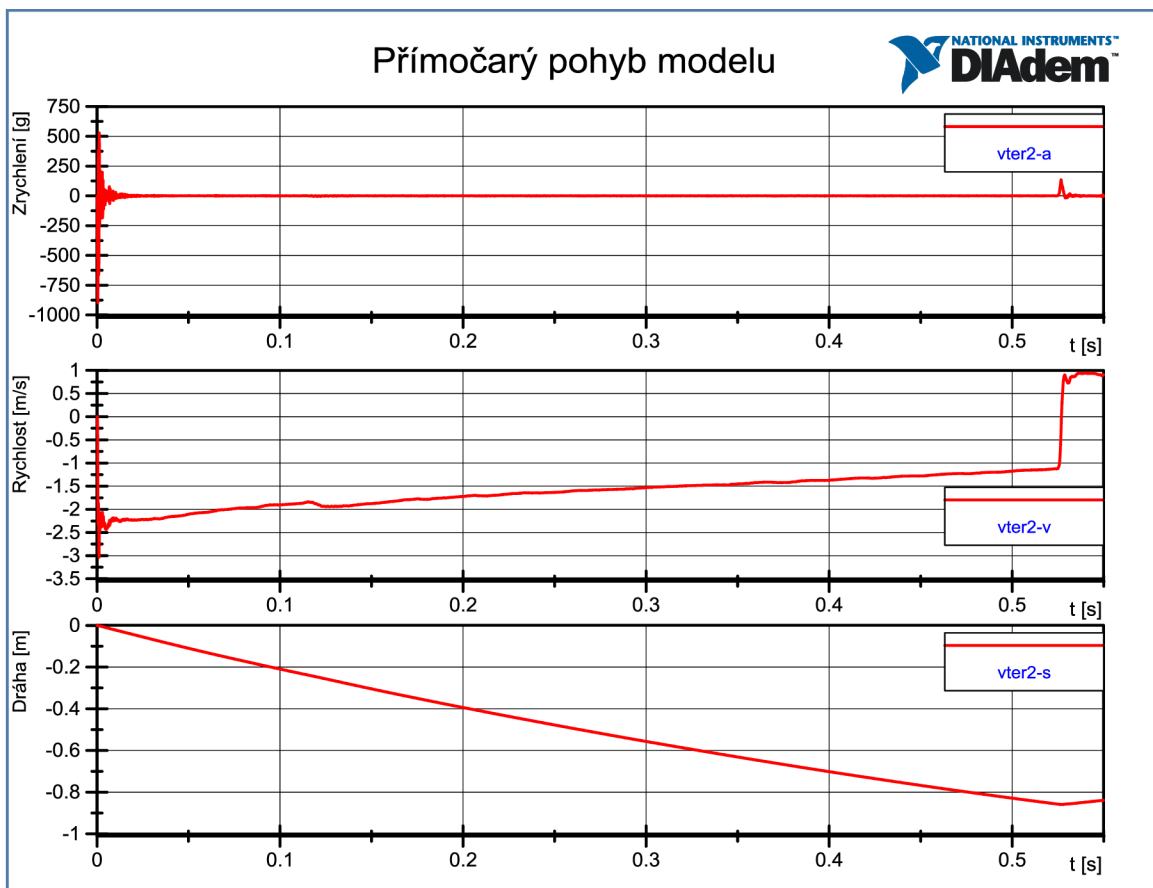
Obrázek 46: Graficky vynesené předpoklady o pohybu kyvadla



LINEÁRNÍ POHYB SNÍMAČE

Druhým experimentem potvrzujícím nevhodnost snímače měřit výchylku bylo zaznamenávání pohybu jedoucího modelu vozu. Pro tento experiment byla vyrobena kolejnice, která zajišťovala přímočarý pohyb po přesně definované dráze 1 m. Do této dráhy byl umístěn model auta s připevněným akcelerometrem, který na konci dráhy narážel do překážky, čímž určoval přesný čas dokončení dráhy. K urychlení modelu bylo využíváno rázové kyvadlo, na kterém byl kontaktní trigger určující čas iniciace zrychlení, tedy čas $t=0$ s.

Po zpracování výsledků se potvrdilo očekávání nedostatečné citlivosti akcelerometru. Po dvojí integraci záznamu zrychlení nebyla vypočtená dráha shodná se skutečnou vzdáleností uraženou modelem. Podle výpočtu model urazil dráhu $s=859$ mm.



Obrázek 47: Pohyb modelu vozu



AKCELEROMETR MSC 1010M/LC

Jednoosý akcelerometr s měřicím rozsahem 1000 g tvořen hliníkovým pouzdem o rozměrech (12 x 13 x 7) mm. Hmotnost snímače je 2,4 gramů a je opatřen kabelem délky 4 m s konektorem Lemo se 7 piny. Výhodou těchto snímačů je nízká cena, která umožňuje jejich použití v situacích, kdy může dojít k jejich zničení. Snímač je do Škoda Auto a.s. dodáván ve variantě s vnitřním tlumením, které by mělo mít hodnotu 0,4 až 0,5. Tyto snímače jsou poté označeny žlutou páskou. Toto tlumení je vytvořeno plynovou náplní, která zamezuje kmitání na vlastní frekvenci a zároveň chrání snímač proti přetížení. [18]

Tabulka 2: Parametry snímače MSC 1010M/LC; [18]

	Hodnota	Jednotka
Měřicí rozsah	1000	± g
Frekvenční odezva	3000	Hz
Citlivost při 80 Hz	0,2	mV/g
Napájecí napětí	5 až 12	V DC
Spotřeba proudu	2,5	mA
Útlum	0,7	
Nelinearita do 200 g	0,8 (max. 2)	± % FS
Příčná citlivost	1,5 (max. 3)	%
Zero Mesurand Output	10 (max. 30)	± mV
Teplotní citlivost - ZMO	2	± mV
Teplotní citlivost - citlivost	20	±%
Odpor můstku	4	kΩ
Odpor zdroje (SIG+ SIG-)	4	kΩ
Izolační odpor	90	MΩ (min.)
Max. rázové zatížení (pulz > 2 ms)	2000	g (max.)
Max. sinusové zatížení (< 2000 Hz)	50	g (max.)
Warm-up period	120	s (max.)
Pracovní teplota	-20 až +70	°C
Skladovací teploty	-30 až +70	°C

Podle doporučení výrobce by snímač měl být připevňován rychleschnoucím lepidlem X60 HBM nebo oboustrannou lepicí páskou.



Obrázek 48: Akcelerometr MSC 1010M/LC

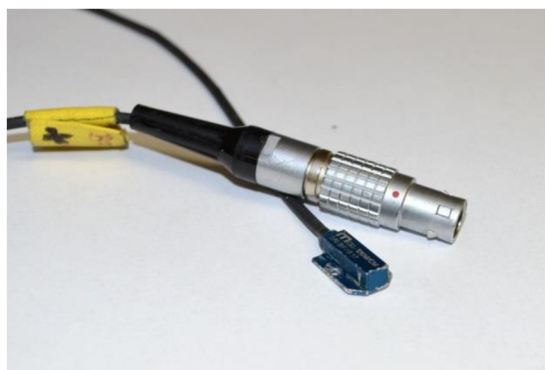


AKCELEROMETR KISTLER M126

Tento akcelerometr byl vyvinut pro nasazení při crash testech nebo osazení v testovací figuríně. Hliníkové pouzdro snímače je vybaveno dvojicí děr, umožňujících přišroubování k testovanému místu. Celkové rozměry jsou (14,7 x 10,2 x 4,75) mm a hmotnost je 1 gram. [16]

Tabulka 3: Parametry snímače Kistler M126, [16]

	Hodnota	Jednotka
Měřicí rozsah	2000	± g
Frekvenční odezva	4000	Hz
Citlivost při 80 Hz	0,18	mV/g
Napájecí napětí	2 až 12	V DC
Spotřeba proudu	6	mA
Útlum	0,7	
Nelinearita do 200 g	0,1 (max. 0,3)	± % FS
Příčná citlivost	1 (max. 1,5)	%
Zero Mesurand Output	10 (max. 20)	± mV
Teplotní citlivost - ZMO	3	± mV
Teplotní citlivost - citlivost	-0,18	%/°C
Odpor můstku	1,7	kΩ
Odpor zdroje (SIG+ SIG-)	1,7	kΩ
Izolační odpor	90	MΩ (min.)
Max. rázové zatížení (pulz > 2 ms)	8000	g (max.)
Max. sinusové zatížení (< 2000 Hz)	200	g (max.)
Warm-up period	120	s (max.)
Pracovní teplota	-20 až 80	°C
Skladovací teploty	-30 až 90	°C

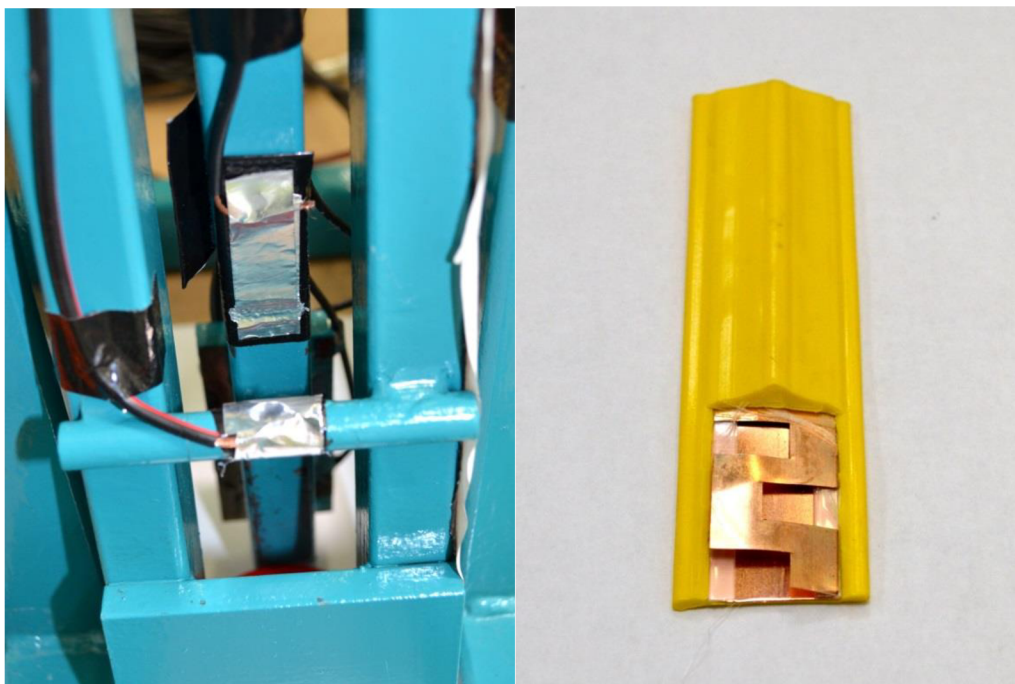


Obrázek 49: Akcelerometr Kistler M126



TRIGGEROVÁNÍ

Pro určení počátku měření rázovým kladivem a také určení přesného okamžiku nárazu byl vytvořen jednoduchý trigger. Jeho konstrukce je tvořena dvojicí kontaktů na obou kyvadlech. Kontakty jsou vyrobeny z hliníkové lepicí pásky, která vede elektrický proud. K těmto páskám vede kabel, který je připojen do jednotky Kidau Advanced do vstupu TRG IN, kde je pomocí sledování poklesu napěťové hrany určen počátek měření. Je zde sledován pokles napětí z určité hodnoty na hodnotu nižší, který je charakterizován přechodem $[1 \rightarrow 0]$. Ukončení měření bylo nastaveno jako časový interval 2 s po spuštění triggeru. V záznamu signálu je nastaven čas 0 s při iniciaci nárazu a je složen z časového okamžiku -0,2 s před triggerem, aby bylo možné sledovat signál i před započítáním rázu a 2 sekundového intervalu po triggeru.



Obrázek 50: Vlevo kontaktní trigger na rázovém kladivu, Vpravo triggerovací páska nárazových zkoušek

Triggerování nárazových zkoušek je prováděno žlutou triggerovací páskou, která je složena z dvojice lamelových vodivých pásků. Tato páska je umísťována do místa prvního kontaktu překážky a vozidla, kdy při jejím stisku dojde k poklesu napětí mezi lamelami a k charakteristickému přechodu $[1 \rightarrow 0]$. Při nárazové zkoušce je zaznamenáván časový interval (-0,4 – 0,6) s. Tento interval je následně v softwaru Crashdesigner ořezán na interval (-0,3 – 0,3) s.



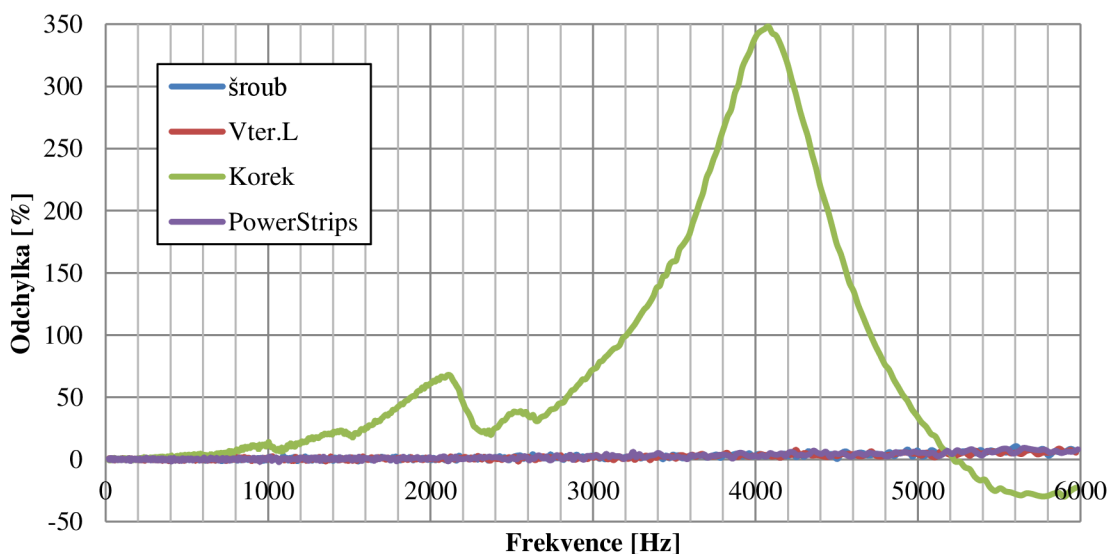
4.2.3 ANALÝZA SOUČASNÝCH ZPŮSOBŮ MONTÁŽE

VTEŘINOVÉ LEPIDLO

Pro zajištění správnosti měření je nutné zajistit dokonale tuhé připevnění akcelerometru k měřenému objektu. Jako dokonale tuhé připevnění je obecně považováno přišroubování snímače. Pouzdro používaných akcelerometrů není vybaveno otvory pro šrouby, proto bylo nutné najít jiný tuhý způsob připevnění. Jako tuhé spojení bylo zvoleno přilepení akcelerometru vteřinovým lepidlem, které je používáno pro přichycení senzorů v oblasti mimo deformaci. Pro ověření předpokladu o tuhosti byl vypracován frekvenční sweep, ve kterém by se měla objevit případná rezonance připojení. Sweep byl proveden na vibračním budiči Spektra SE-10 za použití referenčního akcelerometru PCB M353B17 v rozsahu 20 Hz až 6000 Hz. Na základě provedeného experimentu byl potvrzen předpoklad o vysoké tuhosti vteřinového lepidla. Pro další porovnávání bude vteřinové lepidlo uvažováno jako referenční snímač.

Připevnění bylo dále ověřeno na rázovém kalibračním přístroji Spektra, kde byl pneumaticky urychlovaným projektilem generován pulz zrychlení od 50 g do 1000 g. Z výsledku zkoušky je jasné, že vteřinové lepidlo má charakter tuhého připevnění. Křivky ze zkoušek šokem jsou přiloženy v příloze P3.

Frekvenční charakteristika připevnění



Obrázek 51: Frekvenční sweep současných způsobů montáže

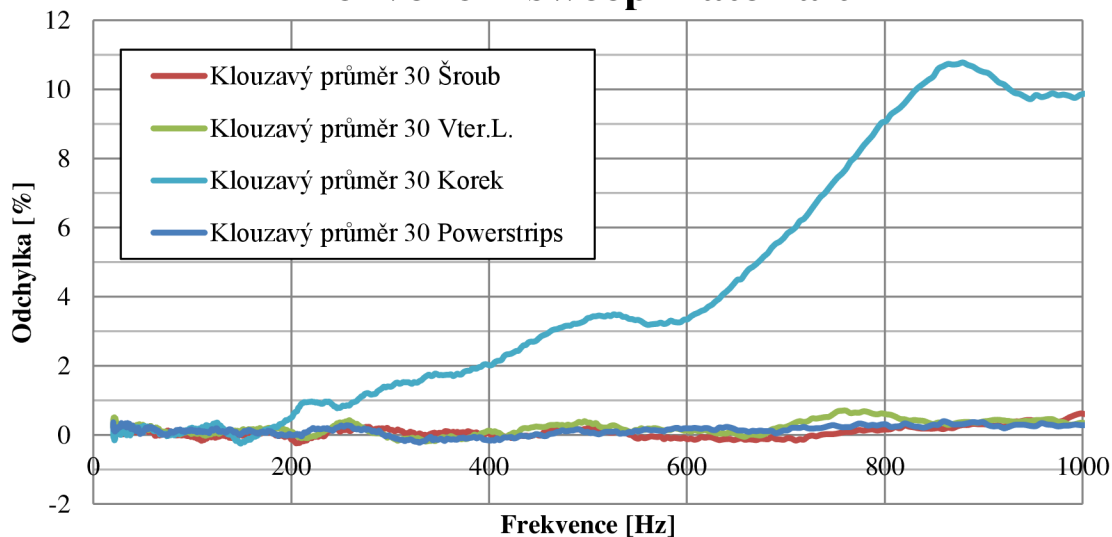
KOREK

Korkové uchycení se při vibracích do 270 Hz projevilo jako tuhé, kdy odchylka od referenčního snímače nepřesáhla 1 %. Při frekvenci 500 Hz dosáhla odchylka 3,37 % a dále rostla při zvyšování frekvence do 1000 Hz k 10,7 %. Pro vyšší frekvence odchylka strmě roste. Z křivky v grafu na Obrázku 51. je patrná možná rezonance jednotlivých komponent připevnění. Nejedná se však módy rezonance, protože vrcholky neleží v přesných násobcích frekvence od sebe.



Při rázové zkoušce se začaly objevovat odchylky již při zrychlení 325 g, kdy se projevila závit. Při vyšších zrychleních korek způsobuje časový posuv pulzu, ale zachovává správný průběh i špičku zrychlení. Křivky pulzů jsou vloženy do přílohy P3.

Frekvenční sweep materiálů



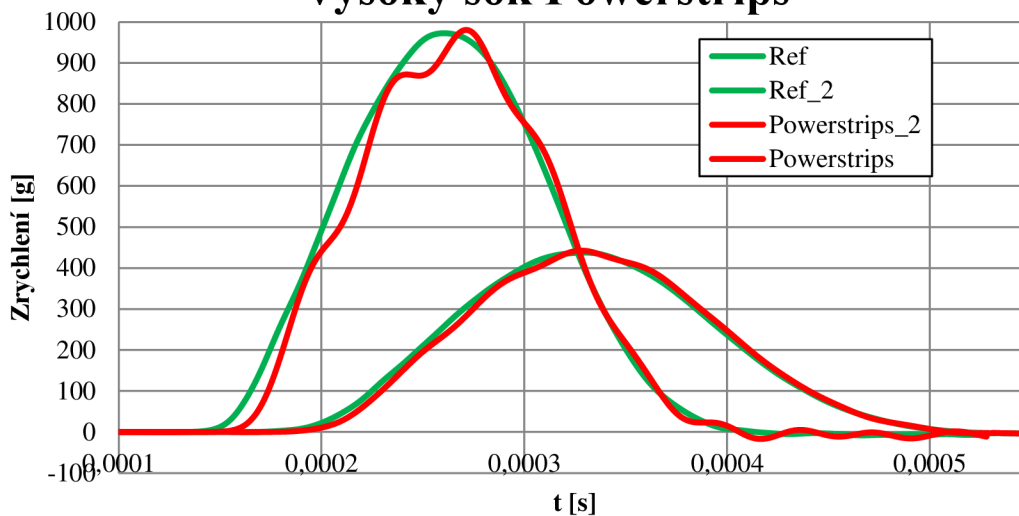
Obrázek 52: Detail frekvenčního sweepu používaných materiálů

TESA POWERSTRIPS

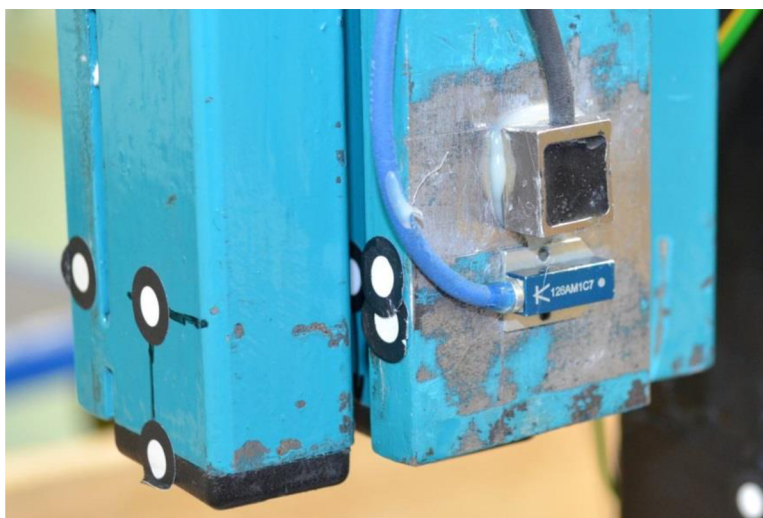
Přenosové vlastnosti oboustranné lepicí pásky ukázaly, že páska způsobuje velmi nízkou odchylku naměřeného signálu od referenčního akcelerometru. V ověřovaném spektru frekvencí se neprojevilo snížení vlastní rezonanční frekvence akcelerometru.

Při zkoušce pulzem zrychlení se páska chovala stabilně do 400 g, kdy začalo docházet k deformaci vrcholu peaku zrychlení. Přesto celková odchylka měření byla dostatečně nízká.

Vysoký šok Powerstrips



Obrázek 53: Chování pásky Tesa Powerstrips zatížené pulzy zrychlení



Obrázek 54: Připevnění akcelerometrů na kyvadle

4.2.4 ZPŮSOB VYHODNOCENÍ RÁZU KYVADLA

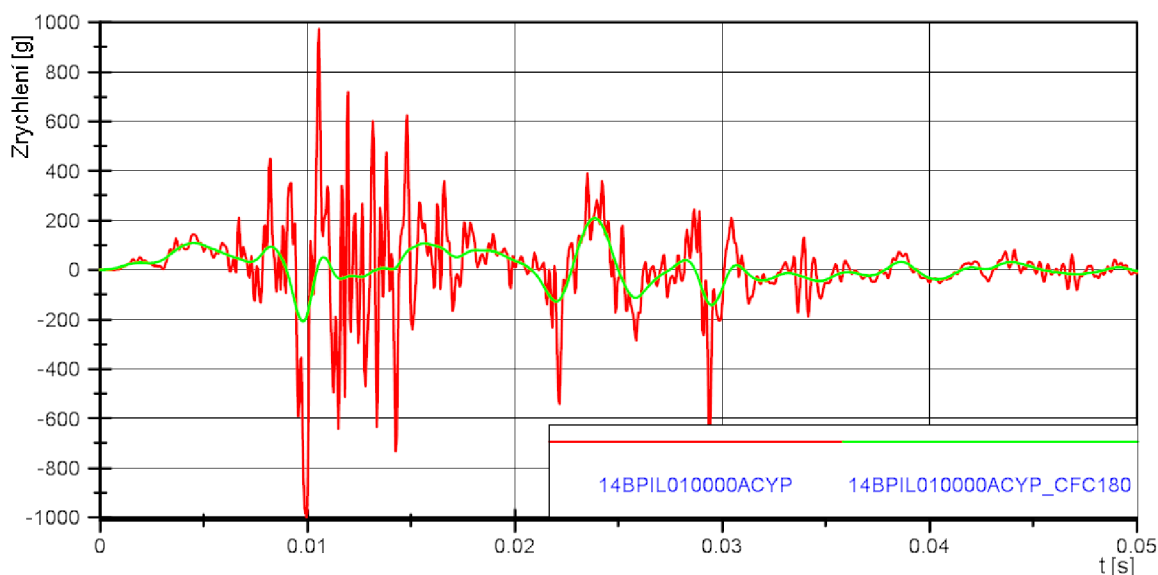
Záznam signálu z jednotlivých akcelerometrů byl zaznamenáván pomocí paměťových jednotek Kidau a Minidau. Jejich ovládání a také načtení záznamu bylo prováděno pomocí softwaru Crashdesigner, ve kterém lze provést základní úpravy signálu a také konverzi datového signálu do univerzálního formátu, aby bylo možné se signálem hlouběji pracovat v jiných programech. Převedený signál je následně zpracován softwarem DIAdem, kde byla provedena numerická integrace zrychlení. Grafické průběhy zrychlení a rychlostí byly následně porovnávány se signály tlumenými páskou Tesa Powerstips, o které bylo ve Škoda Auto a.s. rozhodnuto, že ji lze používat jako referenční signál. Průběh rázu byl také zaznamenáván snímačem bez mechanického tlumiče, který byl připevněn vteřinovým lepidlem. Pro tuto aplikaci byl zvolen snímač Kistler M126 s rozsahem 2000 g z důvodu zaručení přesnosti měření při situaci, že by došlo k vyšším zrychlením. Tento snímač nebyl v průběhu testování materiálů odmontován, aby byla zaručena stálost referenčního zrychlení. Snímač pro zkoušení jednotlivých materiálů byl umísťován na vybroušenou plochu, kde byla orýsována jeho přesná pozice.

Pro každý naměřený signál rázu na kyvadle byla vypracována FFT analýza, která má za úkol odhalit mechanické vlastnosti montáže. FFT analýza neboli Rychlá Fourierova Transformace převádí signál zrychlení z časové domény na frekvenční. V časové doméně jsou vibrace jednotlivých dílů spojeny do společného průběhu kmitů. Fourierovou transformací dojde k převodu do frekvenčního spektra, kde jsou vibrace jednotlivých komponent rozděleny a projevují se zvýšením amplitudy zrychlení.



Pro vypracování FFT analýzy byly použity záznamy o délce 4096 hodnot, aby byla dodržena podmínka o počtu prvků mocniny dvou. Pro výpočet bylo zvoleno použití obdélníkového okna. Záznam obsahoval informace z intervalu (0 až 0,20475) s. V tomto intervalu je vybuzen ráz zrychlení a poté dojde k samovolnému dokmitu. Hlavní zkoumaný jev byl tedy posuv vlastní rezonanční frekvence snímače a také tlumení. Při vykreslení grafu s frekvencemi na vodorovné ose a amplitudami na svislé byla jasně patrná například vlastní frekvence kyvadla s namontovanými snímači okolo 4000 Hz. Při této frekvenci docházelo k výraznému zesílení amplitudy zrychlení. Z výsledků frekvenčního sweepu používaných upevnění bylo stanoveno, že přilepení vteřinovým lepidlem a nalepení oboustrannou lepicí páskou je dostatečně pevné a nezpůsobuje významnou chybu měření. Nový způsob uchycení by měl mít podobné vlastnosti, a tedy i podobné výsledky z FFT.

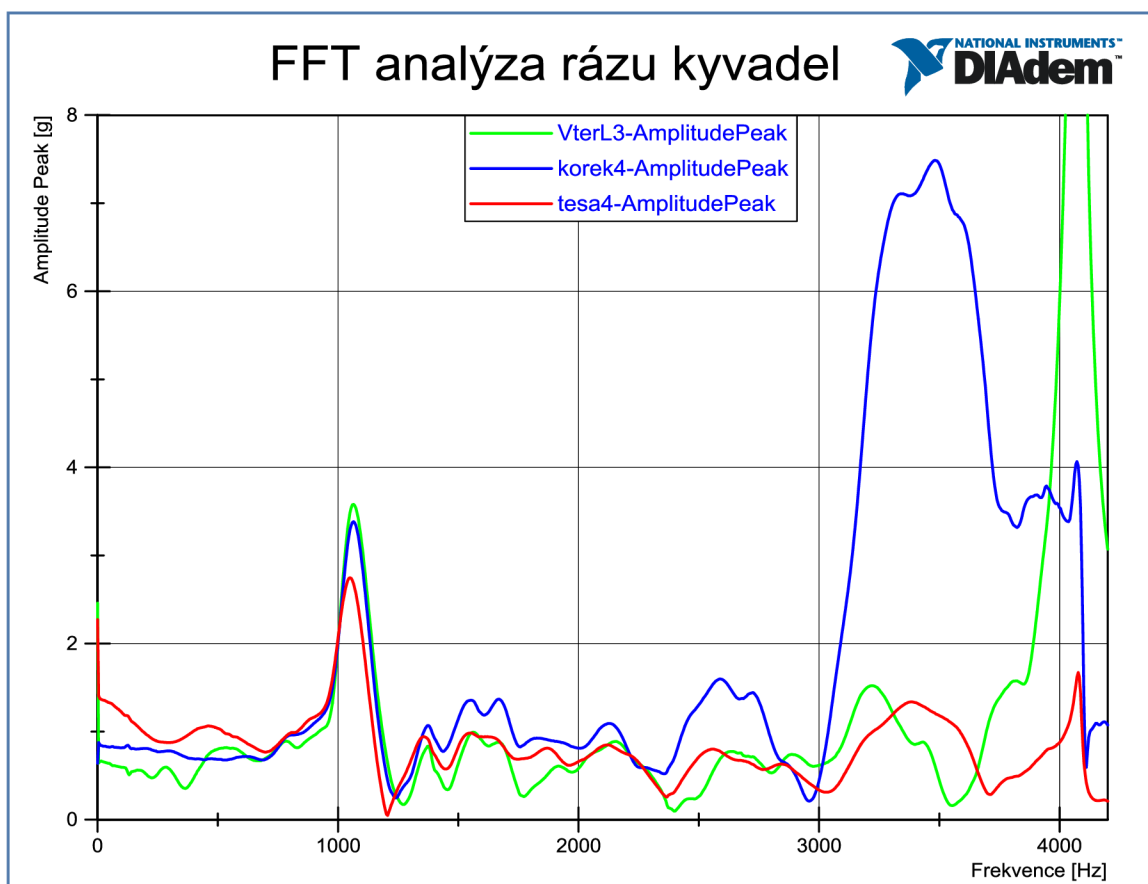
Rozhodování o vlastnostech uchycení bylo nutno provádět v časové i frekvenční doméně, protože se jedná o posouzení mechanických vlastností, které jsou ovlivňovány časem i frekvencí. Analyzováním výsledků nárazových zkoušek provedených v předešlých letech vyšel závěr o rovnoměrné úspěšnosti obou způsobů montáže. Mělo by tedy platit, že oba způsoby jsou rovnocenné a měly by vykazovat shodné znaky. Ověřením přenosových vlastností korku i pásky Powerstrips bylo zjištěno podobné chování do frekvence 300 Hz. Mechanismus pro vyhodnocení výsledků nárazových zkoušek je postaven na fyzikálním předpokladu o průběhu křivky rychlosti. Tato křivka je podle normy SAE J211 vypočítávána z filtrovaného průběhu zrychlení, které je filtrováno filtrem CFC 180. Filtr má charakter dolní propusti, tedy odřízne kmity s frekvencemi vyššími než 300 Hz se zachováním plochy pod křivkou zrychlení. Testem korku i pásky pulzy zrychlení bylo zjištěno spolehlivé přenesení pulzu zrychlení 300 g bez deformace. Filtrovaný průběh reálné nárazové zkoušky obsahuje zrychlení o maximálních hodnotách 210 g. Pro tyto skokové hodnoty zrychlení je materiál zaručen správný přenos.



Obrázek 55: Porovnání filtrovaného a nefiltrovaného průběhu zrychlení nárazové zkoušky



Rozhodování o vlastnostech uchycení bylo provedeno na základě křivky zrychlení a FFT analýzy. Podle křivky zrychlení bylo stanoveno, jak materiál reaguje na zatížení šokem, zda deformuje náběhovou křivku zrychlení. Z frekvenčního spektra rázu bylo stanoveno, při jakých frekvencích materiál ovlivňuje snímací výstup akcelerometru, a tedy způsobuje možnou chybu měření. V případě, že dochází ke zvýšení amplitudy kmitu, je citlivost akcelerometru snižována mechanickými vlastnostmi uchycení. Při nižší amplitudě je citlivost zvýšena a snímač je materiálem tlumen.



Obrázek 56: FFT analýza rázu kyvadel pro referenční materiály



4.3 KOMERČNĚ VYRÁBĚNÉ TLUMÍCÍ MATERIÁLY

V tomto oddíle jsou popsány jednotlivé materiály, které byly použity jako mechanický filtr pro připevnění k rázovému kyvadlu. Materiály byly porovnávány na základě křivky zrychlení a FFT analýzy rázu s referenčními materiály používanými při nárazových zkouškách. Grafy pro jednotlivé materiály jsou přiloženy v příloze P4 diplomové práce.

Při nárazových zkouškách je signál primárně vyhodnocován na křivce rychlosti, kdy je její průběh dán fyzikálními předpoklady o nárazu. Křivky rychlosti jsou integrovány z filtrovaných průběhů, kde jsou frekvence do 300 Hz. Vybraný materiál by tedy neměl způsobovat deformaci náběhu křivky zrychlení a dále také odchylky ve frekvenčním spektru rázu s referenčním průběhem.

4.3.1 CELLUTEC IMPAXX

Cellutec IMPAXX je modrý pěnový porézní materiál s anizotropními vlastnostmi. Je vyráběn ve více hustotách, které mění jeho mechanické vlastnosti. Pěna byla vyvinuta za účelem absorpce nárazové energie například do dveřních výplní a podobných exponovaných míst. Anizotropní vlastnost umožňuje zachycení deformační energie ve směru nižší tuhosti a zajištění snímače proti posunu do strany. Pro uchycení tohoto materiálu nelze použít tavné pistole, protože roztavené lepidlo o teplotě 100°C rozpouští i samotný Impaxx. Při lepení vteřinovým lepidlem dochází k rozleptání pěnové vrstvy a k jejímu zborcení. Dalším omezením je zborcení deformační vrstvy materiálu, a tedy nemožností jeho použití. Z těchto důvodů není materiál vhodný pro připevňování snímačů.



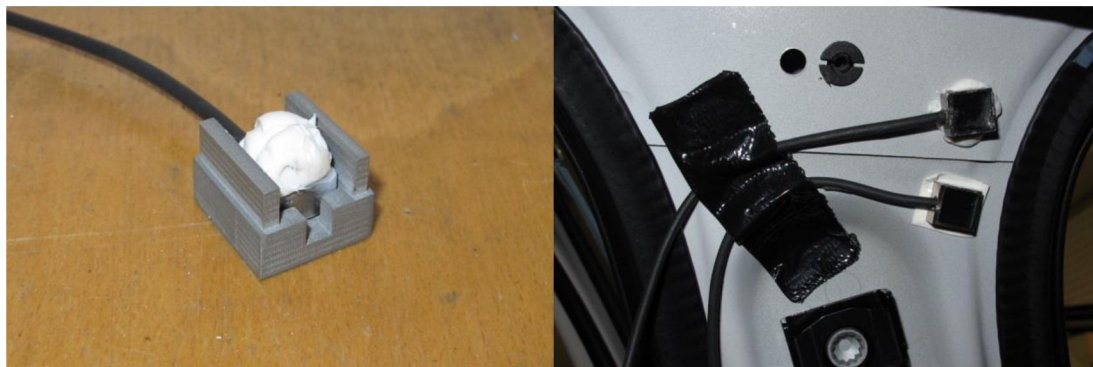
Obrázek 57: Cellutec IMPAXX

4.3.1 DEN BRAVEN – MAMUT GLUE

Další variantou připevnění snímače bylo navrženo přilepení určitou vrstvou lepidla, které mělo zajistit dostatečnou počáteční pevnost. Faktorem ovlivňujícím tlumení byla výška vrstvy lepidla, kde bylo nutné zabezpečit rovnoběžnost snímače s podkladem. Montážní lepidlo Mamut je polymerní tmel, který vytváří trvale pružné spojení a zároveň není agresivní k podkladu. Při přezkoumání zaschlé montáže se projevila nevyrovnaná frekvenční charakteristika s prudkým poklesem a růstem u frekvence 350 Hz. Dále také lepidlo nezachovávalo podobný charakter křivky s referenčními uchyceními.



Jeho použití brání nedostatečná počáteční pevnost při lepení akcelerometrů. Pokud po přitisknutí snímače ke struktuře sloupku dojde k zavadení o kabel snímače, snímač se posune nebo jinak natočí, čímž není dodržena počáteční orientace akcelerometru a mohla by být způsobena chyba měření. Při zajišťování kabelu lepicí páskou vzrůstá montážní pracnost a celý úkon připevnění snímače je časově náročný.



Obrázek 58: Den Braven Mamut Glue, vlevo v montážním přípravku, vpravo připevněno na pozici střecha

4.3.2 GERGONNE

3705

Oboustranná pěnová lepicí páska tloušťky 1 mm s jádrem z PE pěny. Hustota pěny je 55 kg/m^3 . Lepicí vrstvu tvoří akrylátové lepidlo. Páska byla na stisk měkká.

7550

Páska je tvořena jádrem z PE pěny o hustotě 83 kg/m^3 . Lepicí vrstva je na bázi kaučukového lepidla.

Obě tyto pásy se projevily jako příliš měkké a způsobily deformaci pulzu zrychlení. FFT analýza prokázala nevyrovnanost v přenosu vibrací do 1000 Hz. Pásy nejsou vhodné pro správnost měření.

175K

Jedná se o černou mechovou pěnu tloušťky 3 mm z materiálu EPDM s nanesenou lepicí vrstvou.

Pěna se projevila na stisk velmi měkce a způsobila rezonanci při 500 Hz. Přenos amplitudy zrychlení pro vyšší frekvence byl výrazně zatlumen na téměř nulovou hodnotu. Materiál není vhodné použít pro připevnění snímačů při nárazových zkouškách.



4.3.3 IMBALLAGGI PROTETTIVI

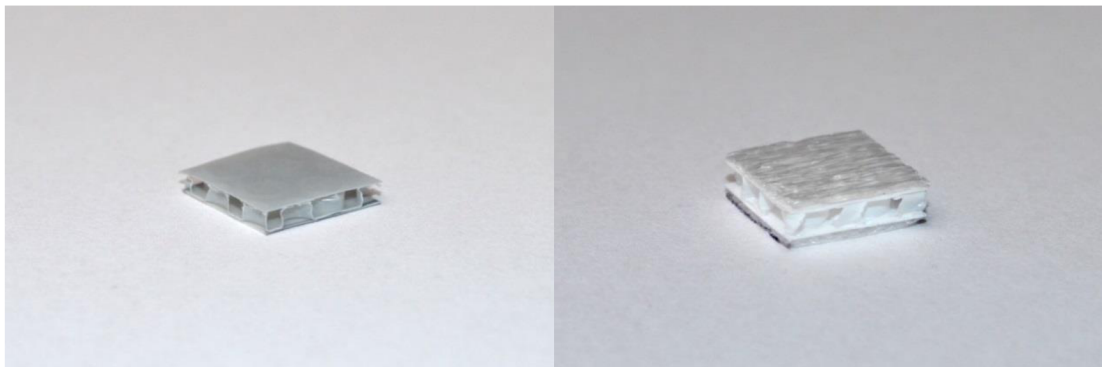
D4 500 +2EPP

Tento druh testovaného materiálu je složen z polypropylenového jádra, na které je z obou stran přilepen mirelon. Celková tloušťka vzorku je 4,35 mm a jeho primární určení je použití jako proložky mezi křehké materiály.

Nejvhodnější způsob montáže je lepení vteřinovým lepidlem, kdy nedochází k narušení struktury mirelonu. Vysokou teplotou tavné lepicí pistole je tato vrstva narušena nebo spálena.

D4 400

Matný šedý lepenkový materiál vyrobený z polypropylenu tloušťky 2,35 mm, který je složen ze dvojice desek vyztužených strukturou ve tvaru včelí plástve. Je používán jako prokládací podložka pro kovové a skleněné materiály.



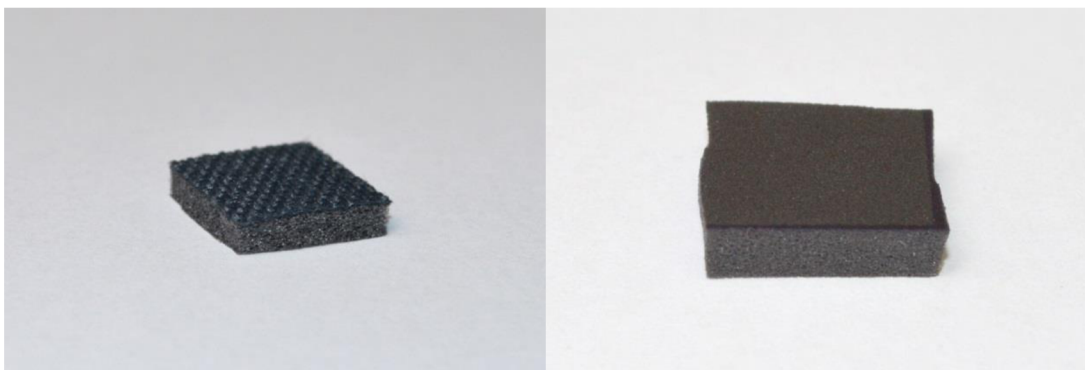
Obrázek 59: Imballaggi Protettivi D4 400 vlevo, vpravo D4 500 + 2EPP

Při vybuzení rázu dochází u obou variant materiálů k deformaci průběhu a změny hodnoty zrychlení. Materiál D4 500+2EPP způsobuje rezonanci při 235 Hz a dále postupně ztlumuje kmity. Od 2000 Hz již nepřenáší žádné vibrace. D4 400 zvýrazňuje frekvence do 2000 Hz a dále je ztlumuje. Ani jeden materiál není vhodný jako pružné uchycení akcelerometru.

4.3.4 MAGNETIX

Vrstvený materiál tloušťky 3,7 mm, který je složen z polyethylenové pěny o hustotě 33kg/m^3 a tkaniny s hrubou strukturou. Primární určení tohoto materiálu je tlumení hluku v interiéru vozu.

Materiál se projevuje rezonanční špičkou při 317 Hz a s vyššími frekvencemi výrazně ztlumuje vibrace. Tento materiál není vhodný pro připevnění akcelerometrů.



Obrázek 60: Vlevo Magnetix, vpravo Rogers Corp. Poron 4701-30-20125-04

4.3.1 ROGERS CORPORATION

Rogers Corporation je společnost sídlící ve státě Connecticut v USA. Byla založena v roce 1832 jako výrobce materiálů pro textilní průmysl. Jedním výrobním odvětvím společnosti je vývoj a výroba porézních tlumicích materiálů, využívaných jako potahový, těsnicí a izolační materiál. Po konzultaci s Jasonem Gregorym byly vybrány dva druhy tlumicích materiálů, prvním byly tlumicí pěny Poron Urethanes a druhým byly Bisco Silicones.

PORON 4701-30-20125-04

Tato tlumicí pěna tloušťky 3,18 mm je velmi měkká. Hustota pěny je 320 kg/m^3 . Povrchová vrstva má neporézní strukturu, do které nevniká vteřinové lepidlo a zajišťuje dostatečnou přilnavost. Umožňuje tedy jednoduchou a rychlou montáž. Tento způsob montáže byl použit pro všechny pěny Poron.

Frekvenční charakteristika ukázala, že pěna způsobuje výraznou rezonanci při 500 Hz a pro další frekvence začíná výrazně zatlumovat. Rezonanční amplituda dosáhla 7,93 g. Tato pěna není vhodná pro použití.

PORON 4701-30-20093-04

Pěnový materiál tloušťky 2,36 mm, který má hustotu 320 kg/m^3 . Materiál se při stlačení projevuje částečným paměťovým efektem.

Při testování materiál projevilo rezonanci při 500 Hz a následně působil jako tlumič. Amplituda při rezonanci dosáhla 7,5 g. Materiál není vhodný.

PORON 4701-40-20125-04

Jedná se o pěnový materiál s hustotou 240 kg/m^3 a tloušťkou 3,18 mm.

Na stlačení je materiál měkký. Při rázu materiál projevilo deformaci pulzu zrychlení a způsobil rezonance mezi 500 Hz až 1100 Hz. Pro lepení snímačů není materiál vhodný.

PORON 4701-50-20125-04

Pěna tloušťky 3,18 mm o hustotě 320 kg/m^3 byla na stlačení mnohem tužší než předešlé materiály.



Materiál způsobil mírné zvýšení citlivosti akcelerometru do frekvence 2000 Hz a dále tlumil. V celém spektru se neprovala výraznější špička rezonance, proto byl materiál nasazen na otestování do reálných zkoušek, kde se projevil dobrými výsledky a při vyhodnocení prokázal bližší průběh rychlosti fyzikálnímu předpokladu než páska Powerstrips a korek.

PORON 4701-60-20125-04

Pěnový materiál tloušťky 3,16 mm a hustoty 320 kg/m^3 byl na stisk velmi tuhý.

Z amplitudo-frekvenční charakteristiky plyne fakt, že materiál se do 1700 Hz chová jako pevné spojení a následně mírně zvyšuje citlivost snímače bez projevu výrazné rezonance. Tyto vlastnosti nejsou vhodné.

PORON 4790-79-15125-04

Pěna hustoty 240 kg/m^3 a tloušťky 3,18 mm. Při stlačení dochází k pozvolné deformaci průřezu a také k pozvolnému narovnání. Vzorek by měl sloužit jako tlumič šoků.

PORON 4790-79-12080-04

Tato pěna hustoty 192 kg/m^3 a tloušťky 2,03 mm reaguje podobným způsobem jako předešlý Poron 4790.

Amplitudo-frekvenční charakteristika rázu prokázala mírné zvýšení citlivosti snímače do 3000 Hz bez projevu výrazné deformace pro oba vzorky Poron 4790. Poron 4790-79-15125 byl nasazen pro použití při nárazových zkouškách, ale neprojevil se lépe než současné způsoby uchycení.

BISCO HT800GREY

Jedná se o jemnou silikonovou houbovitou pěnu hustoty 352 kg/m^3 .

Pěna byla na stisk velmi měkká a poddajná. Způsobila výrazné špičky rezonance do 500 Hz, čímž byl předpoklad o její nevhodnosti potvrzen.

BISCO HT1250RED

Tato hutná silikonová guma tloušťky 3,18 mm a tvrdosti 50 Shore A při zkoušce způsobila výrazné rezonance snímače, a proto rovněž není vhodná pro aplikaci akcelerometrů.

BISCO BF-2000

Velice jemná silikonová pěna s uzavřenou vnější strukturou je určena především pro izolaci elektronických systémů před vibracemi a také zpomalující případný požár. Materiál je schopen velmi vysoké deformace a návratu do původního stavu. Dobrou vlastností je chemická stabilita vůči UV záření, ozonu, vysokým teplotám. Nejvhodnějším způsobem připevnění bylo nalepení vteřinovým lepidlem, jednak z důvodu jednoduché a rychlé montáže, a zároveň mělo lepidlo dostatečnou přilnavost k povrchu.

Bisco BF-2000 se projevilo nevhodným montážním způsobem, protože došlo ke snížení vlastní frekvence snímače a deformaci naměřeného rázu.



BISCO RF-120

Jedná se o materiál složený z vrstvy hliníkem potažené tkaniny a pěny BF-1000. Tento materiál je primárně určen pro odraz tepla a vibrací na armádních zařízeních. Připevnění bylo provedeno vteřinovým lepidlem a bylo dostatečně pevné a stabilní.

Při rázové zkoušce materiál způsobil rezonanci snímače při 215 Hz a následně výrazně tlumil. Materiál není vhodný.

4.3.2 ROLLATECH

Společnost Rollatech produkuje širokou paletu technických lepicích pásek. Z jejich produktů byla vybrána trojice lepicích pásek, které by měly být pro danou aplikaci lepení akcelerometrů nejvhodnější.

92-572

Průhledná čirá páska tloušťky 0,29 mm je určena k lepení vysoce namáhaných spojů. Jedná se o oboustrannou lepicí pásku s akrylátovým lepidlem.

Páska projevuje při frekvencích do 400 Hz lehké zvýšení amplitudy a dále se chováním podobá vteřinovému lepidlu. U pásky nedochází ke křehkému odpadnutí a drží velmi pevně. Proti použití vystupuje vysoká montážní náročnost, protože krycí vrstvu je z důvodu velmi nízké tloušťky složité sejmout.

57-962

Bílá pěnová páska tloušťky 0,9 mm s vrstvou akrylátového lepidla. Její primární určení je pro lepení dílů v automobilovém průmyslu.

57-963

Jedná se o bílou pěnovou pásku tloušťky 0,95 mm, na které je nanášeno kaučukové lepidlo. Využívána pro lepení nízkoenergetických materiálů.

Obě varianty lepicí pásky byly velmi měkké pro stlačení, kdy lze dopředu odhadnout nevhodnost pro použití. Obě pásky způsobily deformaci náběhu zrychlení a projevíly se zvýšením citlivosti akcelerometru. Tyto pásky není vhodné použít k měření nárazových zkoušek.

4.3.3 RUBENA A.S.

Rubena je společnost zabývající se vývojem a výrobou technické pryže pro různé aplikace. V jejich portfoliu je výroba pneumatik, těsnicích a stíracích kroužků, silentbloků a dalších. Po konzultaci s Ing. Stanislavem Popem, vedoucím vývojových projektů, byly vyrobeny zkušební vzorky měkkých pryží. Jednotlivé pryže se od sebe lišily tvrdostí, odrazovou pružností i složením materiálu pryže. Všechny vzorky pryží byly černé barvy. Nejvhodnějším způsobem pro připevnění jednotlivých vzorků směsí ke struktuře a snímači se projevilo lepení vteřinovým lepidlem. Mechanické vlastnosti nebyly ověřovány, bylo vycházeno z podkladů.



Tabulka 4: Fyzikální vlastnosti jednotlivých pryží [Zdroj: Stanislav Pop, Rubena a.s.]

Směs	Kaučuk	Odrazová pružnost Schob ISO 4662 [%]	Tvrdost DIN 53 505 [ShA]
2501	IIR	20	62
25050/L24	EPDM + SBR	34	45
33057	EPDM	40	71
33054	EPDM	56	41
45153	NR	72	53

SMĚS 45153

Tato gumárenská směs je tvořena přírodními kaučuky, které se využívají z důvodu dobré odolnosti proti opotřebení a stárnutí zvláště při teplotách nad 70°C. Přírodní kaučuky mají dobrou strukturní pevnost a dynamické vlastnosti, odrazovou pružnost a malou hysterezi. Jsou odolné vůči natržení při velkých deformacích. Směs se používá například při výrobě pryžových pružin.

Z analýzy vzorku vyplývá, že materiál ztlumuje frekvence do 2500 Hz a dále se již chová jako pevné spojení. Pro použití při nárazových zkouškách je důležitý správný přenos frekvencí alespoň do 300 Hz. Materiál tedy není vhodný.

SMĚS 2501

Pryž je tvořena ze směsi butylových kaučuků, které se projevují teplotní stálostí, chemickou odolností proti kyselinám, alkáliím a organickým kyslíkatým sloučeninám. Její struktura umožňuje jen velmi malou propustnost plynů a je tedy používána k výrobě veloduší.

Odrazová pružnost této směsi pryže má velmi nízkou hodnotu, a tudíž dochází k disipaci velkého množství energie. Odrazová pružnost materiálu je definována jako poměr vrácené energie k energii vynaložené na deformaci zkušebního tělesa při nárazu nárazníku kyvadla.

Zkouškou bylo zjištěno, že materiál zachovává náběžnou křivku zrychlení, ale následně utlumuje kmity v celém frekvenčním spektru rázu, čímž dochází ke snížení citlivosti snímače. Materiál není vhodný pro nárazové zkoušky.

SMĚS 25050/L24

Materiál tvoří kombinace etylénpropylénových a styrolbutadiénových kaučuků, jenž mají mimořádnou odolnost proti atmosférické oxidaci v širokém pásmu teplot. Jsou odolné vůči páře, vlhkosti a také stárnutí. Z těchto materiálů jsou vyráběny těsnicí prvky, jako jsou O-kroužky membrány, spojovací hadice, pružné spojky a velopláště.

Na základě frekvenční analýzy rázové zkoušky bylo zjištěno, že směs má do 2000 Hz vlastnosti velmi podobné jako korek a poté významně tlumí.

SMĚS 33057

Mechanické vlastnosti pryže určují nevhodnost pro upevnění akcelerometrů, protože způsobují ztlumení vibrací v určitých pásmech.



SMĚS 33054

Tento vzorek materiálu se projevil mírným zvýšením citlivosti pro frekvence do 1000 Hz. Ve vyšších frekvencích měl chování podobné pásce Tesa Powerstrips. Z tohoto pohledu je vhodnější použít pásku z důvodu mnohem jednodušší montáže.

4.3.4 TESA

Společnost Tesa vyrábí lepicí pásky pro spojování různých materiálů. V CrashLab je používána páska Tesa Powerstrips. Novým produktem jsou oboustranné lepicí pásky řady ACXplus. Hlavní výhodou oboustranných lepicích pásek je snadnost a rychlost montáže.

ACXPLUS 7055

Páska průhledné barvy je tvořena plným akrylátovým nosičem, na kterém je nanесeno čisté akrylové lepidlo. Tloušťka je 1 mm. Páska má dostatečnou počáteční připevňovací pevnost bez efektu nárůstu.

ACXPLUS 7065

Pěnová černá páska s celkovou tloušťkou 1,2 mm vyrobená z akrylové pěny je určena k pevnému spojování těžko spojitelných součástí a vyrovnávání prnutí mezi nimi.

ACXPLUS 7074

Černá pěnová akrylátová páska, která se projevuje vysokou teplotní odolností, má tloušťku 1 mm a její lepicí vrstva je tvořena čistým akrylátem, který je odolný vůči vlhkosti, chemikáliím a UV záření.

Připevnění snímače touto páskou je snadné, rychlé a dostatečně pevné. Výrobce udává nárůst pevnosti spoje po uplynutí 3 dnů na téměř trojnásobnou hodnotu. Z amplitudo-frekvenční charakteristiky rázu vyplývá podobnost vlastností s páskou Powerstrips. Z tohoto důvodu byl pro tyto pásky vypracován frekvenční sweep pro 20 Hz až 6000 Hz.

Na základě výsledků testování výše uvedených pásek lze stanovit závěr, že pro správnost měření je vhodnější použití pásky Powerstrips, protože se svými vlastnostmi více blíží pevnému spojení.



4.3.5 TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Byla oslovena Fakulta textilní na Technické univerzitě v Liberci. Po komunikaci s Ing. Jiřím Havlíčkem, CSc., působícím na Katedře netkaných textilií a nanovláknenných materiálů, byly vybrány a zaslány vzorky šesti různých materiálů, které by mohly najít nové uplatnění jako tlumiče vibrací. Tyto vzorky byly netkané textilie, u kterých lze vpichováním měnit geometrické i mechanické vlastnosti. Textilie je možné dále zpevňovat přidávkou termoplastického pojiva, kalibrovat na požadovanou tloušťku a armovat mřížkou.

VZOREK Č.1 – LEHKÁ VPICHOVANÁ TEXTILIE

Jedná se o velmi lehkou, načechranou, výrazně porézní textilií, s částečnou průhledností.

Při použití kontaktního lepidla Loctite 454 došlo k prosaku celé tloušťky textilie a po přitlačení k montážnímu povrchu silou došlo k trvalému stlačení textilie na minimální tloušťku, a tedy zamezení tlumicí schopnosti. K tomuto jevu došlo také při použití chemoprenu i tavné lepicí tyčinky. Další možností montáže by mohlo být použití tenké oboustranné lepicí pásky. U této varianty však není zajištěna dostatečná pevnost spojení, protože lepicí páska přilne pouze k nejvrchnější vrstvě chloupků textilie a následně je upevnění snímače velice měkké a má snahu volně „téct“. Toto by mohlo mít významný vliv na snížení rezonanční frekvence snímače, a proto zamezuje jeho použití.



Obrázek 61: Lehká vpichovaná textilie, vlevo volná, vpravo po aplikaci

VZOREK Č.2 – TĚŽŠÍ VPICHOVANÁ TEXTILIE

Netkaná textilie s vyšší hustotou vláken, která je neprůhledná. Textilie je velmi porézní.

Pro možnosti připevnění ke struktuře vozidla platí stejná omezení jako v případě lehké vpichované textilie. Z důvodu vysoké pórovitosti dochází k výrazné penetraci textilie lepidlem a k zatuhnutí celé struktury, která ztrácí možnost volné vnitřní deformace, a tudíž tlumicí schopnost. Při použití oboustranné lepicí pásky dochází opět k přichycení pouze ke svrchní vrstvě a spojení je stále příliš slabé.



Obrázek 62: Těžší vpichovaná textilie

VZOREK Č.3 – TĚŽŠÍ VPICHOVANÁ TEXTILIE Č.2 S 3D FOLIÍ

Tato textilie je identická se vzorkem 2, ale je opatřena z jedné strany 3D folií. Jedná se o lesklou bílou folii, která má ve své struktuře pravidelnou mřížku prohlubní.

Tato folie zamezuje vniku lepidla z jedné strany textilie, ale způsobuje sníženou přilnavost lepidla k jejímu povrchu, a tedy brání jejímu nasazení. Montáž lepicí páskou opět způsobuje příliš měkké spojení a má vliv na její omezenost použití.



Obrázek 63: Těžší vpichovaná textilie s 3D folií, vlevo volná, vpravo po aplikaci

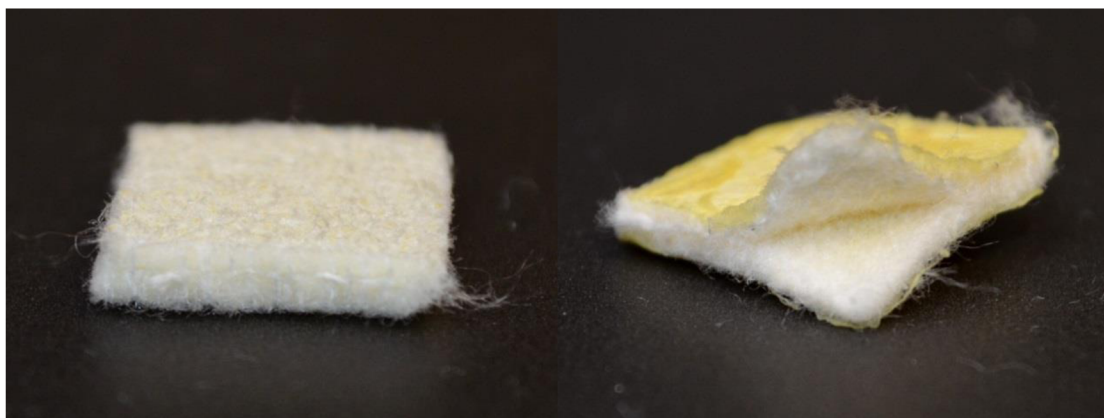
VZOREK Č.4. – VPICHOVANÁ TĚŽKÁ POJENÁ TEXTILIE

Tato textilie o tloušťce 3 mm je hutná a porézní. V jejím středu je opatřena mřížkou, která ji vyztužuje.

Vyšší hustota vláken a obsah pojiv, která zajišťují hutnost textilie, snižují hloubkovou penetraci lepidlem. Při použití vteřinového lepidla i chemoprenu došlo k částečnému nasáknutí struktury lepidlem a mírnému omezení tlumicí schopnosti. Zde vzniká problém v nejistotě hloubky průniku lepidla a není možné zajistit shodnost vlastností připojení při jednotlivých aplikacích.



Použitím tavné lepicí tyčinky lze využívat tuto textilii jako mechanického tlumiče, který se projevil zvýšením citlivosti snímače. Po otestování při reálných nárazových zkouškách byl materiál zamítnut.



Obrázek 64: Vpichovaná těžká pojená textilie, vlevo volná, vpravo viditelný prosak chemoprenu

VZOREK Č.5 – VPICHOVANÁ HRUBÁ TEXTILIE S MŘÍŽKOU

Vpichovaná hrubá textilie s mřížkou má velmi porézní strukturu a tloušťku 4 mm. Vlákenná mřížka plní výstužnou funkci.

Výrazná pórovitost má za následek vysoké pronikání lepidel do celé struktury textilie a zamezuje jejímu použití. Připevnění oboustrannou lepicí páskou je také nemožné. K pásce přilnou jen vrchní vrstvy vláken, a tudíž není vytvořeno pevné spojení.



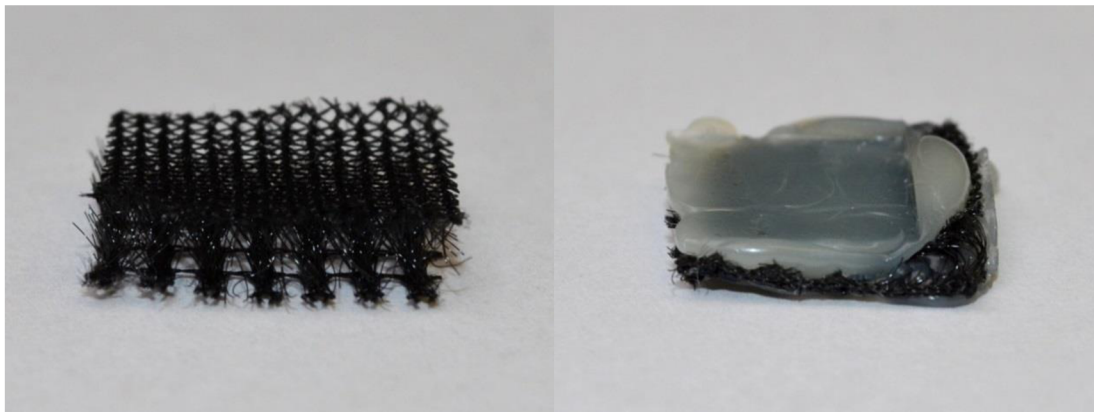
Obrázek 65: Vpichovaná hrubá textilie s mřížkou, vlevo volná, vpravo po aplikaci



VZOREK Č.6 – 3D PLETENINA

Tento vzorek černé barvy se od ostatních liší tím, že se jedná o úplet, který má vlákna zapletena do pravidelné struktury. Pletenina je průhledná a výrazně porézní.

Pórovitost pleteniny zapříčiňuje pronikání lepidel do struktury a ztrátu tlumicích schopností. Nalepení oboustrannou páskou nese shodná úskalí jako u ostatních vláknitých materiálů a nelze tedy použít tento způsob montáže.



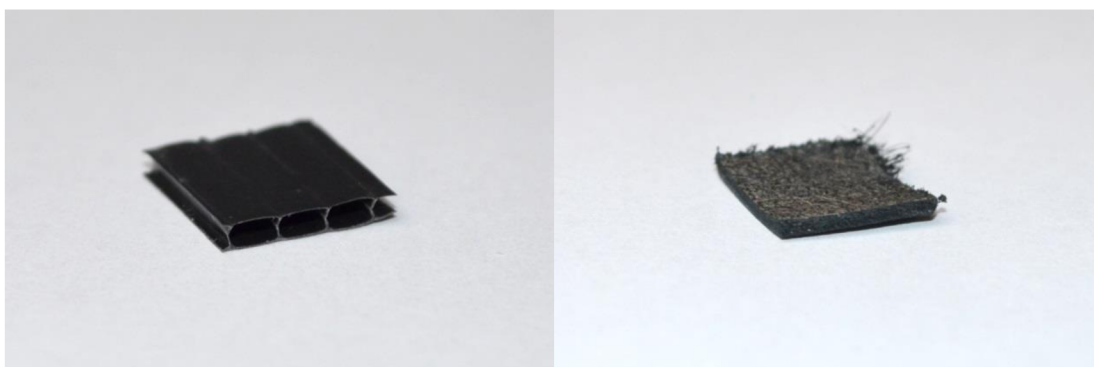
Obrázek 66: 3D pletenina, vlevo volná, vpravo po aplikaci

4.4 OSTATNÍ TESTOVANÉ MATERIÁLY

ČERNÁ POLYPROPYLENOVÁ LEPENKA

Tento materiál je primárně využíván jako prokládací vložka při balení věcí. Je tvořen dvěma deskami propojenými žebry, kde jeho celková tloušťka je 2 mm.

Tento materiál je nejvhodnější lepit vteřinovým lepidlem, které má k němu dobrou přilnavost. Na základě frekvenční analýzy se tato lepenka projevila jako nevhodný tlumič, protože došlo k deformaci frekvenční charakteristiky nárazu a objevily se překmitý.



Obrázek 67: Vlevo PP lepenka; vpravo potahová kůže



KŮŽE Z VOLANTU

Materiál kůže tloušťky 1,2 mm je používán jako potahový materiál pro interiér automobilu. Pro svou vnitřní strukturu by mohl být použit pro tlumení vibrací.

Při lepení kůže tavnou lepicí pistolí došlo opakovaně k částečnému uvolnění spoje během rázu. Z tohoto důvodu je vhodnější použít vteřinové lepidlo, které ke kůži dostatečně pevně přilne. Na základě frekvenční charakteristiky rázu byl vyvozen závěr, že tento způsob není vhodný pro potlačení parazitních vibrací.

KŮŽE ŘADICÍ PÁKY

Tento vzorek byl složen ze syntetické kůže a textilního podkladu o celkové tloušťce 0,6 mm.

Po přilepení vteřinovým lepidlem nebyl materiál schopen přenášet nízké složky rázu a není tedy vhodný.

SILNÝ PAPÍR (PIVNÍ TÁCEK)

Na základě frekvenční charakteristiky rázu se projevila nevhodnost použití silného papíru proto, že způsoboval rezonance a změnu charakteru amplitudo-frekvenční charakteristiky rázu kyvadel. Tloušťka silného papíru byla 1,3 mm.

TAVNÁ HMOTA 3M

Tato tavná hmota je používána pro lepení akcelerometrů v kombinaci s korkovou destičkou. Připevnění akcelerometru samotnou tavnou hmotou je dostatečně pevné a odolné vůči rázovému zatížení. V případě velkého prohnutí povrchu však může dojít k odpadnutí.

INTELIGENTNÍ PLASTELÍNA

Použití materiálu s dilatantními vlastnostmi lze uvažovat jako ideální návrh tlumiče pro nárazové zkoušky. Při působení nižších frekvencí vibrací materiál dovolí určitou deformaci, která částečně disipuje parazitní vibrace. Při vyšších frekvencích se materiál chová jako tuhý.

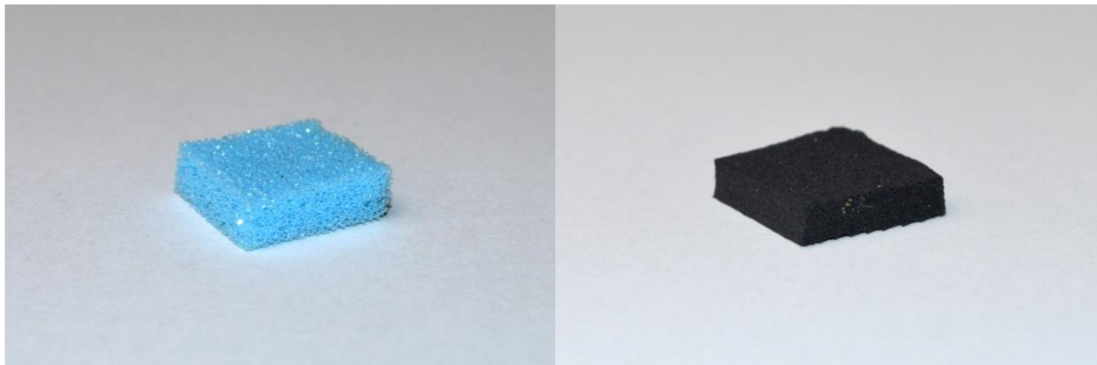
Při ověření vlastností inteligentní plastelíny bylo zjištěno, že při stavu, kdy není plastelína zatížena smykovým napětím, dochází jejímu viskóznímu tečení a změně polohy snímače či jeho odpadnutí. Zároveň není zaručena soudržnost plastelíny s montážním povrchem a při silném rázu může dojít k odskočení. V takovém případě je měření neplatné.

MODRÁ PĚNA S PAMĚŤOVÝM EFEKTEM

Pěnový materiál modré barvy, který se při prudkém nárazu chová jako pevný materiál a při pozvolném stlačení se deformuje. Má tedy obdobné chování jako dilatantní tekutina. Po deformaci určitý čas zůstává v deformovaném tvaru a poté se samovolně navrácí do výchozího tvaru.



Montáž vzorku molitanu byla možná jen pomocí tavné lepicí pistole, která zajišťuje dostatečně pevný spoj. Použití vteřinového lepidla zapříčinilo penetraci pórů molitanu lepidlem a změnu jeho vlastností. Tento vzorek byl testován v tloušťce 4 mm a způsobil deformaci pulzu zrychlení. Tento molitan není vhodný pro připevnění akcelerometrů.



Obrázek 68: Vlevo modrá paměťová pěna, vpravo pěnový doraz přední kapoty

PĚNA DORAZU KAPOTY

Tato pěna je používána v motorovém prostoru, kde zajišťuje podepření kapoty vozidla a brání jejímu chvění. Pěna tloušťky 4 mm byla nalepena tavnou hmotou.

Při zkoušce způsobila významnou rezonanci při frekvenci 435 Hz. Není tedy vhodná pro připevnění akcelerometrů.

PADDING PŘEDNÍHO NÁRAZNÍKU

Tato hmota vyrobená z polyuretanové pěny se používá jako vnitřní pružný a tlumící člen v předním nárazníku vozidla. Při srážce chodce s vozidlem má tento prvek za úkol pohlcení nárazové energie a ochránění měkkých tkání nohou a následné navedení chodce na kapotu vozu, aby nedošlo k jeho zavlčení pod vůz. Testovaná pěna byla tloušťky 3,5 mm. Neprojevila se jako vhodný materiál.



Obrázek 69: Vlevo výřez stropního obložení, vpravo padding nárazníku

STROPNÍ OBLOŽENÍ

Obložení stropu je složeno ze 4 vrstev materiálu o celkové tloušťce 6 mm. Nosná část je tvořena dvojicí papírových desek, mezi kterými je tuhý šedý molitan. Svrchní vrstva je vytvořena z měkké netkané textilie o velmi jemné textuře.



Tento materiál je vhodné lepit tavnou lepicí pistolí, protože při použití vteřinového lepidla může dojít k zatečení do svrchní textilie. Materiál způsobil výraznou rezonanci a následné tlumení, proto není vhodný.

KOBEREC Z PODLAHY VOZU

Jedná se o složený vrstvený materiál, který je používán jako koberecové krytí podlahy vozu. Vzorek byl lepen tavnou lepicí pistolí, která pravděpodobně zatekla do jeho vnitřní struktury a způsobila chování jako pevné spojení, a proto tento materiál nelze použít.



Obrázek 70: Koberec z podlahy vozu

4.5 VYHODNOCENÍ

Bylo provedeno otestování 47 různých materiálů, které by mohly být použity k připevnění akcelerometru k vnitřnímu povrchu B-sloupku. Pro upevnění byly stanoveny požadavky, které byly u jednotlivých materiálů vyhodnoceny. Prvním z požadavků byla dostatečná mechanická odolnost připevnění, která musela zaručit soudržnost snímače při velké deformaci montážního povrchu. Druhým kritériem byl správný přenos amplitud zrychlení pro dané frekvence, buzených při testování. Třetí kritérium zhodnocovalo montážní náročnost způsobů uchycení, která by svým charakterem neměla prodlužovat přípravný čas nárazové zkoušky.

Z provedených otestování jednotlivých druhů materiálů vychází závěr následující: Z pohledu správnosti měření je pro uchycení akcelerometru nejvhodnější přilepení oboustrannou páskou Tesa Powerstrips. Toto uchycení zajistí správný přenos frekvencí a je vlastnostmi blízké uchycení šroubem. Zároveň je dostatečně mechanicky odolná a je zajištěna stálost uchycení snímače i při výrazné deformaci měřeného povrchu. Oboustranná páska Rollatech 92-572 se při testech projevila také správně, ale jejímu nasazení brání obtížná montáž.



5 OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI NOVÉHO SNÍMAČE PRO MĚŘENÍ BOČNÍCH NÁRAZOVÝCH ZKOUŠEK

Měření zrychlení struktury vozidla bylo doposud prováděno akcelerometry MSC a Kistler typu 1010M/LC. Z důvodu ukončení jejich výroby bylo nutno najít nový snímač, který bude mít podobné nebo lepší parametry a zároveň nebude nutné výrazněji upravovat montážní postupy. Současný stav měření zrychlení je nastaven tak, aby bylo zajištěno zaznamenání veškerých dějů, které se při nárazovém testu objeví. Z tohoto důvodu je nutný dostatečně vysoký měřicí rozsah snímače, který zaručí zachycení celého nárazového děje. Vysoký měřicí rozsah snímače s sebou nese omezení v podobě nízké hodnoty citlivosti, která může způsobovat nepřesnosti při výpočtu rychlosti a deformace struktury.

Nesprávným krokem by bylo použití snímače s nižší hodnotou rozsahu, kdy by mohlo docházet k trvalému přetěžování a tím k jeho poškození či zničení. Při nárazové zkoušce se objevují peaky velmi vysokého zrychlení dosahující až 900 g.

5.1 KISTLER M101A

Společností Kistler bylo navrženo použití nového modelu akcelerometru, který je odvozen z předcházejícího modelu 1010M/LC. Tento piezorezistivní akcelerometr byl navržen tak, aby splňoval technické předpisy dané normou SAE J211/J2570 a byl vybaven vnitřní ochranou proti přetížení vysokým šokem. Jeho použití je doporučeno především pro crash aplikace. Pouzdro snímače je z eloxovaného hliníku a má rozměry (13 x 12 x 7) mm. [15]

Funkční vlastnosti snímače byly ověřeny na kalibračním shakeru a porovnány s oficiálním kalibračním listem od výrobce. Měření bylo tvořeno frekvenčním sweepem a sérií rázových šoků, které byly provedeny na kalibračním přístroji Spektra. Generované zrychlení bylo porovnáváno s referenčním akcelerometrem Endevco. Frekvenční sweep byl proveden od frekvence 20 Hz do 6000 Hz. Při sweepu byla zjišťována odchylka změřené hodnoty zrychlení. Výrobce udává možnou odchylku $\pm 5\%$ pro frekvence do 3000 Hz a pro frekvence do 6000 Hz ± 1 dB. Společnost Kistler doporučuje připevnění akcelerometru rychleschnoucím lepidlem, protože pouzdro snímače není vybaveno otvory pro přišroubování. Frekvenční charakteristika byla ověřena přilepením snímače vteřinovým lepidlem a také vyrobenou šroubovací sponou, kterou byl snímač připevněn k měřicí destičce. Naměřené parametry pro oba způsoby uchycení odpovídaly specifikaci. [15]

Další fází ověření funkčnosti akcelerometru bylo jeho nasazení na reálné nárazové zkoušky, kde byl porovnáván s akcelerometry Kistler 1010M/LC. Při nárazových testech je snímač vystaven takovým dějům a zatížením, které nelze uměle simulovat. Z výzkumů prováděných v TÜV SÜD Czech v minulých letech vyšly závěry o vhodné úrovni vnitřního tlumení akcelerometru na hodnotě 0,4 až 0,5 pro aplikace při nárazových zkouškách. Všechny nakupované akcelerometry měly od výrobce zaručenu hodnotu parametru vnitřního tlumení. Nový akcelerometr byl navržen s vnitřním tlumením 0,15 a bylo tedy nutno přezkoumat jeho správnou funkčnost. Podnětem pro tento způsob otestování bylo ověření, jak bude ovlivněno zaznamenané zrychlení při nižší hodnotě vnitřního tlumení. Pro ověření byly k dispozici dva kusy tohoto akcelerometru a oba byly



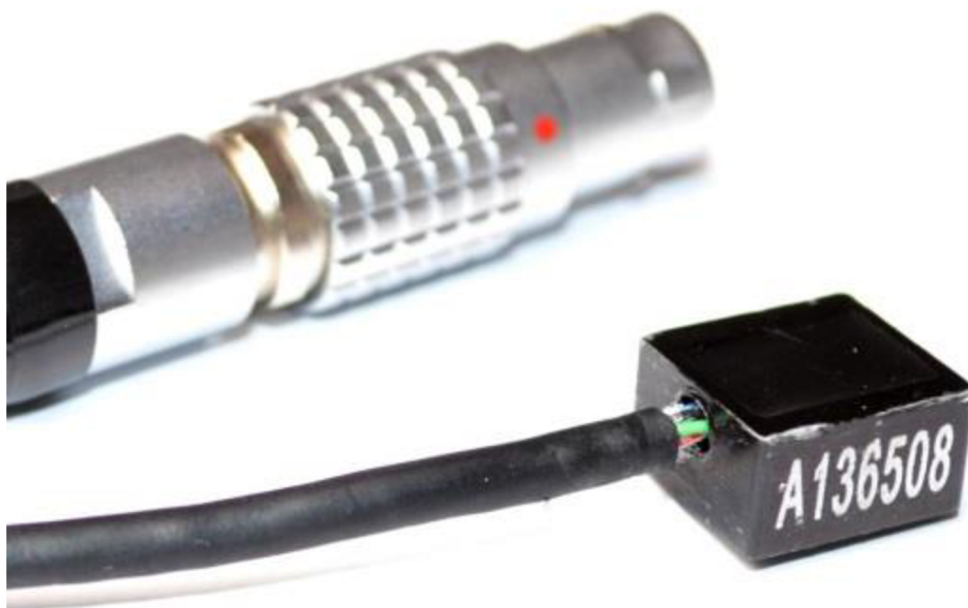
připevňovány k měřeným místům karoserie oboustrannou lepicí páskou Powerstrips, zajišťující správný přenos vibrací. Po provedení 4 nárazových zkoušek, kdy byl snímač otestován na různých pozicích, byla prokázána shoda zaznamenaného zrychlení u snímače s tlumením 0,5 a novým s vnitřním tlumením 0,15. Z tohoto výsledku lze stanovit dva různé závěry. První závěr zní, že při nárazové situaci pravděpodobně nedochází k takovému rozkmitání struktury, kdy by u akcelerometru s nižším útlumem mohlo dojít k ovlivnění snímací schopnosti a tím k chybě měření. Druhým závěrem by mohlo být tvrzení, že měřicí ústrojí nového akcelerometru je vhodně navrženo pro měření prudkých šoků, ke kterým dochází při nárazových zkouškách.

Poslední kritériem pro nasazení akcelerometru do provozu je ohodnocení jeho mechanické odolnosti a robustnosti konstrukce. Po provedení 4 nárazových testů došlo u obou snímačů k vytažení izolované části vodiče z vnitřního uchycení v pouzdře akcelerometru a přetržení stínícího vodiče. Ostatní žíly kabelu zůstaly nepřerušeny. Vnější povrch pouzdra nebyl výrazněji mechanicky poškozen a jeví se jako dostatečně odolný.

Akcelerometr Kistler M101A nelze doporučit pro měření nárazových zkoušek, pokud nebude přepracováno uchycení kabelu v pouzdře snímače. Nové kusy doporučuji podrobit podobnému testu, aby byla zajištěna náprava.

Tabulka 5: Parametry akcelerometru Kistler M101; [15]

	Hodnota	Jednotka
Měřicí rozsah	1000	± g
Frekvenční odezva (max. odchylka) ± 5 %	3000	Hz
± 1 dB	6000	Hz
Citlivost při 80 Hz	0,12/0,3	mV/g(min./max.)
Napájecí napětí	2 až 10	V DC
Spotřeba proudu	2,5	mA
Útlum	0,15	
Nelinearita	1	± %
Příčná citlivost	< 3	%
Zero Mesurand Output	50	± mV
Teplotní citlivost - ZMO	0,05	± %/°C
Teplotní citlivost - citlivost	-0,2 až 0,05	%/°C
Vstupní odpor	2,4 až 6	kΩ
Výstupní odpor	4	kΩ
Izolační odpor, 50 VDC	100	MΩ (min.)
Max. rázové zatížení (pulz > 2 ms)	5000	g (max.)
Max. sinusové zatížení (< 2000 Hz)	50	g (max.)
Warm-up period	120	s (max.)
Pracovní teplota	-20 až +85	°C
Skladovací teploty	-20 až +85	°C



Obrázek 71: Detail poškození vodiče vytržením z vnitřního pouzdra



ZÁVĚR

V diplomové práci je shrnuto, jak probíhá měření nárazových zkoušek prováděných ve společnosti Škoda Auto a.s. Byl popsán měřicí řetězec i normy, kterými se zkušebna řídí, aby výstupem byly validní výsledky porovnatelné s ostatními zkušebnami a odpovídající požadovaným normám.

Analýzou výsledků nárazových zkoušek provedených v rozmezí let 2011 až 2015 bylo zjištěno, že při montáži akcelerometrů dvěma odlišnými způsoby nelze jednoznačně stanovit, který způsob montáže se projevil stabilněji a poskytoval vyšší procento správných výsledků. Připevnění akcelerometru korkovou destičkou se projevilo lépe v 58 % případů, kdy byly výsledky ohodnoceny jako správné. Druhý způsob montáže, kterým je lepení oboustrannou lepicí páskou Tesa Powerstrips, vykázal správný výsledek ve 42 % případů. Toto porovnání bylo provedeno pro 5 modelových řad automobilů Škoda. Nebyla přitom zjištěna výrazná rozdílnost výsledků mezi jednotlivými modely. Zahrnutím vlivu montážního místa na strukturu vozu byla stanovena vhodnost připevnění akcelerometru na pozici Retraktor pomocí korkové destičky v 74 % případů. Na ostatních pozicích nebyla zjištěna výraznější převaha daného způsobu uchycení.

Otestováním mechanických vlastností současných způsobů montáže byly stanoveny předpoklady, které by měl nový způsob uchycení splňovat. Podle těchto stanovených kritérií byly jednotlivé materiály uchycení ohodnoceny se závěrem:

Nebyl nalezen nový materiál, pomocí kterého by bylo možné připevnit akcelerometr na strukturu B-sloupku dostatečně pevně a zároveň mechanicky odolně vůči vysoké deformaci. Současný způsob lepení akcelerometrů oboustrannou lepicí páskou Tesa Powerstrips se prokázal jako vhodný, protože lepený spoj se blíží přenosovými vlastnostmi pevnému uchycení a zároveň nezpůsobí odpadnutí snímače. Nové materiály nezpůsobily významnější vylepšení současného stavu. K uchycení akcelerometru byly vybrány materiály, které jsou vyráběny pro tlumení hluku, vibrací nebo ke snížení pnutí mezi dvěma různými tělesy. Byly testovány různé druhy oboustranných lepicích pásek, které se lišily materiálem nosiče, tloušťkou či druhem lepidla. Mezi další testované vzorky patřily pryže, pěny a různé materiály, které umožňují relativní deformaci mezi tělesy a přitom zajistí soudržnost. Testované pryže se lišily složením směsi, ze které byly vyrobeny, tvrdostí a také odrazovou pružností. Jednotlivé varianty pěnových materiálů čítaly pěny různých tuhostí na stisk, odlišnou reakcí na zátěžnou sílu i materiálu, ze kterého byly vyrobeny. Stisknutím vzorku mezi prsty bylo možné již dopředu odhadnout, jak se materiál bude chovat při zatížení pulzy zrychlení. Vzorky o příliš nízké tuhosti způsobovaly snížení vlastní rezonanční frekvence akcelerometru. U vzorků na bázi textilních filců se projevil průsak většiny testovaných lepidel do jejich struktury, čímž by mohlo docházet k nestálosti montáže a do měření by mohly vstupovat náhodné chyby měření. Mezi testovanými vzorky byly i materiály, které umožňují dostatečně pevné uchycení akcelerometru, ale byly zamítnuty z důvodu vysoké pracnosti při montáži snímače.

V doplňkové části diplomové práce bylo provedeno ověření funkčních vlastností nového akcelerometru, který by měl nahradit snímače používané v současné době. Akcelerometr byl testován při nárazových zkouškách, kde byl porovnáván s výsledky referenčních snímačů. Po výsledném zhodnocení nebyl akcelerometr doporučen z důvodu nízké mechanické odolnosti vodiče.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] ČESKÝ METROLOGICKÝ INSTITUT. *Upevnění snímačů zrychlení při nárazových zkouškách: Metrologická expertíza č. 8012-ME-2055-07*. Praha, 2007.
- [2] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. *Vibrace a rázy - Mechanické připevnění akcelerometrů: ČSN ISO 5348*. Praha, 1999.
- [3] ČVUT FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ. *Akcelerometry: Přednášky*. Praha.
- [4] GULAŠ, Sergej, Jan DOMKÁŘ, Luděk KŘÍŽKA, Ondřej ZÁRUBA a Lukáš ŠAVRDA. ŠKODA AUTO A.S. *Vyhodnocení signálu pro boční náraz bariérou*. Mladá Boleslav, 2011.
- [5] GULAŠ, Sergej, Jan DOMKÁŘ, Luděk KŘÍŽKA, Ondřej ZÁRUBA a Lukáš ŠAVRDA. ŠKODA AUTO A.S. *Vyhodnocení signálu pro boční náraz na kůl*. Mladá Boleslav, 2011.
- [6] HARRIS, Cyril M a Allan G PIERSON. *Harris' shock and vibration handbook*. 5th ed. New York: McGraw-Hill, c2002, 1 v. (various pagings). ISBN 00-713-7081-1.
- [7] JOURNAL OF AEROSPACE ENGINEERING. *Design of Piezoresistive MEMS-Based Accelerometer for Integration with Wireless Sensing Unit for Structural Monitoring*. 2003.
- [8] KAYSER-THREDE. 2003. Minidau Advanced: User's manual.
- [9] KISTLER. 2013. KiDAU Advanced: On-Board Adapter. Winterthur. Dostupné také z: http://www.kistler.com/hu/en/applications/automotive-research-test/vehicle-safety/vehicle-crash-testing-instrumentation/products/#ki_dau-advanced-k3880b
- [10] KISTLER. 2013. KiDAU Basic: On-Board Adapter. Winterthur. Dostupné také z: <http://www.kistler.com/hu/en/applications/automotive-research-test/vehicle-safety/vehicle-crash-testing-instrumentation/products/?type=669>
- [11] KISTLER. 2012. K3765: Equipment Interface. Winterthur. Dostupné také z: http://www.kistler.com/medias/sys_master/8812773572638/000-999e-05.12.pdf
- [12] KISTLER. 2012. On-Board Battery: Ruggedized Battery Extension. Winterthur. Dostupné také z: http://www.kistler.com/medias/sys_master/8812773670942/003-001e-05.12.pdf
- [13] KISTLER. 2012. Airbag Timer: Ruggedized Programmable Timer. Winterthur. Dostupné také z: http://www.kistler.com/medias/sys_master/8812773769246/003-002e-05.12.pdf
- [14] KISTLER. 2013. MiniCOMBox: Port Connector Box. Winterthur. Dostupné také z: http://www.kistler.com/hu/en/applications/automotive-research-test/vehicle-safety/vehicle-crash-testing-instrumentation/products/#mini_combox-port-connector-box-dti312-03



- [15] KISTLER. 2013. Accelerometer M0101A: Uniaxial. Winterthur.
- [16] KISTLER. 2009. Miniature Accelerometer M126: Uniaxial, Resistive. Winterthur.
- [17] METRA MESS- UND FREQUENZTECHNIK IN RADEBEUL E.K. Piezoelectric Accelerometers: Theory and Application. 2012. Dostupné z: <http://www.gracey.co.uk/downloads/accelerometers.pdf>
- [18] MSC. 2006. Uniaxial resistive Miniature Acelerometer: 1010M/LC. Schwieberdingen.
- [19] SAE J211-1 (1995): Instrumentation for Impact Test: Electronic Instrumentation. Washington D.C., 2007. Dostupné z: <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/005/sae.j211-1.1995.pdf>
- [20] TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. *Posouzení zdrojů chyb snímačů pro měření zrychlení při nárazových zkouškách prováděných v TÜV-SÜD: Etapa I.* Liberec, 2010.
- [21] TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. *Posouzení zdrojů chyb snímačů pro měření zrychlení při nárazových zkouškách prováděných v TÜV-SÜD: Etapa II.* Liberec, 2010.
- [22] TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. *Posouzení měřícího řetězce pro měření zrychlení při nárazových zkouškách prováděných v TÜV SÜD.* Liberec, 2008.
- [23] TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. *Zpracování naměřených dat kinematických veličin při boční nárazové zkoušce vozidla.* Liberec, 2008.
- [24] TÜV SÜD CZECH. 2006. *Analýza příčin ořezu signálů při bočních nárazech.* Praha.
- [25] TÜV SÜD CZECH. 2011. *Měření akcelerace na B sloupku - boční náraz.*
- [26] EURONCAP. European New Car Assessment Programme [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://euroncap.com/en>
- [27] Car to Car Side Impact. EURONCAP. [online]. [cit. 2014-08-01]. Dostupné z: <http://euroncap.com/Content-Web-Page/106f41f7-d486-46bf-bfbc-80fb4c79f679/car-to-car-side-impact.aspx>
- [28] Pole Side Impact. EURONCAP. [online]. [cit. 2014-08-01]. Dostupné z: <http://euroncap.com/Content-Web-Page/90769bbc-bb74-4129-a046-e586550c3ece/pole-side-impact.aspx>
- [29] ŠKODA AUTO A.S. [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.skoda-auto.cz/>

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

A/D		Analogově-digitální
CAC		Channel Amplitude Class
CFC		Channel Frequency Class
EHK		Evropská hospodářská komise
EuroNCAP		European New Car Assessment Programme
FFT		Fast Fourier Transformation (Rychlá Fourierova transformace)
GHV		Gurthöhenverstellung (Horní nastavitelný úchyt)
HW		Hardware
ISO		International Organization for Standardization
LED		Light Emitting Diode
MDB		Mobilní deformovatelná bariera
MEMS		Microelectromechanical systems
PC		Personal Computer
SAE		Society of Automotive Engineers
UV		Ultraviolet (Ultrafialové záření)
WorldSID		Worldwide harmonized Side Impact Dummy
ZMO		Zero Mesurand Output
a	$[m \cdot s^{-2}]$	Vektor okamžitého zrychlení
a_n	$[m \cdot s^{-2}]$	Vektor normálové složky zrychlení
a_s	$[m \cdot s^{-2}]$	Zrychlení detekované akcelerometrem
a_t	$[m \cdot s^{-2}]$	Vektor tečné složky zrychlení
a_v	$[m \cdot s^{-2}]$	Zrychlení vypočtené
b	$[kg \cdot s^{-1}]$	Koeficient útlumu
C	[F]	Kapacita
d/dt		Časová derivace
F	[N]	Síla
f_c	[Hz]	Frekvence ořezu
F_H, F_N	[Hz]	Charakteristické frekvence CFC filtru
F_m	[N]	Setrvačná síla
f_{max}	[Hz]	Maximální frekvence singálu
f_{vz}	[Hz]	Vzorkovací frekvence
g		Jednotka zrychlení ($9,81 \text{ ms}^{-2}$)
k	$[N \cdot m^{-1}]$	Tuhost pružiny
k_1		Teplotní konstanta
K_{ACC}	$[\mu V \cdot g^{-1} \cdot V^{-1}]$	Změna citlivosti senzoru
m	[kg]	Hmotnost
n		Počet prvků posloupnosti
O_s		Jednotkový vektor snímače
O_v		Jednotkový vektor pohybu snímače
Q	[C]	Náboj
R	[Ohm]	Elektrický odpor
T	[s]	Vzorkovací interval



v	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	Vektor rychlosti
x, u	$[\text{m}]$	Změna délky
x_d		Vzorkovaná posloupnost
α, β, γ		Směrové úhly
ε		Okamžitá deformace
ω_0	$[\text{Hz}]$	Vlastní rezonanční frekvence



SEZNAM PŘÍLOH

- P1. Tabulky s počty správných výsledků pro jednotlivé modely vozů
- P2. Grafy s procentuálním zastoupením vhodných montáží pro jednotlivé pozice
- P3. Analýza současného způsobu uchycení
- P4. Naměřené charakteristiky pro jednotlivé materiály



P1

Tabulky s počty vhodných přípevnění

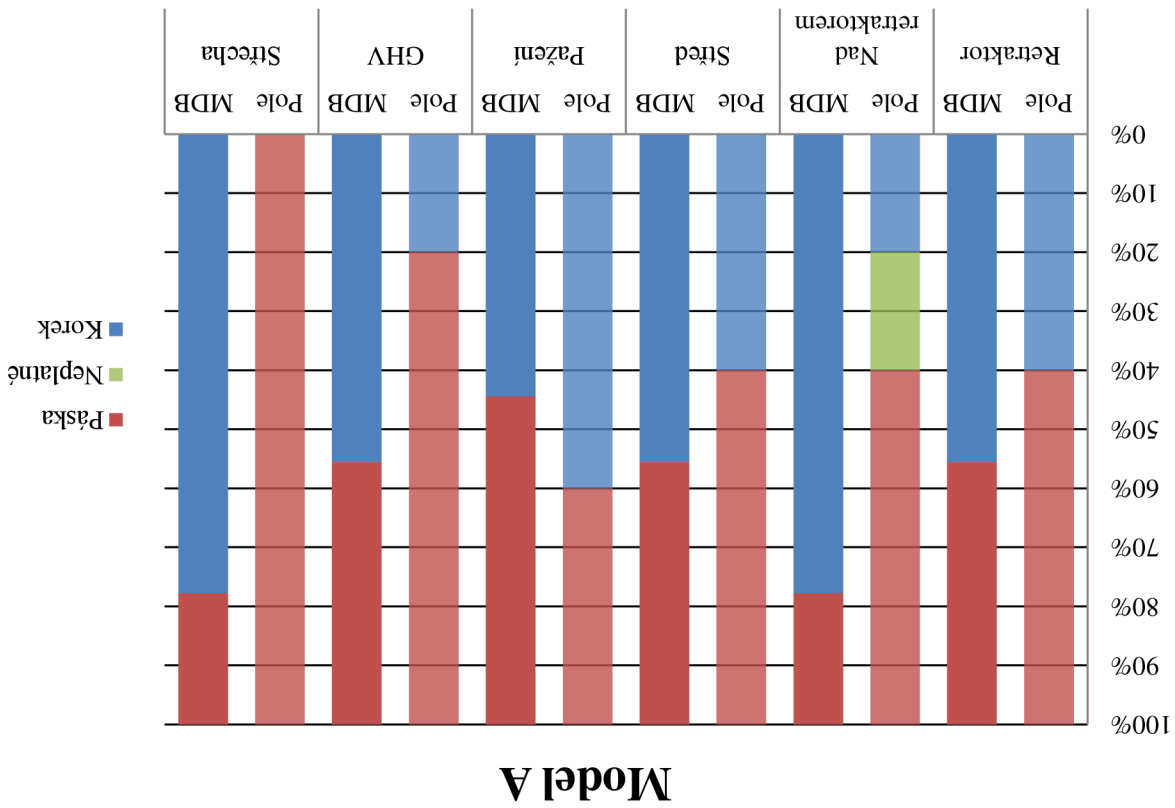
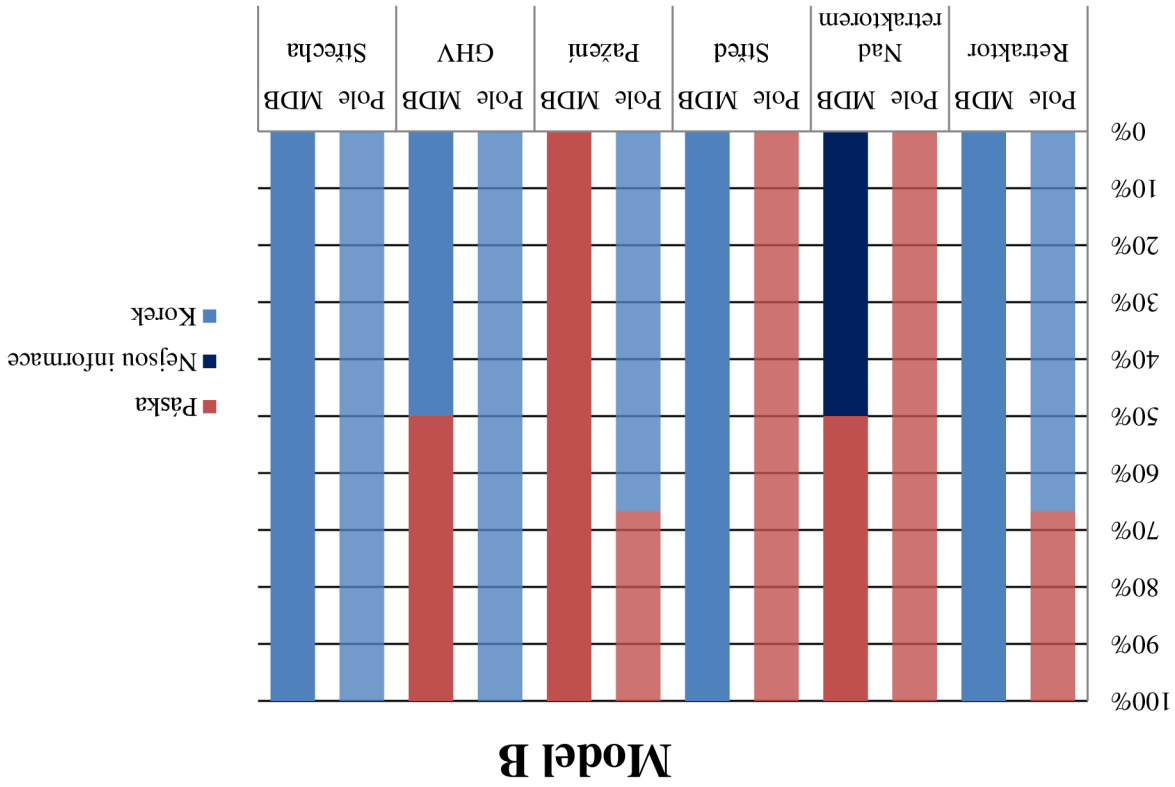
Náraz deformovatelnou barierou

Barier	Počet montáží na pozici						Barier Celkem
	Retraktor	Nad retraktorem	Střed	Pažení	GHV	Střecha	
Model A	9	9	9	9	9	9	54
Korek	5	7	5	4	5	7	33
Páska	4	2	4	5	4	2	21
Model B	2	2	2	2	2	2	12
Korek	2		2		1	2	7
Nejsou informace		1					1
Páska		1		2	1		4
Model C	11	11	11	11	11	11	66
Korek	9	6	7	4	7	5	38
Neplatné	1	1					2
Páska	1	4	4	7	4	6	26
Model D	6	6	6	6	6	6	36
Korek	1	2	2	3	2	3	13
Nejsou informace	1					1	2
Neplatné	3						3
Páska	1	4	4	3	4	2	18
Model E	14	14	14	14	14	14	84
Korek	5	3	9	4	8	5	34
Nejsou informace			1				1
Neplatné	7	8	2	3			20
Páska	2	3	2	7	6	9	29
Celkový součet	42	42	42	42	29	14	252



Boční náraz na sloup

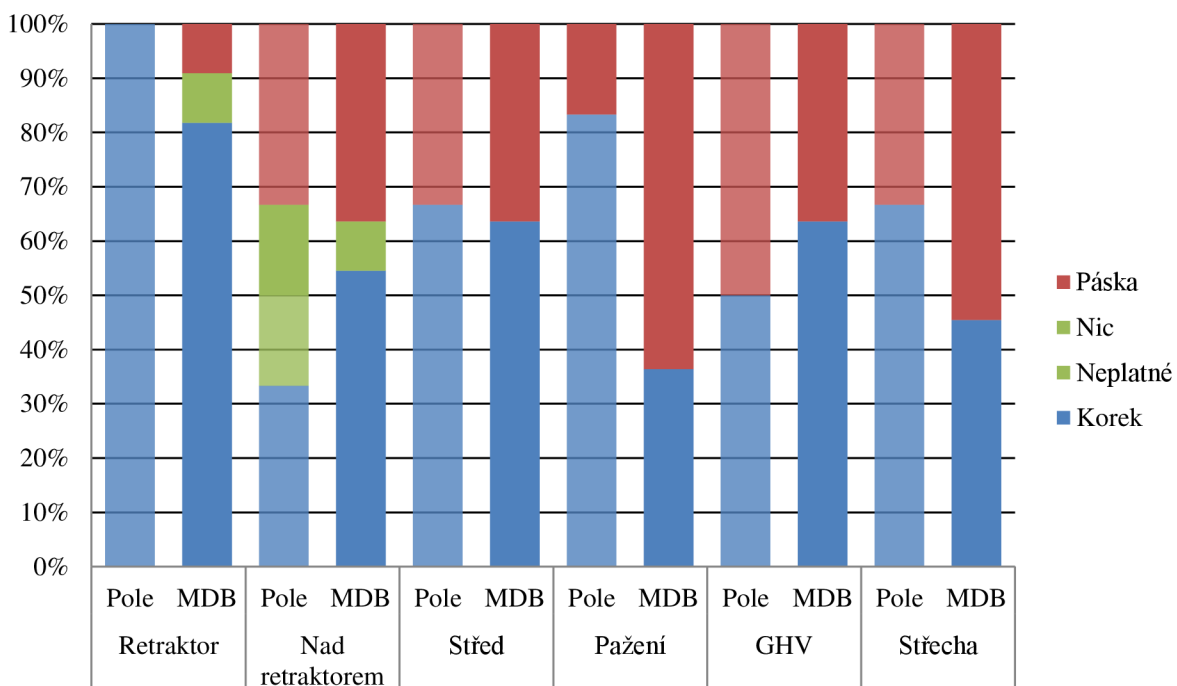
Pole test	Počet montáží na pozici						Pole Celkem
	Retraktor	Nad retraktorem	Střed	Pažení	GHV	Střecha	
Model A	5	5	5	5	5	5	30
Korek	2	1	2	3	1		9
Neplatné		1					1
Páska	3	3	3	2	4	5	20
Model B	3	3	3	3	3	3	18
Korek	2			2	3	3	10
Páska	1	3	3	1			8
Model C	6	6	6	6	6	6	36
Korek	6	2	4	5	3	4	24
Neplatné		2					2
Páska		2	2	1	3	2	10
Model D	7	7	7	7	7	7	42
Korek	3	6	2	5	3	4	23
Neplatné	2						2
Páska	2	1	5	2	4	3	17
Model E	9	9	9	9	9	9	54
Korek	8	2	5	8	7	7	37
Neplatné		3					3
Páska	1	4	4	1	2	2	14
Celkový součet	30	30	30	30	30	30	180



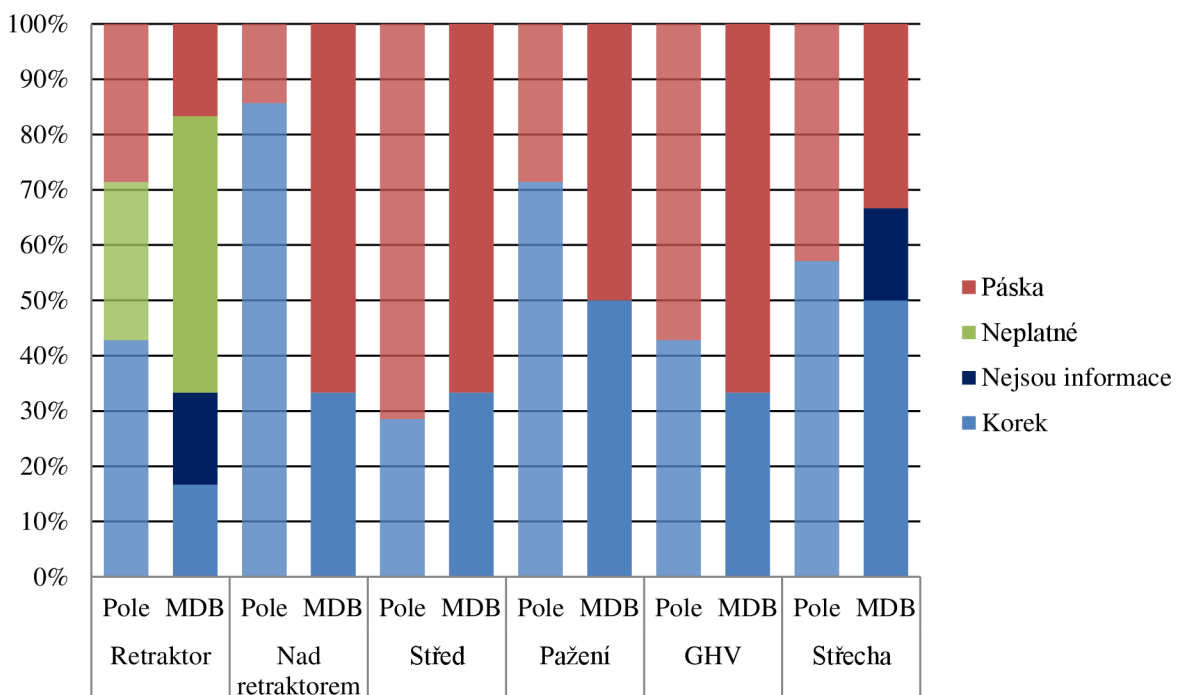
Grafy s procentuálním zastoupením vhodných montáží pro jednotlivé pozice

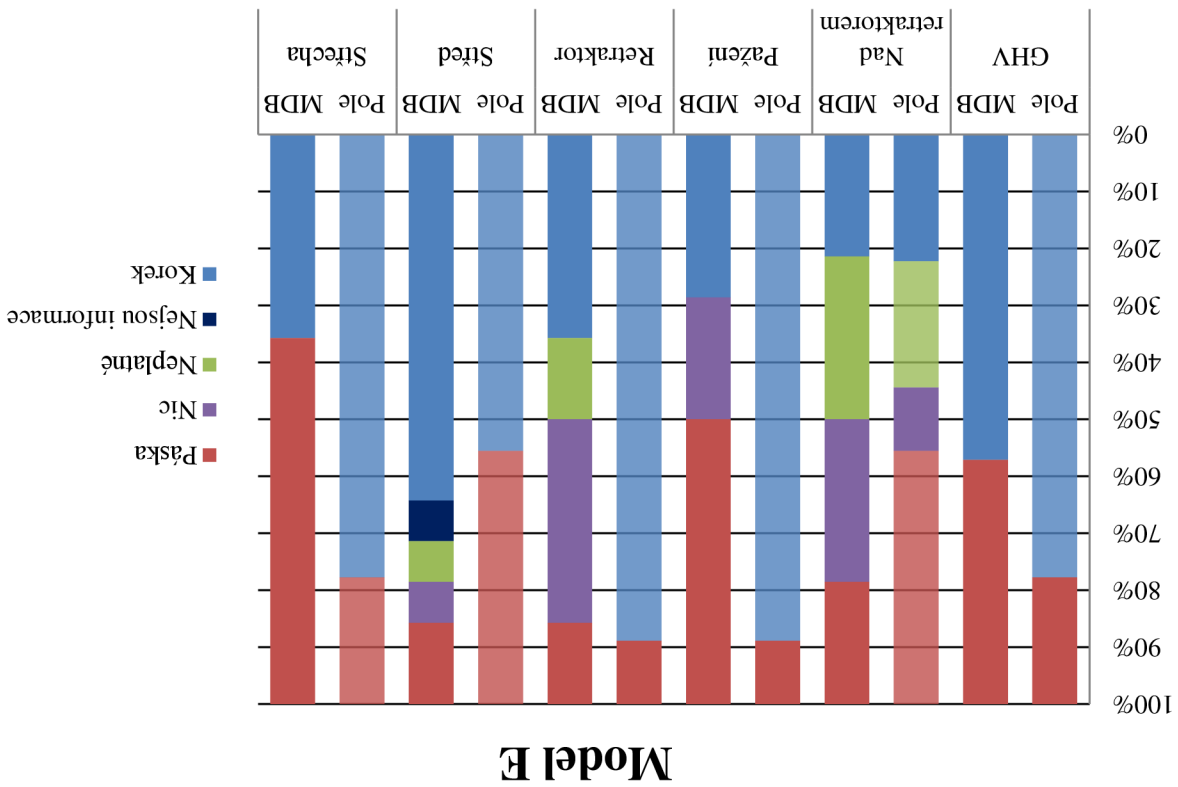


Model C



Model D

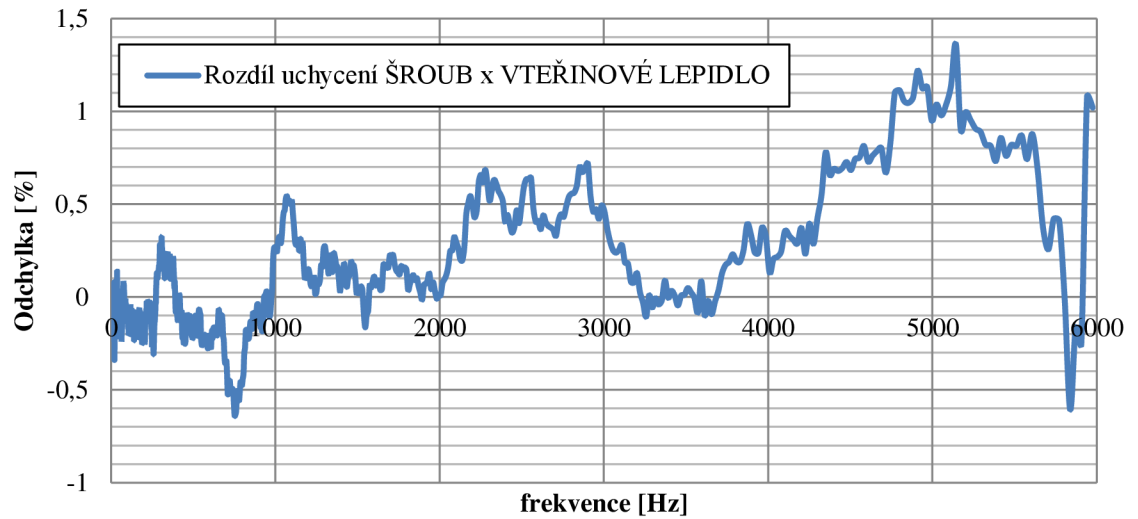
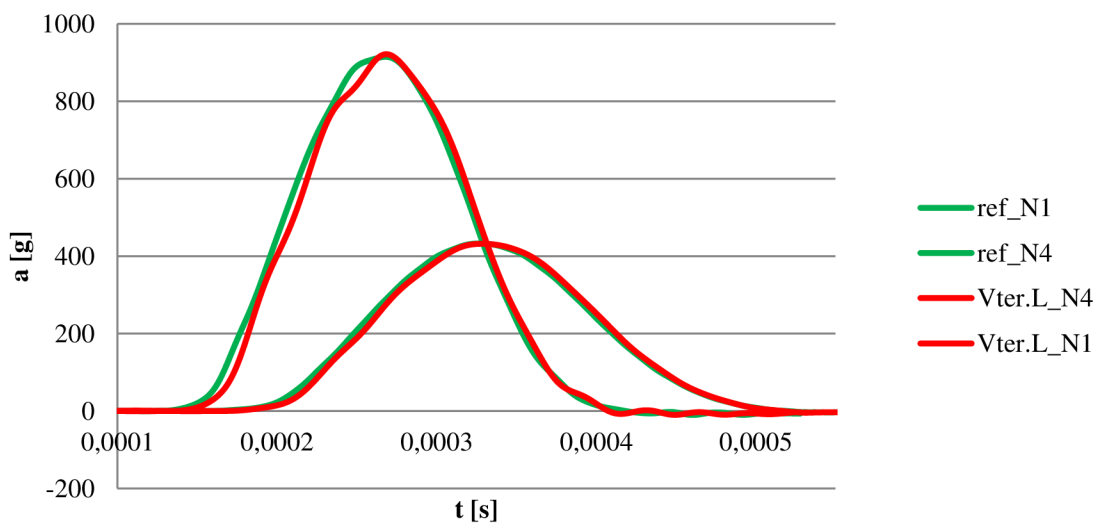




**P3**

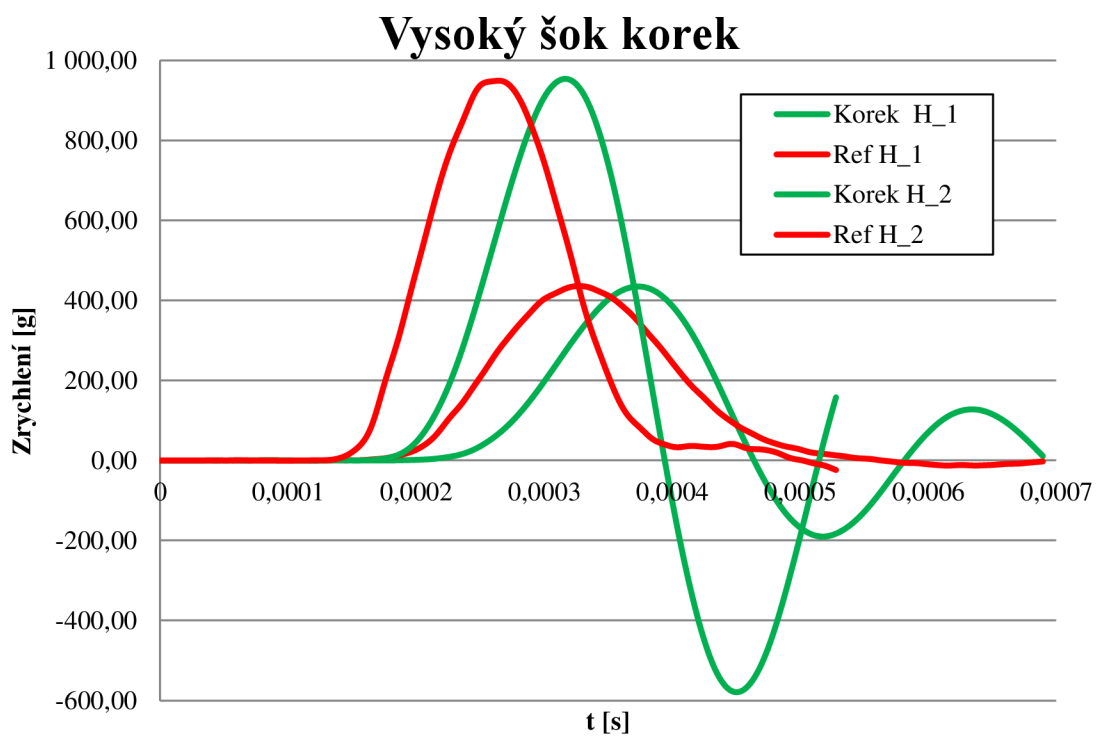
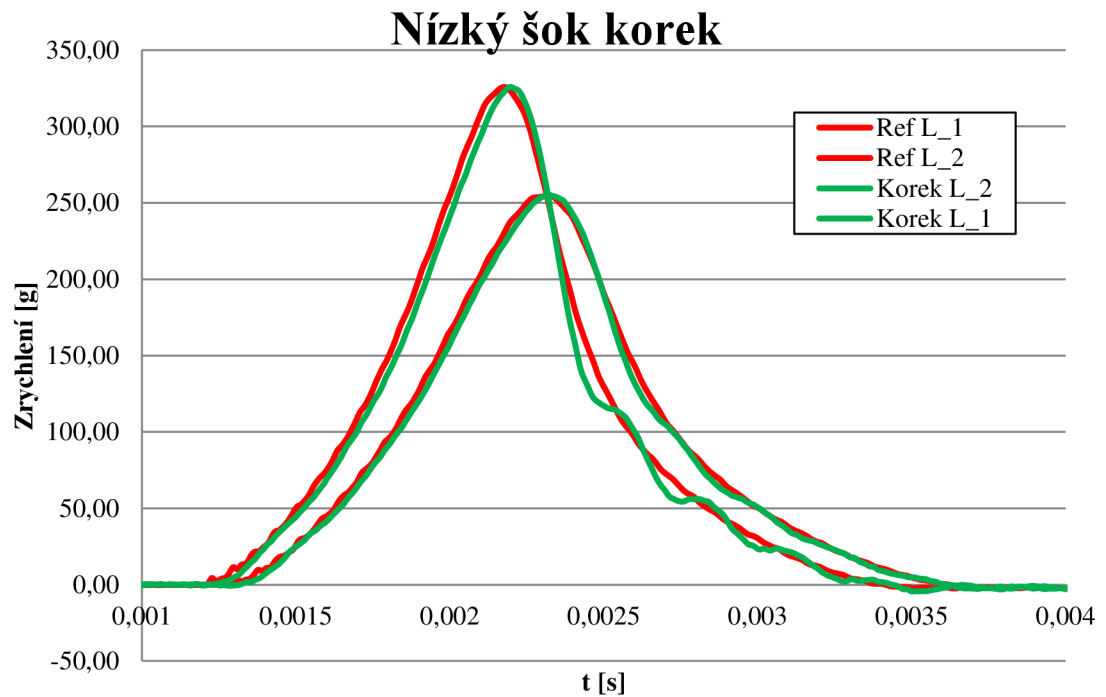
Analýza současného způsobu uchycení

Vteřinové lepidlo

Rozdíl uchycení Šroub x Vteřinové lepidlo**Porovnání šoků vteřinového lepidla**

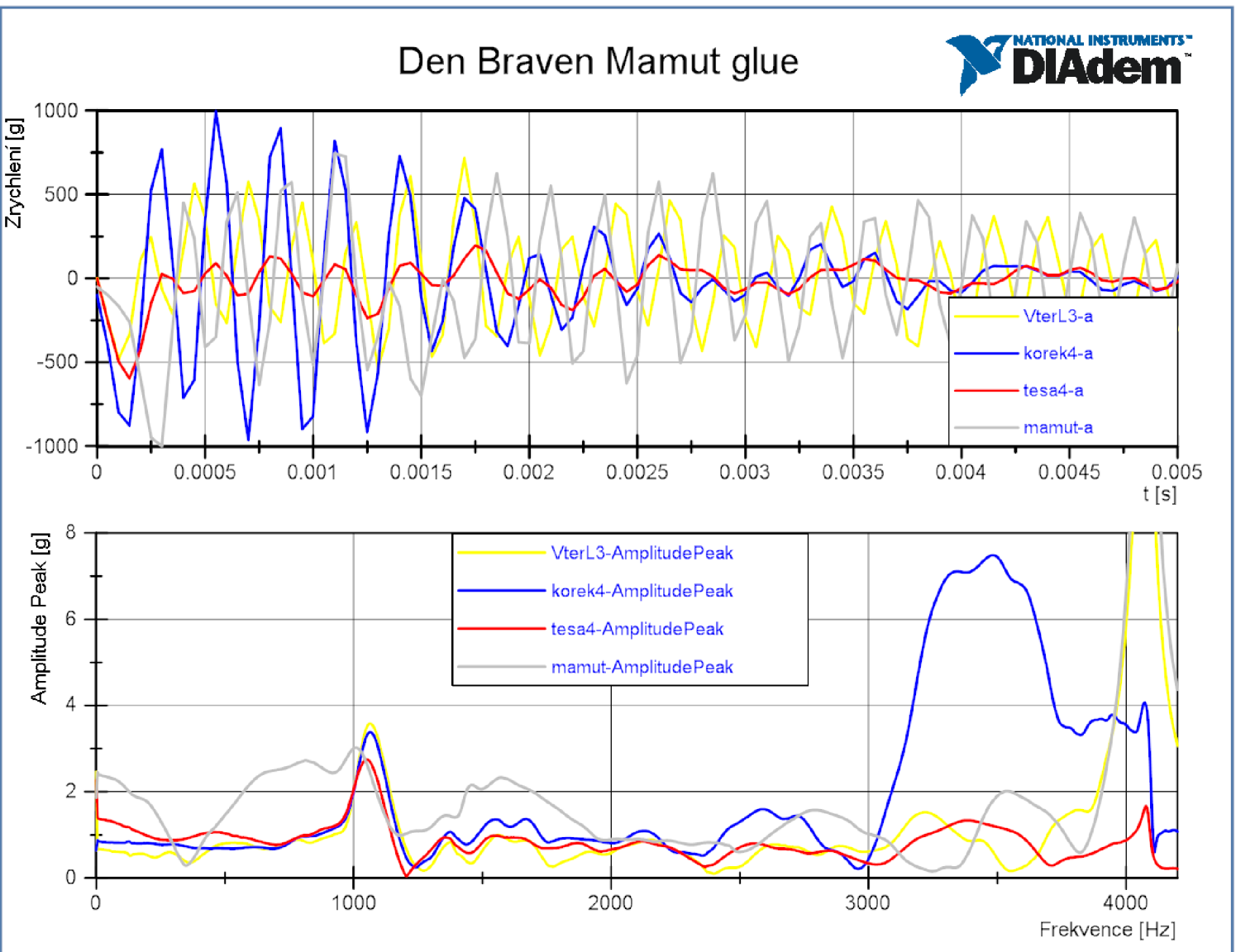


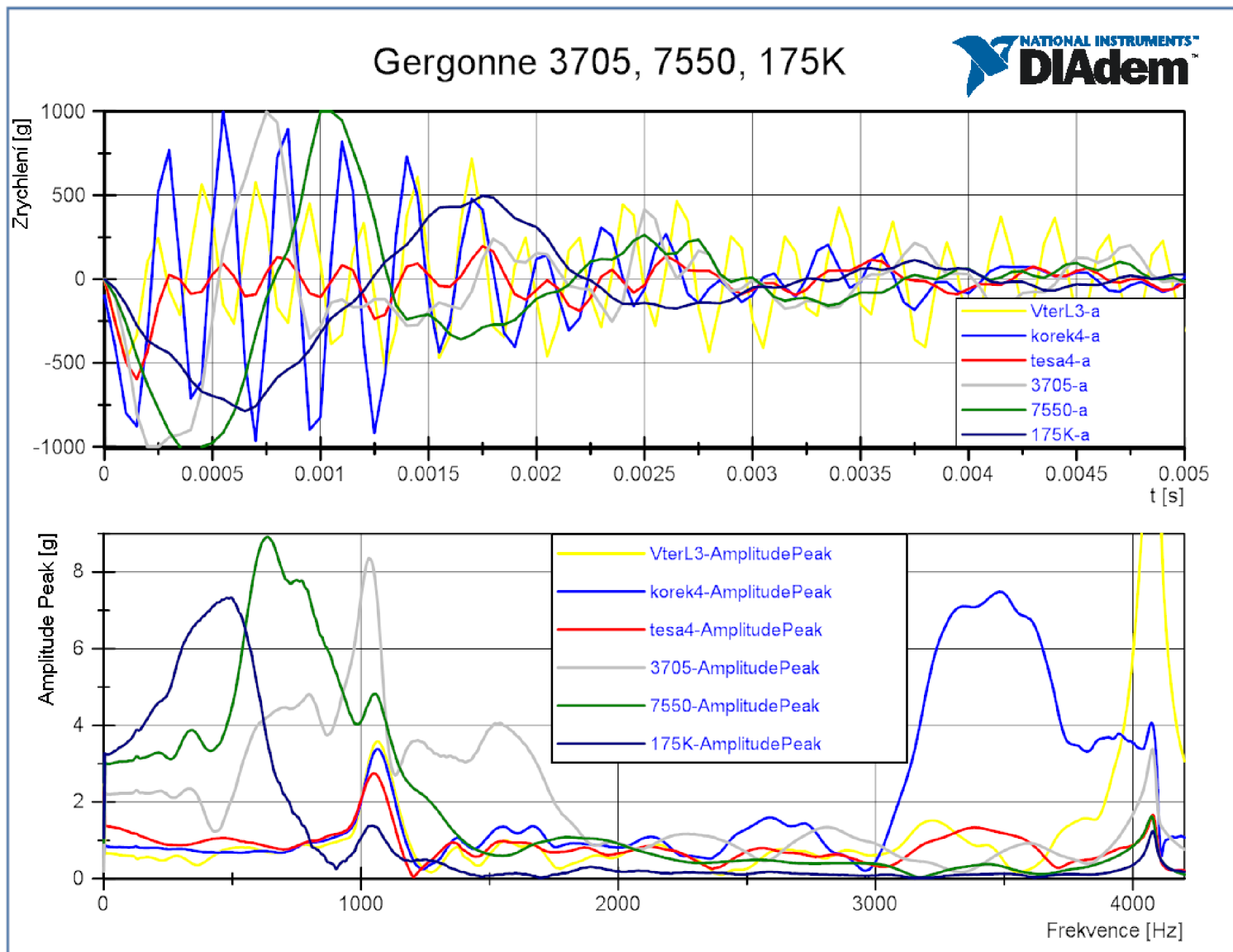
Přípevnění korkem

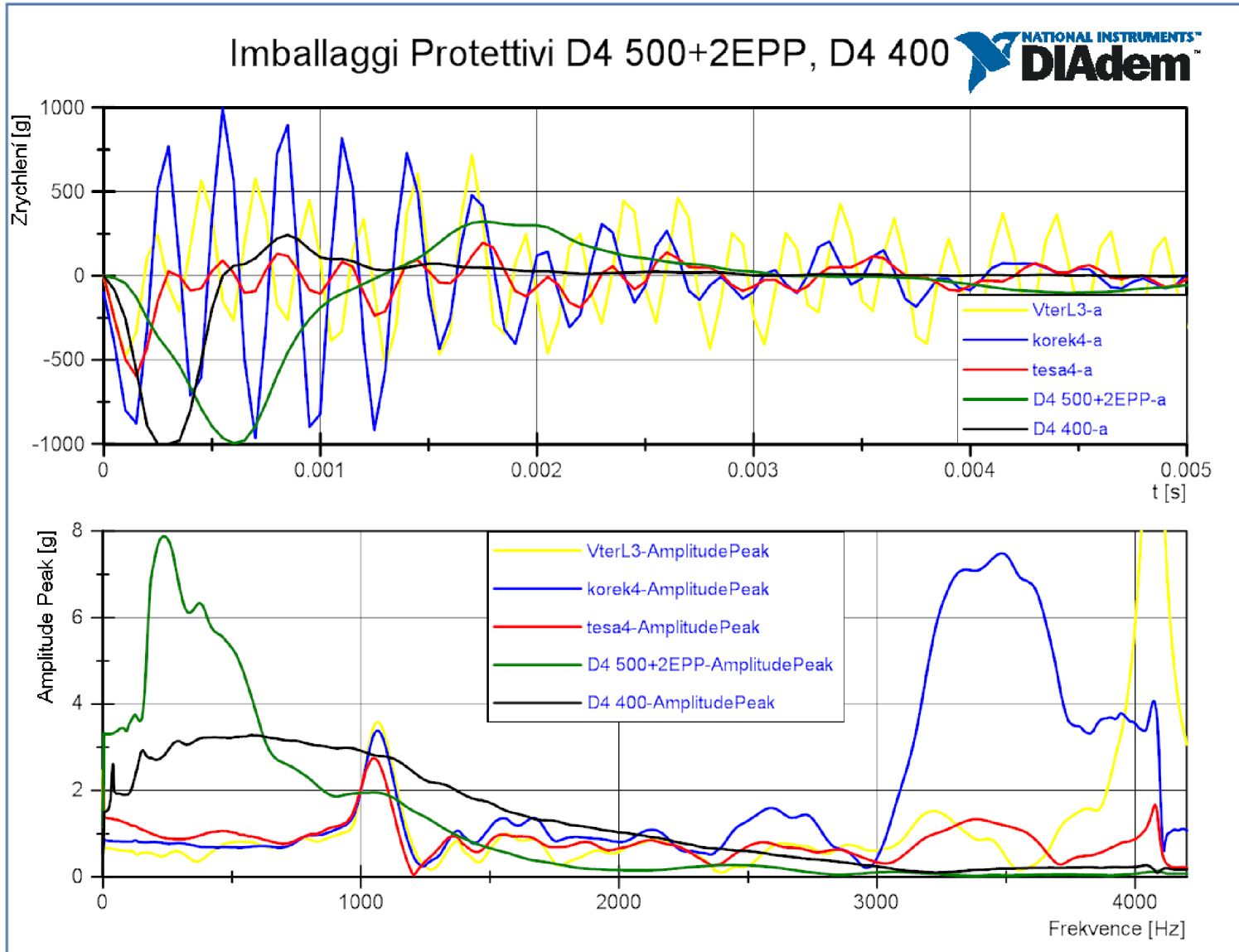


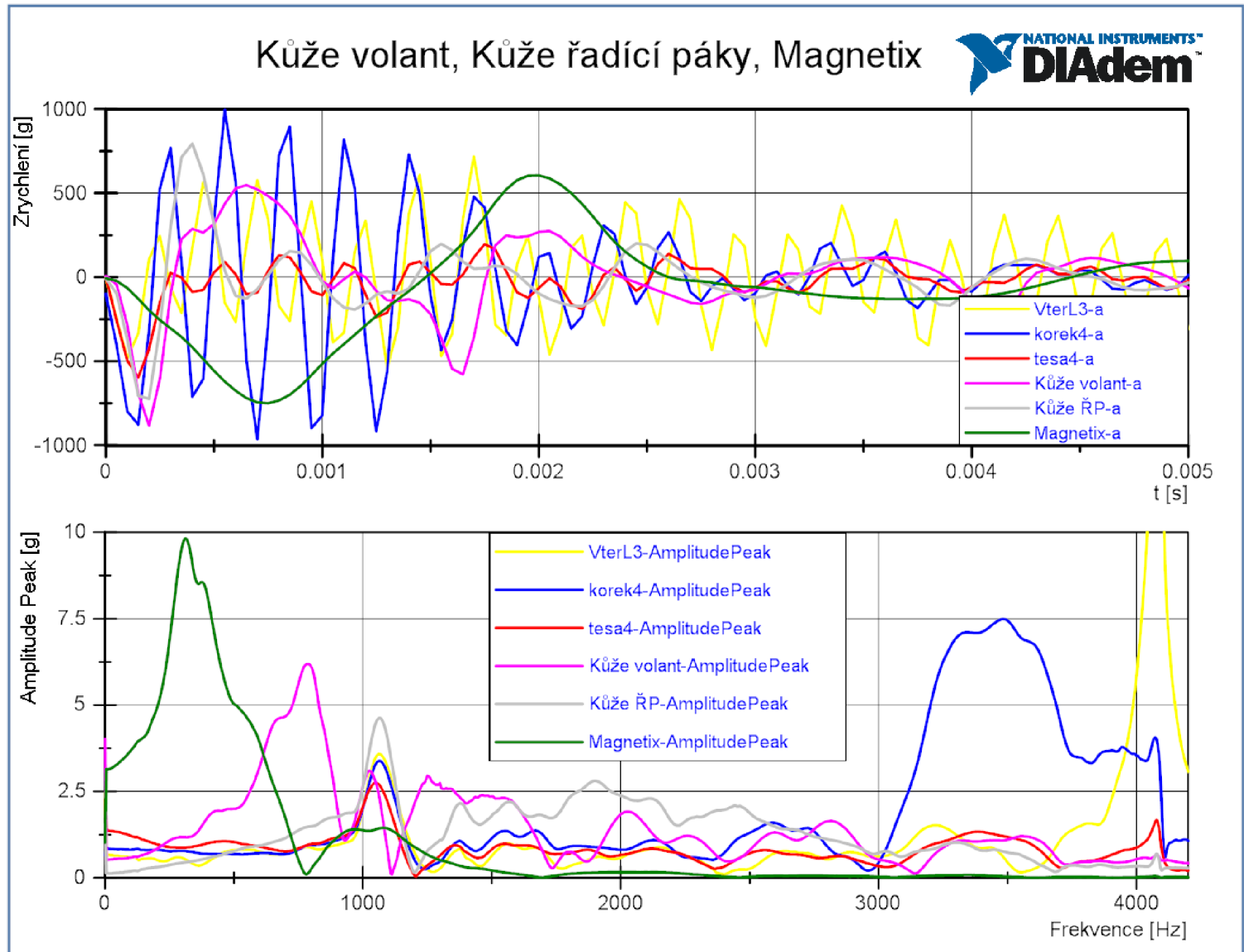
Naměřené charakteristiky pro jednotlivé materiály

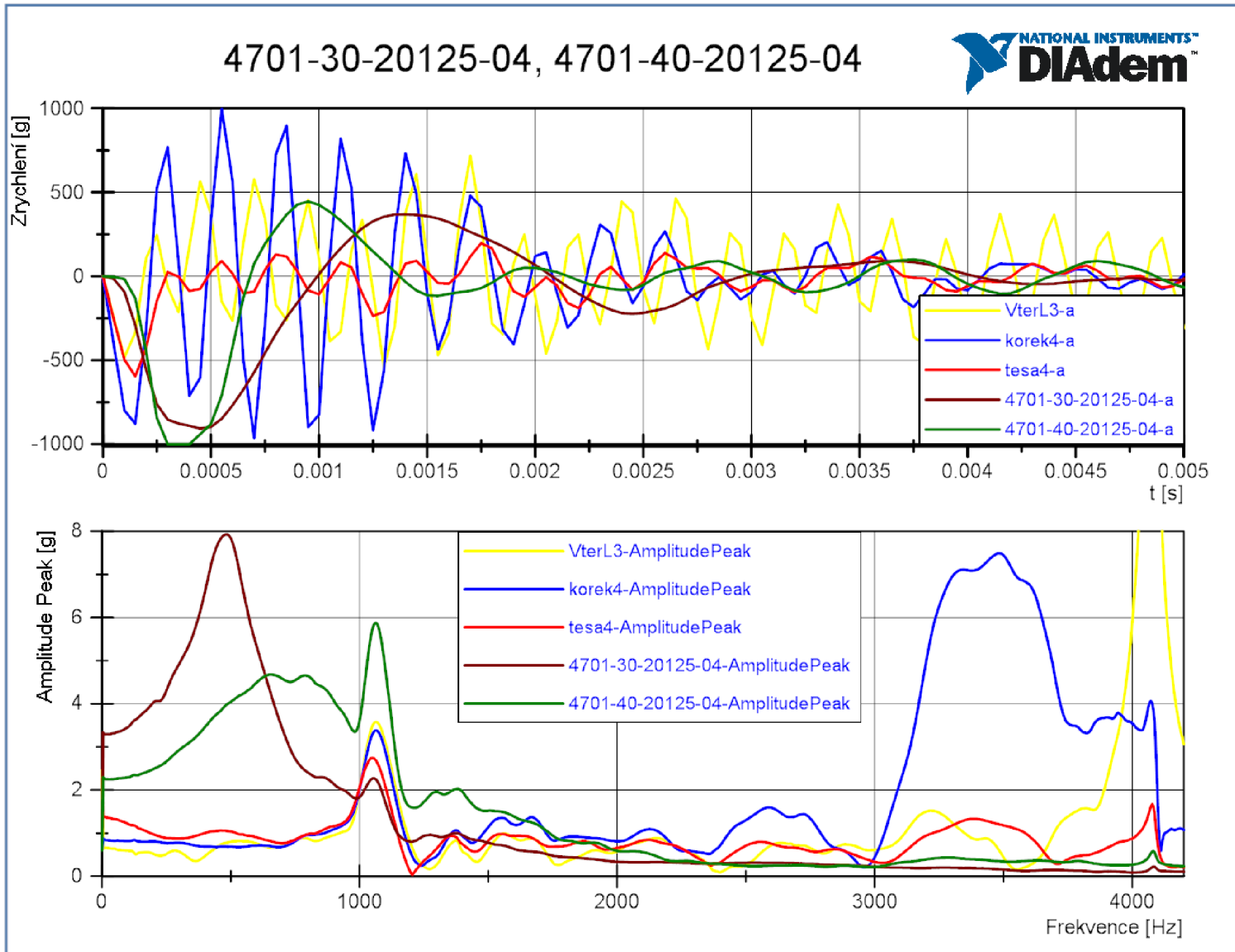
Den Braven Mamut glue

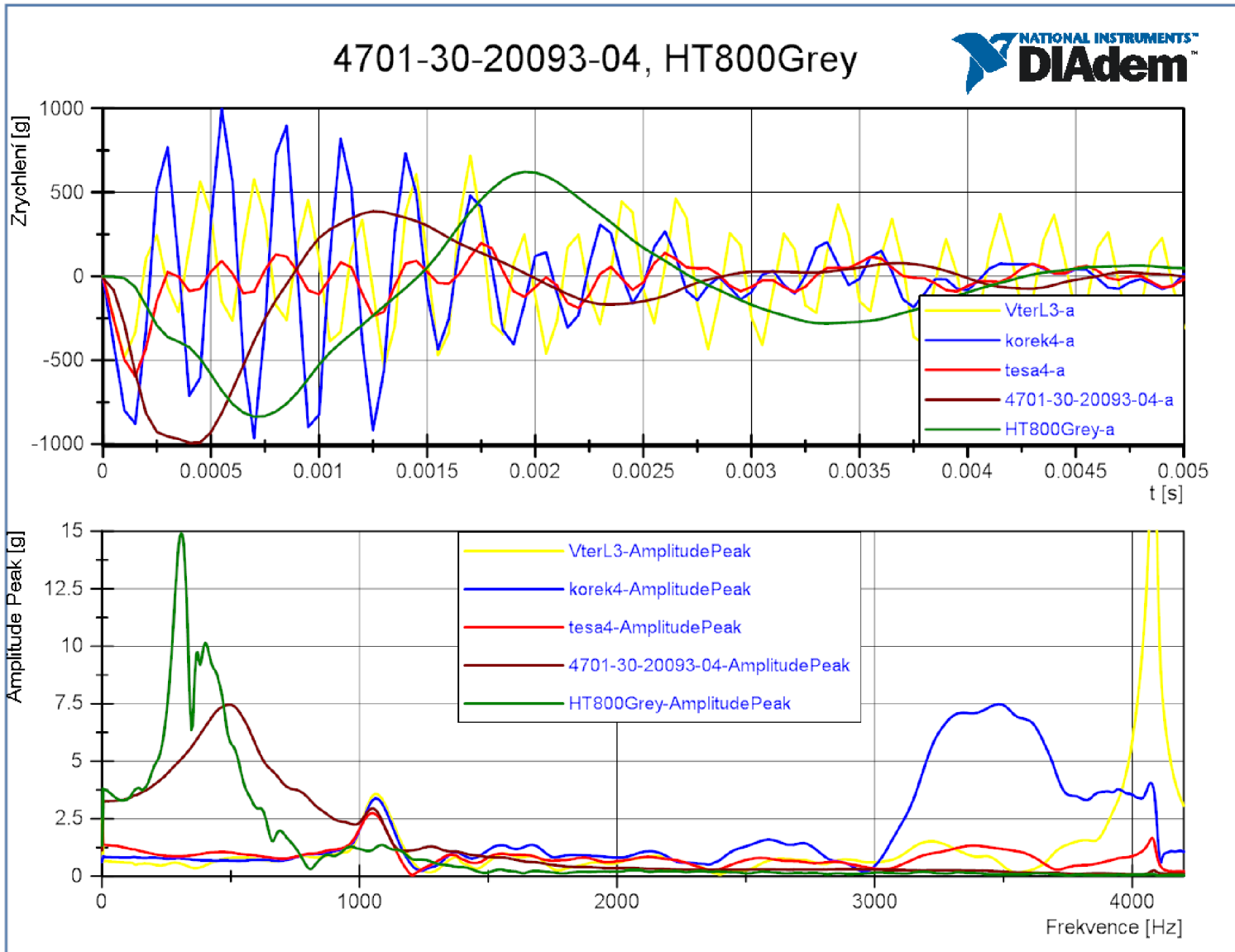


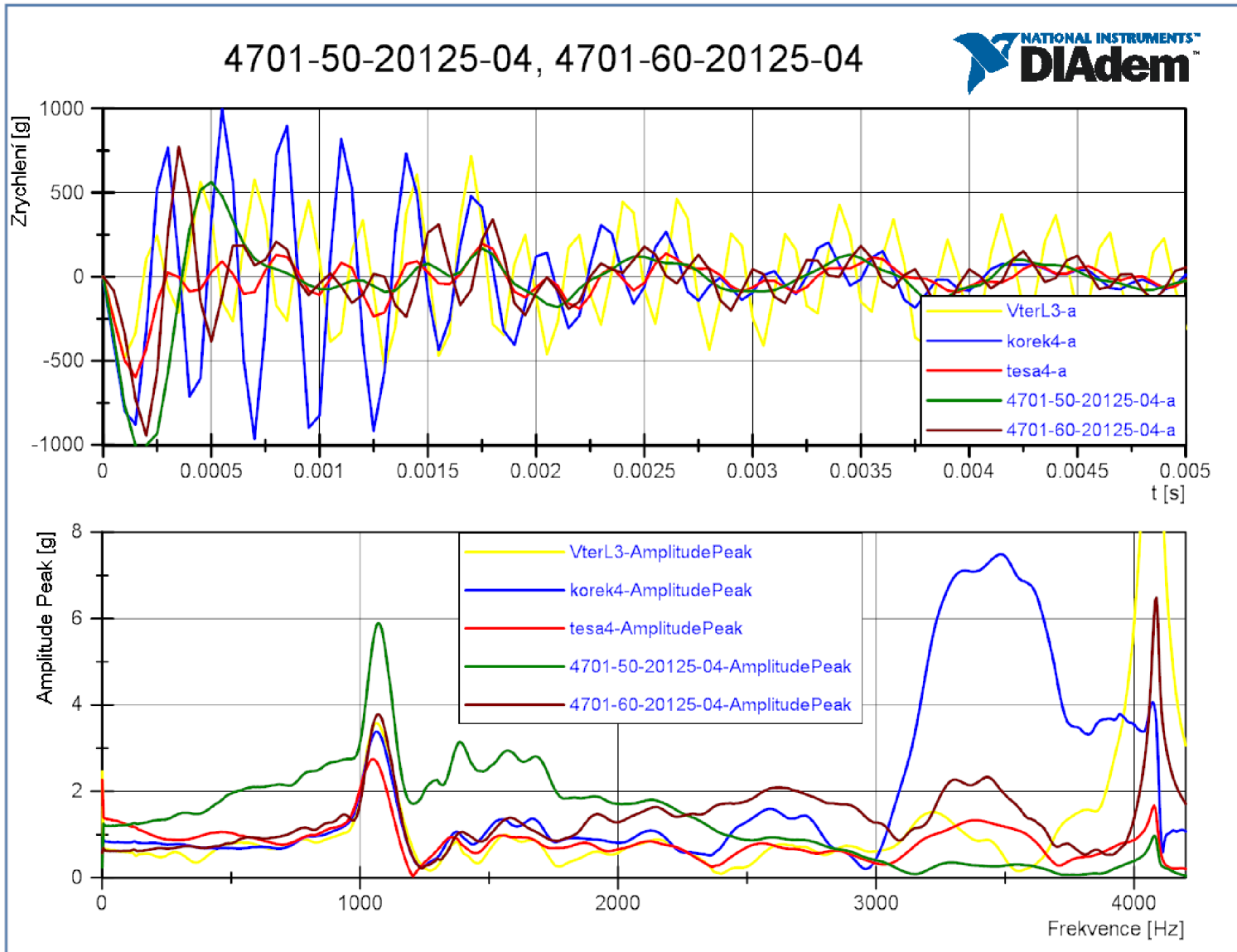


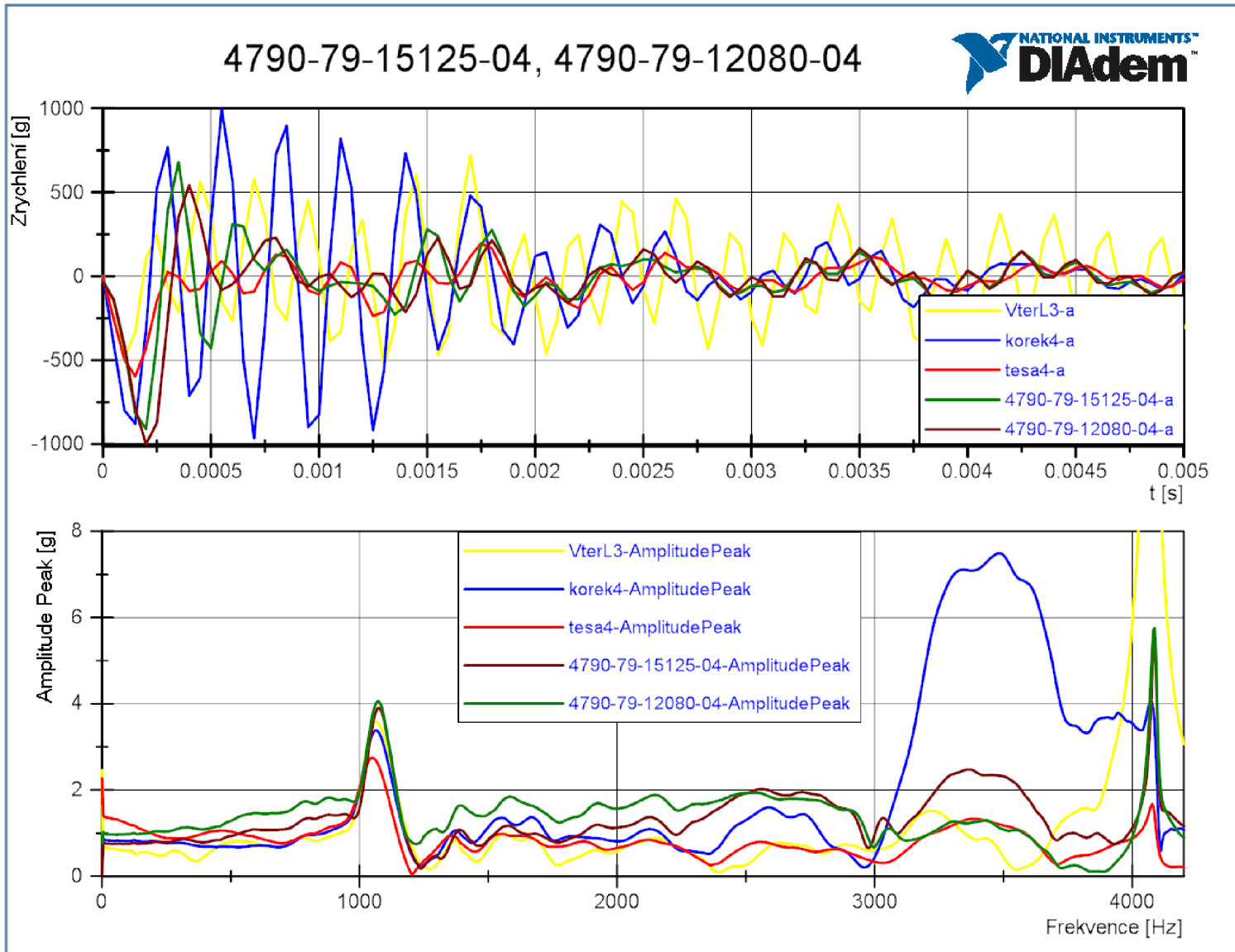


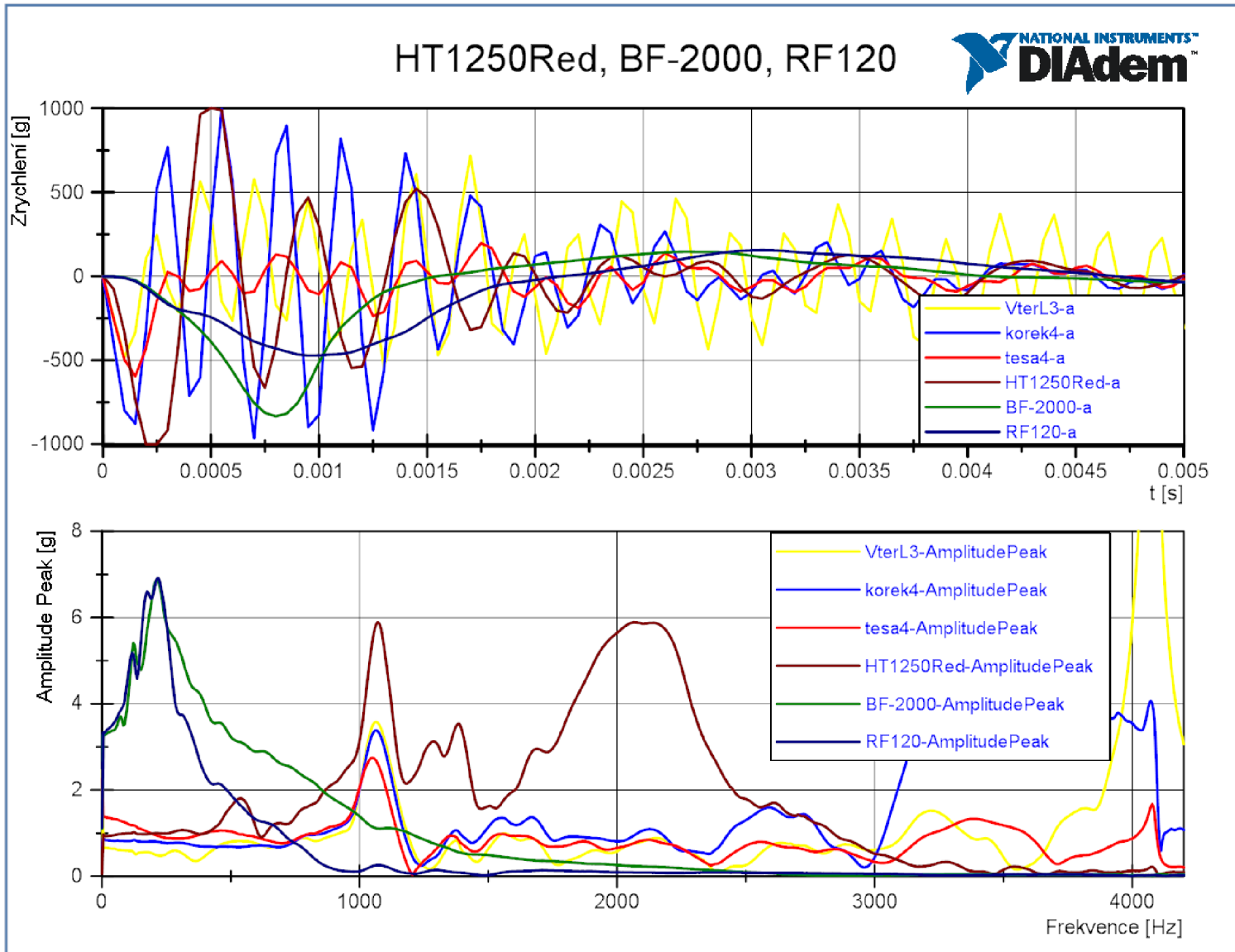


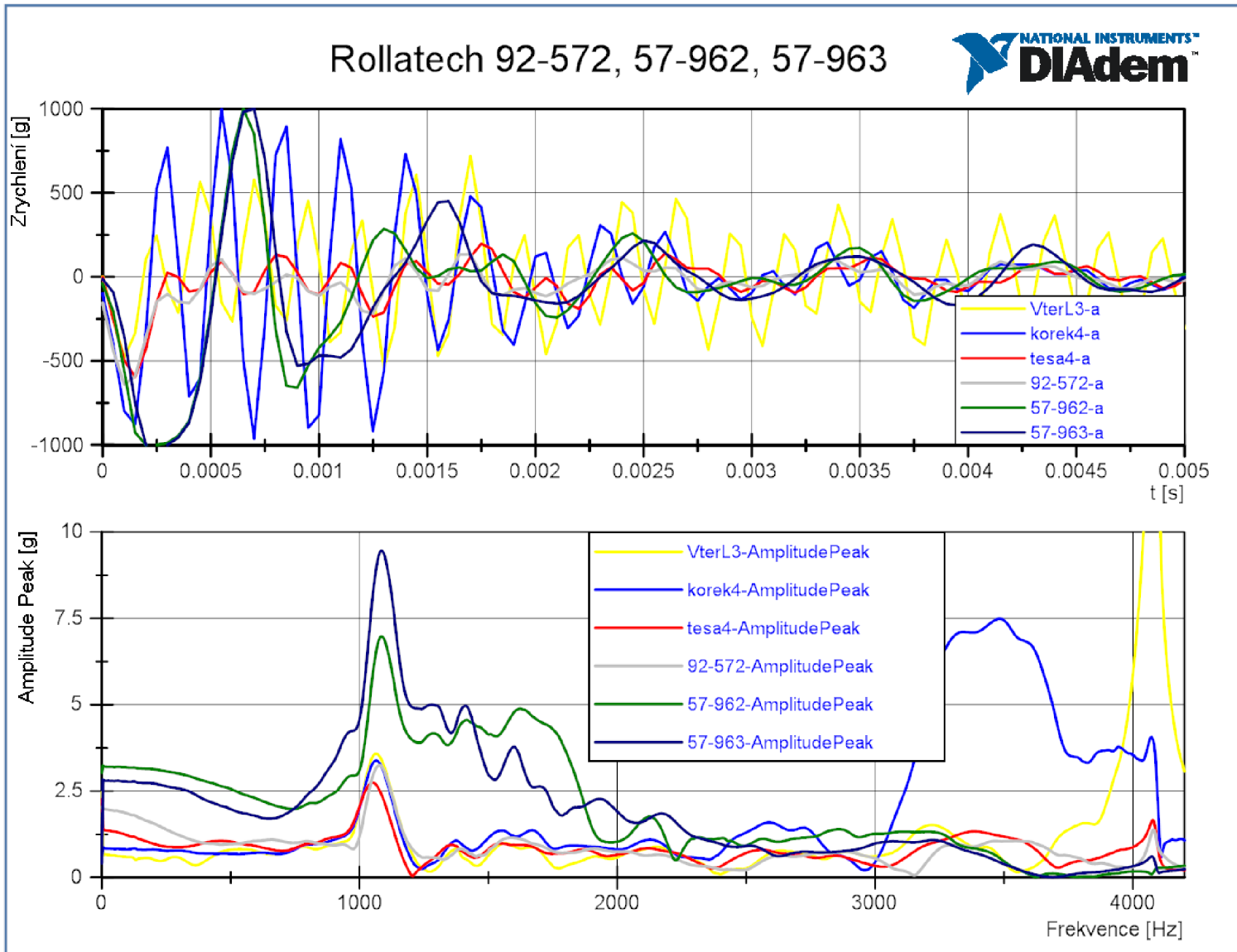


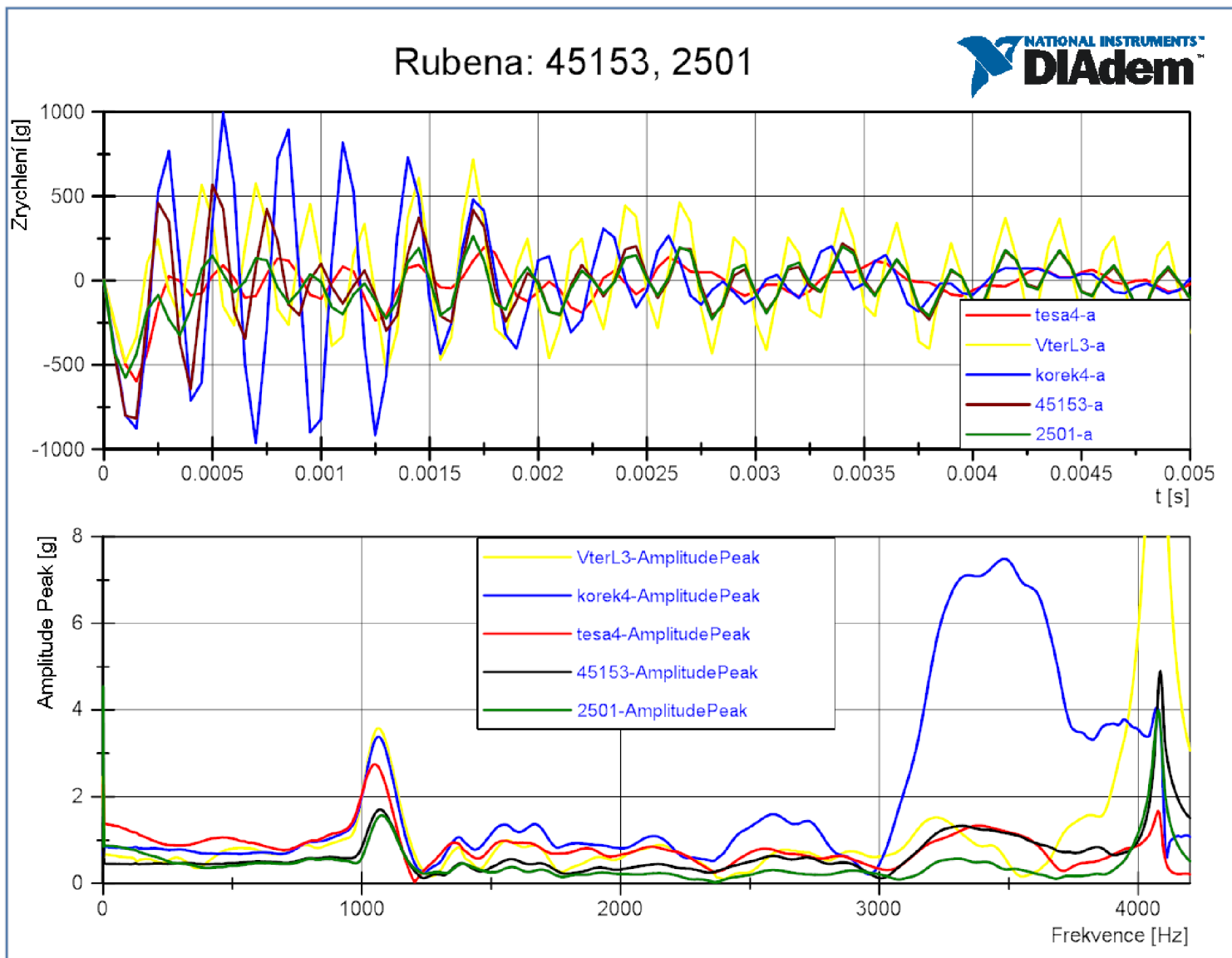


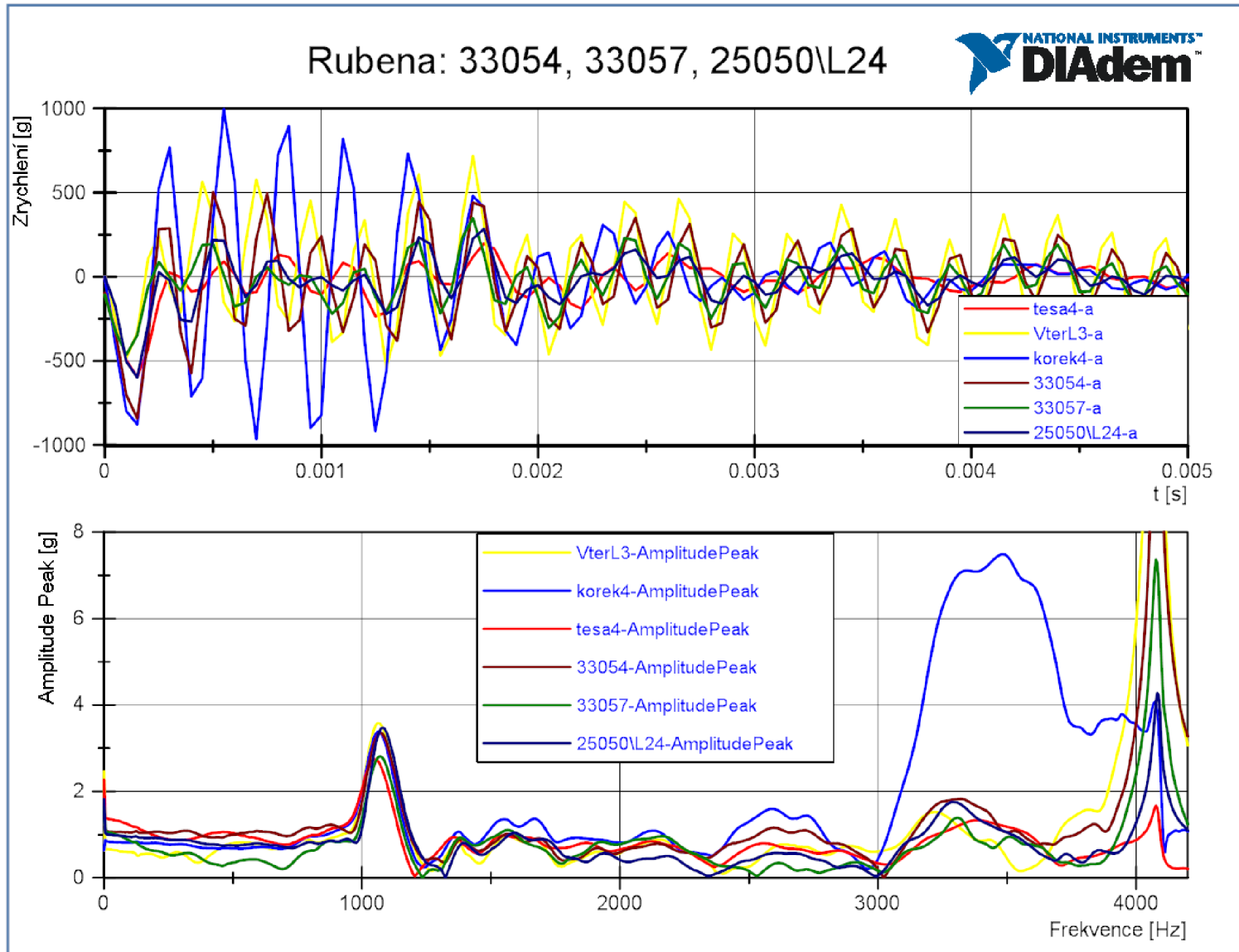


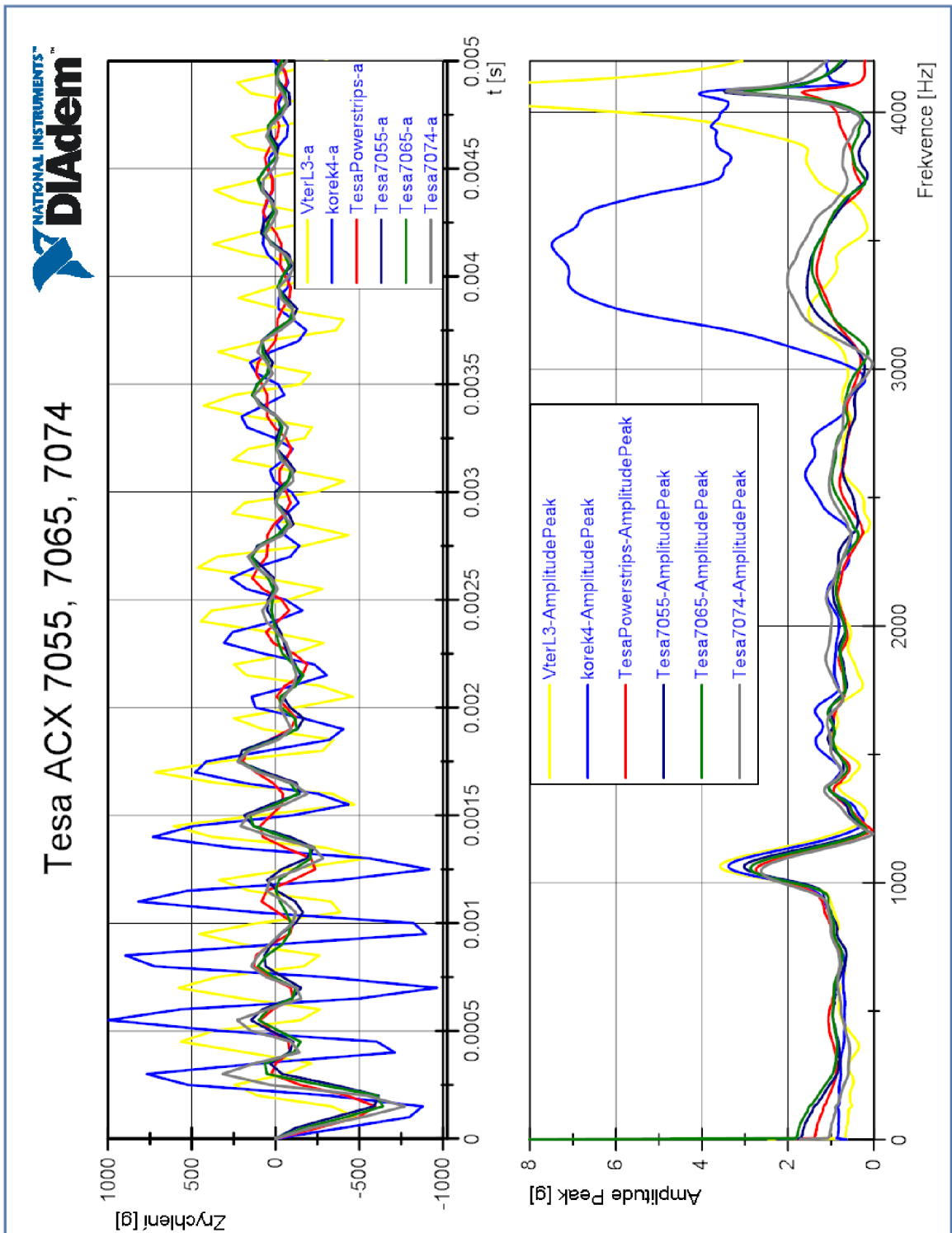


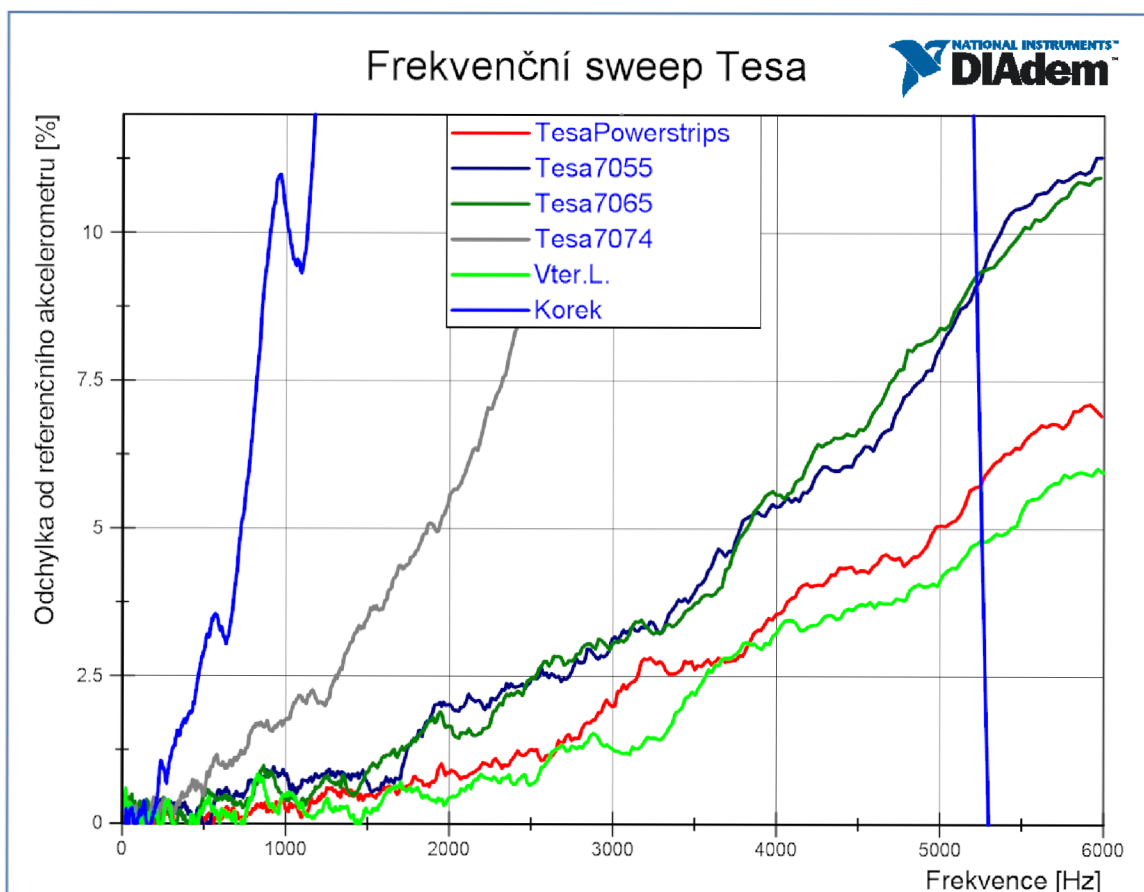


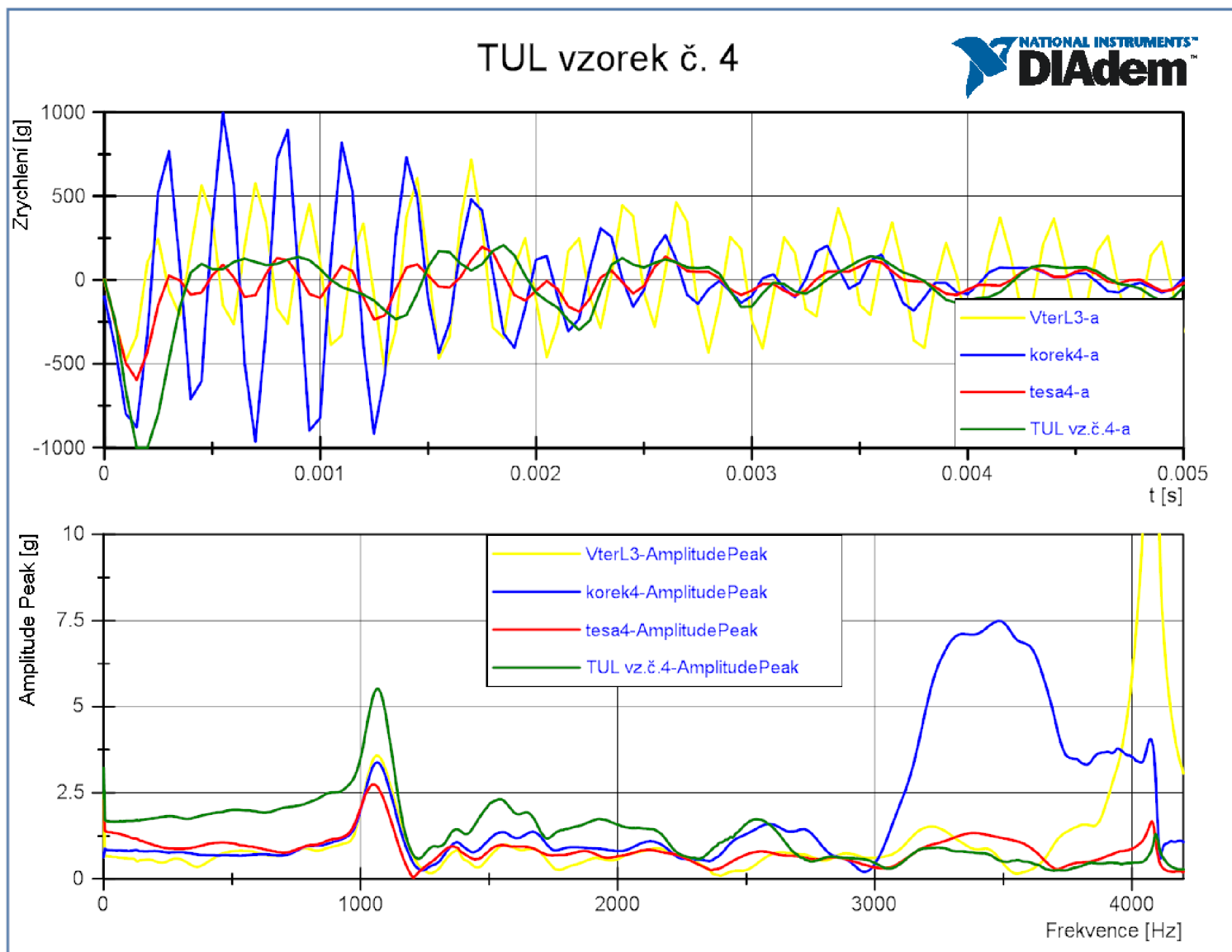


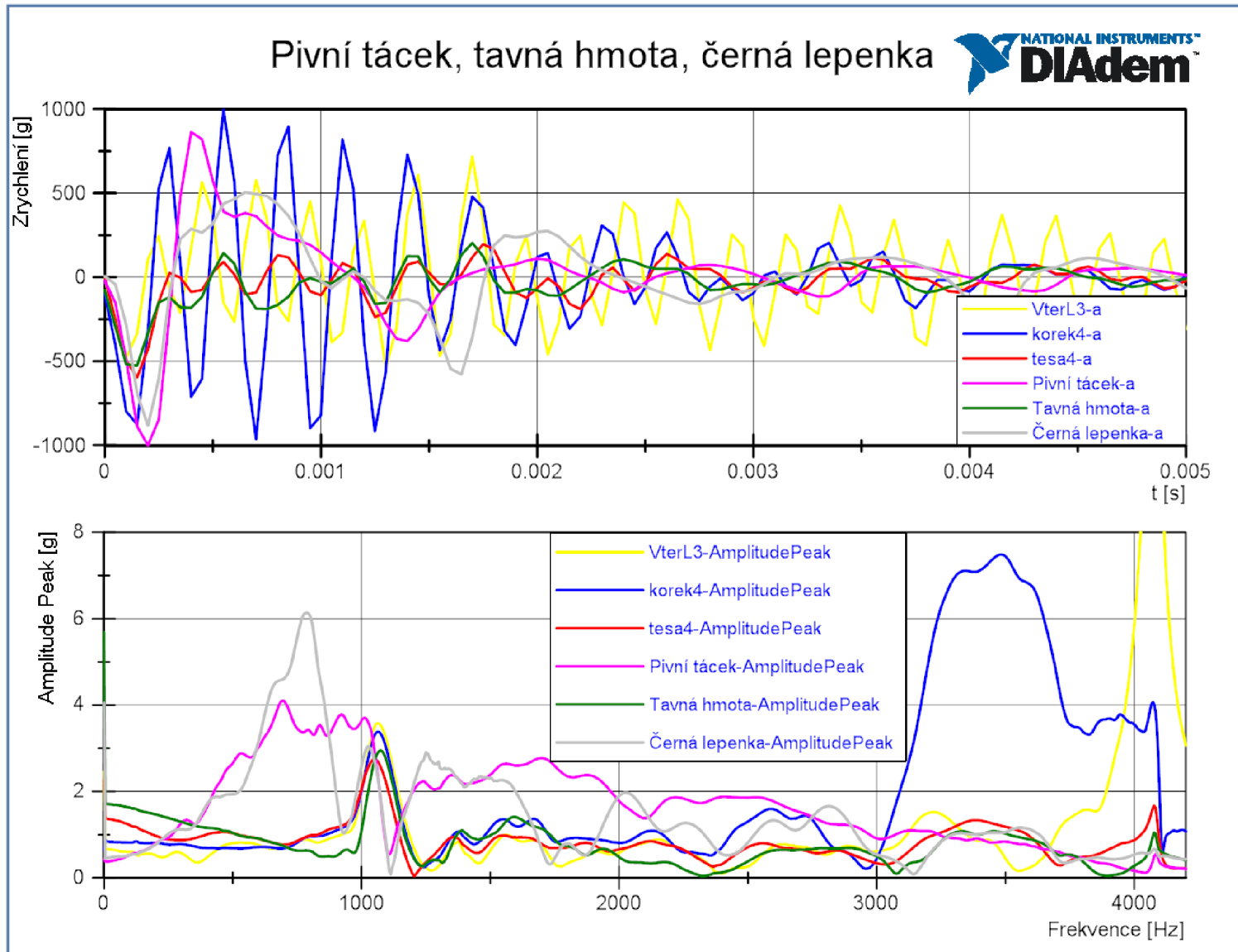


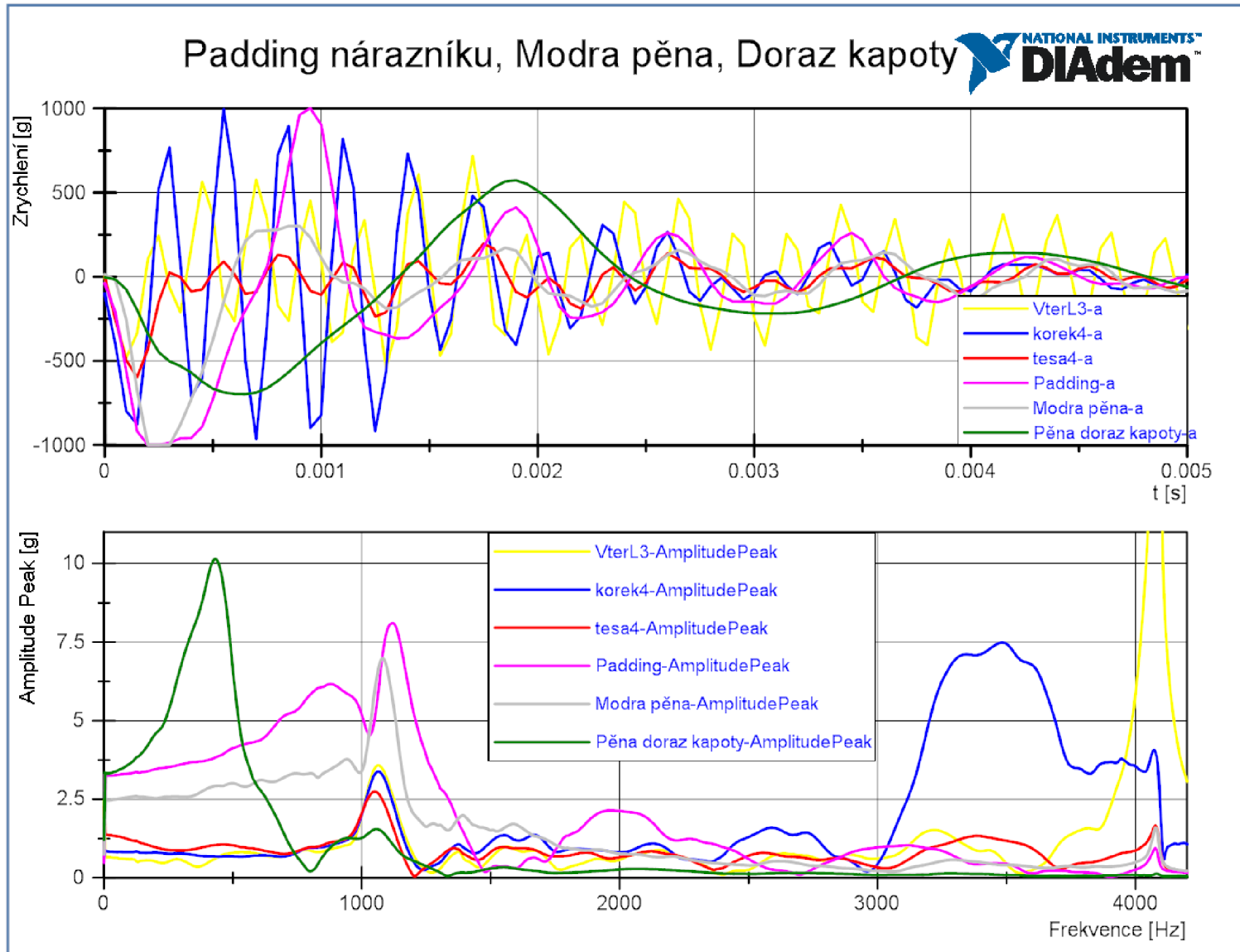


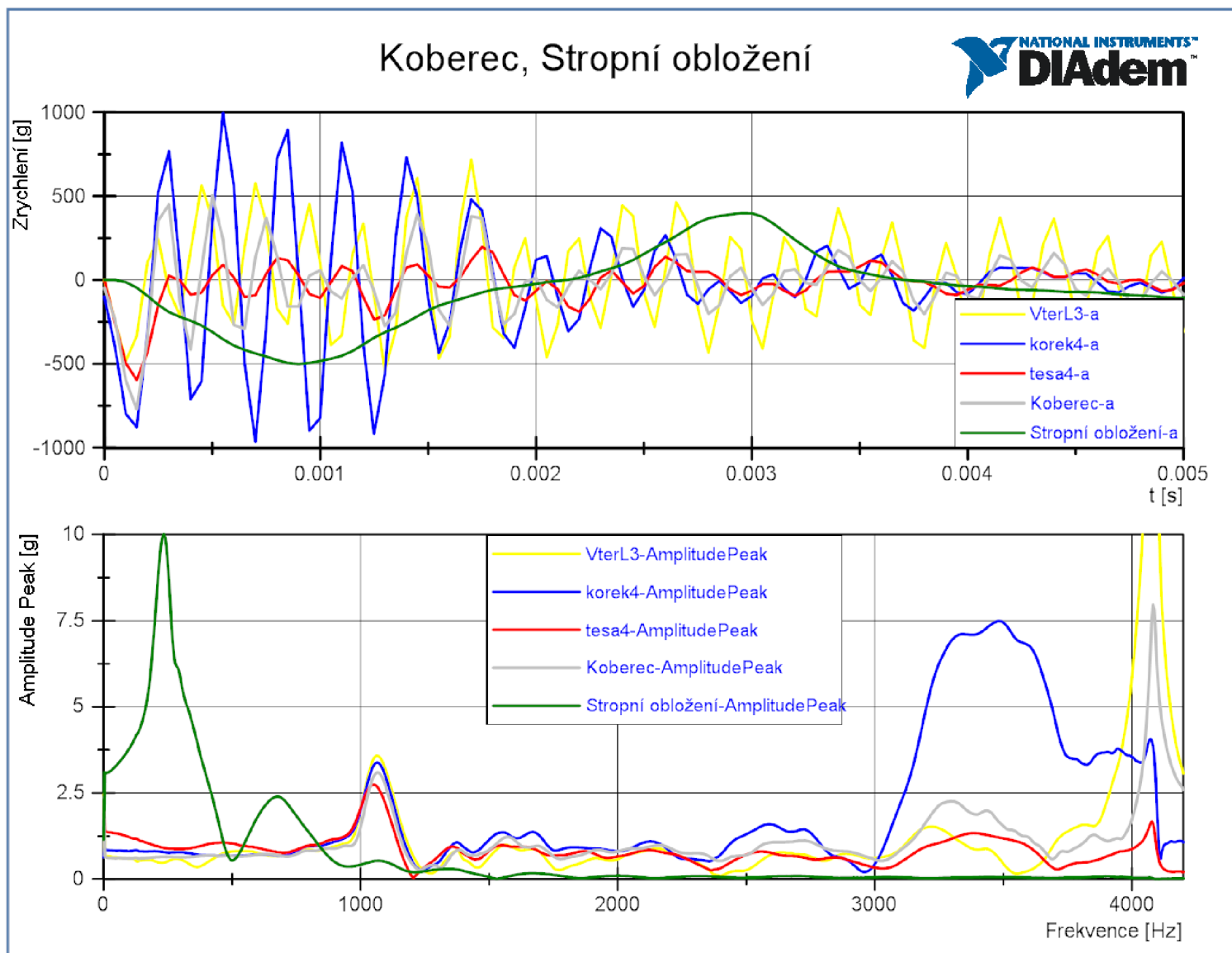












Koberec z vozidla, stropní obložení