

Česká zemědělská univerzita

Technická fakulta

Studijní obor: Silniční a městská automobilová doprava

Bakalářské studium prezenční

Tomáš Radovský

Jízdní vlastnosti vozidel
Vehicle riding properties

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

© **Praha 2015**

Vedoucí bakalářské práce: Kovanda Jan, prof.Ing.CSc.

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Radovský Tomáš

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Jízdní vlastnosti vozidel

Anglický název

Vehicle riding properties

Cíle práce

Analýzovat stav techniky a legislativy v oblasti jízdních vlastností vozidel, ve zvoleném segmentu provést analýzu bezpečnosti a odvodit vlastní závěry.

Metodika

Rozbor stavu techniky a legislativy
Zhodnocení technických a statistických zdrojů
Rozbor zvoleného segmentu
Analýza studovaného jevu
Syntéza poznatků
Formulace závěrů a doporučení

Osnova práce

Sběr literárních podkladů, analýza legislativy
Přehled a zpracování podkladů
Rozbor zkoumaného jevu, analýza dat
Vlastní řešení problému
Závěr a shrnutí

Rozsah textové části

30-50 stran textu vč. tabulek, obrázků a pod., případně další přílohy

Klíčová slova

Zkušebnictví, dynamika vozidel, ovladatelnost, experiment, senzory, HMI

Doporučené zdroje informací

First J. a kol.: Zkoušení automobilů a motocyklů. SnT Praha 2008.

VLK, František. Zkoušení a diagnostika motorových vozidel. Brno: Nakladatelství a vydavatelství vlk, 2001. ISBN 80-238-6573-0

VÉMOLA, Aleš. Diagnostika automobilů I. Brno: Littera, 2006. ISBN 80-85763-31-1

Vedoucí práce

Kovanda Jan, prof. Ing., CSc.

Termín zadání

listopad 2013

Termín odevzdání

duben 2015

doc. Ing. Boleslav Kadleček, CSc.

Vedoucí katedry



prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan fakulty

V Praze dne 3.2.2014

Prohlášení

Prohlašuji,

že jsem tuto závěrečnou práci vypracoval zcela samostatně a veškerou použitou literaturu a další podkladové materiály, které jsem použil, uvádím v seznamu literatury a že svázaná a elektronická podoba práce je shodná. Současně prohlašuji, že souhlasím se zveřejněním této práce podle § 47b zákona č.111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

31.3.2015

Poděkování

Děkuji mému vedoucí práce prof. Kovandovi za jeho trpělivost, podněty a doporučenou literaturu, svým rodičům za to, že mi umožnili studovat a svojí přítelkyni za nemalou podporu při dokončování této práce.

Abstrakt: Bakalářská práce pojednává o legislativě, o jízdních vlastnostech vozidel a o konstrukčních prvcích, které tyto vlastnosti ovlivňují.

V první části je analyzována jak národní, tak i mezinárodní legislativa, která se motorových vozidel týká. Zároveň jsou zde uvedeny způsoby zkoušení vozidel, které jsou důležité pro kontrolu konstrukčních prvků vozidel a jejich správné funkce.

V další teoretické části jsou rozebrány jízdni vlastnosti vozidel jako takové, například jízdni odpory, brzdna dráha a pod. Je zde uveden také základni rozbor konstrukčni prvků, které mají na tyto vlastnosti vliv.

V poslední praktické části se nachází vyhodnocení a porovnání jízdni vlastnosti tři různých vozidel na základě naměřeni hodnot z vykonaného experimentu, který je zde popsán.

Účelem práce je analyzovat stav techniky a legislativy v oblasti jízdni vlastnosti vozidel.

Klíčová slova: Zkušebnictví, dynamika vozidel, ovladatelnost, experiment, senzory, HMI

Vehicle riding properties

Summary: This thesis is about traffic laws, vehicle riding properties and construction components, which affect these properties.

First part is analysis of Czech and international traffic laws. Car testing methods, which are important for testing car components and their function, are also mentioned there.

Second part is about important car riding properties – e.g. air resistance, breaking distance – and about components engaged in them.

Last part contains test results of three different cars from experiment, which is described in detail there.

The main goal of this work is to analyze contemporary technical possibilities and traffic laws.

Key words : Testing, vehicle dynamics, control, experiment, sensors, HMI

Obsah

1	ANALÝZA LEGISLATIVY	2
1.1	Národní legislativa.....	2
1.2	Mezinárodní legislativa	3
1.3	Zkoušení vozidel.....	4
1.3.1	Měřicí přístroje.....	4
1.3.2	Jízdní zkoušky.....	4
1.3.2.1	Brždění v přímém směru.....	4
1.3.2.2	Kruhová jízdní zkouška.....	4
1.3.3	Statické zkoušky.....	5
1.3.4	Zařízení pro měření zrychlení.....	6
1.3.4.1	Decelerometry.....	6
1.3.4.2	Akcelerometry.....	6
2	PŘEHLED A ZPRACOVÁNÍ PODKLADŮ	7
2.1	Vlastnosti a konstrukční uspořádání vozidel.....	7
2.1.1	Podvozek.....	7
2.1.1.1	Zavěšení kol.....	7
2.1.1.2	Pérování.....	10
2.1.1.3	Pneumatiky.....	14
2.1.1.4	Kammova kružnice přilnavosti	15
2.1.1.5	Řízení	16
2.1.2	Jízdní odpory.....	20
2.1.2.1	Valivý odpor	20
2.1.2.2	Vzdušný odpor	22
2.1.2.3	Odpor stoupání.....	23
2.1.2.4	Odpor zrychlení.....	24
2.1.2.5	Celkový jízdní odpor	24
2.1.3	Brždění.....	25
2.1.3.1	Druhy brzdných systémů	25
2.1.3.2	Faktory omezující brždění	28
2.1.3.3	Brzdná dráha	30
2.1.4	Aquaplaning	32
2.1.5	Průjezd směrovým obloukem	33
2.1.6	Směrová stabilita	34
3	ROZBOR ZKOUMANÉHO JEVU, ANALÝZA DAT	35
3.1	Zkoumaný jev.....	35
3.2	Analýza dat.....	35

3.2.1	Výstupní hodnoty pro jednotlivá vozidla	37
3.2.1.1	Škoda Octavia II.....	37
3.2.1.2	Škoda rapid	38
3.2.1.3	BMW 320d	39
4	VLASTNÍ ŘEŠENÍ PROBLÉMU	40
	SEZNAM TABULEK A OBRÁZKŮ	45
	POUŽITÉ VELIČINY A JEDNOTKY	49
	SEZNAM PŘÍLOH.....	51

Úvod

Téma bakalářské práce jsem zvolil vzhledem ke svému kladnému vztahu k motorovým vozidlům. Již od raného dětství je to jeden z mých největších zájmů, kterému se věnuji ve volném čase. V současné době vozidel na silnicích neustále přibývá, a jejich vlastnosti mají přímý vliv na bezpečnost účastníků silničního provozu.

Této problematice se bezkonkurenčně vyčerpávajícím způsobem věnuje Prof. František Vlk, který vytvořil velké množství publikací. Z dalších autorů je možné uvést ing. Jířího Firsta. Jízdní vlastnosti vozidel vychází samozřejmě primárně ze základních zákonů fyziky a mechaniky, které platí vždy a všude pro každého stejně.

V bakalářské práci bych rád uvedl základní legislativu, která se tohoto problému týká, základní rozbor vlastností vozidla a vliv konstrukčního uspořádání vozidla na tyto vlastnosti. V kapitole Analýza dat se budu věnovat vyhodnocení z jízdních zkoušek a pokusím se porovnat tři různá vozidla z hlediska jejich vlastností s využitím softwaru NI Diadem. Přínosem pak bude porovnání vozidel na základě naměřených hodnot.

Budu postupovat následovně: z dat, které mi byly dány k dispozici vyberu právě ty, které se týkají třech porovnávaných vozidel (jedná se o vozidla Škoda octavia II, Škoda rapid a BMW 320d) a vytvořím z nich grafy. Z těch odečtu extrémní naměřené zrychlení a na základě těchto údajů budu vozidla hodnotit.

1 Analýza legislativy

Legislativa, která se zabývá vozidly, je rozdělena do několika skupin: pravidla silničního provozu, administrativní pravidla, technická pravidla dopravní infrastruktury, technická pravidla dopravních prostředků.

Nyní se budu zabývat legislativou týkající se dopravních prostředků, respektive motorových vozidel.

1.1 Národní legislativa

Tyto předpisy platí v rámci státu, mohou se v různých státech lišit. Na našem území platí tyto :

- Podmínky provozu vozidel na pozemních komunikacích upravuje především zákon č. 56/2001 Sb., o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů, který upravuje mj. i problematiku registrace vozidel nebo jejich pravidelné prohlídky ve stanicích technické kontroly (STK) a stanicích měření emisí (SME). Přitom zapracovává řadu předpisů Evropské unie a mezinárodních předpisů EHK/OSN.
- vyhláška č. 243/2001 Sb., o registraci vozidel, ve znění pozdějších předpisů
- vyhláška č. 355/2006 Sb., o stanovení způsobu a podmínek registrace, provozu, způsobu a podmínek testování historických a sportovních vozidel a způsobu a podmínek testování silničního vozidla, které je registrováno v registru silničních vozidel, ve znění pozdějších předpisů
- Vyhláška MDČR č. 302/2001 Sb. O technických prohlídkách a měření emisí vozidel, ve znění vyhlášky MD ČR č.99/2003 Sb.
- Vyhláška MDČR č. 341/2002 Sb., o schválení technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích ve znění vyhlášky MD ČR č. 100/2003 Sb.
- vyhláška č. 245/2005 Sb., o náležitostech informačních štítků a plakátů s údaji o spotřebě pohonných hmot a emisích CO₂ při prodeji nových osobních vozidel

[13] [12]

1.2 Mezinárodní legislativa

Tyto předpisy jsou nadřazeny legislativě národní, platí pro více států najednou.

- Předpisy EHK/OSN

Tyto předpisy se zabývají homologací vozidel v rámci Evropské unie, to znamená že jsou nadřazeny legislativě národní. Na našem území platí značka E8. Každý stát má jiné číslo. [2]

- ISO/TS 16949

Tato norma se zabývá managementem kvality v automobilovém průmyslu. Princip normy : ISO/TS 16949 specifikuje požadavky na systém managementu kvality výrobců dílů pro automobilový průmysl. Základem normy jsou požadavky ISO 9001 v plném rozsahu doplněné zvláštními požadavky na systém managementu kvality pro výrobce automobilů jejich dílů.

Přínos normy pro organizaci

- Udržení stálé vysoké úrovně výrobního procesu a tím i stabilní a vysoké kvality poskytovaných služeb a výrobků zákazníkům
- Možnost optimalizovat náklady – snížení provozních nákladů, snížení nákladů na nekvalitní výrobky, úspora surovin, energie a dalších zdrojů
- Pomocí efektivně nastavených procesů navyšovat tržby, zisk, tržní podíl a tím zvyšovat spokojenost vlastníků
- Díky poskytování vysoce kvalitní produkce jediná možnost získání dodavatelských kontraktů od výrobců automobilů
- Zkvalitnění systému řízení, zdokonalení organizační struktury organizace
- Zlepšení pořádku a zvýšení výkonnosti celé organizace
- Vytvoření systému pružně reagujícího na změny požadavků trhu, jednotlivých zákazníků, legislativních požadavků i změn uvnitř organizace (např. při zavádění nových technologií, organizačních změn) [16]

1.3 Zkoušení vozidel

Zkoušení vozidel je proces, při kterém chceme zjistit nějaké vlastnosti. Mohou to být například závady - stanice technické kontroly, nebo hodnoty potřebné pro další vyhodnocování, nebo kontrola předepsaných vlastností.

1.3.1 Měřicí přístroje

- Analogové
- Digitální
- Registrační

1.3.2 Jízdní zkoušky

1.3.2.1 Brždění v přímém směru

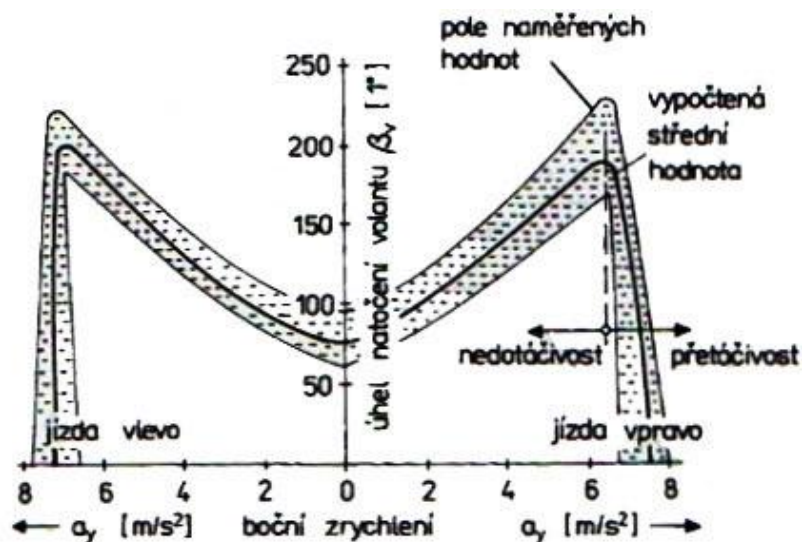
Tato zkouška se provádí ke kontrole brzdné dráhy, k ověření funkce brzdové soustavy vozidla. Měří se hlavně : zpomalení vozidla, ovládací tlak v brzdové soustavě, brzdná dráha¹, ohřátí brzd a ovládací síla na brzdovém pedálu. [2]

1.3.2.2 Kruhová jízdní zkouška

Jízda po kruhové dráze určitého poloměru konstantní rychlostí. Vzniká odstředivá síla. Zpravidla jsou snímány tyto veličiny: Boční zrychlení a_y , Úhel natočení volantu G_v , Úhel směrové výchylky podélné osy vozidla H , Úhly směrových úchylek přední/zadní nápravy H_p/H_z , Úhel naklonění karoserie J , Síla na volant F_v , Moment na volant M_v (obrázek 1) [2]

¹ Kapitola 2.1.3.3

Obrázek 1 přehled hodnot měřených při kruhové jízdě zkoušce



Zdroj [4]

1.3.3 Statické zkoušky

Jedná se o zkoušky, které se provádějí ve stavu kdy se vozidlo vůči vozovce nepohybuje a měření probíhá přímo na něm.

- Zkouška na válcové zkušebně - brzdy²
- Kontrola geometrie řízení a kol³ – sbíhavost, odklon kola, příklon čepu, záklon čepu
- Kontrola pneumatik⁴ a disků kol – házivost kol, opotřebení pneumatik
- Kontrola vůle řízení na volantu
- Kontrola tlumičů a pérování⁵

[4]

² Kapitola 2.1.3

³ Kapitola 2.1.1.5

⁴ Kapitola 2.1.1.5

⁵ Kapitola 2.1.1.2

1.3.4 Zařízení pro měření zrychlení

Toto zařízení je pro moji práci velmi důležité – naměřeným zrychlením se zabývám v kapitole 3 a 4. Závisí na něm vyhodnocení a zpracování dat.

1.3.4.1 Decelerometry

Decelerometr je zařízení, které se využívá k měření například brzdného zpomalení. Přímo ukazují největší možnou naměřenou hodnotu. Jsou nejčastěji založeny na principu kyvadla.[2]

1.3.4.2 Akcelerometry

Akcelerometry mohou sloužit k měření náklonu, měření setrvačných sil nebo měření otřesů. Měření je založeno na síle dynamického původu, způsobené například změnou rychlostí, nebo na síle statického původu – síle způsobené zemskou gravitací.

Podle konstrukčního provedení se dělí na :

- piezoelektrické
- piezoodporové (tenzometrické)
- tepelné
- kapacitní

Podle prostorového uspořádání je můžeme dále rozlišit na 2D a 3D, dle toho, v kolika osách je akcelerometr schopen zrychlení zaznamenávat. Akcelerometry mají široké využití jak v automobilovém průmyslu, tak v navigačních systémech. [15]

2 Přehled a zpracování podkladů

2.1 Vlastnosti a konstrukční uspořádání vozidel

2.1.1 Podvozek

Podvozek jako část vozidla má velký vliv na jeho jízdní vlastnosti a bezpečnost provozu. Proto bych zde uvedl jeho základní části, jejich jednoduchý rozbor a jejich vliv na chování vozidla.

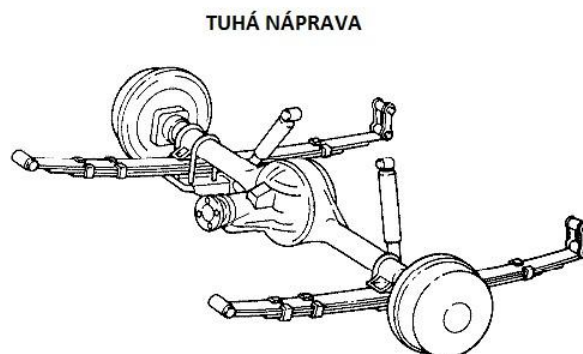
2.1.1.1 Zavěšení kol

Zavěšení kol je způsob připojení kol k rámu nebo karoserii vozidla. Umožňuje svislý pohyb kol vůči karoserii potřebný pro odpružení. Druh zavěšení má vliv na to, jak moc je vozidlo pro posádku pohodlné a komfortní a jak je vozidlo stabilní. Rozlišujeme dva druhy – závislé a nezávislé. [3][9] [6]

- tuhá náprava

Jedná se o tzv. závislé zavěšení. Je to historicky nejstarší způsob, dodneška používaný. Je využíván především u zadních náprav osobních a dodávkových automobilů. Charakteristickým znakem tohoto zavěšení je, že kola vůči sobě při propružení nemohou měnit svojí polohu. Tento způsob má velkou část neodpružené hmoty a tím zhoršuje celkovou kvalitu odpružení. Je však velmi levný na výrobu a údržbu. [3][9] [6] [10]

obrázek 2 tuhá náprava

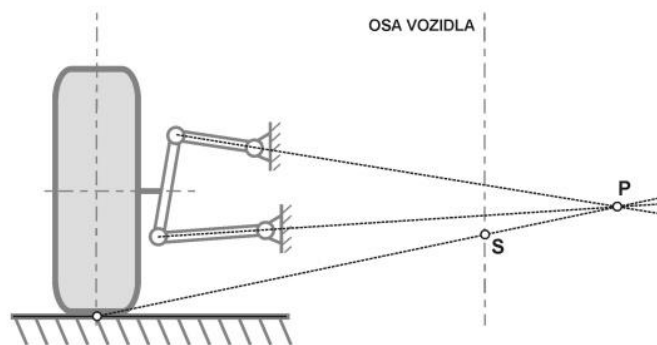


Zdroj [http://zavolantom.autovia.sk/wp-content/obr/2010/tech_Tuha_naprava.jpg]

- lichoběžníková náprava

Zde se dá hovořit o nezávislém zavěšení – pohyby obou kol na sebe nejsou nijak vázány jako u zavěšení závislého. Název tohoto zavěšení vznikl na základě skutečnosti, že koncové body ramen tvoří vzhledem ke svislé rovině lichoběžník. Nejčastěji se používá u vozidel s pohonem předních kol, protože mezi prvky zavěšení pravého a levého kola je dost místa pro pohonnou jednotku. Výhody tohoto zavěšení jsou malá výška (oproti typu mcPherson) a malé vestavbové rozměry. Nevýhodou je složitější konstrukční uspořádání a z toho vyplývající náročnější údržba. [3][9] [10]

Obrázek 3 lichoběžníková náprava



Zdroj [10]

- náprava mcPherson

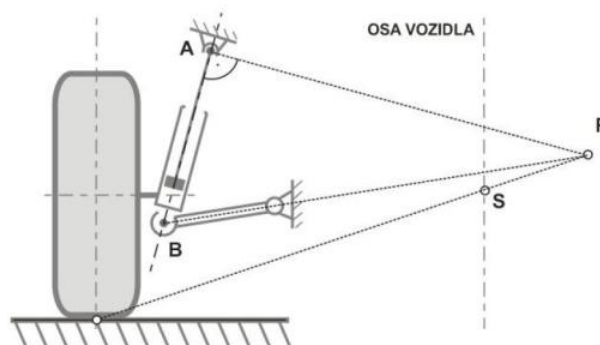
Tento typ zavěšení je odvozen od lichoběžníkové nápravy. Jedná se také o nezávislé zavěšení, používá se u vozidel s předním i zadním náhonem, pro přední i zadní nápravy. Výhody tohoto způsobu zavěšení jsou zvětšení stability při průjezdu vozidla směrovým obloukem⁶ a to, že v jednom konstrukčním celku jsou sloučeny odpružení, tlumení i natáčení kol.

Pól klopení kola P a klopení karoserie S vždy leží nad rovinou vozovky. Při propružení nápravy a naklopení karoserie mění kolo svůj odklon⁷. Tato změna vytváří gyroskopický moment, který způsobuje kmitání volantu a neklid řízení. [3][9] [10]

⁶ Kapitola 2.1.5

⁷ Kapitola 2.1.1.5

Obrázek 4 náprava mcPherson

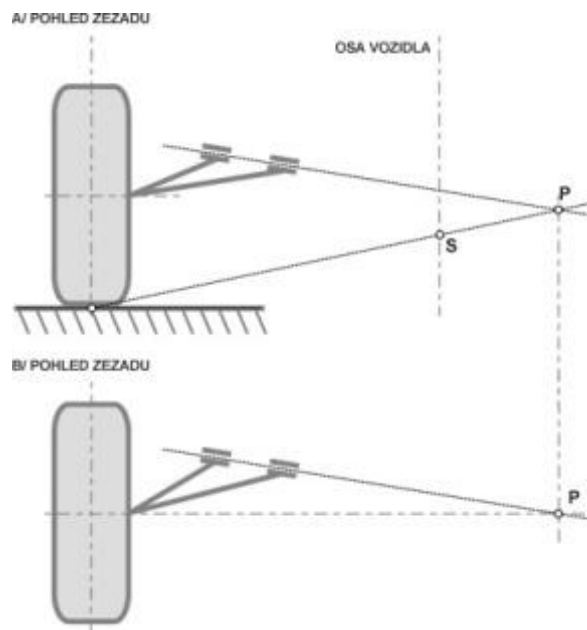


Zdroj [10]

- kyvadlová úhlová náprava

Nejčastěji se používá tento typ zavěšení pro zadní nápravy. Když se rameno propuží, je osa vzhledem k zemi šikmá a následkem toho vzniká nedotáčivý účinek⁸. Tato konstrukce nápravy se používá jako zadní hnací či hnaná, nelze ji však použít jako nápravu řídicí. Vhodnou volbou úhlů kývaní lze korigovat jízdní vlastnosti vozu. Při propužení kyvadlové nápravy vzniká změna odklonu⁹ a rozchodu. U poháněných náprav musí být kvůli změnám rozchodu zajištěno vyrovnávání délky hnací hřídele. [3][9][10]

Obrázek 5 kyvadlová úhlová náprava



Zdroj [10]

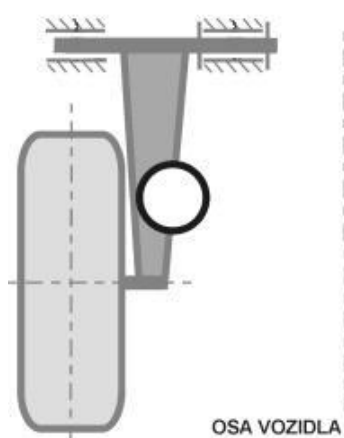
⁸ Kapitola 2.1.5

⁹ kapitola 2.1.1.5

- kliková náprava

Toto zavěšení má ramena s příčnou osou kývání (kolmou k podélné ose vozidla). Můžeme se s ním setkat u zadních nepoháněných náprav. Tento typ zavěšení zabírá velmi málo místa. Je vhodný pro použití například u vozidel typu kombi z toho důvodu, že nezužuje prostor podlahy a tak může být využitelný prostor větší. Nevýhoda je v menší schopnosti zachycovat boční síly při průjezdu směrovým obloukem¹⁰. [3][9][10]

Obrázek 6 kliková náprava



Zdroj [10]

2.1.1.2 Pérování

Odpružení zmenšuje kmitavé pohyby působící na karoserii. Chrání posádku a náklad před nežádoucími otřesy. Zvyšuje životnost podvozkových částí vozidla a zajišťuje stálý styk pneumatik¹¹ s vozovkou. To se uskutečňuje deformací pružícího prvku. Veličinou, kterou můžeme pružení měřit, je netlumená vlastní frekvence (2-1).

$$\omega = \sqrt{c/m} \quad (2-1)$$

Kde c je pružinová konstanta a z hlediska pružení je velice důležitá. Její hodnoty jsou závislé na typu pružícího prvku. [3]

¹⁰ Kapitola 2.1.5

¹¹ Kapitola 2.1.1.3

Ocelové pružiny - vinuté

Mohou být válcové nebo soudečkové, vinuté se stejným stoupáním nebo progresivně. Jsou dnes nejčastěji používanými pružinami v osobních automobilech. Mají menší zástavbové rozměry než listová pera a poměrně snadno mohou zabezpečit progresivní pérování - malé nerovnosti pohlčí, při větším propružení kladou větší odpor a zlepšují tak jízdní vlastnosti vozidla. Nemají však samotlumící účinek a nejsou schopny přenést suvnou sílu od kola na rám, nebo karoserii, proto musí být náprava vedena.[9][10][11]

Obrázek 7 vinuté pružiny

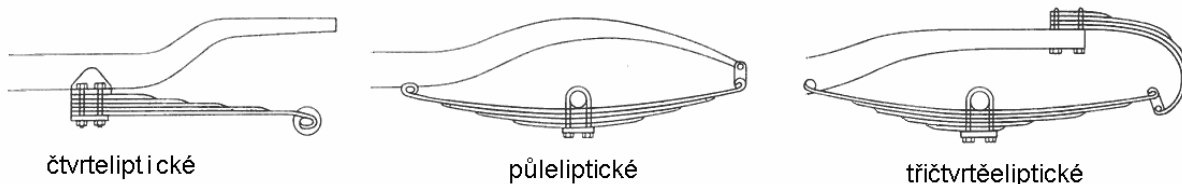


Zdroj [11]

- listové

Jsou tvořeny jedním nebo několika listy nestejně délky z pružné oceli nebo plastu. Podle tvaru se rozdělují na čtvrteliptická, půleiptická, třičtvrtěeliptická a celoeliptická (obrázek 8). Podle uložení na vozidle pak na pera příčná a podélná, zřídka také šikmá. Oproti pružinám vinutým mají samotlumící účinek, což je způsobeno třením jednotlivých listů o sebe. Mohou přenést suvnou sílu od kol na karoserii nebo rám a zachytit reakci při brždění či akcelarování. [9][10][11]

Obrázek 8 typy listových per



Zdroj [11]

- torzní tyče

Mají kruhový nebo čtvercový průřez a jsou na obou koncích zesíleny a drážkovány. Jedním koncem jsou připojeny k rámu nebo karoserii a druhým k nápravě. Takové spojení umožňuje při propružení zkroucení torzní tyče, jejíž pružnost tlumí nárazy. Dokonalé

odpérování závisí na tloušťce a délce torzní tyče. Při kontrole se počítá úhel zkroucení φ (2-3) a napětí τ_k (2-3) v krutu. Stejně jako pružiny vinuté nemají samotlumící účinek. [9][10][11]

$$\varphi = \frac{32 * M_k * l}{\pi * d^4 * G} \quad (2-2)$$

$$\tau_k = \frac{16 * M_k}{\pi * d^3} \quad (2-3)$$

M_k kroutící moment, l délka torzní tyče, d průměr torzní tyče, G modul pružnosti

- Vzduchové pružiny

Výhodou pneumatického pérování je dosažení podobných hodnot odpružení pro zatížené i nezatížené vozidlo a možnost regulace světlé výšky. Používá se zejména pro odpérování zadních náprav nákladních automobilů. Vlastním pružícím médiem je vzduch v gumovém měchu stlačený na tlak 0,3 až 0,5 MPa. [10][11]

Obrázek 9 vzduchové pružiny

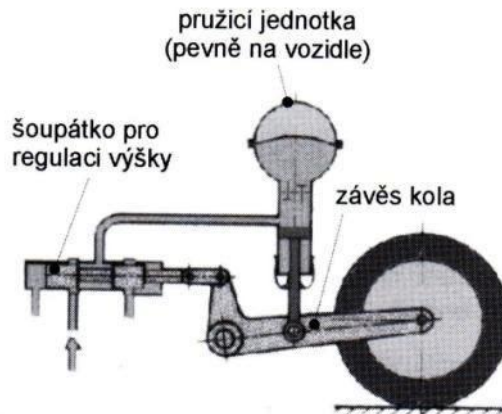


Zdroj [http://www.offroadrevue.cz/images/Obsah5_11_clanek06.gif]

- Hydropneumatické pružiny

Pružícím prvkem je plyn, například dusík. Jeho množství je konstantní. Plyn je stlačen na tlak přibližně 10 MPa. Přenos pohybu kol se uskutečňuje pomocí kapaliny, která je od plynu oddělena membránou. Pohyb kapaliny se současně používá ke tlumení. Výšku vozidla lze regulovat změnou množství kapaliny v prostoru mezi plynem a membránou. Toto pérování je málo rozšířené, složitější a má vyšší výrobní a provozní náklady. [3][10][11]

Obrázek 10 hydropneumatické odpružení



Zdroj [<http://citroengs.netstranky.cz/obrazek/5759/08.JPG>]

- Tlumiče

Hlavní úlohou tlumičů je udržování stálého kontaktu mezi kolem a vozovkou. Tlumiče působí proti rozkmitání pružícího prvku. Společně s pneumatikami¹² a odpružením jsou tlumiče nejdůležitější částí podvozku, která ovlivňuje bezpečnost jízdy. Zásadní vliv na bezpečnost jízdy má právě opotřebení tlumičů. Technický stav tlumičů bývá často velmi podceňován.

Opotřebení tlumičů přichází pomalu a nenápadně, často ho řidič ani nerozpozná. Může mít špatný dopad na ovladatelnost vozidla a bezpečnost silničního provozu. Jediným objektivním způsobem, jak posoudit účinnost tlumičů, je změření jejich účinnosti na zkušebním zařízení. Každý však může sledovat příznaky, které ukazují na nadměrné opotřebení. Typické jsou nepravidelně ojeté pneumatiky s pilovým opotřebením dezénu nebo s ploškami po obvodu pláště. Při vnějším ohledání tlumič nesmí vykazovat žádné netěsnosti, pístnice nesmí být ohnutá nebo zkorodovaná.

Podle konstrukce můžeme tlumiče rozlišit na mechanické a kapalinové. [9][10][11]

¹² Kapitola 2.1.3

2.1.1.3 Pneumatiky

Kolo s pneumatikou tvoří spojovací část mezi vozovkou a vozidlem. Přenáší hnací momenty, brzděné síly, adhezní síly. Pneumatiky jsou důležitým prvkem v podvozkové skupině vozidla, hrají velkou roli ve zvětšení jízdního pohodlí a bezpečnosti jízdy. Hovoří se o tom, že pneumatiky a brzdy tvoří vůbec nejdůležitější konstrukční část vozidla.

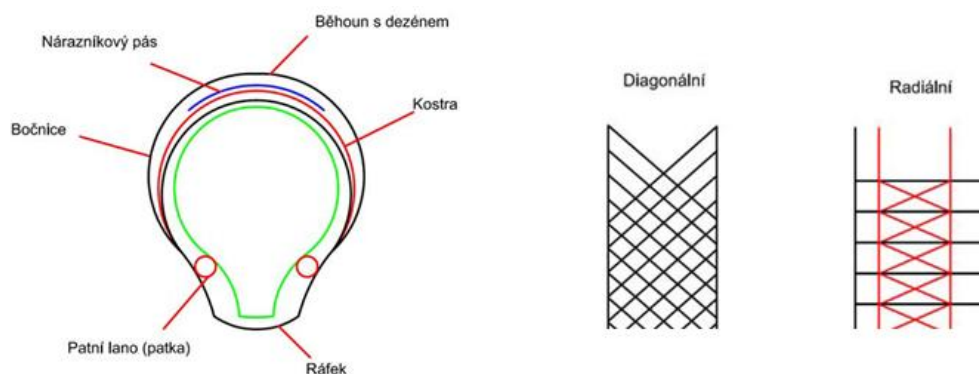
Plášť pneumatiky se skládá z těchto částí : koruna, rameno, bok a patka. Plocha pláště, která přichází do styku s vozovkou, se nazývá běhoun a nachází se na ní vzorek neboli dezén. Pro jízdní vlastnosti vozidla je důležitá také kostra pláště.

Podle konstrukce kostry můžeme rozlišit dva typy:

- Diagonální – úhel, který svírají vložky v kostře, nabývá hodnot kolem 30° až 40° , jejich počet je zpravidla sudý a jsou zakotveny v patce.
- Radiální – Vnitřní vrstvy v kostře jsou kladeny v kolmém směru na obvodovou kružnici – nejkratší vzdálenost od jedné patky k druhé, proto radiální. Jejich hlavní předností spočívají ve zvýšené bezpečnosti, schopnosti zachycovat dynamické účinky a v menším valivém odporu.

Další možné rozlišení je na dušové a bezdušové - dle toho, jestli je do pneumatiky nutné vkládat duši pro potřebné nahuštění. Podle toho na jakou roční dobu je pneumatika určena, se dá rozlišit na celoroční, letní a zimní. Liší se v provedení dezénu, složením běhounu a především v tvrdosti. Zimní pneumatiky jsou složeny ze speciálních pryžových směsí, které vlivem teploty netvrdnou a lépe odolávají chemickým vlivům.

Obrázek 11 možné konstrukční uspořádání pneumatiky



Zdroj [11]

Opotřebení pneumatik je nežádoucím jevem, protože se nepříznivě mění jejich požadované vlastnosti. Je závislé na rychlosti jízdy, teplotě, povrchu vozovky, akceleraci a brždění. Dalším faktorem je nesprávný tlak vzduchu. Při nízkém tlaku vzduchu dochází k opotřebení krajních pásů běhounů, při vysokém k opotřebení ve střední části běhounu. Pokud se vyskytne nestejně poškození, je chyba v geometrii řízení¹³. [3][6][8] [10].

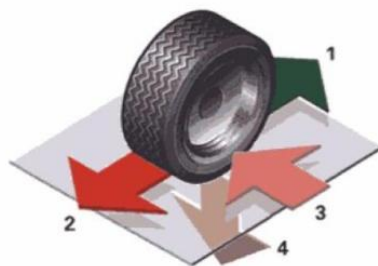
2.1.1.4 Kammova kružnice přilnavosti

Jízdní stabilita a dobrá ovladatelnost vozidla je hlavním předpokladem dostatečné aktivní bezpečnosti vozidla. Aby bylo toto splněno, musí kola dobře přilnout k vozovce. Tato vlastnost se nazývá adheze. Podmínky adheze lze jednoduše znázornit pomocí tzv. Kammovy adhezní kružnice.

Směrová stabilita kola je ovlivněna velikostí obvodových sil. Maximální velikost adhezních sil závisí na hodnotě součinu normálové síly Z a součinitele přilnavosti f . Působí-li ve stopě pneumatiky síly brzděné, akcelerační a síla boční zároveň, jejich velikosti se geometricky sčítají – (2-4).

$$R_k = B_{max} = S_{max} = \sqrt{B^2 + S^2} \leq Z * f \quad (2-4)$$

Obrázek 12 znázornění sil působících na pneumatiku



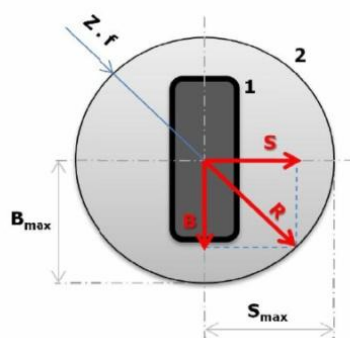
Zdroj [10]

1 – hnací síla, 2 – brzděná síla, 3 –boční síla, 4 – tíha

Průměr Kammovy kružnice se rovná mezi přilnavosti pneumatiky k vozovce (čím lepší adheze, tím větší průměr kružnice). Aby nedošlo ke ztrátě adheze mezi pneumatikou a vozovkou, nesmí výslednice podélných a příčných sil překročit poloměr této kružnice. Ve skutečnosti však mají pneumatiky větší přilnavost v podélném směru, takže reálná Kammova kružnice má spíše tvar elipsy.[10]

¹³ Kapitola 2.1.1.5

Obrázek 13 znázornění třecí kružnice a působících sil na pneumatiku



Zdroj [10]

1 – pneumatika, 2 – Kammova kružnice

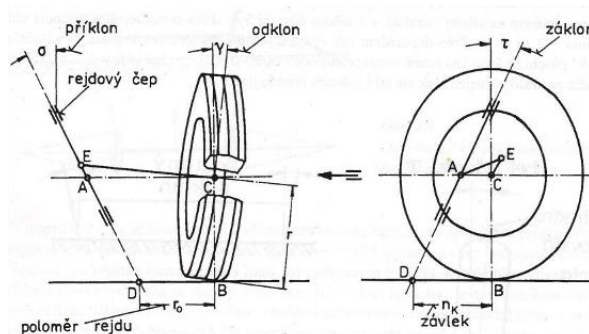
Pokud se brzdná síla B rovná maximální přenesené síle R , pak musí být dle obrázku 13 boční síla S rovna nule. V tom případě má kolo nulové boční vedení. Je-li brzdná síla B dokonce větší než maximální možná brzdná síla B_{MAX} , pak dochází k zablokování kola a kolo se dostává do smyku. To je velmi nežádoucí jev, protože se vozidlo stává neovladatelným a ohrožuje bezpečnost provozu. [10]

2.1.1.5 Řízení

Řízení jako takové slouží k udržování a ke změně směru jízdy vozidla. Podle konstrukce rozlišujeme řízení celou nápravou a řízení natáčením jednotlivými koly. S řízením celou nápravou se můžeme setkat u přívěsů nákladních vozů, nebo u stavebních a zemědělských strojů. S řízením natáčením jednotlivých kol se setkáme v podstatě u všech silničních vozidel.

Aby řízení fungovalo tak, jak má - to znamená tak, aby se kola při zatáčení i při přímé jízdě hladce odvalovala a aby řízení bylo lehké, přesné a stabilní, musí být splněny určité podmínky. Tyto vlastnosti zajišťuje geometrie řízení (obrázek 14). [3][6][9]

Obrázek 14 geometrie řízení



Zdroj [3]

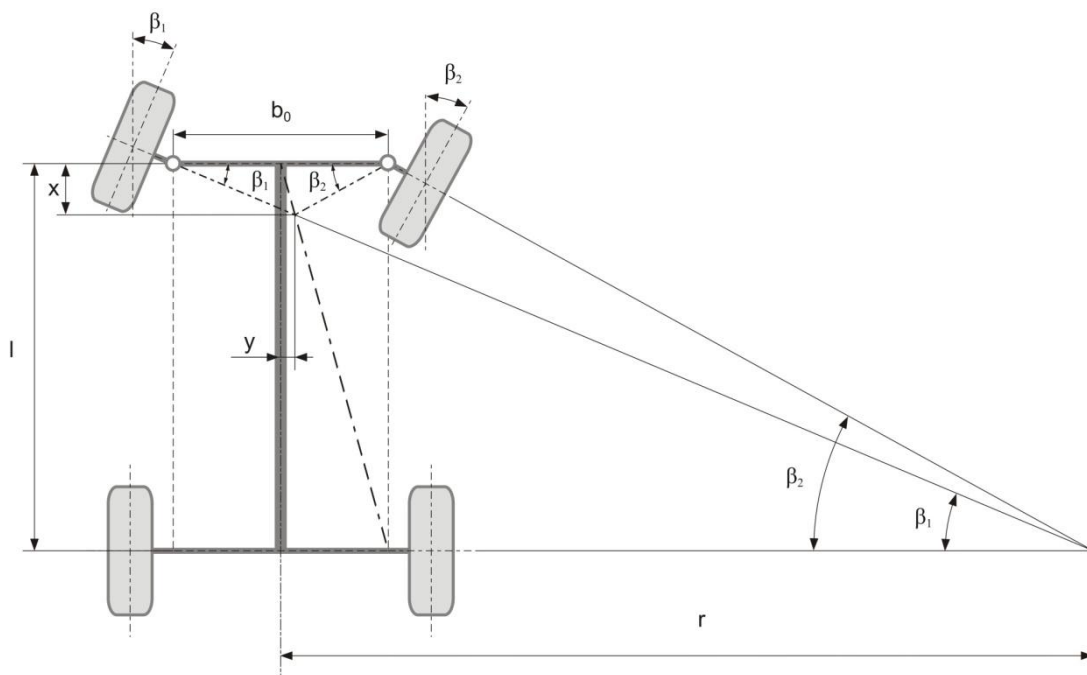
- lichoběžník řízení

Natočení kol v zatáčce musí splňovat určité podmínky - aby se kola odvalovala a nesmýkala se. Musí být dodržena tzv. Ackermanova podmínka. Ackermannova podmínka řízení říká, že střed otáčení musí ležet na prodloužené ose zadní nápravy. Pro splnění této teoretické podmínky se používá tzv. lichoběžník řízení, tzn. řídicí páky spolu se spojovací tyčí mají tvar lichoběžníku.

Tuto podmínku lze vyjádřit matematicky, označíme-li rozvor náprav jako l , rozchod kol b_0 , r teoretický poloměr zatáčení, β_1 úhel natočení vnějšího kola a β_2 úhel natočení vnitřního kola (obrázek 15), [3][10] pak z geometrie vyplývá vztah (2-5).

$$\cotg\beta_1 = \frac{R + \frac{b_0}{2}}{l} \quad \cotg\beta_2 = \frac{R - \frac{b_0}{2}}{l} \rightarrow \cotg\beta_1 - \cotg\beta_2 = \frac{b_0}{l} \quad (2-5)$$

Obrázek 15 lichoběžník řízení

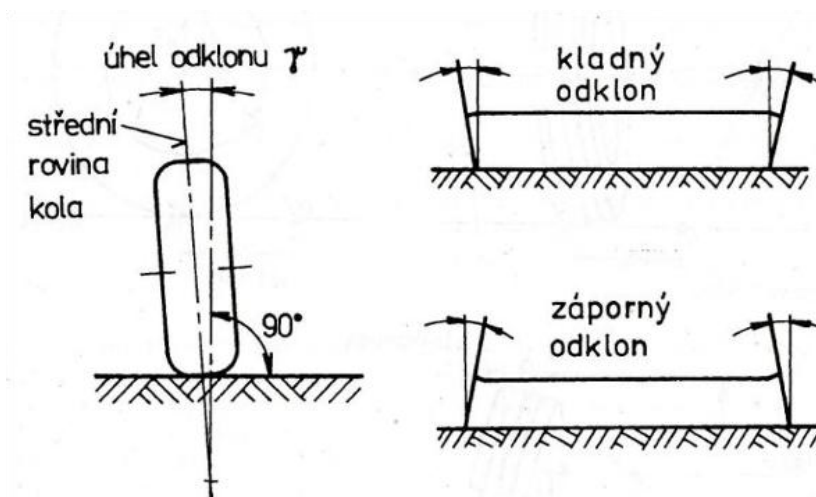


Zdroj [10]

- odklon kola

Úhel odklonu kola γ je dle ČSN 30 0034 sklon střední roviny kola vůči svislé ose vozidla. Dříve se jako důvod uvádělo odstranění vůlí v ložiskách otočného čepu. Kladný odklon zlepšuje směrovou stabilitu a zmenšuje nejmenší možný poloměr zatáčení. [3][9]

Obrázek 16 znázornění odklonu kola

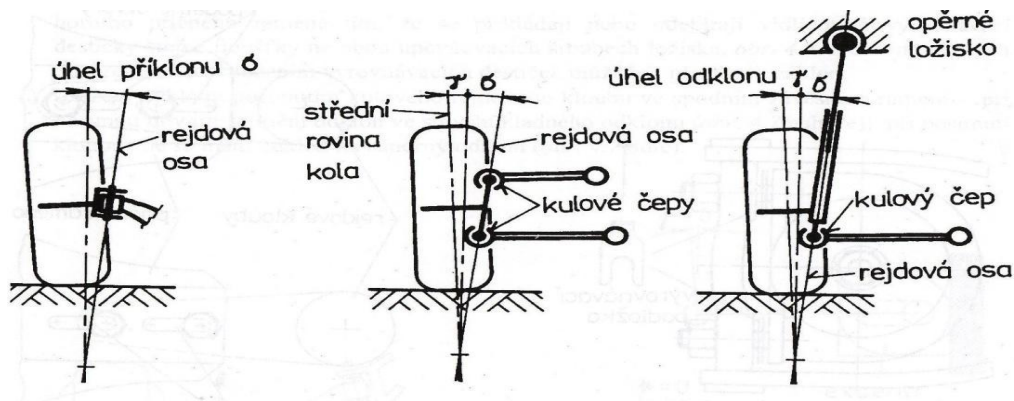


Zdroj [3]

- příklon rejdového čepu

Příklon čepu σ je úhel sevřený osou čepu a svislicí roviny rovnoběžné s příčnou rovinou vozidla. Slouží k samovolnému vracení řízených kol do přímé polohy. Vlivem tohoto příklonu dochází ke zvedání kol. Síla potřebná k tomuto zvedání je vynaložena při natáčení volantů. Po jeho uvolnění tíha na přední nápravě nutí kolo vrátit se do jeho přímé polohy účinkem vratného momentu. [3][9]

Obrázek 17 znázornění příklonu rejdového čepu

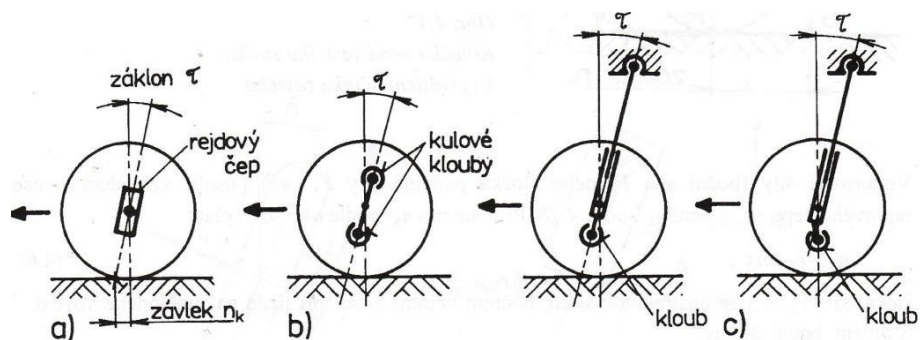


Zdroj [3]

- záklon rejdového čepu

Záklon čepu τ je úhel, který svírá osa čepu a svislice rovnoběžná s podélnou osou vozidla. Závlek n_k je vzdálenost mezi průsečíkem osy čepu s vozovkou a středem styku pneumatiky. Pomáhá lépe udržet stopu vozidla, princip kolečka servírovacího stolku. [3][9]

Obrázek 18 znázornění záklonu rejdového čepu



Zdroj [3]

- sbíhavost

Úhel sbíhavosti δ (2-6) je průmět úhlu mezi podélnou rovinou vozidla a kolem do roviny vozovky. Mluvíme o sbíhavosti, jestliže je přední část kola přikloněna k podélné ose vozidla, a o rozbíhavosti, když je odkloněna.

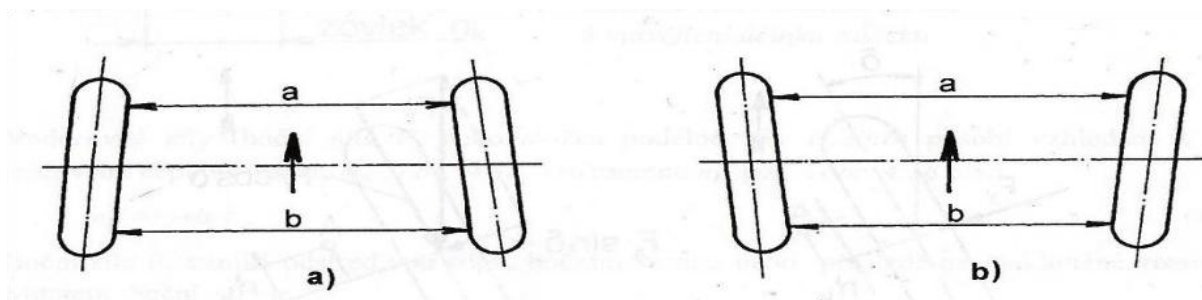
$$\delta = \arcsin \frac{b - a}{d_r} \quad (2-6)$$

b, a – vzdálenosti (viz obrázek 19)

d_r – průměr okraje ráfku

Účelem sbíhavosti je paralelní odvalování kol. U vozidel s hnanou přední nápravou se doporučuje rozbíhavot, u vozidel s hnanou zadní nápravou sbíhavost. Je to z důvodu brždění motorem a nezhoršení stability. Sbíhavost dosahuje 0 – 3 mm u osobních vozidel ($0^\circ - 30^\circ$) 3 – 8 mm u nákladních vozidel. [3][9] [6]

Obrázek 19 znázornění sbíhavosti



Zdroj [3]

a) sbíhavost

b) rozbíhavost

2.1.2 Jízdní odpory

Jízdní odpory působí proti pohybu vozidla. Některé z nich působí vždy proti pohybu – valivý odpor a vzdušný odpor. Při jízdě do svahu musí vozidlo překonávat odpor stoupání, při zrychlování odpor zrychlení.[1][14]

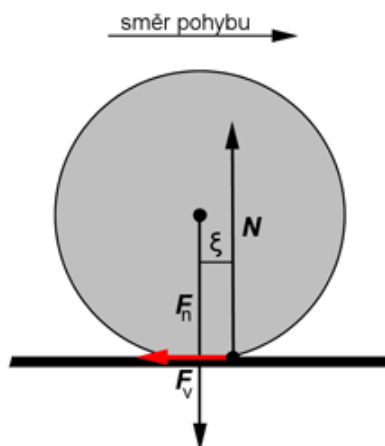
2.1.2.1 Valivý odpor

Tento odpor vzniká při vzájemném styku pneumatiky s vozovkou a jejich deformaci. Pokud je vozovka dokonale tuhá, dochází pouze k deformaci pneumatiky. Styková plocha se nazývá stopa.

Valivý odpor vzniká tehdy, když se těleso kruhového průřezu valí po pevné podložce. Příčinou tohoto jevu je neexistence absolutně tuhého tělesa, tj. tělesa, které se nedeformuje účinkem libovolně velké síly.

Při valení tvrdého tělesa po nedokonale pružné podložce dochází působením normálové tlakové síly k deformaci podložky. Kdyby byla podložka dokonale pružná, reakce podložky by ležela na stejné vektorové přímce jako normálová síla. Následkem deformace se ale působiště skutečné reakce posune o vzdálenost kupředu. V tabulce 2-1 je vidět, jakých hodnot nabývá součinitel valivého odporu.[1]

Obrázek 20 znázornění působení valivého odporu



Zdroj [http://techmania.cz/edutorium/data/fil_0669.gif]

$$F = \frac{\xi}{R} \cdot F_h \quad (2-7)$$

po zjednodušení získáme vztah(2-8)

$$F_t = f \cdot G \quad (2-8)$$

$$G = m \cdot g \quad (2-9)$$

G – tíha

f – součinitel valivého odporu

Tabulka 2-1 hodnoty součinitele valivého odporu

Povrch	Součinitel valivého odporu	Povrch	Součinitel valivého odporu
asfalt	0,01 – 0,020	Hluboký písek	0,15 – 0,30
beton	0,015 – 0,025	Čerstvý sníh	0,20 – 0,30
dlažba	0,02 – 0,030	Bahnitá půda	0,20 – 0,40
Suchá polní cesta	0,04 – 0,15	náledí	0,01 – 0,025
Mokrý polní cesta	0,08 – 0,20	Travnatý terén	0,08 – 0,15

Zdroj [1]

2.1.2.2 Vzdušný odpor

Při pohybu vozidla proudí vzduch hlavně kolem horní části karoserie. Část vzduchu se ovšem musí protlačit mezi spodní částí vozidla a vozovkou. Jednotlivé proudnice se za vozidlem neuzavírají a nastává víření, které je způsobeno rozdílem tlaků nad a pod vozidlem

Součinitel odporu vzduchu c_x závisí především na tvaru vozidla. Zjišťuje se měřením na skutečných vozidlech, nebo jejich modelech v aerodynamickém tunelu. Zkoušky se skutečnými vozidly jsou přesnější. Typické hodnoty v tabulce 2-2. Příliš velký součinitel odporu vzduchu způsobuje velkou spotřebu pohonných hmot, proto se výrobci automobilů snaží dosahovat co nejmenších hodnot. Na obrázku 21 se nachází historický vývoj součinitele aerodynamického odporu a čelní plochy. [3]

$$F_v = \frac{1}{2} * c_x * S_x * \rho * v^2 \quad (2-10)$$

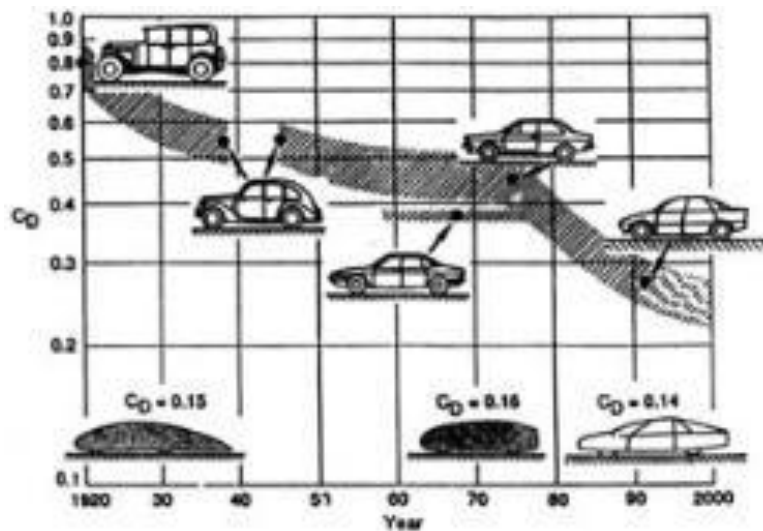
c_x – součinitel aerodynamického odporu (hodnoty v tabulce 2-2)

S_x – čelní plocha vozidla (hodnoty v tabulce 2-2)

ρ – hustota vzduchu

v – rychlost

Obrázek 21 historický vývoj součinitele aerodynamického odporu c_x a čelní plochy vozidla S_x



Zdroj [14]

Tabulka 2-2 hodnoty sou součinitele aerodynamického odporu c_x a čelní plochy vozidla S_x

Typ vozidla	c_x	S_x (m ²)
Osobní automobily	0,3 – 0,4	1,6 – 2,0
Sportovní vozy	0,3 – 0,35	1,3 – 1,6
Závodní vozy s nekrytými koly	0,4 – 0,6	0,7 – 1,3
Závodní vozy s krytými koly	0,25 – 0,35	0,8 – 1,5
Nákladní vozy - valník	0,8 – 1,0	4 – 7
Nákladní vozy s plachtou	0,6 – 0,8	5 – 8
Nákladní vozy s přívěsem	1,0 – 1,2	5 - 8
Autobusy	1,5 – 0,7	5 , 7

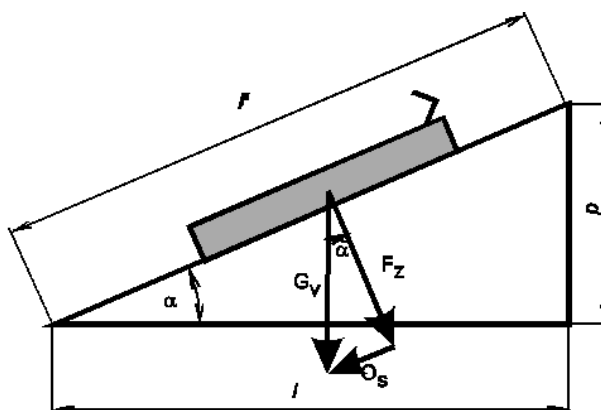
Zdroj [1]

2.1.2.3 Odpor stoupání

Odpor stoupání je určen složkou tíhy vozidla, která je rovnoběžná s povrchem vozovky, rovnice (2-11).

$$O_z = G_V \cdot \sin \alpha = m_V \cdot g \cdot \sin \alpha \quad (2-11)$$

Obrázek 22 znázornění působení odporu proti stoupání



Zdroj [http://homen.vsb.cz/~s1i95/mvd/trat/odpor_1.GIF]

G_v je celková tíha a α úhel, který svírá rovina vozovky s vodorovnou vozovkou. Nazývá se úhel stoupání. Odpor stoupání O_s působí v těžišti vozidla. Při jízdě ze svahu není odporem, ale naopak vozidlo pohání. [3]

V praxi se obvykle používá místo úhlu α sklon stoupání s a platí pro něj následující vztah (2-12) .

$$s = \frac{h}{l} = tg\alpha \quad (2-12)$$

2.1.2.4 Odpor zrychlení

Při zrychlování působí na vozidlo proti směru zrychlení setrvačná síla nazývaná odpor zrychlení. Vypočítá se podle rovnice (2-13)[3]

$$F_Z = m * \frac{dv}{dt} + \frac{J}{r} * \frac{d\omega}{dt} \quad (2-13)$$

m – hmotnost vozidla

J – moment setrvačnosti rotujících hmot

r – poloměr kola

v – rychlost

ω – úhlová rychlost

t - čas

2.1.2.5 Celkový jízdní odpor

Celkový jízdní odpor se rovná součtu všech odporů, které na vozidlo působí. [3]

2.1.3 Brždění

Bržděním rozumíme zpomalený pohyb, který vozidlo koná na základě požadavku řidiče. Dráha pro zastavení vozidla je ovlivněna faktory: čas reakce vozidla, reakce řidiče, rychlost vozidla, vnější podmínky, schopnost vozidla brzdit, technický stav vozidla. [3] [13]

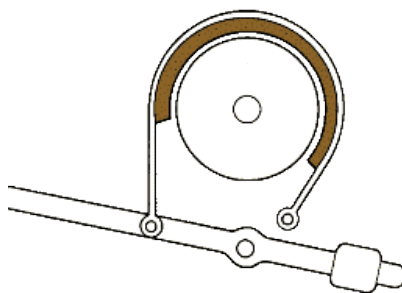
2.1.3.1 Druhy brzdných systémů

Brzdy jako takové jsou jeden z nejdůležitějších konstrukčních prvků vozidla. Řadíme je do prvků aktivní bezpečnosti. Úkolem brzd je vyvolat brzdný účinek, který dokáže vyrušit významnou část kinetické energie vozidla. Je vyvolán třením brzdových segmentů o ocelový buben nebo kotouč. Každé vozidlo musí mít minimálně dva nezávislé brzdové systémy, brzdu provozní a parkovací. Z konstrukčního hlediska se brzdy dělí na pásové, kotoučové a bubnové, dříve se používaly ještě brzdy špalkové. [11] [6]

- Pásová brzda

Jednoduchá konstrukce, kde na ocelový válec dosedá ocelový brzdící pás s brzdovým obložením. Tato brzda je ovládaná poměrně malou silou a dosahuje dobrého účinku. Nevýhodou je snížená možnost odvodu tepla. Systém se často přehřívá a tím klesá jeho účinek. Pásová brzda se dnes používá zejména jako parkovací. Její další využití můžeme nalézt u planetových převodovek, kde se používá jako synchronizační spojka nebo jako brzda korunového kola. Jednoduché znázornění je vidět na obrázku 23. [11]

Obrázek 23 pásová brzda

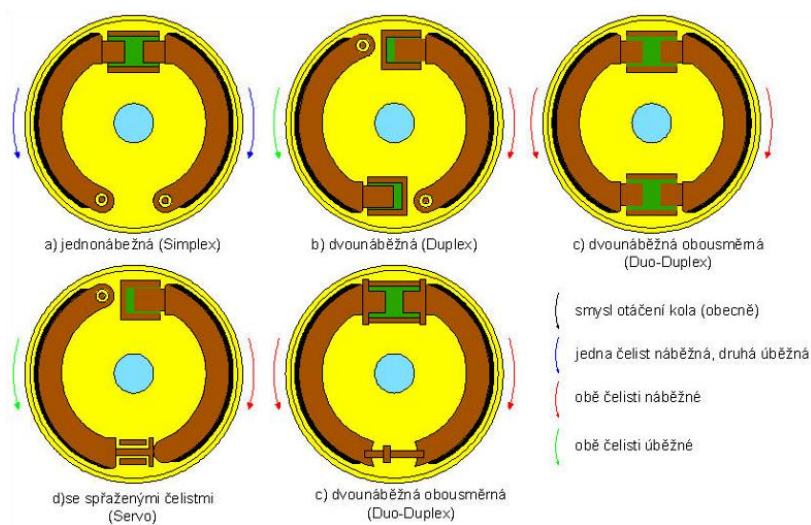


Zdroj [11]

- Bubnová brzda

I přes svou složitější konstrukci je bubnová brzda mnohem rozšířenější než brzda pásová. Bubnová brzda se skládá z brzdových čelistí s obložením, rozpínacího mechanismu (brzdový klíč nebo hydraulický člen) a z brzdového bubnu. Při sešlápnutí brzdového pedálu a zapojení brzdového systému dochází k rozpínání brzdových čelistí s obložením, které se tak dotýká vnitřní strany bubnu. Během tření nabíhá jedna čelist na obvod bubnu a nazývá se náběžnou čelistí. Druhá čelist nabíhá proti směru otáčení brzdového bubnu a nazývá se úběžnou čelistí. Větší brzdový účinek má náběžná čelist. Bubnová brzda se používá jako provozní. V dnešní době se objevuje pouze na zadní nápravě, ale i zde je často nahrazována brzdou kotoučovou. Nevýhodou tohoto systému je možnost přehřátí při dlouhém intenzivním brzdění a z toho vyplývající ztráta brzdícího účinku. Různé způsoby uspořádání tohoto systému jsou znázorněny na obrázku 24. [11] [6]

Obrázek 24 konstrukční provedení bubnové brzdy



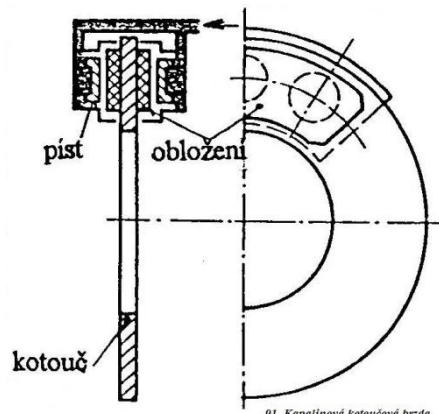
Zdroj [11]

- Kotoučová brzda

Dnes se běžně setkáváme s tím, že vozidlo má kotoučové brzdy na obou nápravách. Tento systém dosahuje vyššího brzdícího účinku a lépe odvádí teplo. Kotoučová brzda se skládá z brzdového kotouče pevně spojeného s nábojem kola, brzdového třmenu, výměnných brzdových destiček a zařízení, které zabraňuje vypadnutí brzdové destičky ze třmenu.

Brzdného účinku se zde dosahuje třením brzdových destiček o kotouč, který je chlazený proudícím vzduchem a brzda si tak zachovává trvale dobrý brzdný účinek. Kotoučová brzda je uvažovaná jako provozní s hydraulickým ovládáním. Nelze použít jako brzda parkovací, není-li vybavena mechanickým rozpínáním. [11] [6]

Obrázek 25 kotoučová brzda



Zdroj [http://www.eamos.cz/amos/kat_fyz/externi/kat_fyz_7356/91.jpg]

- Výpočet brzdného momentu

Pro kotoučovou brzdu (2-14)

$$M_b = F_b * f_t * i * \frac{(r_1 + r_2)}{2} \quad (2-14)$$

Pro bubnovou brzdu (2-15)

$$M_b = k * F_b * \psi * r \quad (2-15)$$

M_b – brzdný moment

F_b – brzdicí síla

f_t – součinitel tření brzdového obložení

i – počet třecích ploch

$r_{1,2}$ – vnější a vnitřní poloměr kotouče

k – konstanta uložení čelistí

ψ – součinitel tření brzdového obložení

r – poloměr bubnu

2.1.3.2 Faktory omezující brždění

- Prodleva brždění

Prodleva brždění je čas, který uplyne od doby sešlápnutí pedálu řidiče do začátku brždění - tedy čas, za který brzdňý systém zareaguje. [14]

Tabulka 2-3 prodleva brždění

Mechanické brzdy	0,3 s
Hydraulické brzdy	0,15 – 0,2 s
Vzduchové brzdy	0,6 s

Zdroj [14]

V tabulce 2-3 se nachází různé hodnoty u různých typů brzdňých systémů

- Součinitel přilnavosti μ

Závisí na něm adheze pneumatiky¹⁴. Při různých vnějších podmínkách nabývá různých hodnot, náhled na ně v tabulce 2-4

Tabulka 2-4 hodnoty součinitele přilnavosti

Suchý asfalt	0,6 -0,9	
Mokrý asfalt	0,3 – 0,8	
Mokrý beton	0,5 – 0,8	
Suchý beton	0,8 – 1,0	
Suchá dlažba	0,6 – 0,9	
Mokrá dlažba	0,3 – 0,5	
Štěrková vozovka	0,5 - 0,7	
náledí	0° C	0,05 – 0,10
	-10° C	0,08 – 0,15
	-20 ° C	0,15 – 0,20

Zdroj [1]

¹⁴ Kapitola 2.1.1.4

- Reakční doba

Doba, za kterou řidič začne brzdit při zpozorování nějaké překážky. Je ovlivněná tím, jak je řidič soustředěný na ovládání vozidla a v jaké je fyzické kondici, v tabulce 2-5 se nacházejí její hodnoty[14]

Tabulka 2-5 reakční doba

Stav řidiče	Reakční doba
Pozorný, soustředěný	0,6 – 0,8 s
Pozorný, nečeká nebezpečí	0,7 – 0,9 s
Soustředěný na jinou činnost	1,0 – 1,2 s
nepozorný	1,4 – 1,8 s
indisponovaný	1,6 – 2,4 a

Zdroj [14]

V tabulce 2-6 se nachází závislost ujeté dráhy na reakční době a rychlosti. Vyplývá z ní, že doba, za kterou řidič zareaguje, má zásadní vliv na zastavení vozidla a zabránění případné kolize.

Tabulka 2-6 závislost reakční doby řidiče, rychlosti a ujeté vzdálenosti

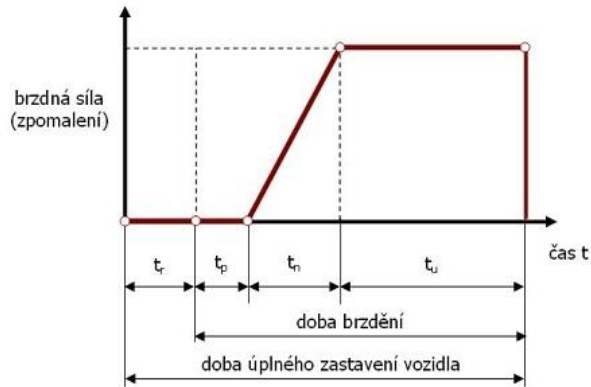
rychlost	Reakční doba		
	0,6 s	1,0 s	1,5 s
	Ujetá dráha		
10 km/h	2 m	3 m	4 m
50 km/h	8 m	14 m	21 m
60 km/h	10 m	17 m	25 m
90 km/h	15 m	25 m	38 m

Zdroj [14]

2.1.3.3 Brzdná dráha

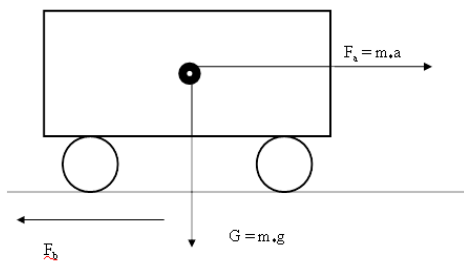
Brzdnou drahou rozumíme takovou dráhu, kterou vozidlo ujede od úplného začátku brždění. Grafické znázornění se nachází na obrázku 26. [14]

Obrázek 26 grafické znázornění brzdné dráhy v čase



Zdroj [14]

Obrázek 27 znázornění působících sil



odvození vztahu pro výpočet brzdné dráhy(2-16)

$$E_k = F_b * l \quad (2-16)$$

$$E_k = \frac{1}{2} m * v^2 \quad (2-17)$$

$$F_b = m * g * \mu \quad (2-18)$$

zdroj [14]

Po dosazení do rovnice (2-16)

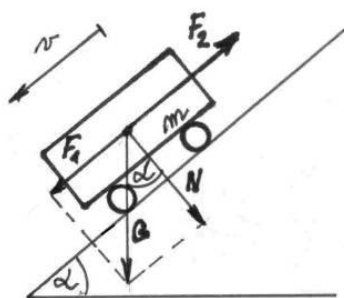
$$\frac{1}{2} m * v^2 = F_b * l_u \rightarrow l_u = \frac{v_0^2}{2 * g * \mu} \quad (2-19)$$

výsledný vztah pro celkovou brzdnou dráhu (2-20)

$$l_b = v_0 * \left(t_r + t_p + \frac{t_n}{2} \right) + \frac{v_0^2}{2g*\mu} \quad (2-20)$$

Celková brzdná dráha se rovná dráze ujeté před tím, než vozidlo začne brzdit (prodleva brzd, reakce řidiče) a dráze, které vozidlo koná zpomaleným pohybem vyvolaným samotným bržděním.

Obrázek 28 znázornění působících sil



Zdroj[14]

Při jízdě ze svahu se mění hodnota brzdného zpomalení, rovnice (2-21)

$$a = g * (\mu * \cos\alpha - \sin\alpha) \quad (2-21)$$

l_b – brzdná dráha celková

a - brzdné zpomalení

t_r – doba reakce řidiče

t_p – doba reakce vozidla

t_n – doba náběhu brzd

E_k – kinetická energie

F_b - brzdná síla

v_0 – počáteční rychlost

μ - součinitel přílnavosti

g – tíhové zrychlení

m – tíha










2.1.4 Aquaplaning

Při tomto jevu dochází ke ztrátě kontaktu mezi pneumatikou a vozovkou. Vozidlo se stává neovladatelným a chová se jako na ledě.

Dochází k němu při vysokých rychlostech na mokré vozovce. Pneumatika nestačí odvádět vodu ležící na vozovce a před pneumatikou se proto tvoří tzv. vodní klín.

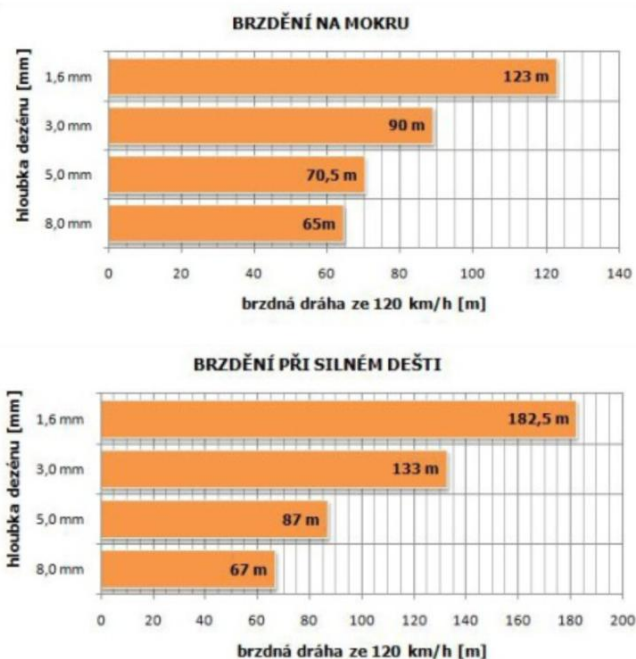
Pokud se rychlost vozidla zvýší, nebo vzroste výška vodního sloupce, voda vnikne mezi pneumatiku a vozovku. Voda by měla být odváděna drážkami dezénu pneumatiky¹⁵. Když se tak nestane, kontaktní plocha se zmenší natolik, že kola nepřenesou potřebné množství podélné ani boční síly a dochází ke smyku.

Obrázek 30

HLOUBKA DEZÉNU RYCHLOST AUTOMOBILU	1,6 mm	4 mm	8 mm
5 km/hod	 plocha 100%	 plocha 100%	 plocha 100%
75 km/hod	 plocha 16%	 plocha 58%	 plocha 74%
125 km/hod	 plocha 6%	 plocha 11%	 plocha 47%

Zdroj [14]

Obrázek 29



Zdroj [14]

Závislost hloubky dezénu pneumatiky¹⁶, rychlosti a kontaktní plochy najdeme na obrázku 30. Závislost hloubky dezénu na brzdné dráze vozidla na obrázku 29.

Z obou závislostí vyplývá, že řidič musí svojí jízdu na mokru přizpůsobit možnostem svého vozidla a okolním podmínkám, tj. kolik je na vozovce vody a jaké má na vozidle pneumatiky. [8] [3]

¹⁵ Kapitola 2.1.1.3

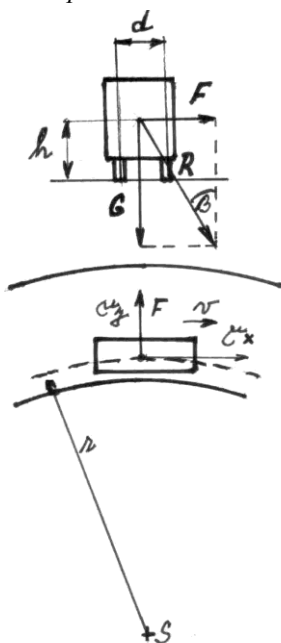
¹⁶ Kapitola 2.1.1.3

2.1.5 Průjezd směrovým obloukem

Při průjezdu směrovým obloukem nesmí vozidlo překročit rychlost v_{max} , jinak dojde k nežádoucí ztrátě stability a nastane radiální posun. V praxi to může znamenat vozidlo nabourané ve stromu, převrácené na střechu v příkopu atd. Tento jev má velký vliv na bezpečnost jízdy. [14]

Aby vozidlo projelo zatáčkou v pořádku, musí platit rovnice (2-22), znázornění působících sil na obrázku 31.

Obrázek 31
znázornění
působících sil



zdroj[14]

$$F \leq F_t \quad (2-22)$$

$$F = \frac{m \cdot v^2}{r} \quad (2-23)$$

$$F_t = \mu \cdot N \quad (2-24)$$

Po dosazení do (2-22) získáme rovnici (2-25)

$$\frac{m \cdot v^2}{r} = \mu \cdot m \cdot g \rightarrow v_{max} = \sqrt{\mu \cdot r \cdot g} \quad (2-25)$$

Z geometrie platí rovnice (2-26)

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{F}{G} \rightarrow \operatorname{tg} \beta = \frac{v^2}{r \cdot g} \quad (2-26)$$

po dosazení do (2-26) za v_{max} získáme rovnici (2-27)

$$\operatorname{tg} \beta \leq \mu \quad (2-27)$$

tento úhel β z rovnice (2-27) má význam pro jednostopá vozidla. Jízdní kolo, nebo motocykl musí být nakloněn o tento úhel, aby bezpečně projel obloukem. [14]

Pro dvoustopá vozidla platí rovnice (2-28)

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{F}{G} = \frac{\frac{m \cdot v^2}{r}}{m \cdot g} = \frac{v^2}{r \cdot g} = \frac{d}{2 \cdot h} \rightarrow v_{max} = \sqrt{\frac{r \cdot g \cdot d}{2 \cdot h}} \quad (2-28)$$

Pokud vozidlo při průjezdu obloukem zároveň brzdí, mění se součinitel přilnavosti (2-29).

μ_x – pro brzdění

μ_y – pro udržení v oblouku

μ – výsledný součinitel přilnavosti

$$\mu = \sqrt{\mu_x^2 + \mu_y^2} \quad (2-29)$$

F_t – třecí síla

F – odstředivá síla

m – tíha vozidla

g – tíhové zrychlení

μ – součinitel přilnavosti

v – rychlost vozidla

r – poloměr oblouku

β – úhel nakolpení

d, h – souřadnice těžiště

- Přetáčivost a nedotáčivost

Tyto dva jevy vznikají při průjezdu směrovým obloukem. Pokud má vozidlo poháněné přední kola, je nedotáčivé. Pokud má poháněné zadní kola, je přetáčivé. Nedotáčivost je smyk přední nápravy a vyznačuje se tím, že vozidlo není schopné zatočit do požadovaného směru. Přetáčivost je smyk zadní nápravy a vozidlo naopak zatáčí víc, než je požadováno.[10].

2.1.6 Směrová stabilita

Vlastnost vozidla udržovat směr pohybu vozidla určený řízením i při působení vnějších sil a momentů. Základní předpoklad pro bezpečnou jízdu.

Na směrovou stabilitu má vliv zejména: poloha těžiště vozidla vzhledem k nápravám, poměr mezi zatížením přední a zadní nápravy, aerodynamická stabilita, způsob zavěšení náprav, boční tuhost pneumatik. [1]

3 Rozbor zkoumaného jevu, analýza dat

3.1 Zkoumaný jev

V létě 2014 se na zkušebním kruhovém okruhu Štola Josef (pracoviště Fakulty stavební ČVUT) uskutečnily jízdní zkoušky vozidel. Na kruhové dráze byla umístěna dřevěná lať o výšce 4 cm. Při přejezdu vozidla přes tuto překážku nastaly různé stavy, které zhoršovaly stabilitu vozidla.

Celkem se zkoušely tři vozidla: Škoda Octavia II, Škoda Rapid a BMW 320d. Na každém vozidle byly umístěny 3 snímače zrychlení a snímaly zrychlení ve třech směrech – ve směru osy X, ve směru osy Y a ve směru osy Z. Každé vozidlo absolvovalo kruhovou jízdní zkoušku ve třech různých rychlostech: 10 km/h, 20 km/h a 30 km/h. Předpokladem bylo, že výstup pro tyto tři vozidla by byl podobný a proto se provedlo doplňující měření s vozidlem Škoda octavia II, které bylo zatíženo závažím 200 kg v kufru, poté se závaží vyndalo a byl připojen přívěs a na konec se na přívěs umístilo vozidlo Škoda rapid.

3.2 Analýza dat

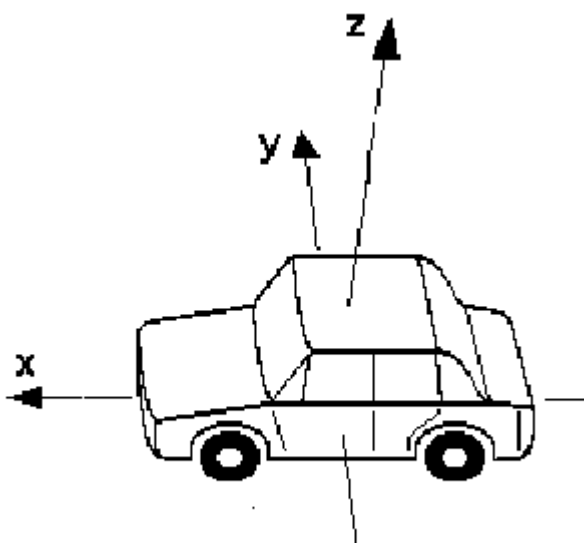
Pro mé vyhodnocení jsem bral v úvahu pouze výstupy z rychlosti 30 km/h, kde byla předpokládána největší změna naměřeného zrychlení.

Původně jsem chtěl srovnat vozidlo Škoda Octavia II ve třech různých situacích: bez zátěže, se závažím v kufru, s prázdným přívěsem a s přívěsem, na kterém byla umístěno vozidlo Škoda rapid. Bohužel se vyskytla chyba ve výstupu ze zkoušky s naloženým přívěsem a musel jsem původní plán změnit.

Zaměřil jsem se na vozidla Škoda octavia II, Škoda rapid a BMW 320d, všechny v rychlosti 30 km/h.

Data jsem zpracoval ve výukové verzi aplikace NI Diadem. Bezplatná výuková verze je k dispozici na omezený počet dní. Náhled do aplikace je v příloze 1 na obrázku 36 a 37. Bral jsem v úvahu filtrované soubory, filtrace proběhla v rozsahu 5 – 15 Hz . Ze souborů, které jsem měl k dispozici, jsem vytvořil grafy a z těch následně odečetl potřebné hodnoty zrychlení. Aby se ve výstupních hodnotách dalo jednotně orientovat, zvolil jsem souřadnicový systém X,Y,Z (obrázek 32).

Obrázek 32 souřadnicový systém



Zdroj [vlastní zpracování]

Celkové vlastnosti vozidla jsou obtížně vyšetřitelné a je obtížné se v nich orientovat. Pohyb vozidla je možné popsat v souřadnicovém systému X, Y, Z na obrázku 32.

Pohyb ve směru osy Y a osy X udává změnu směrové stability, pohyb ve směru osy Z popisuje svislé vychylování vozidla. Rozdělení pohybů podle souřadnic se nachází v tabulce 3-1.

Tabulka 3-1 chování vozidla

osa	Chování vozidla
X	Jízdní odpory ¹⁷ , brždění ¹⁸ , ztráta stability při přímé jízdě
Y	Výchylka z přímého směru, ztráta stability při průjezdu směrovým obloukem ¹⁹
Z	Svislé kmitání, kolébání, odskok kola a ztráta adheze ²⁰

Zdroj [1,6,9]

¹⁷ Kapitola 2.1.2

¹⁸ Kapitola 2.1.3

¹⁹ Kapitola 2.1.5

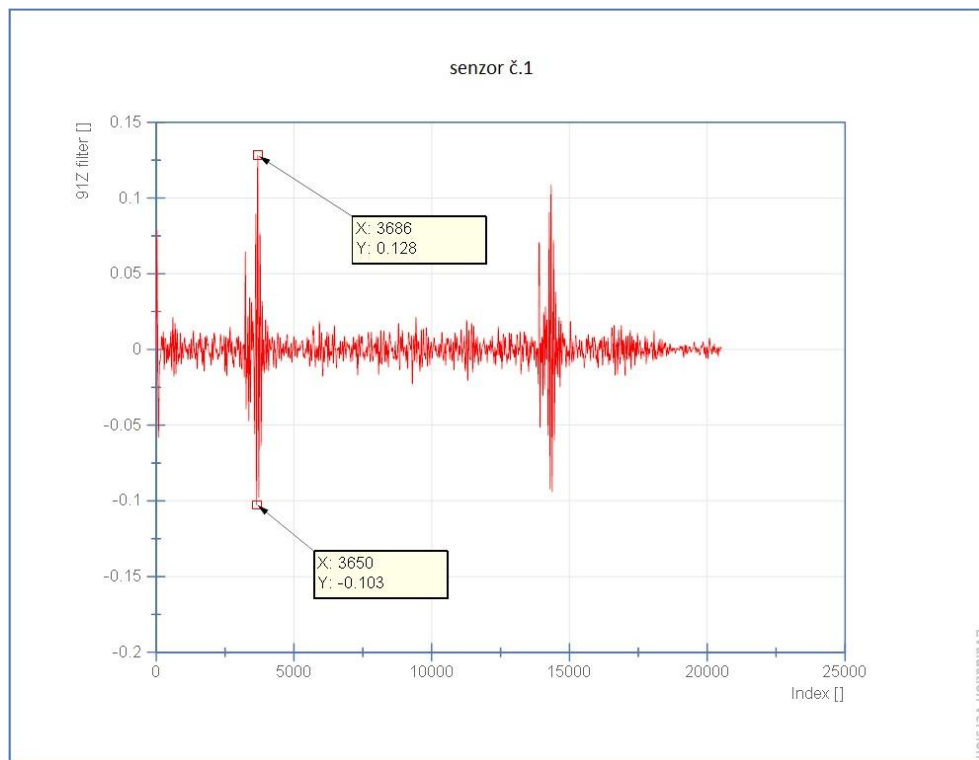
²⁰ Kapitola 2.1.1.4

3.2.1 Výstupní hodnoty pro jednotlivá vozidla

3.2.1.1 Škoda Octavia II

Umístění a osy jednotlivých senzorů jsou v příloze 2 na obrázku 38 a 39. Uvádím zde jeden graf pro představu (obrázek 33), zbytek se nachází v příloze 3. Odečtené hodnoty zrychlení v orientaci os podle obrázku 32 se nacházejí v tabulce 3-2.

Obrázek 33 průběh zrychlení ve směru osy X, senzor č.1



Zdroj [vlastní zpracování]

Tabulka 3-2 výstupní hodnoty

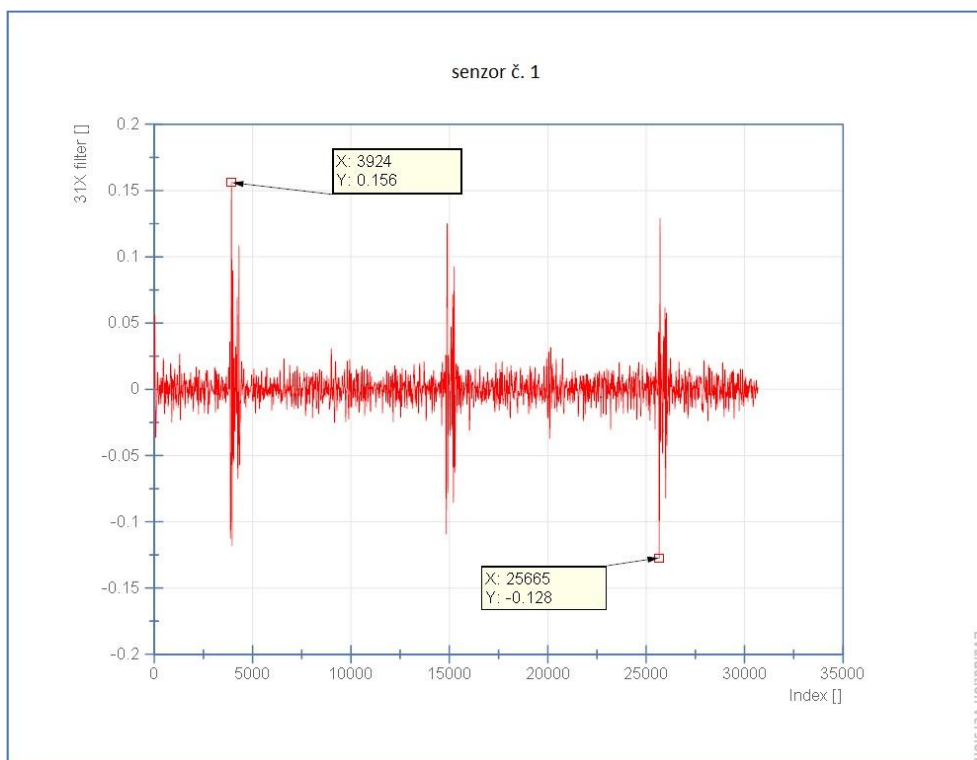
rychlost	Zrychlení ve směru osy X		Zrychlení ve směru osy Y		Zrychlení ve směru osy Z	
	Senzor č.1	Senzor č.2	Senzor č.1	Senzor č.2	Senzor č.1	Senzor č.2
30 km/h	Senzor č.1	0,128 g	Senzor č.1	-0,115 g	Senzor č.1	-0,193 g
	Senzor č.2	-0,136 g	Senzor č.2	-0,0978 g	Senzor č.2	0,186 g
	Senzor č.3	0,0992 g	Senzor č.3	-0,207 g	Senzor č.3	0,365 g

Zdroj [vlastní zpracování]

3.2.1.2 Škoda rapid

Umístění a osy jednotlivých senzorů jsou v příloze 4 na obrázku 49 a 50. Uvádím zde jeden graf pro představu (obrázek 34), zbytek se nachází v příloze 5. Odečtené hodnoty zrychlení v orientaci os podle obrázku 32 se nacházejí v tabulce 3-3.

Obrázek 34 průběh zrychlení ve směru osy X, senzor č.1



Zdroj [vlastní zpracování]

Tabulka 3-3 výstupní hodnoty

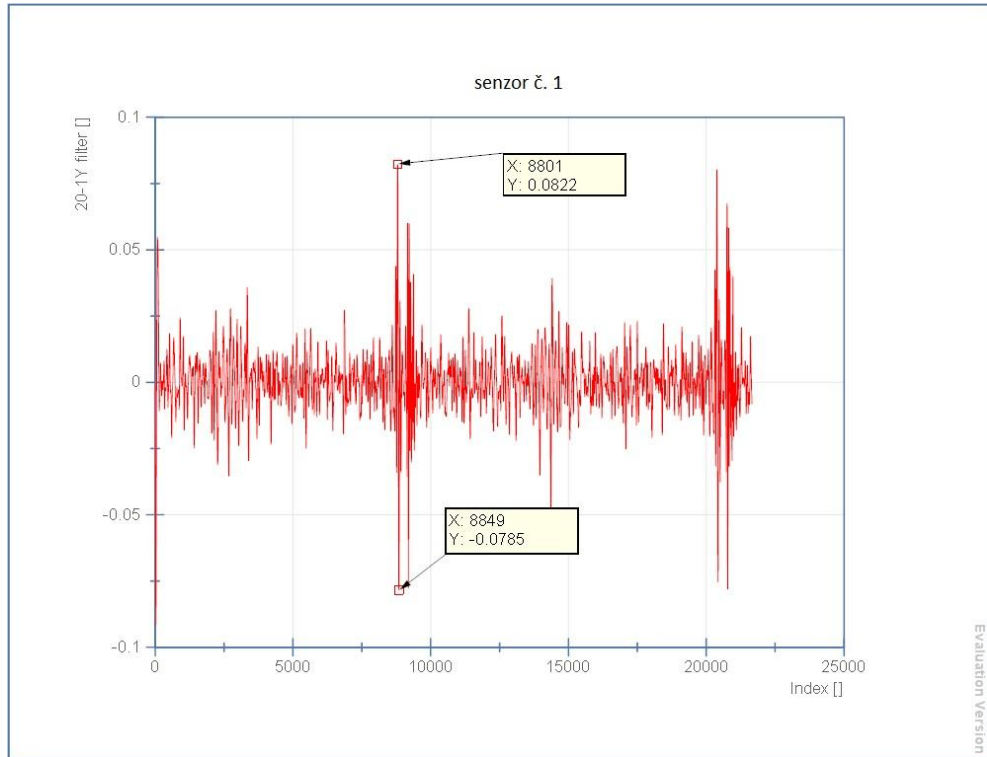
rychlost	Zrychlení ve směru osy X		Zrychlení ve směru osy Y		Zrychlení ve směru osy Z	
	Senzor č. 1	Senzor č. 2	Senzor č. 1	Senzor č. 2	Senzor č. 1	Senzor č. 2
30 km/h	Senzor č. 1	0,156 g	Senzor č. 1	-0,161 g	Senzor č. 1	0,215 g
	Senzor č. 2	-0,124 g	Senzor č. 2	-0,465 g	Senzor č. 2	-0,568 g
	Senzor č. 3	0,227 g	Senzor č. 3	0,161 g	Senzor č. 3	0,244 g

Zdroj [vlastní zpracování]

3.2.1.3 BMW 320d

Umístění a osy jednotlivých senzorů jsou v příloze 6 na obrázku 58 a 59. Uvádím zde jeden graf pro představu (obrázek 35), zbytek se nachází v příloze 7. Odečtené hodnoty zrychlení v orientaci os podle obrázku 32 se nacházejí v tabulce 3-4.

Obrázek 35 průběh zrychlení ve směru osy X, senzor č.1



Zdroj [vlastní zpracování]

Tabulka 3-4 výstupní hodnoty

rychlost	Zrychlení ve směru osy X		Zrychlení ve směru osy Y		Zrychlení ve směru osy Z	
	Senzor č. 1	Senzor č. 2	Senzor č. 1	Senzor č. 2	Senzor č. 1	Senzor č. 2
30 km/h	Senzor č. 1	0,0822 g	Senzor č. 1	0,130 g	Senzor č. 1	0,215 g
	Senzor č. 2	0,0843 g	Senzor č. 2	-0,115 g	Senzor č. 2	0,327 g
	Senzor č. 3	0,107 g	Senzor č. 3	-0,136 g	Senzor č. 3	0,208 g

Zdroj [vlastní zpracování]

4 Vlastní řešení problému

V této části bych rád porovnal jednotlivá vozidla. V úvahu zde беру maximální naměřené hodnoty zrychlení jak v kladném tak v záporném směru osy. Naměřené hodnoty jsou dány v honotě normálního tíhového zrychlení g , proto je potřeba výsledky v jednotkách m/s^2 vynásobit konstantou 9,80665. Přehled přepočítaných a vybraných nejvyšších hodnot je v tabulce 4-1.

Tabulka 4-1 výsledné výstupní hodnoty

	Osa x	Osa y	Osa z
Škoda octavia II Vozidlo 1	-1,333 m/s^2	-2,029 m/s^2	3,579 m/s^2
Škoda rapid Vozidlo 2	2,261 m/s^2	-4,560 m/s^2	-5,570 m/s^2
BMW 320d Vozidlo 3	1,049 m/s^2	-1,333 m/s^2	3,206 m/s^2

Zdroj [vlastní zpracování]

Silové účinky na vozidlo jsou přímo úměrné vyskytujícímu se zrychlení.

Z jednotlivých výstupů lze se dá usuzovat, že vozidlo 2 má největší tendenci ke ztrátě stability jak v podélném směru (osy X), tak i ve směru příčném (osy Y). Zároveň má největší tendenci ke svislému kmitání (osa Z). Je tedy nejnáchylnější k nežádoucímu chování, jako je například převrácení při jízdě směrovým obloukem²¹. Vozidlo 1 a vozidlo 3 jsou na tom srovnatelně. Vozidlo 3 je ze všech tří vozidel nejméně náchylné ke ztrátě stability v příčném, podélném i svislém směru.

Kdyby se měla vozidla seřadit od nejnáchylnějšího po nejméně náchylné ke ztrátě stability a nežádoucím jevům, dopracujeme se k následujícímu pořadí:

1. BMW 320d 2. Škoda octavia II 3. Škoda rapid

²¹ Kapitola 2.1.5

Závěrem tedy je, že vozidlo 3 – BMW 320d má nejmenší sklony ke ztrátě stability jak v podélném tak i příčném směru, zároveň i ve směru svislém. Je tedy nejstabilnější ze všech tří vozidel a má nejmenší sklony k nežádoucímu chování a ohrožení bezpečnosti silničního provozu. Podrobně jsou tyto vlastnosti uvedeny v tabulce 3-1.

Závěr

Jízdní vlastnosti vozidel mají podstatný vliv na bezpečnost provozu. Při pohybu vozidla na vozovce vznikají jízdní odpory, při průjezdu směrovým obloukem může nastat ztráta příčné stability, brzdnou dráhu ovlivňují různé faktory, což je třeba si uvědomit. Tyto vlastnosti vozidel ovlivňují konstrukční prvky, zejména části podvozku. Pneumatiky mají přímý vliv na brzdou dráhu, stabilitu a jízdní odpory. Brzdné systémy ovlivňují dobu brždění a brzdou dráhu. Způsob zavěšení a odpružení kol ovlivňuje stabilitu při průjezdu směrovým obloukem a komfort pro posádku.

Silničnímu provozu se věnuje legislativa, která je důležitá pro každého z nás. Zkoušení vozidel se také podrobuje určitým pravidlům. Obojí se nachází v kapitole 1.

Vlastní přínos v bakalářské práci spočívá v porovnání tří různých vozidel z hlediska jízdních vlastností. Ty se zjišťovaly na základě kruhové jízdní zkoušky v rychlosti 30 km/h. Každé vozidlo bylo osazeno třemi snímači zrychlení (náhled v přílohách) a po přejezdu přes překážku byly naměřeny určité hodnoty. Z naměřených hodnot jsem v aplikaci NI Diadem vytvořil grafy průběhu zrychlení v čase. Z těchto grafů (náhled v přílohách) jsem odečetl největší vyskytující se zrychlení a na základě těchto hodnot vozidla porovnal. Výsledkem je, že vozidla Škoda Octavia II a BMW 320d mají podobné vlastnosti a vozidlo Škoda rapid vykazuje největší tendenci ke ztrátě příčné stability a možného smyku či převrácení i ke svislému kmitání a ztrátě stability v podélném směru.

Každý účastník silničního provozu by si měl uvědomit, že je povinen přizpůsobit svou jízdu okolním podmínkám a možnostem svého vozidla tak, aby neohrozil na bezpečnosti sebe sám, ani ostatní. Bohužel se tak často nestává a s dopravními nehodami se na silnicích setkáváme denně.

literatura

- [1]VLK, František. *Dynamika motorových vozidel*. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003, 432 s. ISBN 80-239-0024-2.
- [2]VÉMOLA, Aleš. *Diagnostika automobilů*. Vyd. 1. Brno: Littera, 2006, 2 sv. (127, 82 s.). ISBN 80-85763-31-1.
- [3]VLK, František. *Podvozky motorových vozidel: pneumatiky a kola : zavěšení kol, nápravy : odpružení : řídicí ústrojí : brzdové soustavy*. 1. vyd. Brno: VLK, 2000, 392 s. ISBN 80-238-5274-4.
- [4]VLK, František. *Diagnostika motorových vozidel: [diagnostické testery, motortestery, brzdové soustavy, geometrie řízení, tlumiče, kontrola podvozku, diagnostické linky]*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2006, vi, 444 s. ISBN 80-239-7064-x.
- [5]VLK, František. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: Vlk, 2001, viii, 576 s. ISBN 80-238-6573-0.
- [6]BUREŠ, Oldřich. *Traktory a automobily*. 1. vyd. Bratislava: Příroda, 1981, 417 s. Poľnohospodárska mechanizácia (Příroda).
- [7]MACH, Jiří R. *Jak projít STK: automobil ve stanici technické kontroly a ve stanici měření emisí*. 1. vyd. Praha: Grada, 1999, 127, [7] s. ISBN 80-7169-778-8.
- [8]KOLEČEK, Petr a Bronislav RŮŽIČKA. *Pneumatiky pro váš automobil*. Vyd. 1. Brno: CP Books, 2005, 154 s. Rady a tipy pro řidiče (CP Books). ISBN 80-251-0561-x.
- [9]JAN, Zdeněk, Bronislav ŽDÁNSKÝ a Jiří ČUPERA. *Automobily*. 2., aktualiz. vyd. Brno: Avid, 2009, 245 s. ISBN 978-80-87143-11-7.
- [10]Automobilová encyklopedie. [online]. [cit. 2015-01-15] Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net>
- [11]Automobilová encyklopedie. [online]. [cit. 2015-1-03] Dostupné z: <http://auta5p.eu>
- [12]Národní strategie bezpečnosti silničního provozu. [cit. 2014-12-20] [online]. Dostupné z: <http://www.ibesip.cz/>
- [13]Ministerstvo dopravy. [online] [cit. 2015-02-03]. Dostupné z: <http://www.mdcz.cz/cs/default.htm>
- [14] LACHNIT František Teorie dopravy 2014, přednášky [online] [cit. 2015-03-03]. Dostupné z: <http://oppa-smad.tf.czu.cz/>
- [15] Katedra mikroelektroniky [online]. [cit. 2015-04-01] Dostupné z: <http://www.micro.feld.cvut.cz/>

[16] International Organization for Standardization – mezinárodní organizace zabývající se tvorbou norem. [online]. [cit. 2014-11-25] Dostupné z: <http://www.iso.cz/>

Seznam tabulek a obrázků

Obrázky

Obrázek 1 přehled hodnot měřených při kruhové jízdě zkoušce	5
obrázek 2 tuhá náprava.....	7
Obrázek 3 lichoběžníková náprava	8
Obrázek 4 náprava mcPherson	9
Obrázek 5 kyvadlová úhlová náprava	9
Obrázek 6 kliková náprava.....	10
Obrázek 7 vinuté pružiny	11
Obrázek 8 typy listových per.....	11
Obrázek 9 vzduchové pružiny	12
Obrázek 10 hydropneumatické odpružení.....	13
Obrázek 11 možné konstrukční uspořádání pneumatiky	14
Obrázek 12 znázornění sil působících na pneumatiku.....	15
Obrázek 13 znázornění třecí kružnice a působících sil na pneumatiku	16
Obrázek 14 geometrie řízení	16
Obrázek 15 lichoběžník řízení	17
Obrázek 16 znázornění odklonu kola	18
Obrázek 17 znázornění příklonu rejdového čepu	18
Obrázek 18 znázornění záklonu rejdového čepu	19
Obrázek 19 znázornění sbíhavosti	20
Obrázek 20 znázornění působení valivého odporu.....	21
Obrázek 21 vývoj součinitele aerodynamického odporu c_x a čelní plochy vozidla S_x	22
Obrázek 22 znázornění působení odporu proti stoupání	23
Obrázek 23 pásová brzda	25
Obrázek 24 konstrukční provedení bubnové brzdy.....	26
Obrázek 25 kotoučová brzda	27
Obrázek 26 grafické znázornění brzdě dráhy v čase	30
Obrázek 27 znázornění působících sil	30
Obrázek 28 znázornění působících sil	31
Obrázek 29	32
Obrázek 30	32

Obrázek 31 znázornění působících sil	33
Obrázek 32 souřadnicový systém	36
Obrázek 33 průběh zrychlení ve směru osy X, senzor č.1	37
Obrázek 34 průběh zrychlení ve směru osy X, senzor č.1	38
Obrázek 35 průběh zrychlení ve směru osy X, senzor č.1	39
obrázek 36	52
obrázek 37	52
obrázek 38 umístění senzorů	53
obrázek 39 osy a očíslování senzorů.....	53
obrázek 40 průběh zrychlení ve směru osy X, senzor č.1	54
obrázek 41 průběh zrychlení ve směru osy X, senzor č. 2	54
obrázek 42 průběh zrychlení ve směru osy X, senzor č.3	55
obrázek 43 průběh zrychlení ve směru osy Y, senzor č.1	55
obrázek 44 průběh zrychlení ve směru osy Y, senzor č.2	56
obrázek 45 průběh zrychlení ve směru osy Y, senzor č.3	56
obrázek 46 průběh zrychlení ve směru osy Z, senzor č.1	57
obrázek 47 průběh zrychlení ve směru osy Z, senzor č.2	57
obrázek 48 průběh zrychlení ve směru osy Z, senzor č.3	58
obrázek 49 umístění senzorů	59
obrázek 50 orientace a očíslování senzorů.....	59
obrázek 51 průběh zrychlení ve směru osy X, senzor č.1	60
obrázek 52 průběh zrychlení ve směru osy X, senzor č.2	60
obrázek 53 průběh zrychlení ve směru osy X, senzor č.3	61
obrázek 54 průběh zrychlení ve směru osy Y, senzor č.1	61
obrázek 55 průběh zrychlení ve směru osy Y, senzor č. 2	62
obrázek 56 průběh zrychlení ve směru osy Y, senzor č.3	62
obrázek 57 průběh zrychlení ve směru osy Z, senzor č.1	63
obrázek 58 průběh zrychlení ve směru osy Z, senzor č.2	63
obrázek 59 průběh zrychlení ve směru osy Z, senzor č.3	64
obrázek 60 umístění senzorů	65
obrázek 61 očíslování a orientace senzorů.....	65
obrázek 62 průběh zrychlení ve směru osy X, senzor č.1	66
obrázek 63 průběh zrychlení ve směru osy X, senzor č.2	66

obrázek 64 průběh zrychlení ve směru osy X, senzor č.3	67
obrázek 65 průběh zrychlení ve směru osy Y, senzor č.1	67
obrázek 66 průběh zrychlení ve směru osy Y, senzor č.2	68
obrázek 67 průběh zrychlení ve směru osy Y, senzor č.3	68
obrázek 68 průběh zrychlení ve směru osy Z, senzor č.1	69
obrázek 69 průběh zrychlení ve směru osy Z, senzor č.2	69
obrázek 70 průběh zrychlení ve směru osy Z, senzor č.3	70

Tabulky

Tabulka 2-1 hodnoty součinitele valivého odporu	21
Tabulka 2-2 hodnoty součinitele aerodynamického odporu c_x a čelní plochy vozidla S_x ..	23
Tabulka 2-3 prodleva brzdění.....	28
Tabulka 2-4 hodnoty součinitele přilnavosti	28
Tabulka 2-5 reakční doba	29
Tabulka 2-6 závislost reakční doby řidiče, rychlosti a ujeté vzdálenosti.....	29
Tabulka 3-1 chování vozidla	36
Tabulka 3-2 výstupní hodnoty	37
Tabulka 3-3 výstupní hodnoty	38
Tabulka 3-4 výstupní hodnoty	39
Tabulka 3-5 výsledné výstupní hodnoty	40

Použité veličiny a jednotky

a_x	zrychlení [m/s^2]
G_v	Úhel natočení volantu [$^\circ$]
H	Úhel směrové výchylky podélné osy vozidla [$^\circ$]
H_x	Úhel směrových úchylek nápravy [$^\circ$]
J	Úhel naklopení karoserie [$^\circ$]
F_x	Síla [N]
M_x	Moment [$N*m$]
ω	vlastní frekvence [Hz]
c	pružinová konstanta [-]
P	tlak [Pa]
B_x	úhel [$^\circ$]
σ	příklon čepu [$^\circ$]
γ	úhel odklonu kola [$^\circ$]
τ	záklon čepu [$^\circ$]
δ	úhel sbíhavosti [$^\circ$]
b, a	vzdálenost [m]
d_r	průměr okraje ráfku [m]
G	tíha [N]
f	součinitel valivého odporu [-]
c_x	součinitel aerodynamického odporu [-]
S_x	plocha [m^2]
ρ	hustota [kg/m^3]
v_x	rychlost [m/s]
α	úhel [$^\circ$]
m	hmotnost [kg]
R_x	poloměr [m]
f_t	součinitel tření [-]
ψ	součinitel tření brzdového obložení [-]
E_k	kinetická energie [J]
t_r	doba reakce řidiče [s]
t_p	doba reakce vozidla [s]

t_n	doba náběhu brzd [s]
μ	součinitel přilnavosti [-]
g	tíhové zrychlení [m/s^2]
d, h	vzdálenosti [m]
φ	úhel zkroucení [°]
G	modul pružnosti [Pa]
τ_k	napětí v krutu [Pa]

Seznam příloh

Příloha 1 : náhled do aplikace NI DIADEM

Příloha 2 : Škoda octavia II

Příloha 3: Škoda octavia II

Příloha 4 : Škoda rapid

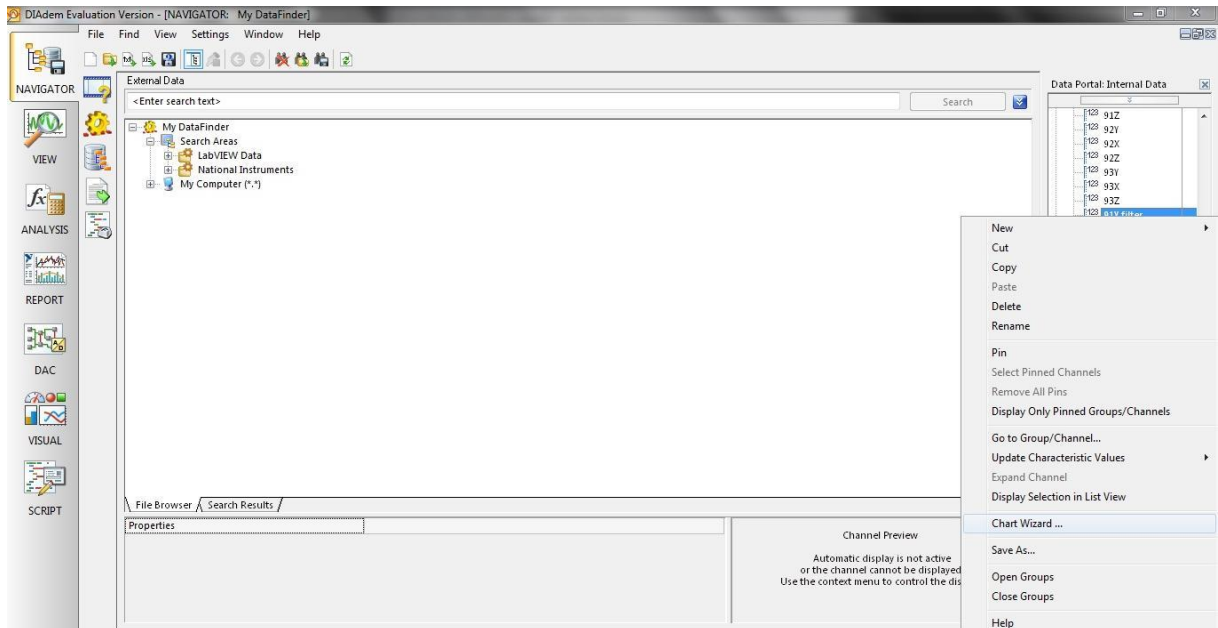
Příloha 5 : Škoda rapid

Příloha 6 : BMW 320d

Příloha 7 : BMW 320d

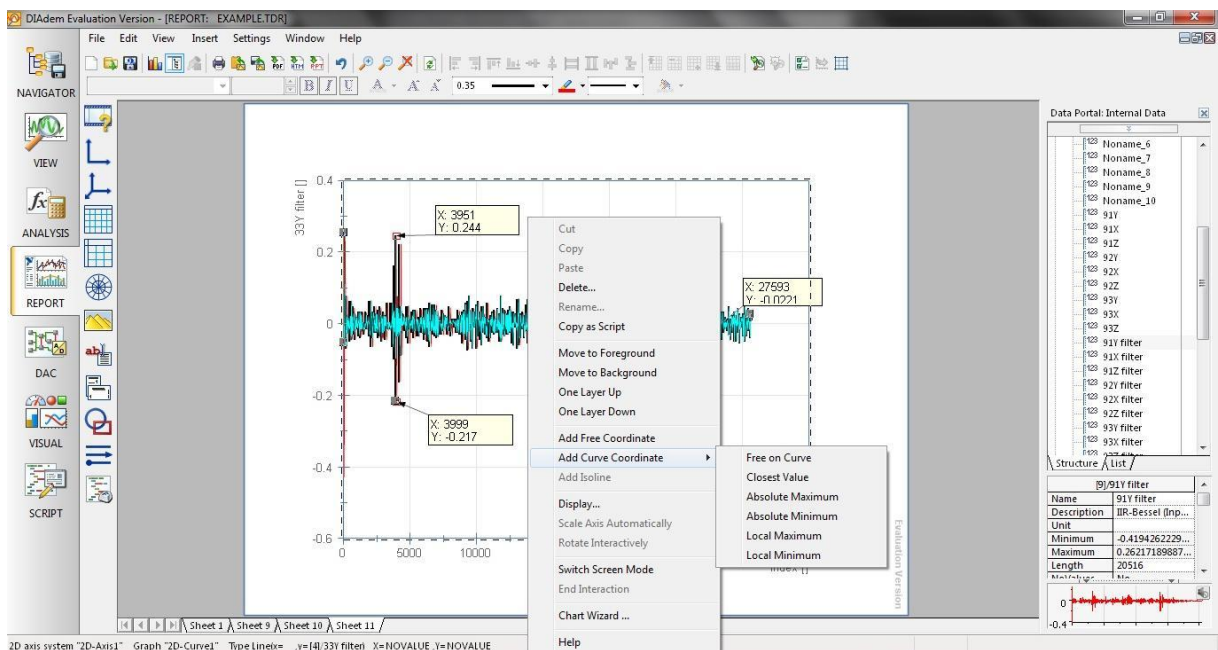
Příloha 1 : náhled do aplikace NI Diadem

obrázek 36



Zdroj [vlastní zpracování]

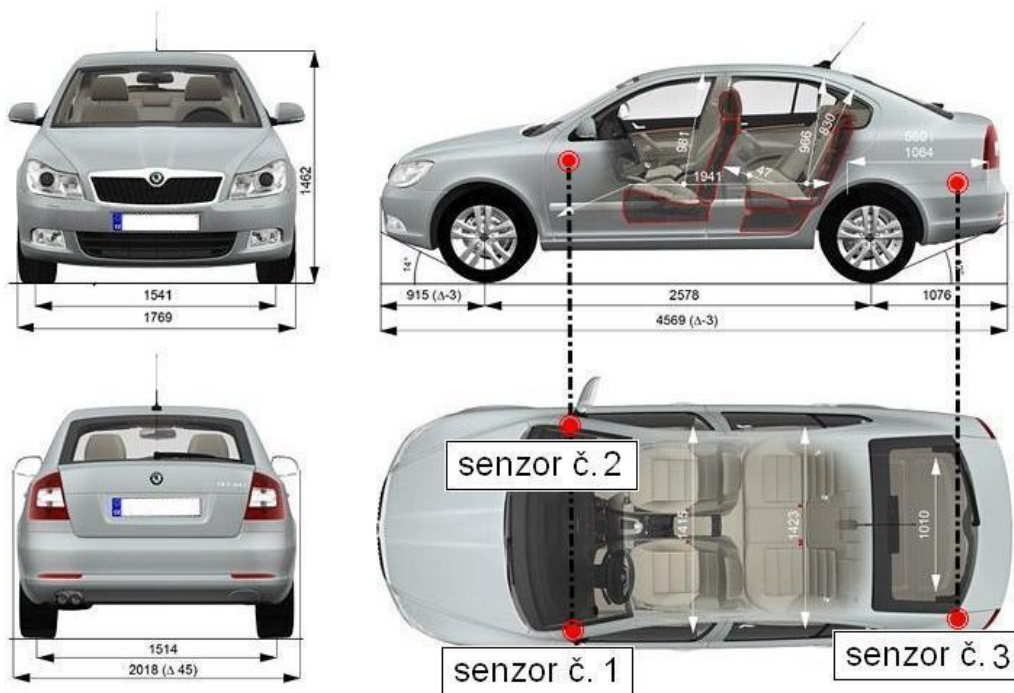
obrázek 37



Zdroj [vlastní zpracování]

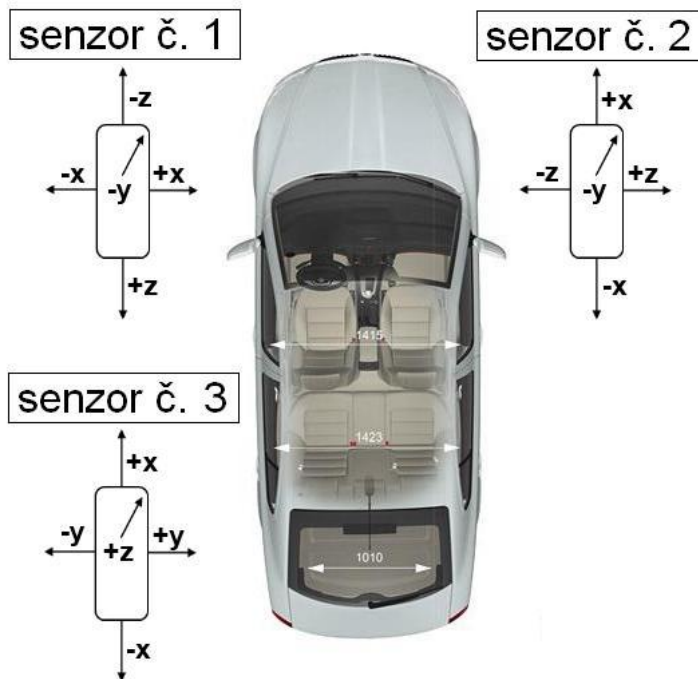
Příloha 2: Škoda octavia II, umístění a osy senzorů

obrázek 38 umístění senzorů



Zdroj [vlastní zpracování]

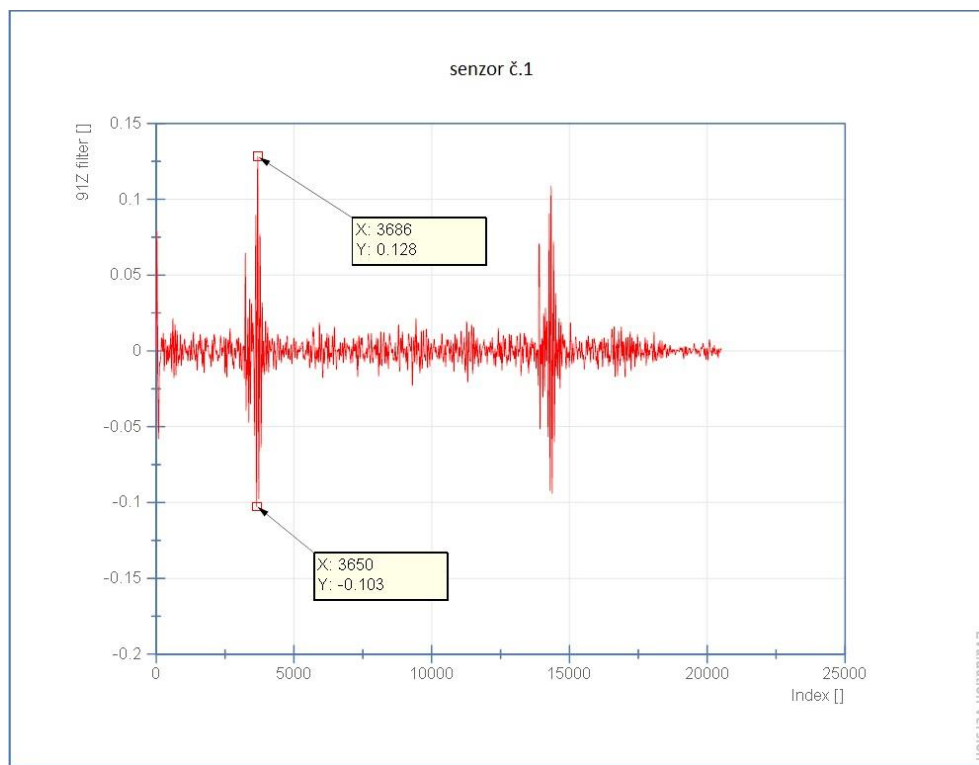
obrázek 39 osy a očíslování senzorů



Zdroj [vlastní zpracování]

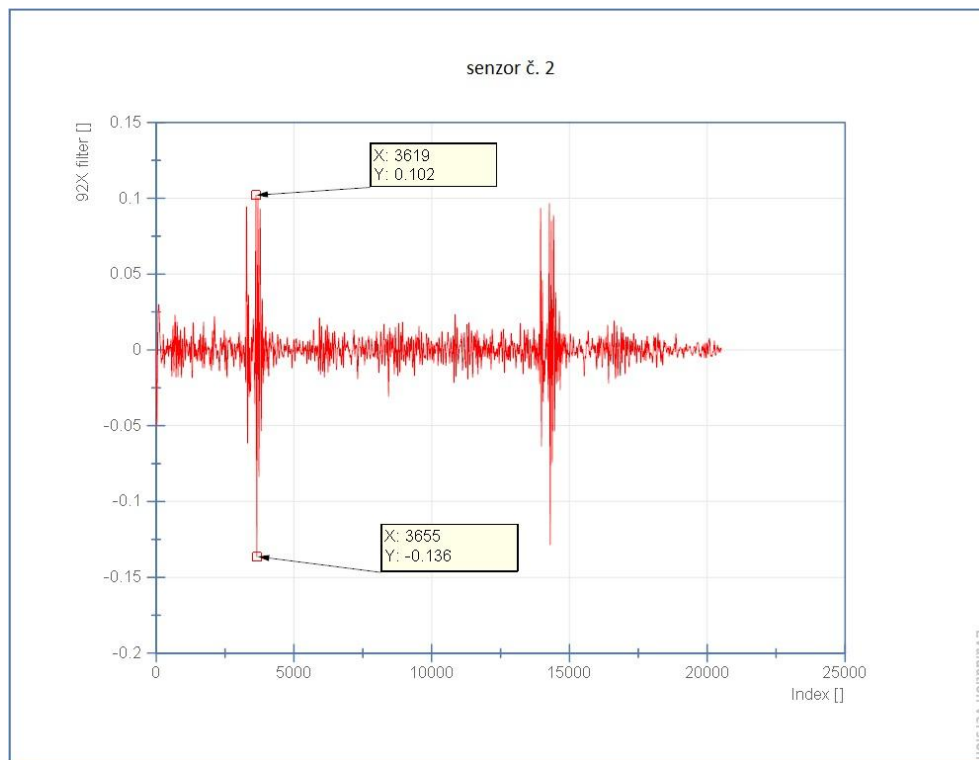
Příloha 3 : Škoda octavia II, výstupní grafy

obrázek 40 průběh zrychlení ve směru osy X, senzor č. 1

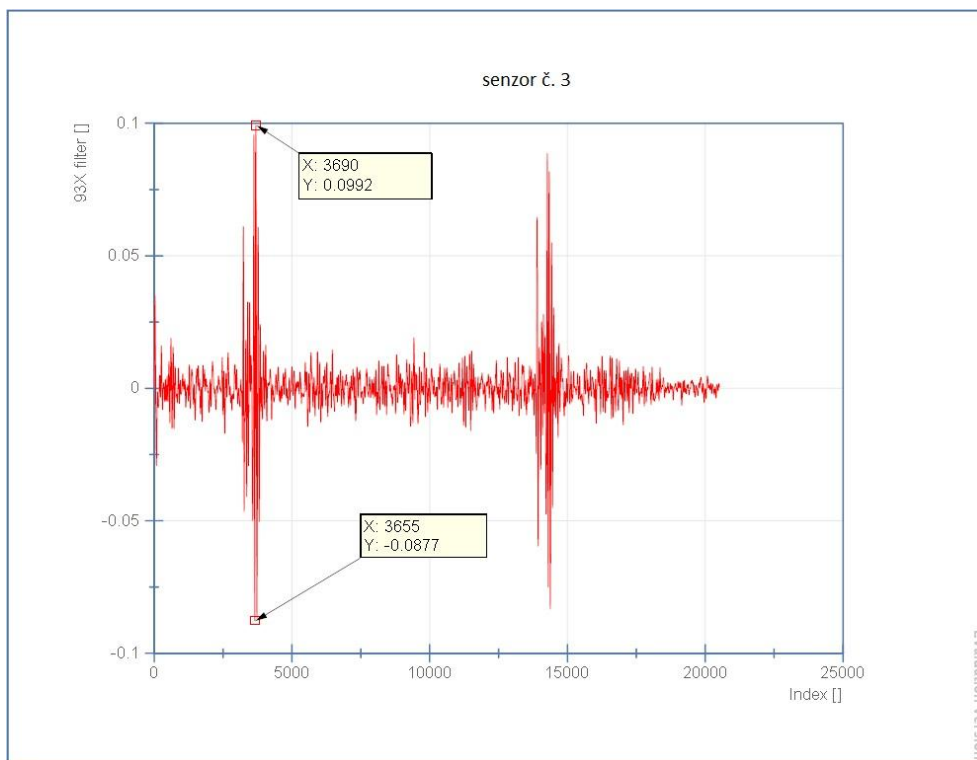


Zdroj [vlastní zpracování]

obrázek 41 průběh zrychlení ve směru osy X, senzor č. 2

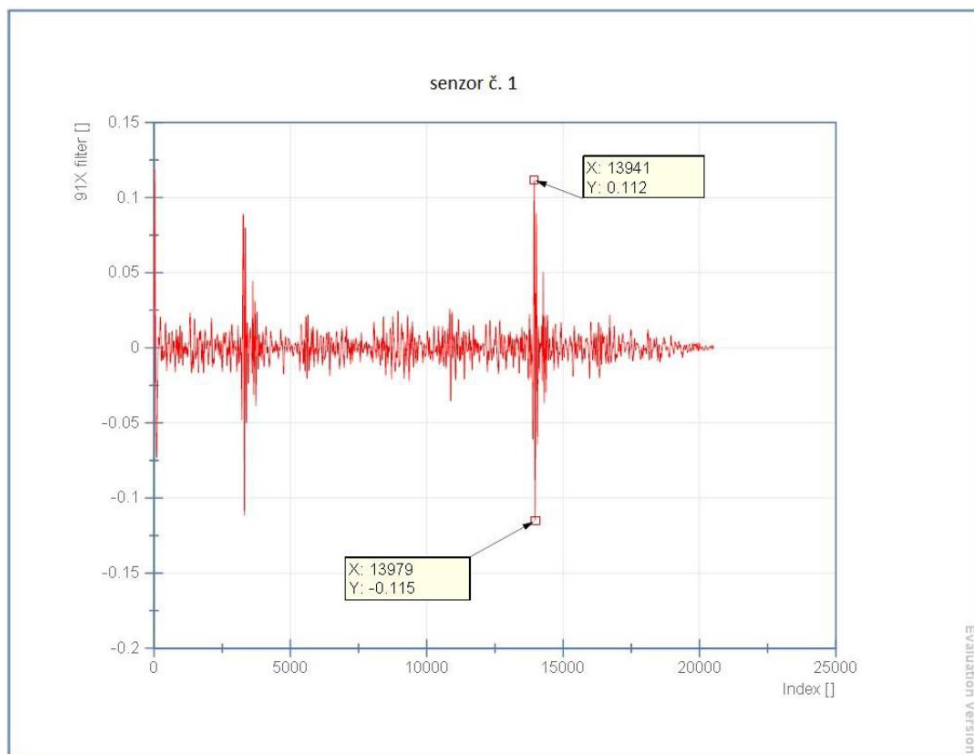


obrázek 42 průběh zrychlení ve směru osy X, senzor č.3



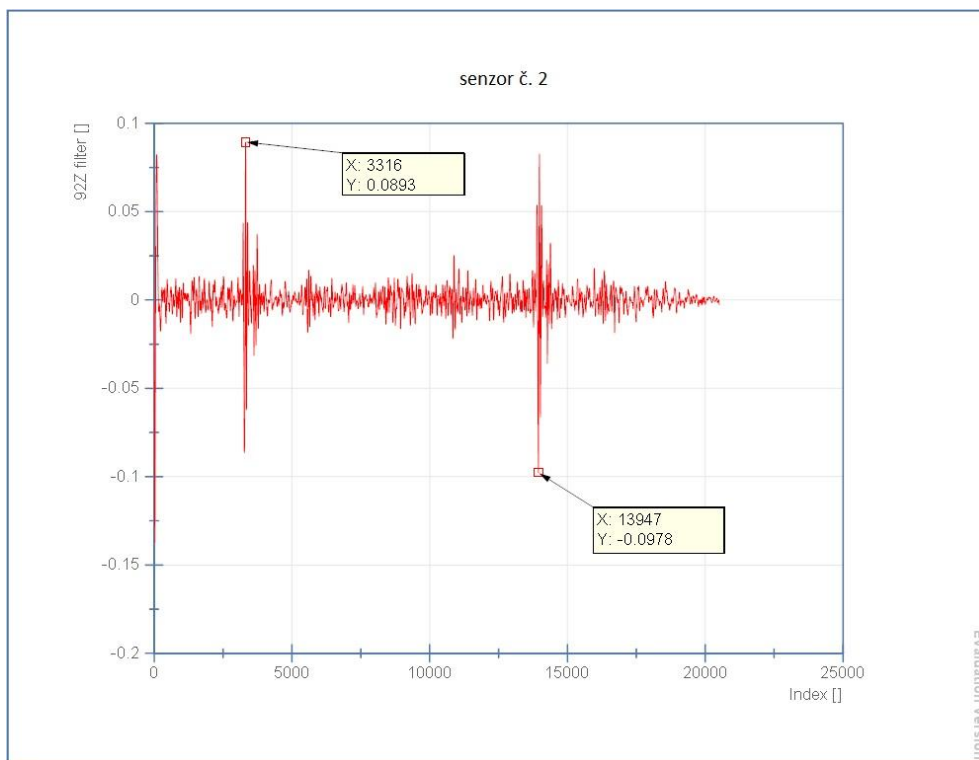
Zdroj [vlastní zpracování]

obrázek 43 průběh zrychlení ve směru osy Y, senzor č.1



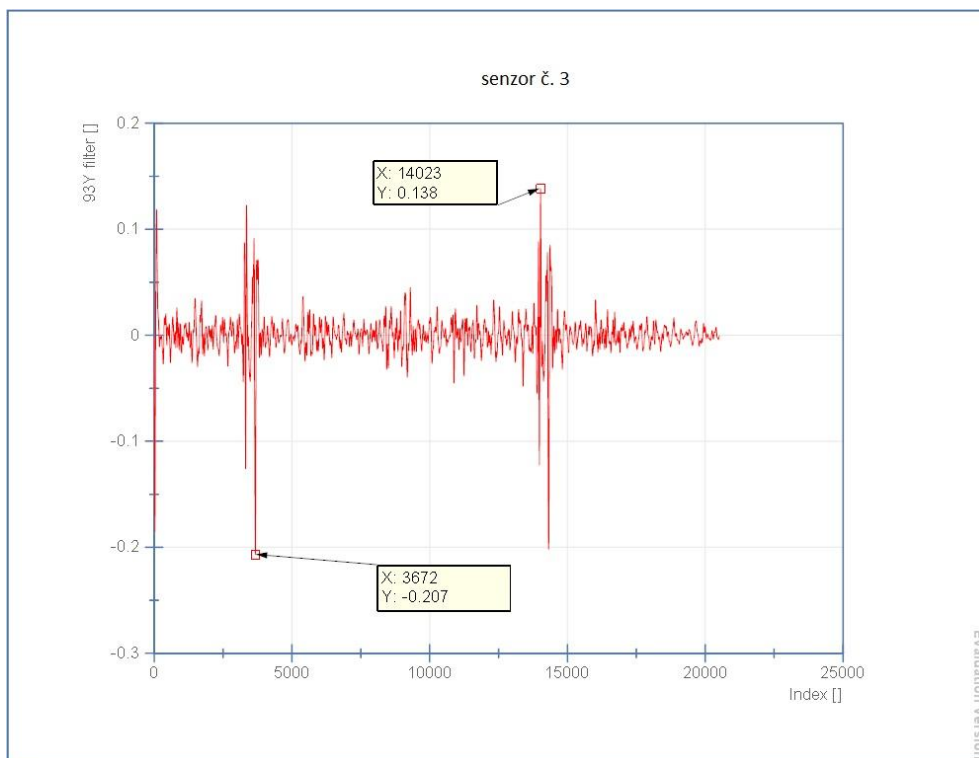
Zdroj [vlastní zpracování]

obrázek 44 průběh zrychlení ve směru osy Y, senzor č.2



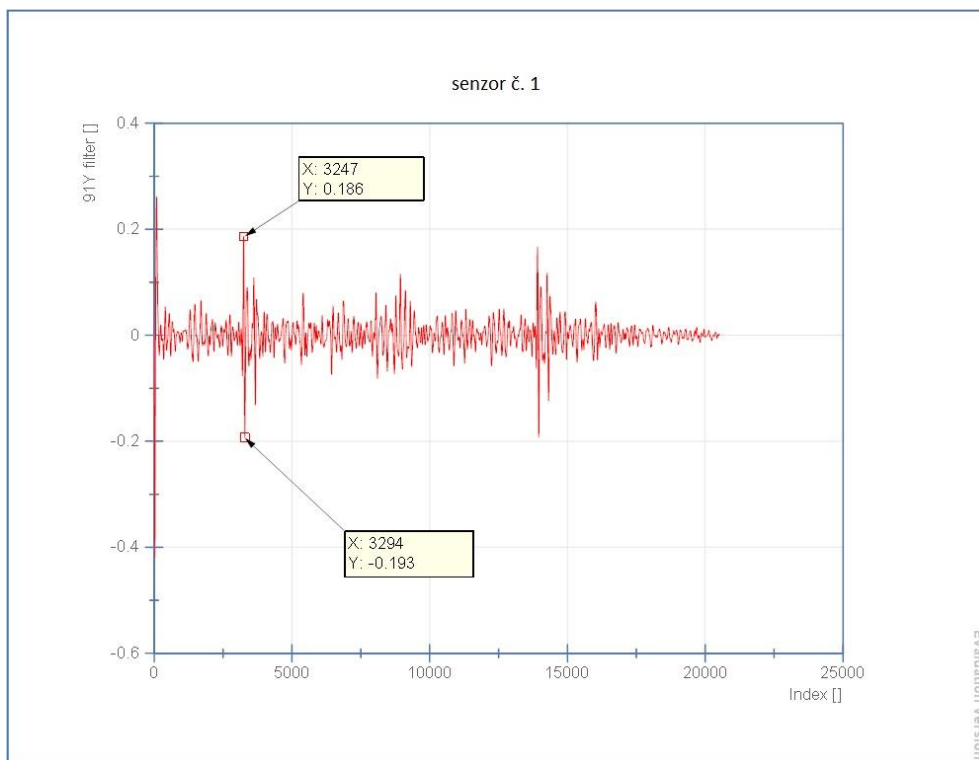
Zdroj [vlastní zpracování]

obrázek 45 průběh zrychlení ve směru osy Y, senzor č.3



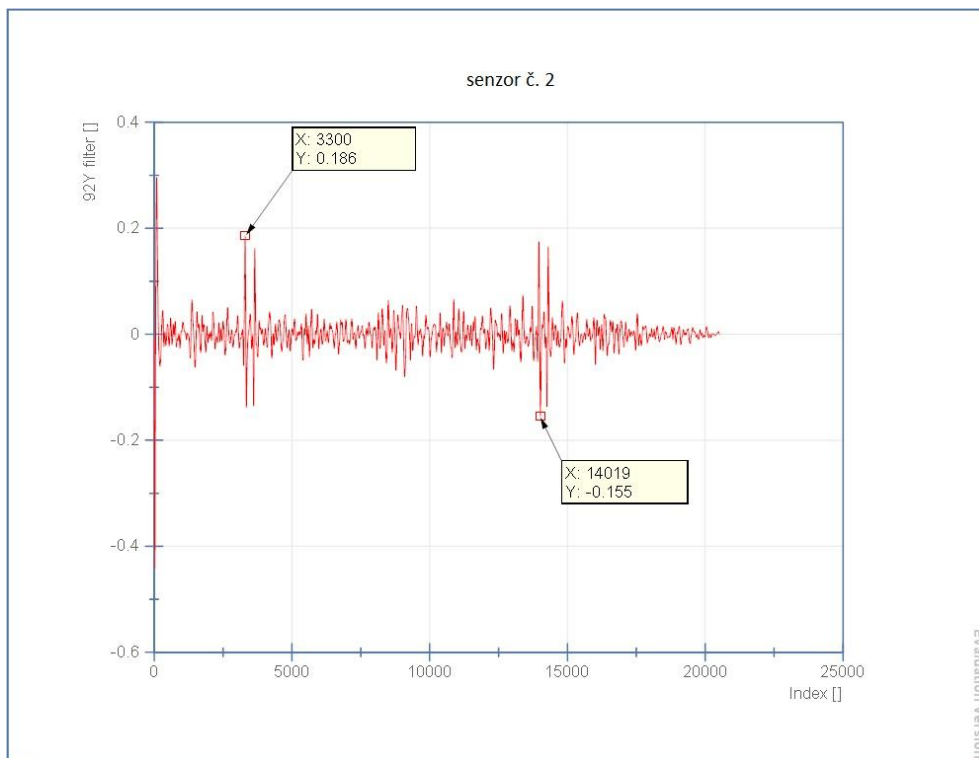
Zdroj [vlastní zpracování]

obrázek 46 průběh zrychlení ve směru osy Z, senzor č.1



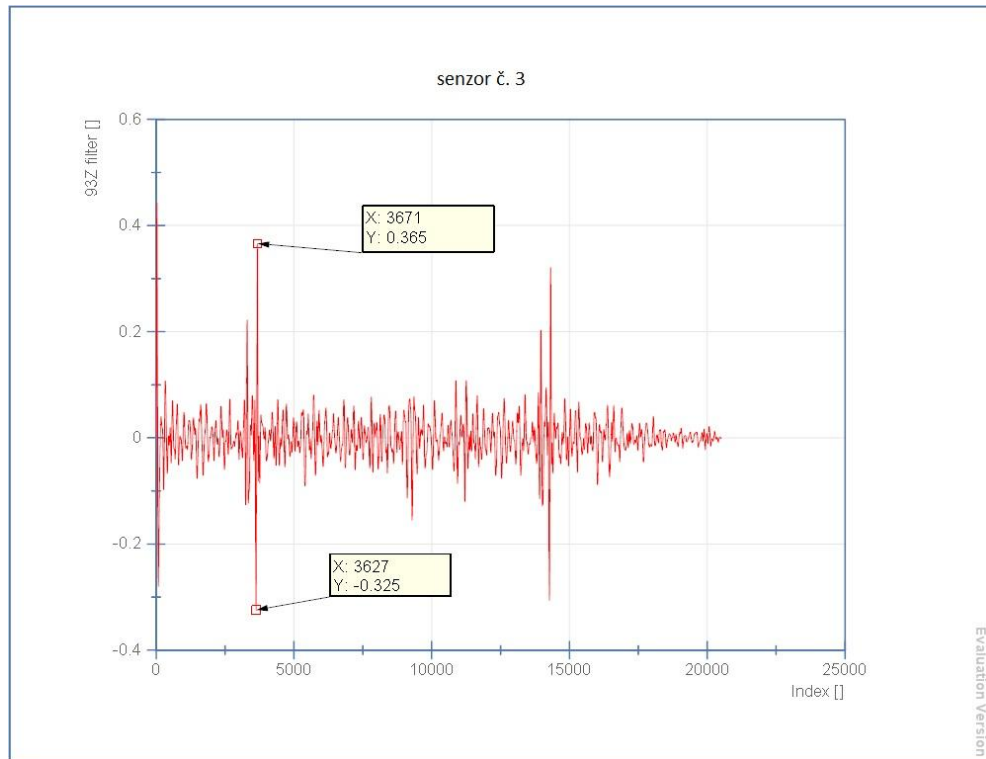
Zdroj [vlastní zpracování]

obrázek 47 průběh zrychlení ve směru osy Z, senzor č.2



Zdroj [vlastní zpracování]

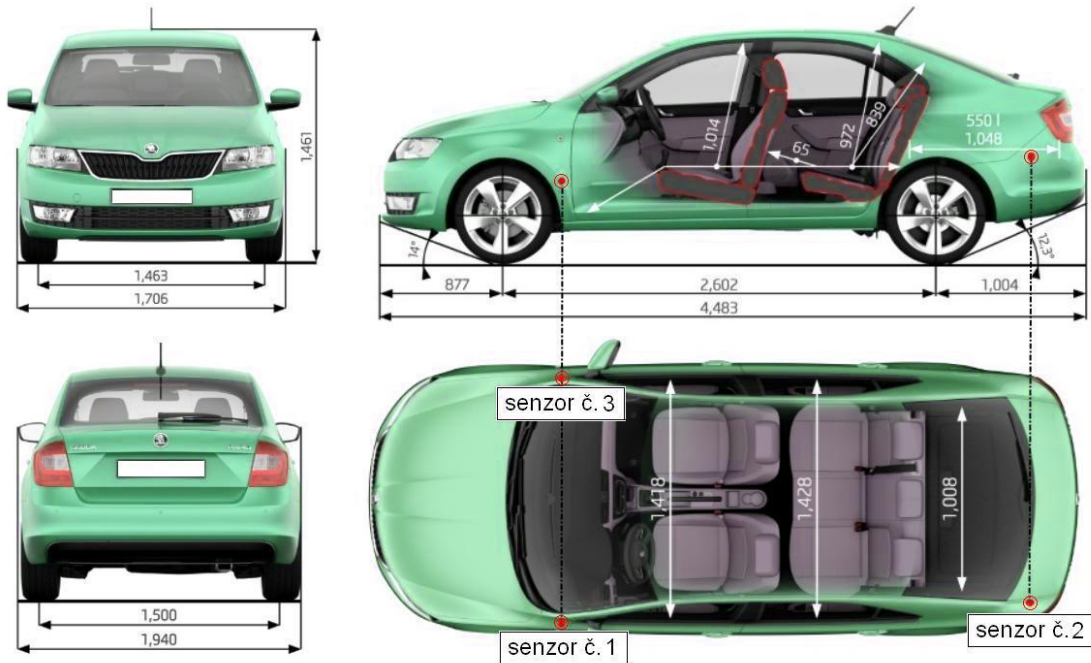
obrázek 48 průběh zrychlení ve směru osy Z, senzor č.3



Zdroj [vlastní zpracování]

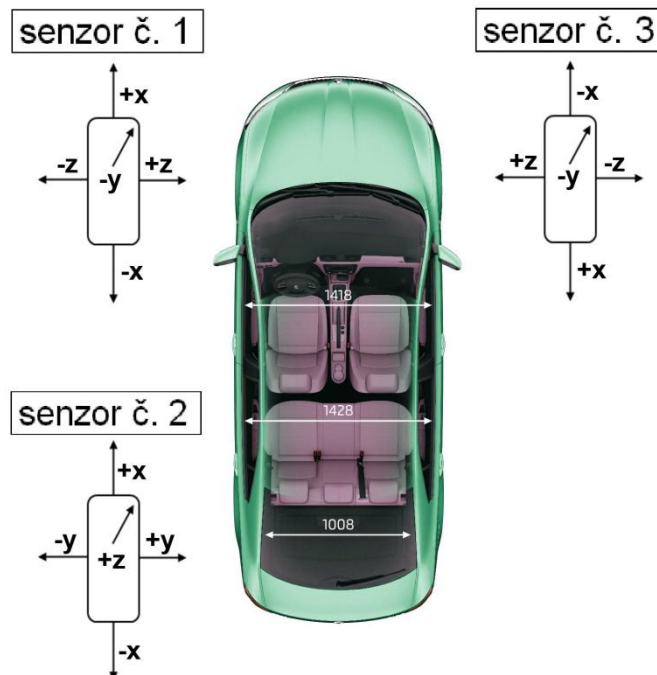
Příloha 4: Škoda rapid, umístění a orientace senzorů

obrázek 49 umístění senzorů



Zdroj [vlastní zpracování]

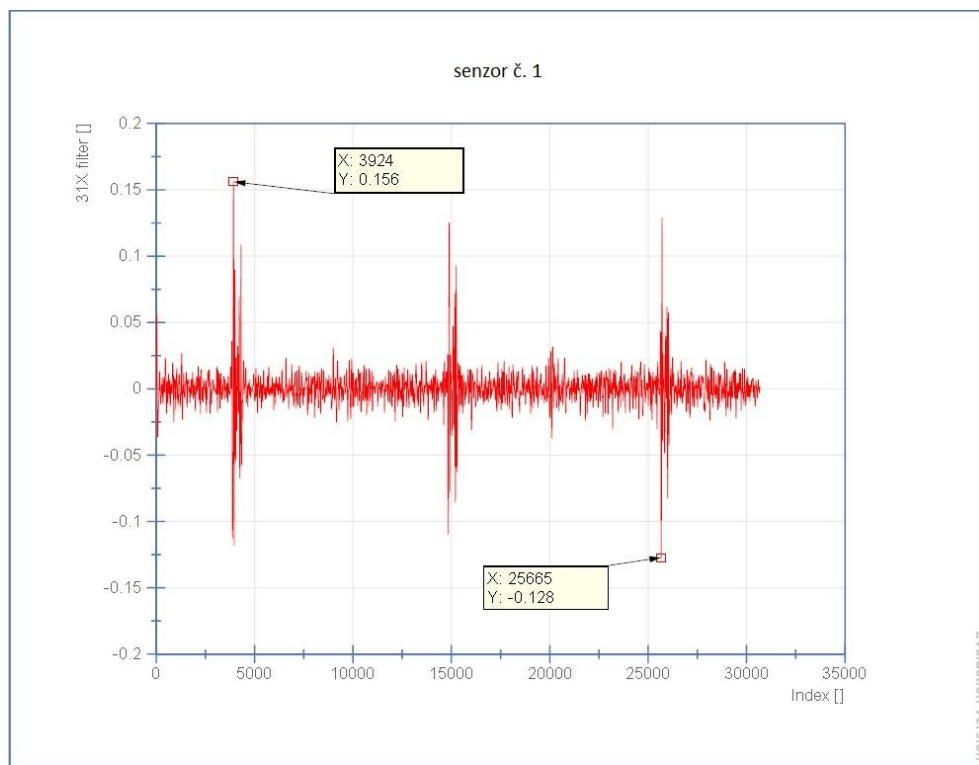
obrázek 50 orientace a očíslování senzorů



Zdroj [vlastní zpracování]

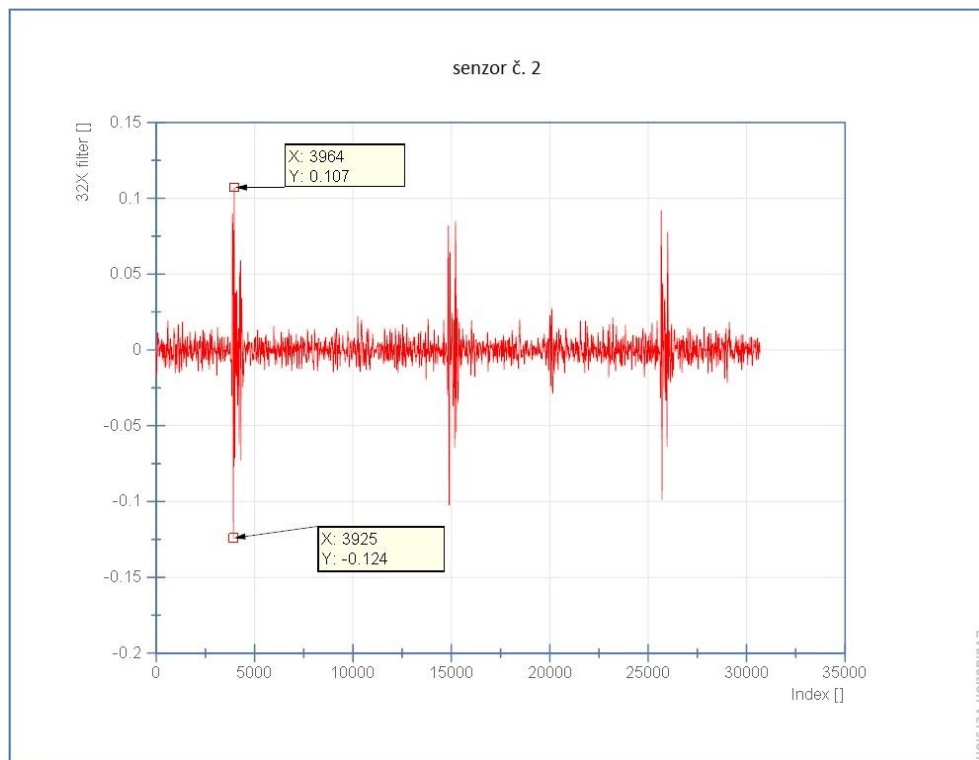
Příloha 5: Škoda Rapid, výstupní grafy

obrázek 51 průběh zrychlení ve směru osy X, senzor č.1

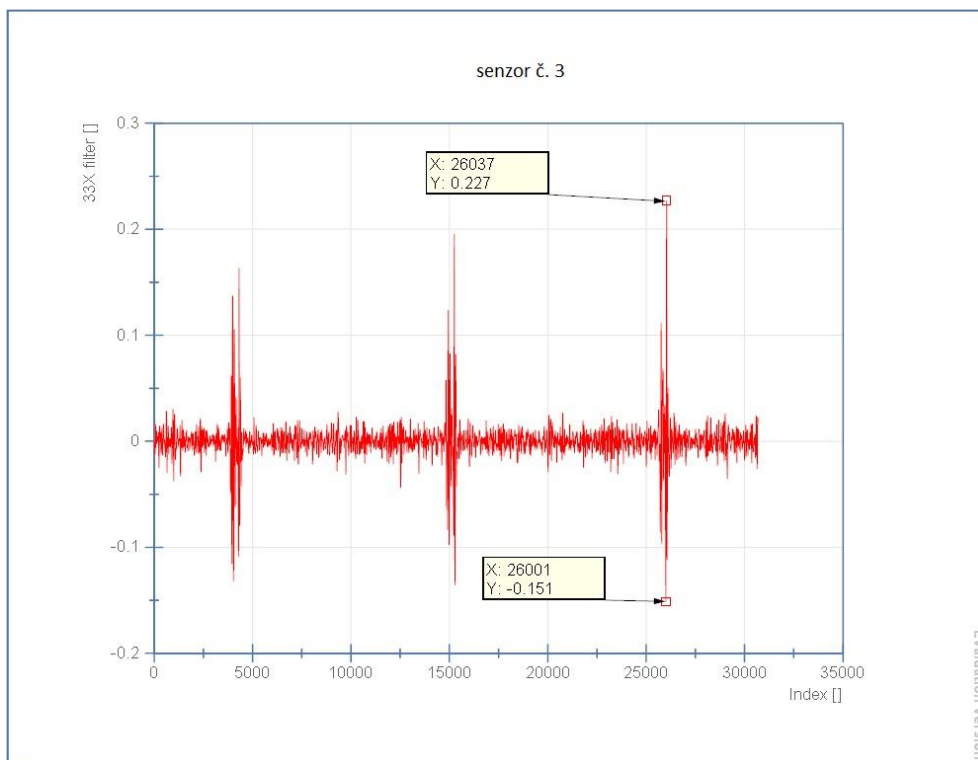


Zdroj [vlastní zpracování]

obrázek 52 průběh zrychlení ve směru osy X, senzor č.2

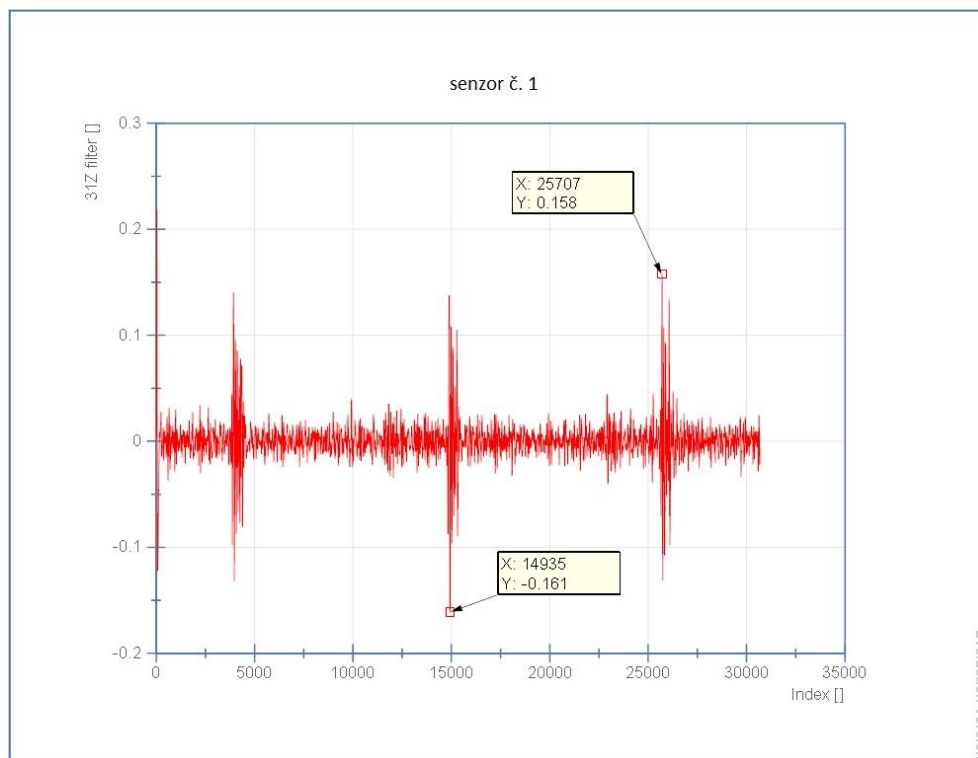


obrázek 53 průběh zrychlení ve směru osy X, senzor č.3



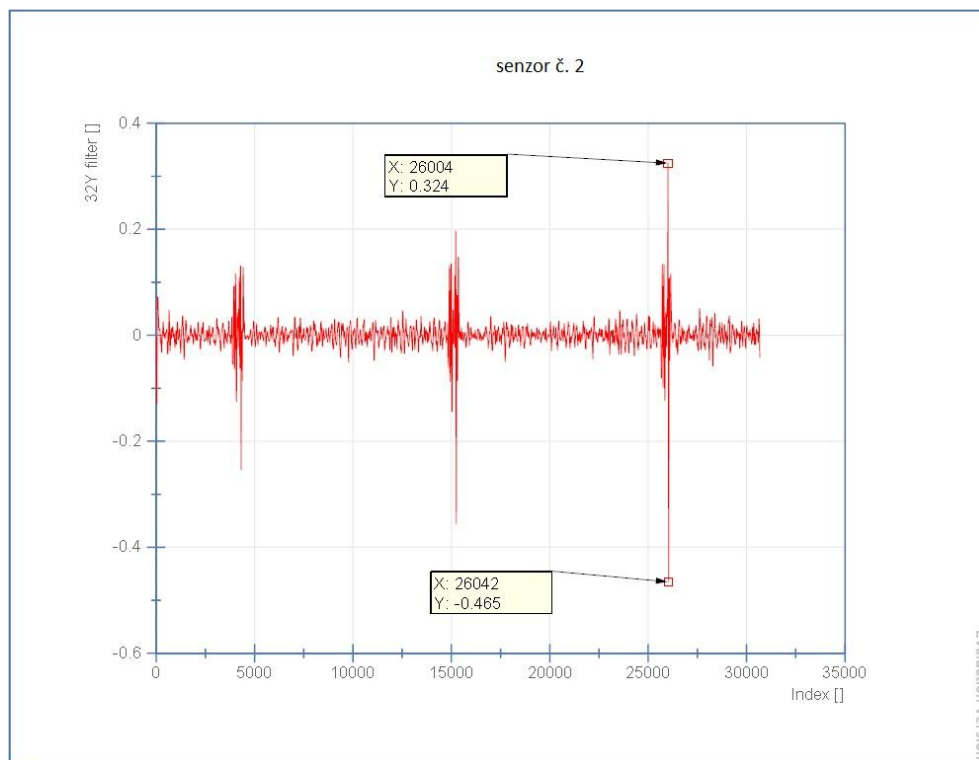
Zdroj [vlastní zpracování]

obrázek 54 průběh zrychlení ve směru osy Y, senzor č.1



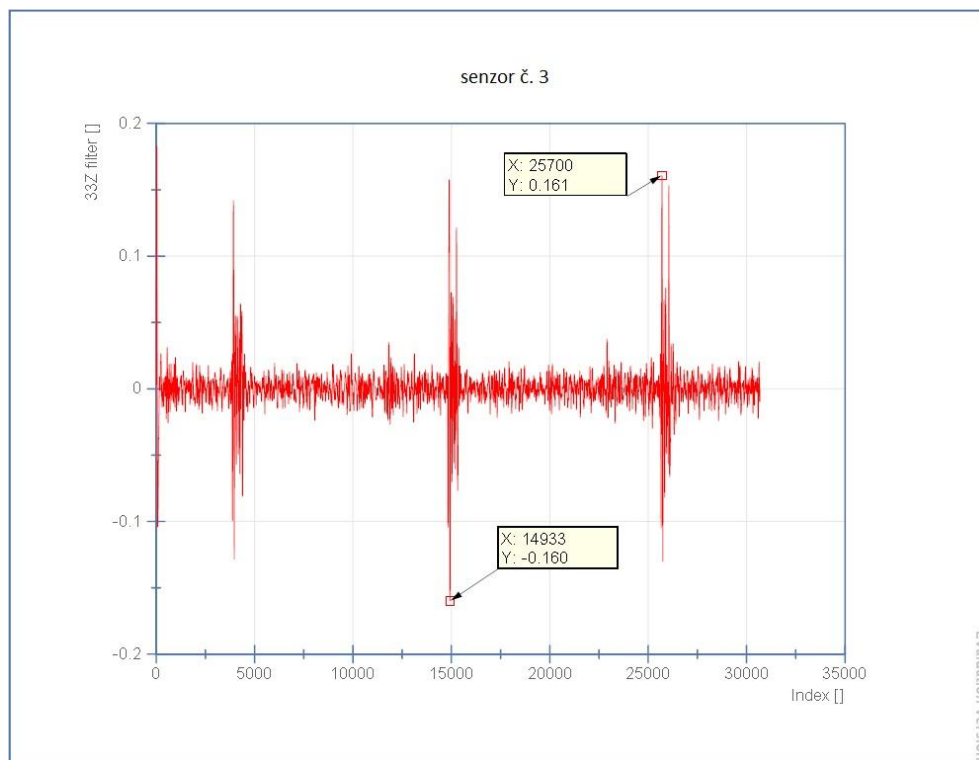
Zdroj [vlastní zpracování]

obrázek 55 průběh zrychlení ve směru osy Y, senzor č. 2



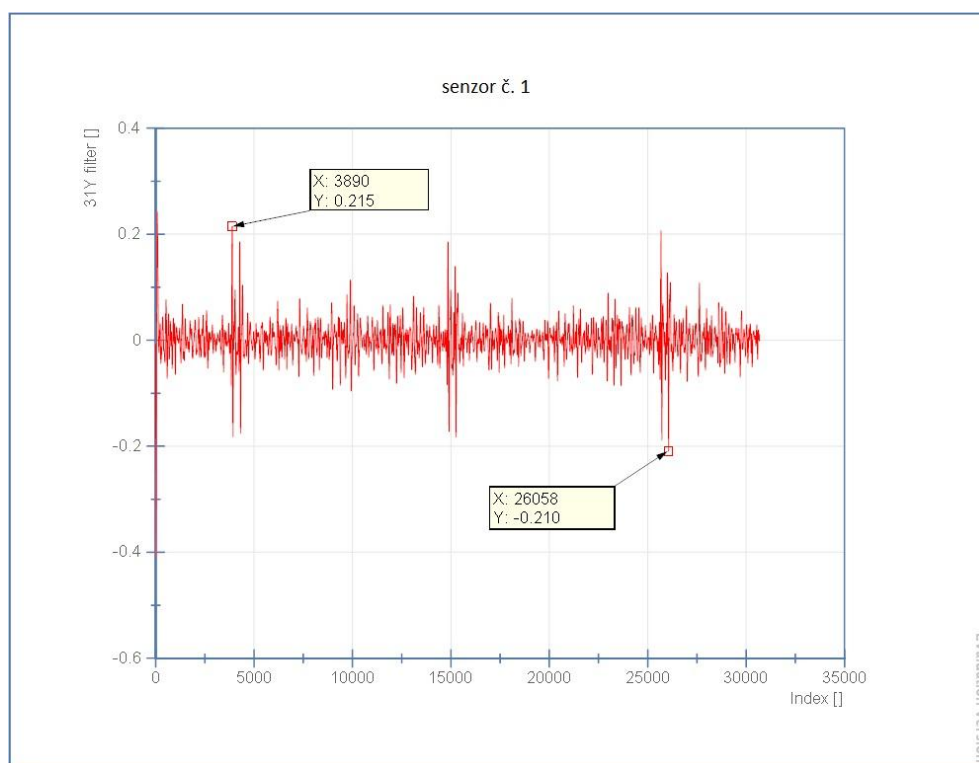
Zdroj [vlastní zpracování]

obrázek 56 průběh zrychlení ve směru osy Y, senzor č.3



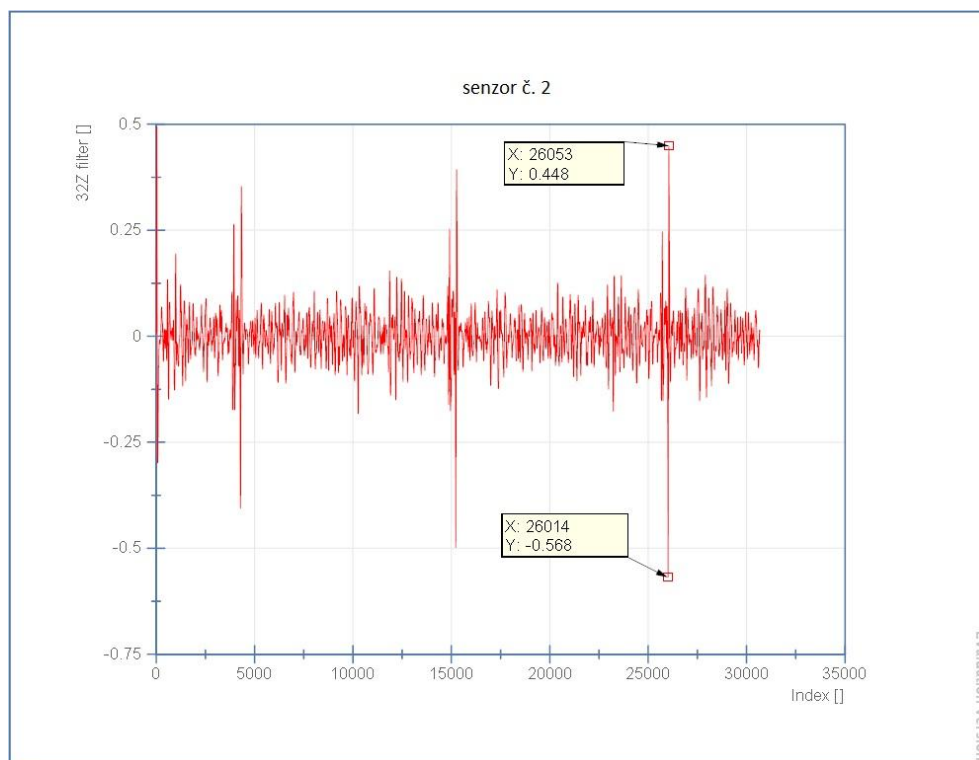
Zdroj [vlastní zpracování]

obrázek 57 průběh zrychlení ve směru osy Z, senzor č.1



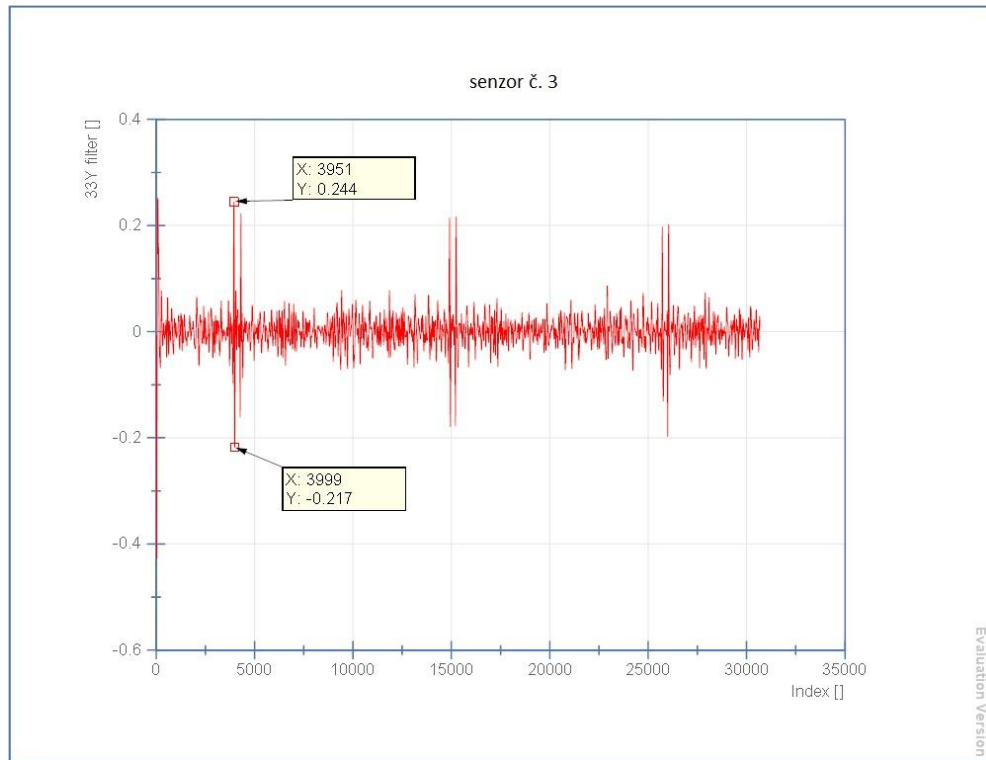
Zdroj [vlastní zpracování]

obrázek 58 průběh zrychlení ve směru osy Z, senzor č.2



Zdroj [vlastní zpracování]

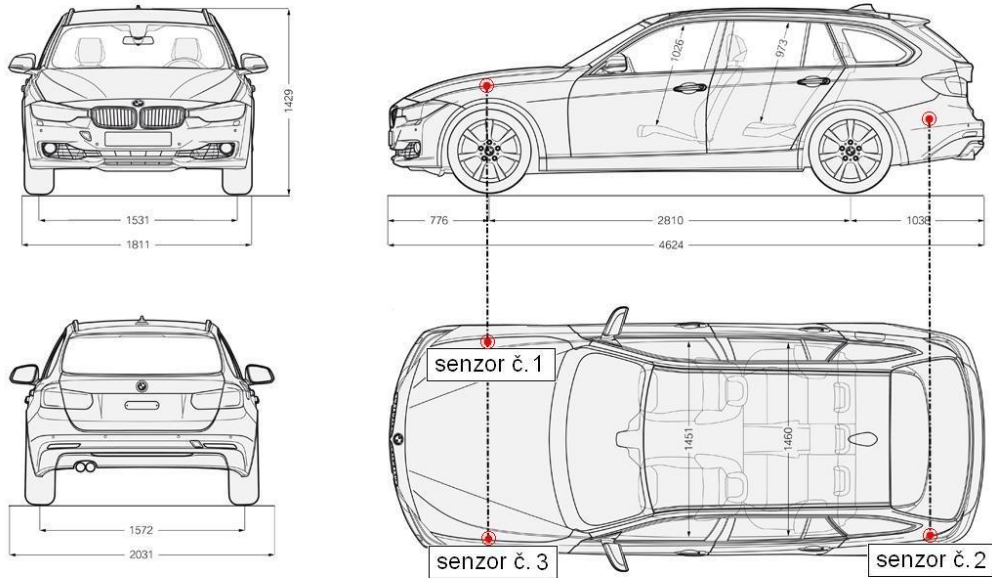
obrázek 59 průběh zrychlení ve směru osy Z, senzor č.3



Zdroj [vlastní zpracování]

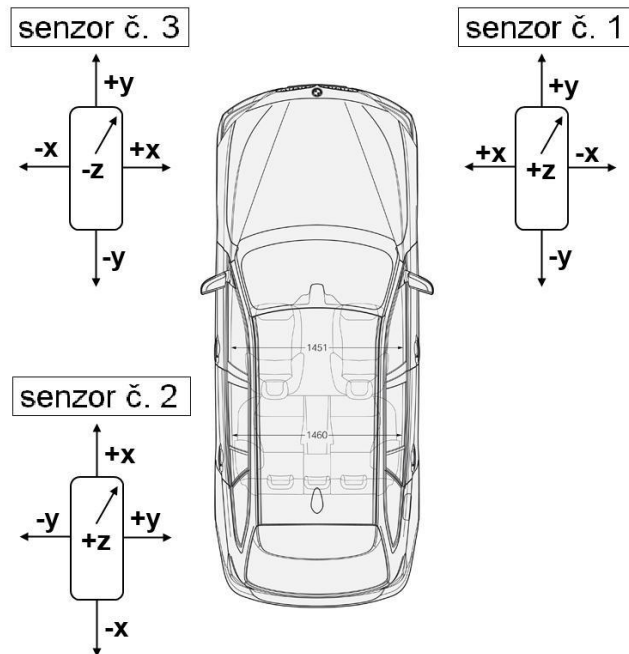
Příloha 6 : BMW 320d, umístění a orientace senzorů

obrázek 60 umístění senzorů



Zdroj [vlastní zpracování]

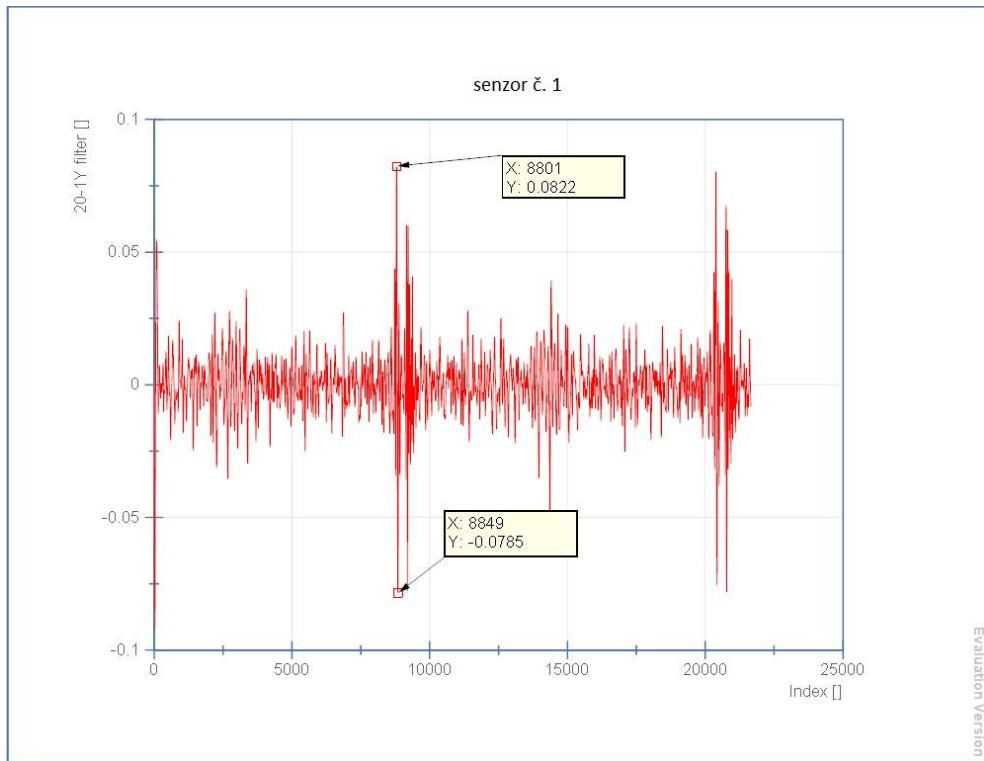
obrázek 61 očíslování a orientace senzorů



Zdroj [vlastní zpracování]

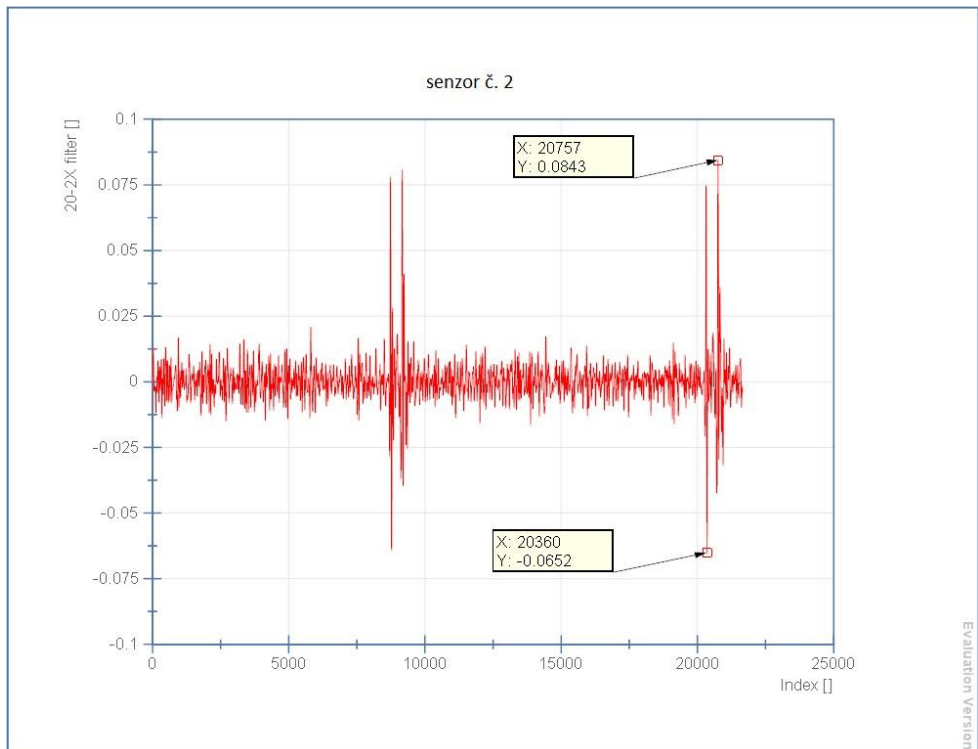
Příloha 7 : BMW 320d, výstupní grafy

obrázek 62 průběh zrychlení ve směru osy X, senzor č.1

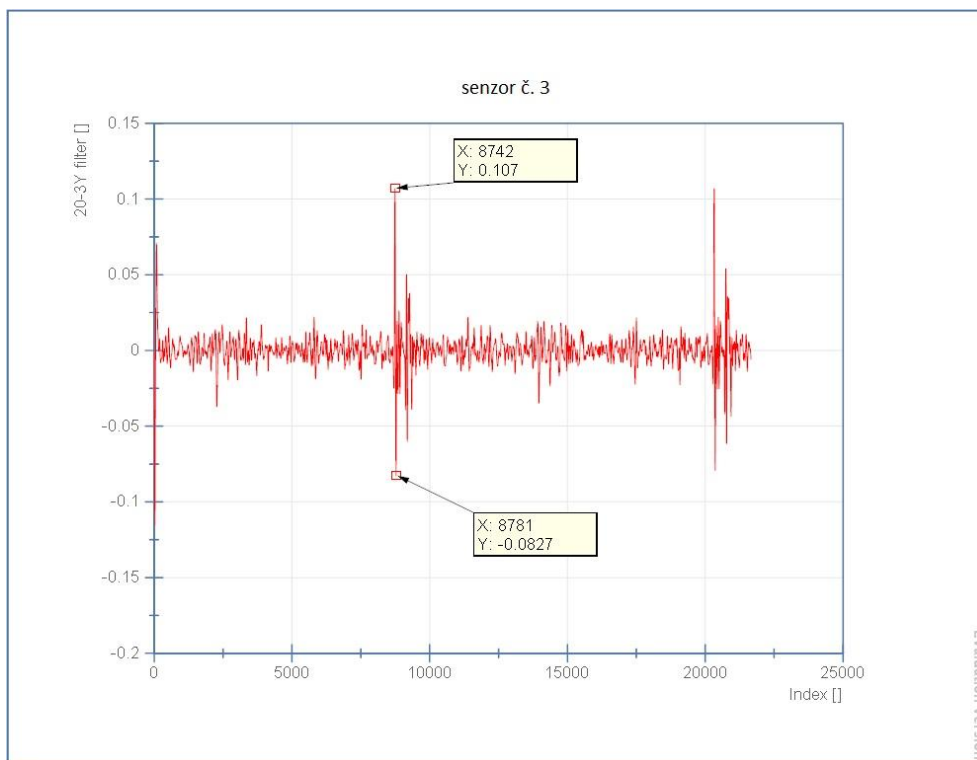


Zdroj [vlastní zpracování]

obrázek 63 průběh zrychlení ve směru osy X, senzor č.2

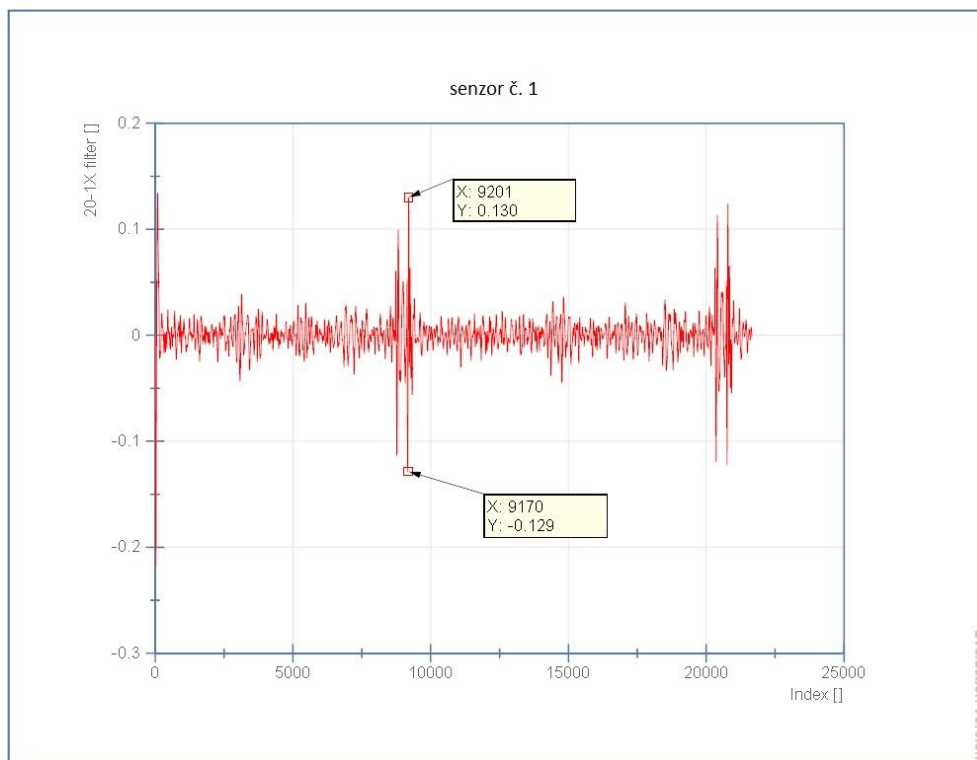


obrázek 64 průběh zrychlení ve směru osy X, senzor č.3



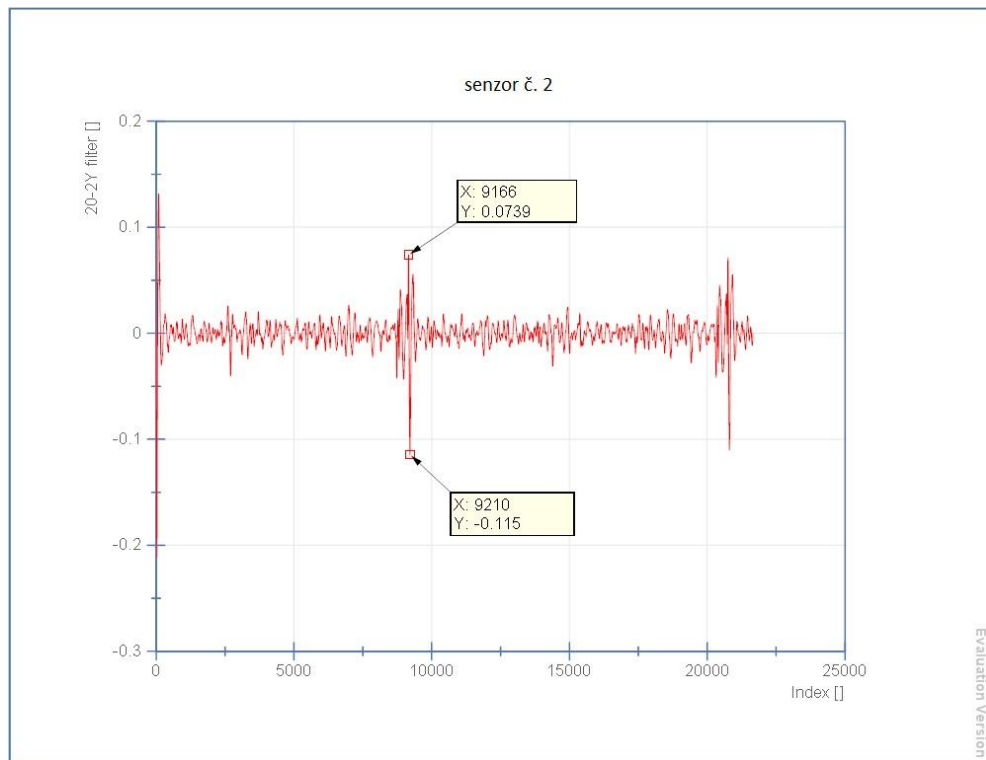
Zdroj [vlastní zpracování]

obrázek 65 průběh zrychlení ve směru osy Y, senzor č.1



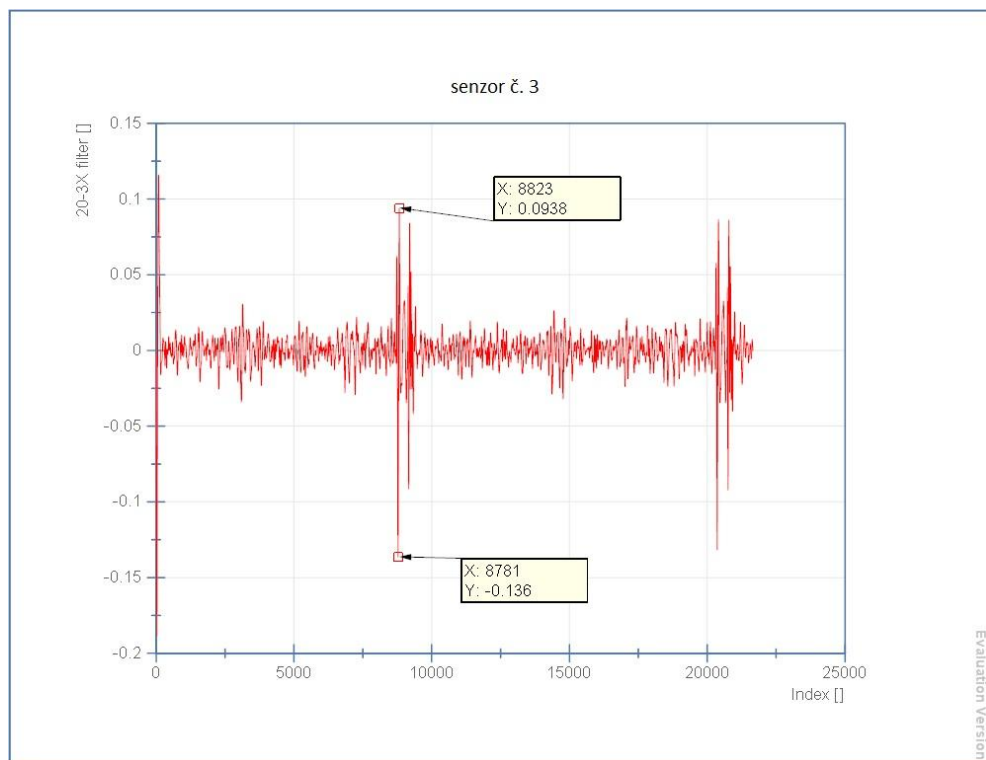
Zdroj [vlastní zpracování]

obrázek 66 průběh zrychlení ve směru osy Y, senzor č.2



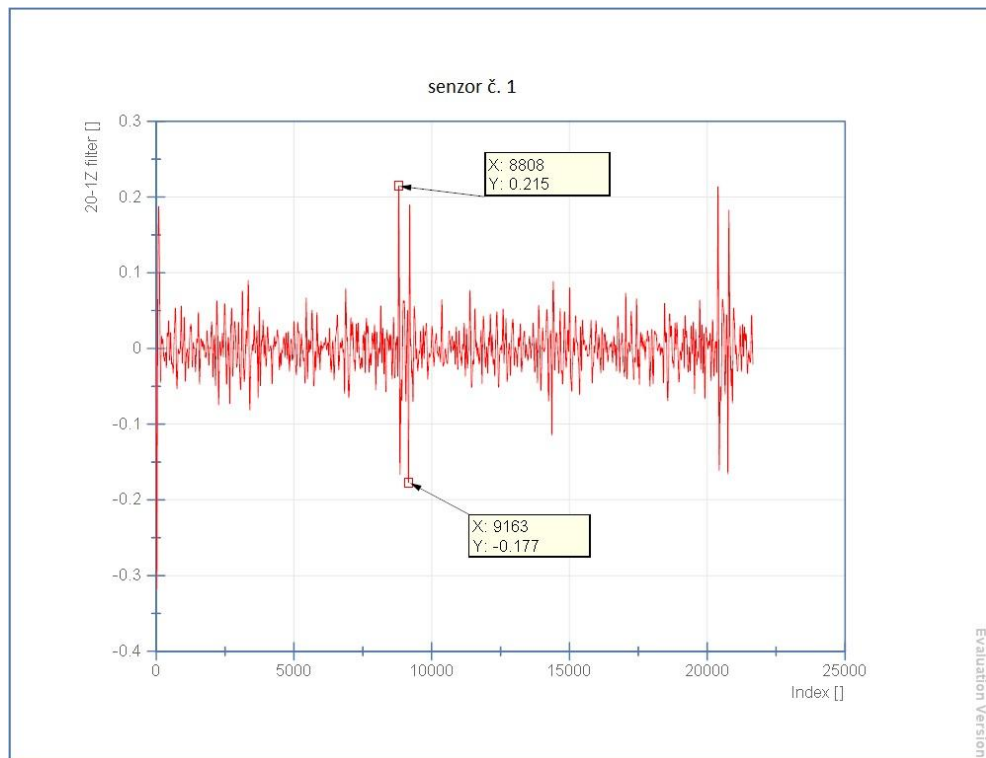
Zdroj [vlastní zpracování]

obrázek 67 průběh zrychlení ve směru osy Y, senzor č.3



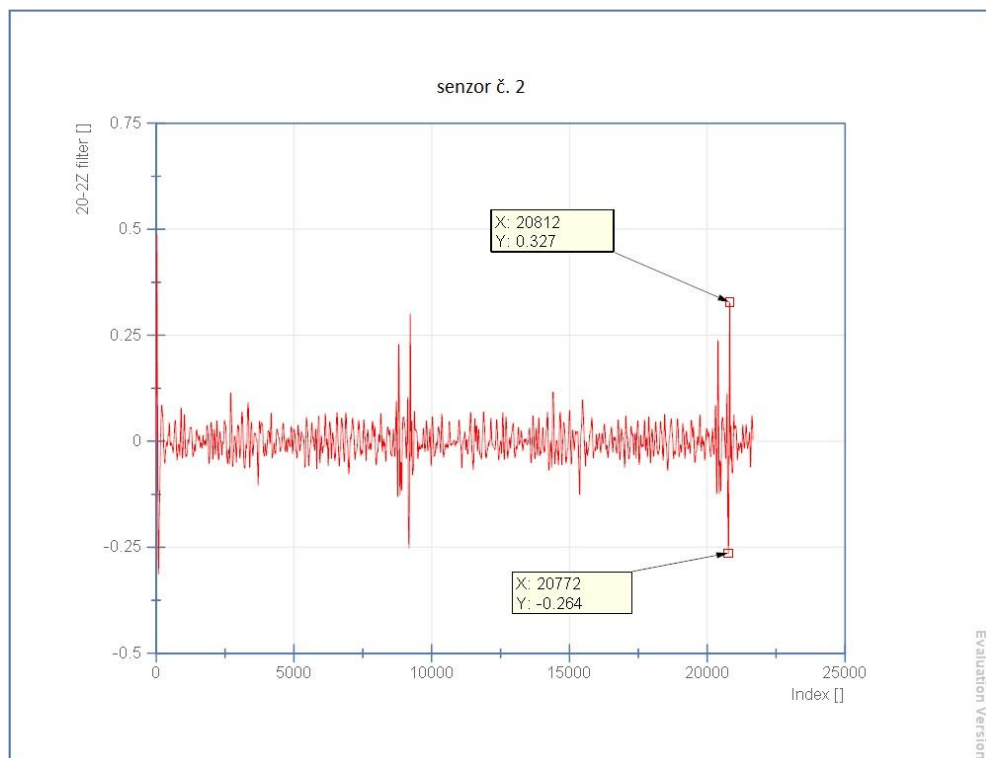
Zdroj [vlastní zpracování]

obrázek 68 průběh zrychlení ve směru osy Z, senzor č.1



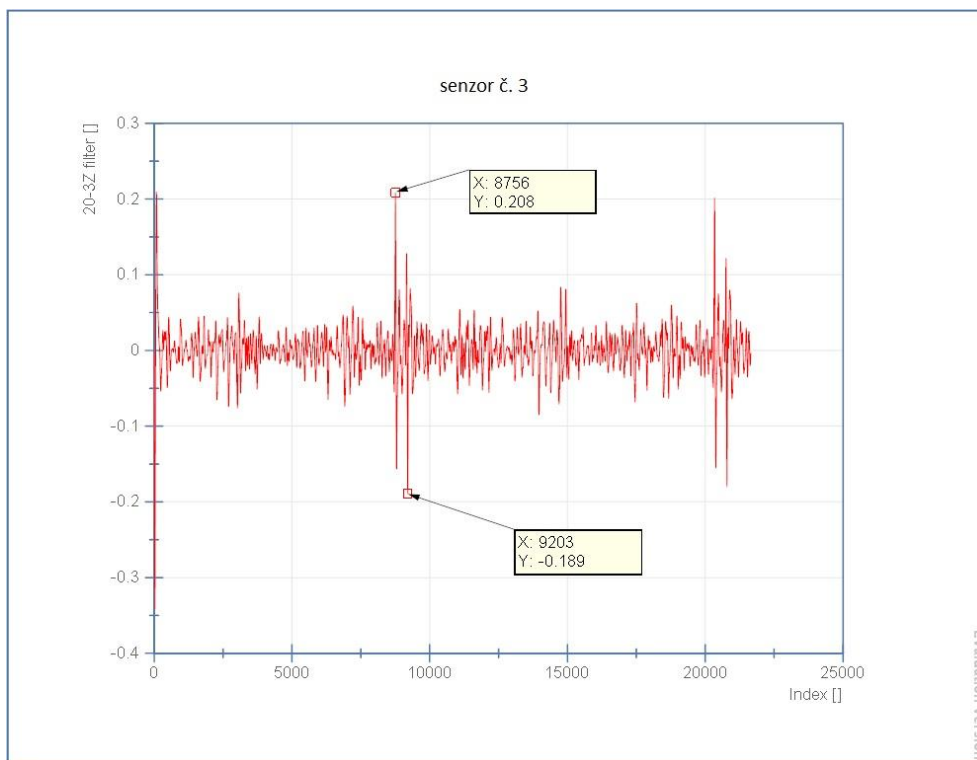
Zdroj [vlastní zpracování]

obrázek 69 průběh zrychlení ve směru osy Z, senzor č.2



Zdroj [vlastní zpracování]

obrázek 70 průběh zrychlení ve směru osy Z, senzor č.3



Zdroj [vlastní zpracování]