



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

ODBOR ZNALECTVÍ VE STROJÍRENSTVÍ, ANALÝZA DOPRAVNÍCH NEHOD A OCEŇOVÁNÍ MOTOROVÝCH VOZIDEL

DEPARTMENT OF EXPERTISE IN MECHANICAL ENGINEERING, ANALYSIS OF TRAFFIC ACCIDENTS AND
VEHICLE ASSESSMENT

VLIV NEUPEVNĚNÉHO NÁKLADU NA JÍZDNÍ STABILITU VOZIDLA

INFLUENCE OF UNSECURED LOAD ON VEHICLE DRIVING STABILITY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Dominik Černý

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. et Ing. Bc. Martin Bilík, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání diplomové práce

Student:	Bc. Dominik Černý
Studijní program:	Expertní inženýrství v dopravě
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	Ing. et Ing. Bc. Martin Bilík, Ph.D.
Akademický rok:	2022/23
Ústav/odbor:	Odbor znalectví ve strojírenství, analýza dopravních nehod a oceňování motorových vozidel

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:

Vliv neupevněného nákladu na jízdní stabilitu vozidla

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je navrhnout a následně vyhodnotit experimentální měření, při kterých by bylo možné ověřit vliv neupevněného nákladu, např. sady pneumatik v kufru osobního vozidla, na jízdní stabilitu vozidla např. při vyhýbacím manévru. Pro měření bude možné využít moderní testovací vozidlo ÚSI VUT v Brně.

Cíle diplomové práce:

1. Rešerše v oblasti vozidel.
2. Návrh a příprava experimentálních měření.
3. Provedení měření a sběr dat.
4. Vyhodnocení získaných dat + návrh případných úprav metodiky měření pro další využití.

Seznam literatury:

BRADÁČ, Albert. Soudní inženýrství. Dot. 1. vyd. Brno: CERM, 1999. ISBN 80-7204-133-9

JANIČEK, Přemysl. Systémová metodologie: brána do řešení problémů. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2014. ISBN 978-80-7204-887-8

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Bc. Marek Semela, Ph.D.
vedoucí odboru

prof. Ing. Karel Pospíšil, Ph.D., LL.M.
ředitel

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na vliv neupevněného nákladu na jízdní stabilitu vybraných vozidel. Práce vyhodnocuje chování vozidel při vyhýbacím manévru během působení takového nákladu. Teoretická část se zabývá veškerými charakteristikami, kterými může být vliv nákladu ovlivněn. Praktická část zahrnuje postup měření, analýzu, porovnání výsledků a celkové vyhodnocení vlivu neupevněného nákladu na stabilitu vozidla.

Abstract

The diploma thesis is focused on the influence of a unsecured loads on the stability of selected vehicles. The thesis evaluates the behavior of vehicles during evasive maneuver under the influence of such a load. The theoretically part deals with all characteristics that can be influenced by the load. The practical part includes the measurement procedure, analysis, comparison of results and the overall evaluation of the unsecured load on the stability of the vehicle.

Klíčová slova

Stabilita vozidel, konstrukce vozidel, těžiště vozidel, nezajištěný náklad, působení nákladu,

Keywords

Vehicle stability, vehicle construction, center of gravity of vehicles, unsecured load, influence of load

Bibliografická citace

ČERNÝ, Dominik. *Vliv neupevněného nákladu na jízdní stabilitu vozidla* [online]. Brno, 2023 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/143853>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, Odbor znalectví ve strojírenství, analýza dopravních nehod a oceňování motorových vozidel. Vedoucí práce Martin Bilík.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Vliv pohyblivého nákladu na jízdní stabilitu vozidla“ jsem vypracoval/a samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně

.....

Podpis autora

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat mému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Bc. Martinu Bilíkovi, Ph.D. za pomoc, vstřícnost a trpělivost během zpracování této práce.

Poděkování patří také panu Ing. Michalu Belákovi, Ph.D., panu Ing. Michalu Křížákovi za pomoc během praktické části měření diplomové práce.

Poslední poděkování patří mým spolužákům za technickou pomoc a účast na experimentálním měření, přítelkyni a rodině za psychickou podporu během zpracování diplomové práce.

1 OBSAH

2	ÚVOD	15
3	STABILITA VOZIDEL	16
3.1	Parametry ovlivňující stabilitu vozidel	16
4	KONSTRUKČNÍ PRVKY OVLIVŇUJÍCÍ STABILITU VOZIDLA	18
4.1	Podvozek	18
4.1.1	<i>Zavěšení kol (nápravy)</i>	<i>18</i>
4.1.2	<i>Odpružení a tlumení</i>	<i>23</i>
4.1.3	<i>Řízení</i>	<i>26</i>
4.1.4	<i>Rozložení hmot v podélném směru a vodící vlastnosti pneumatik ovlivňující stabilitu vozidla</i>	<i>28</i>
4.2	Těžiště	29
4.2.1	<i>Podélná a příčná poloha</i>	<i>29</i>
4.2.2	<i>Výšková poloha těžiště</i>	<i>30</i>
4.3	Síly působící na náklad	31
4.3.1	<i>Tíhová síla</i>	<i>31</i>
4.3.2	<i>Odstředivá síla</i>	<i>31</i>
4.3.3	<i>Setrvačné síly</i>	<i>32</i>
4.3.4	<i>Třecí síla</i>	<i>32</i>
5	FORMULACE PROBLÉMŮ A STANOVENÍ CÍLŮ ŘEŠENÍ	33
6	POUŽITÉ METODY	34
6.1	Použitá vozidla a konstrukce	34
6.2	měřený manévr	35
6.3	Zjištění Těžiště testovaných vozidel	37
6.4	Jízdní zkouška	37
6.5	POUŽITÝ SOFTWARE	38
7	DOSAŽENÉ VÝSLEDKY A JEJICH ANALÝZA	39
7.1	Posun polohy těžiště	39
7.2	Rychlosti vjezdu	42
7.3	zatížení při manévru	45
7.3.1	<i>Vozidlo Citroen</i>	<i>50</i>
7.3.2	<i>Vozidlo Škoda</i>	<i>51</i>
7.3.3	<i>Vozidlo Phaeton</i>	<i>52</i>
7.3.4	<i>Vozidlo BMW</i>	<i>53</i>

7.3.5	<i>Vozidlo Caravelle</i>	54
7.4	Výsledný vliv neupevněného nákladu	56
8	ZÁVĚR.....	58
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	60
	SEZNAM ZKRATEK.....	61
	SEZNAM PŘÍLOH.....	62

2 ÚVOD

Tato práce se zaměřuje na vliv neupevněného nákladu na jízdní stabilitu osobních vozidla. Toto téma je důležité zejména z hlediska přepravy na dopravních komunikacích. Neupevněný náklad sám o sobě může poškodit sebe, vozidlo a případně vyvolat síly, které změní chování vozidla a mohou způsobit nehodu.

Na náklad působí síly, které přímo souvisejí s charakteristikou dráhy vozidla a zároveň s konstrukčními parametry přepravujícího vozidla. Jelikož je řešen vliv nákladu pouze u osobních vozidel, pro uložení nákladu není třeba použití zajišťovacích prostředků, případně to situace nemusí vyžadovat z individuálního hlediska. Z těchto důvodů může dojít k pohybu nákladu a následného ovlivnění vozidla, převážně v momentech, kdy na náklad působí vnější síly, které jsou způsobené náhlou či dlouhotrvající změnou směru pohybu vozidla.

Cílem této diplomové práce je, s využitím sestavené konstrukce simulující vliv neupevněného nákladu, získat poznatky, které by tento vliv kvantifikovaly v rámci vybraných konstrukčních charakteristik použitých vozidel.

3 STABILITA VOZIDEL

Stabilita jako obecný pojem je schopnost tělesa nebo soustavy, vrátit se po malém vychýlení do rovnovážného stavu. U silničních vozidel se za tento rovnovážný stav obvykle považuje jízda na všech kolech v určeném směru řízení. Jedním z hlavních požadavků při konstrukci každého vozidla je docílit co největší stability. Překročení meze stability, tedy změna stavu vozidla ze stabilního na nestabilní, lze označit jako ztrátu kontroly nad vozidlem. Tato situace může vést ke smyku, případně i k převrácení vozidla.[1][3]

3.1 PARAMETRY OVLIVŇUJÍCÍ STABILITU VOZIDEL

Na stabilitu vozidla má vliv celá řada vnějších faktorů, které lze rozdělit do několika skupin[1]:

- Chování řidiče a styl řízení
- Konstrukční parametry vozidla (hmotnost, poloha těžiště, karoserie, zavěšení kol...)
- Vnější vlivy (stav vozovky, adheze, povětrnostní podmínky)
- Způsob uložení a povaha nákladu

Faktor chování řidiče a způsob řízení je řídicí a regulační prvek soustavy a zároveň nejslabší článek soustavy člověk-vozidlo-vozovka. Každý člověk je jedinečný a charakteristický svými individuálními prvky chování, které nelze přesně simulovat nebo matematicky popsat. Toto nepředvídatelné chování může být ovlivněno mnoha vlivy, např. únavou či požitím omamných a návykových látek. Jelikož se jedná o faktor velice složitě matematicky popsatelný, pro výpočet v této práci nebude brán v potaz. Bude řešena objektivní říditelnost, tedy soustava vozidlo-vozovka. [1][2]

Z konstrukčních parametrů vozidla se nejvíce projevuje hmotnost vozidla a poloha těžiště. Těžiště je ovlivněno převážně umístěním a konstrukcí hnacího ústrojí, které tvoří velký podíl celkové hmotnosti vozidla. Poloha těžiště na průsečíku podélné a příčné osy vozidla je nejvýhodnější pro jeho stabilitu.[1]

Vnější prostředí ovlivňuje jízdní vlastnosti a stabilitu vozidla, jak prostřednictvím povrchu vozovky (výrazný vliv na adhezi), tak prostřednictvím větru (zejména bočního) a srážek (déšť, sníh). Jedná se o parametry, které řidič sám o sobě nemůže ovlivnit.[1]

Způsob uložení nákladu se na první pohled může jevit jako nevýrazný faktor jízdní stability. Zejména u nákladních vozidel, jejichž nákladový prostor zabírá podstatnou část vozidla, má umístění a hmotnost nákladu významný vliv na jejich stabilitu. Tato problematika má právní základ v Zákonu o silničním provozu č. 361/2000 Sb., §52 Přeprava nákladu, kde jsou popsány jednotlivé

podmínky pro přepravu nákladu a jeho zajištění. Náklad může významnou měrou změnit polohu těžiště celého vozidla a jeho jízdní vlastnosti. Ke změně jízdních vlastností může snadno dojít v případech, kdy je náklad neupevněn. V tomto případě může dojít k jeho přesypání či přetékání nebo posunu a rotaci. K překročení meze stability vozidla může dojít také v případech, kdy je náklad nerovnoměrně rozložený, excentricky umístěný, nevyvážený či mění své vlastnosti v průběhu jízdy (tuhne či sedimentuje). Významnou roli hraje také hmotnost samotného nákladu – je nutné dodržet maximální zatížení vozidla, případně jednotlivých náprav. V případě častého přetěžování dochází k většímu opotřebení částí vozidla, ale i vozovky, což má zpětně negativní vliv na jízdní vlastnosti vozidla.[1][2]

4 KONSTRUKČNÍ PRVKY OVLIVŇUJÍCÍ STABILITU VOZIDLA

4.1 PODVOZEK

Podvozek je důležitou konstrukční částí vozidla, jež má vliv na stabilitu a říditelnost vozidla. Podvozek se skládá z několika prvků – brzdy, tlumiče, odpružení, zavěšení kol, řízení, kola a pneumatiky. Všechny tyto prvky zajišťují stabilitu a bezpečnost jízdy.[4]

4.1.1 Zavěšení kol (nápravy)

Hlavní funkcí náprav je nést tíhu vozidla a přenášet ji na kola, přenášet hnací, brzdné a boční síly mezi kolem a rámem a umožnit odpružení vozidla pomocí pružin, které jsou uloženy mezi nápravami a vozidlem.[5][6]

Rozlišujeme nápravy tuhé, polotuhé a nezávislé zavěšení kol.

Tuhá náprava

U tuhé nápravy jsou obě kola spojena pevně a náprava je jako celek odpružena vzhledem k vozidlu. Při přejetí nerovnosti dochází k náklonu celé nápravy a nedochází ke změně rozchodu.[2]

Tuhé nápravy lze dále rozdělit na [4]:

- Tuhé nápravy s integrovaným pohonem
- Tuhé nápravy s odděleným pohonem
- Tuhé nápravy jako řízené nápravy

Polotuhá náprava

U tohoto typu nápravy jsou kola spojena pružným nosníkem, který umožňuje navzájem nezávislý pohyb kol. Tato náprava se chová při rovnoměrném zatížení pružného elementu jako náprava tuhá, při nerovnoměrném zatížení jako náprava s nezávislým zavěšením kol. [4] [6]

Mezi ně patří např.:

- Spřažená náprava (výkyvná ramena svařena příčným nosníkem z pružné oceli)
- Spojená náprava (výkyvná ramena svařena nosníkem z torzní měkké oceli tvaru U)

Výkyvné nápravy

U výkyvné nápravy, nebo také nápravy s nezávislým zavěšením kol, jsou pravé a levé kolo na sobě pohybově nezávislé, a to umožňuje každému kolu propérovat samostatně.

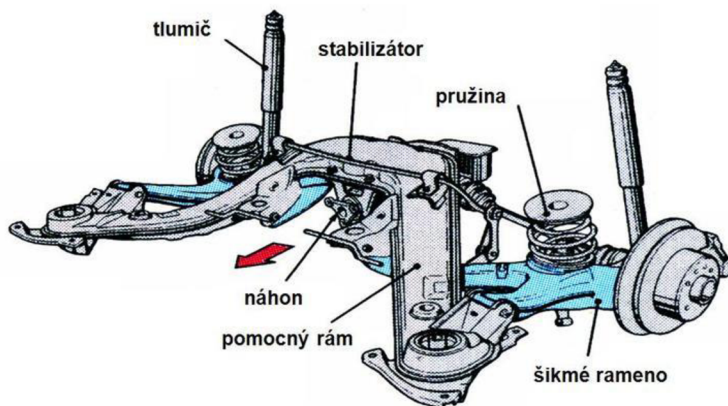
U nepoháněných náprav je menší hmotnost neodpružených částí, čímž je dosaženo vyššího komfortu jízdy. Tento typ náprav je u osobních automobilů nejrozšířenější.

Typy výkyvných náprav[4]:

- Kyvadlová
- Úhlová
- Kliková
- McPherson
- Lichoběžníková
- Víceprvková

Kyvadlová úhlová náprava

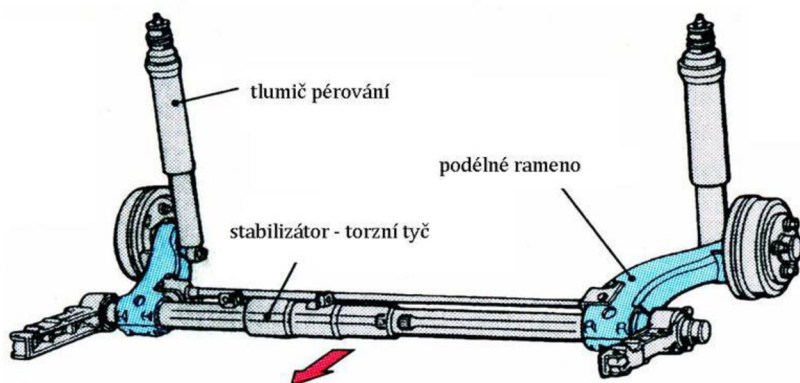
Kyvadlová úhlová náprava je někdy označována jako šikmo vlečená, úhlová, nebo jako náprava s šikmým závěsem kol. Při propérování je pól klopení kola dán průsečíkem osy otáčení kola a osy kývání ramene. Vzdálenost pólu klopení od kola je poměrně velká, a důsledkem toho je, že při propérování se mění rozchod a odklon kol jen nepatrně. Tento typ nápravy, tak jako kliková náprava, neumožňuje natáčení kol. Z tohoto důvodu se používá jen pro pohánění zadní nápravy. V současnosti je však kyvadlová úhlová náprava nahrazována víceprvkovou nápravou.[4][6]



Obr. č. 1: Kyvadlová úhlová náprava[6]

Kliková

Kliková náprava patří mezi nejjednodušší způsoby zavěšení kol v rámci konstrukce. Je používána u osobních automobilů zejména pro zadní nápravy. Kliková náprava se skládá z podélných ramen, které mají příčnou osu kývání. Ramena jsou uložena buď v pryžových nebo valivých ložiscích, přímo do karosérie nebo do pomocného rámu nápravy. Vzhledem k příčné ose kývání ramen nápravy nedochází při propérování ke změně odklonu kola vůči karosérii. Při náklonu karosérie způsobené průjezdem zatáčkou dojde k většímu odklonu kola vůči vozovce. U některých řešení této nápravy, jsou ramena z levé a pravé strany spojena příčným torzním stabilizátorem, který má význam na menším náklonu vozidla při jízdě zatáčkou, ale také přispívá k vyšší tuhosti nápravy. V současnosti je u většiny vozů nahrazen torzní příčkou spojující obě ramena, kdy náprava je tvořena jedním svařovaným celkem. Toto konstrukční provedení se označuje jako spřažená kliková náprava.[4][6]

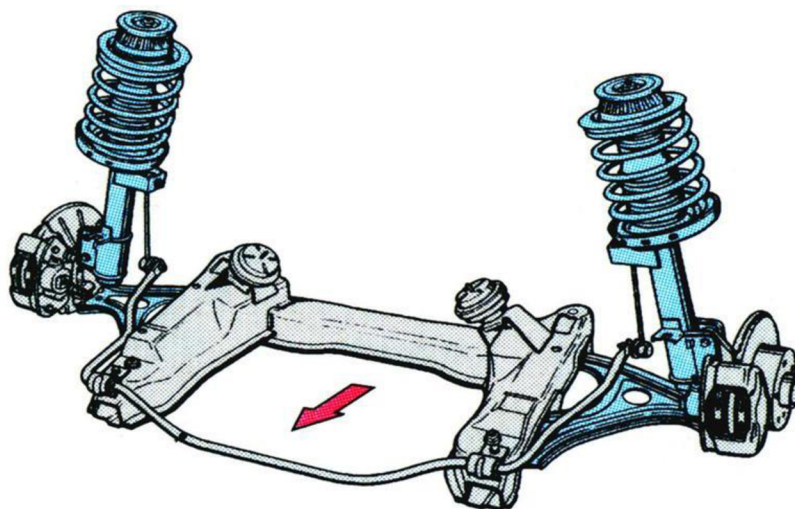


Obr. č. 2: Kliková náprava[6]

McPherson

Náprava typu McPherson vznikla odvozením lichoběžníkové nápravy. Od lichoběžníkové nápravy se liší tím, že vrchní rameno je nahrazeno posuvným vedením. Toto posuvné vedení horní části nápravy je provedeno pomocí hydraulického tlumiče pérování. U nápravy typu McPherson tlumič plní dvě funkce – pro tlumení pérování a jako nosná část pro vedení kola vozidla. Z tohoto důvodu musí být tlumič u tohoto typu nápravy dostatečně dimenzován a konstrukční řešení musí být provedeno tak, aby bylo mnohem tužší a pevnější než u jiných typů náprav. Hlavní výhodou u nápravy McPherson je konstrukční řešení v horní části uložení, které svým řešením poskytuje více prostoru pro hnací agregát či zavazadlový prostor automobilu. Pokud je tento typ zavěšení použit pro přední nápravu, tak natáčení kol probíhá tak, že se natáčí zavěšení spolu s tlumičem za pomoci ložisek, nacházejících se v uložení tlumiče, do karosérie vozidla. U nápravy McPherson leží okamžitý pól klopení kola a klopení karoserie vždy nad rovinou vozovky. Při propérování a při náklonu

karosérie se mění odklon kola, což má za následek kmitání řízení způsobené gyroskopickým momentem. Pro docílení vhodné polohy středu klonění nápravy musí být provedení osy kývání spodního ramene šikmé. Nápravy McPherson jsou rozšířené u osobních automobilů nižší a střední třídy, u kterých jsou použity jako přední hnací náprava. Jen v ojedinělých případech se používá pro zadní hnanou nebo hnací nápravu, kdy je mírně upravena její konstrukce. K velkou výhodou nápravy McPherson je její jednoduchá konstrukce, která díky využití minimálního počtu dílů patří k levné variantě. Nevýhodami této nápravy jsou snížené jízdní vlastnosti a jízdní komfort, díky větším změnám odklonu kola při propérování vozidla.[4]

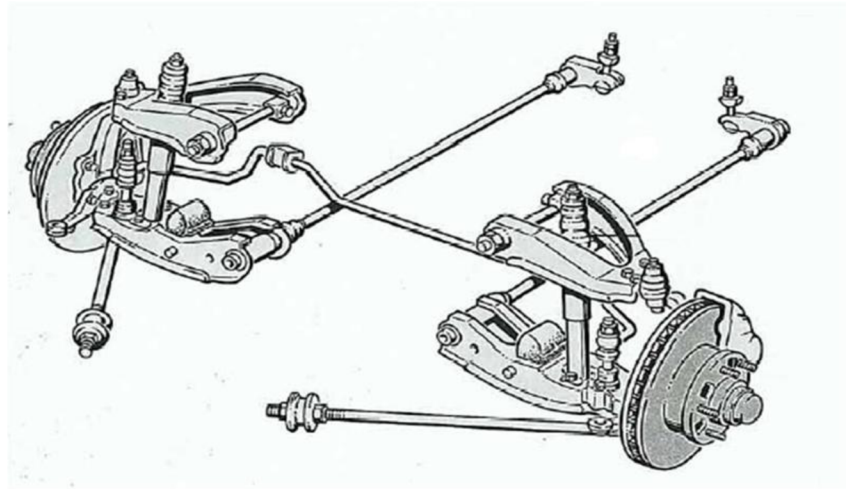


Obr. č.3: náprava McPherson[6]

Lichoběžníková

Pomocí lichoběžníkové nápravy jsou kola zavěšena prostřednictvím dvou trojúhelníkových ramen, která leží na obou stranách nad sebou. Celkově tedy náprava obsahuje čtyři ramena, která mají dvě různé délky a spodní rameno je delší oproti hornímu. Při pohledu z čela, dvojice ramen na každé straně tvoří lichoběžník. Ramena u lichoběžníkové nápravy jsou uložena příčně nad sebou, přičemž jsou ve dvou bodech uložena buď do pomocného rámu nápravy, nebo přímo do karosérie automobilu. Na vnější straně je do ramen uložena těhlice, která slouží k uchycení ložisek náboje kola. U přední nápravy musí být těhlice uložena nejen kyvadlově, což je nepostradatelné pro pérování vozidla, ale také otočně, proto, aby bylo umožněno zatáčení předních kol. Uchycení ramen musí být provedeno tak, aby mohlo při jízdě zachytit síly ve směru stopy vozidla. Spodní rameno včetně uložení bývá silnější z důvodu přenášení větších sil vzniklých zvláště při jízdě přes nerovnosti. Výhodou lichoběžníkové nápravy je možnost velmi nízké zástavby automobilu. Díky uchycení těhlice, provedené pomocí dvou prvků, umožňuje tato náprava snadnou konstrukci řízení automobilu. To je hlavním důvodem častého použití lichoběžníkové nápravy na předních kolech

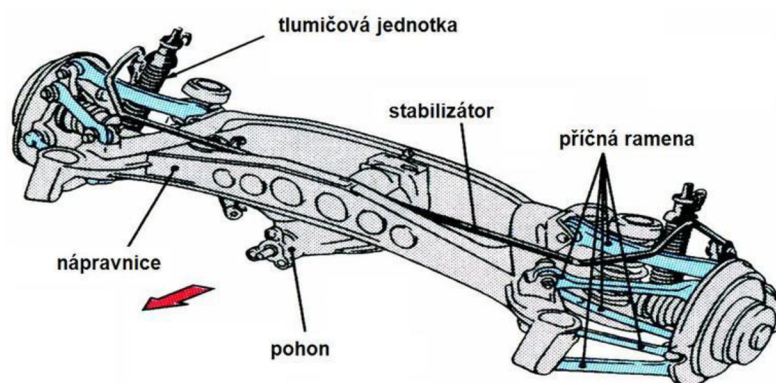
místo nápravy víceprvkové. Při správně nastavené geometrii, tak zabezpečuje dobré vedení kola s výbornými jízdními vlastnostmi automobilu.[4][7]



Obr. č. 4: Lichoběžníková náprava[6]

Víceprvková

Víceprvková náprava patří k nejmodernějším konstrukčním řešením náprav, a vyznačuje se vynikajícími jízdními vlastnostmi. Používá se jak pro přední, tak i pro zadní nápravu. Její konstrukce je tvořena použitím několika samostatných, na sobě nezávislých ramen. Volbou vhodného kinematického návrhu lze zajistit, aby každé rameno konalo svou přesně danou funkci k přenosu sil a zamezilo se jejich nevhodnému zatěžování. Konstrukce nápravy je provedena tak, aby ramena byla namáhána pouze na tah nebo tlak. Na koncích jsou nápravy opatřeny točným pryžovým uložením nebo kulovým čepem. Víceprvkové zavěšení kola je tvořeno minimálně třemi, maximálně pěti prvky. Mezi nevýhody víceprvkové nápravy patří její velikost a vyšší cena, která je daná konstrukční náročností. Důraz je kladen na tuhost karosérie v místech, kde jsou ramena uložena.[4][6]



Obr. č. 5: Víceprvková náprava[6]

4.1.2 Odpružení a tlumení

Odpružení slouží ke zmírnění přenosu kmitavých pohybů, rázů a otřesů, způsobených nerovnostmi vozovky, od nápravy do karosérie. Posádka a náklad je tak chráněn před nežádoucími otřesy. Dochází také ke zvýšení životnosti některých dílů podvozku a snížení namáhání rámu. Důležitou vlastností odpružení je, že zajišťuje stálý styk pneumatiky s vozovkou. Tím je zajištěn přenos tažných, brzdných a suvných sil. [4]

Tlumení v pružící soustavě zajišťují tlumiče, které tlumí nárazy, kmitání náprav, podvozku a vlastní kmity pružiny a zároveň snižují přenos nežádoucího kmitání do karoserie. Takovéto otřesy vznikají při přejezdu nerovností. Tlumiče také zabraňují propružení až k dorazům, čímž se snižuje zatěžování zavěšení kol. Lze konstatovat, že dochází i ke zlepšení jízdního pohodlí. Dalším úkolem tlumičů je zajišťovat stálý styk pneumatiky s vozovkou, tedy minimalizovat kmitání neodpružených částí. Tím dochází k zajištění lepší bezpečnosti jízdy. Tlumič tedy plní funkci tlumení nárazů a kmitání.[4][7]

PRUŽINY

„Pružiny jsou strojní součásti, které mají schopnost akumulovat mechanickou energii na základě pružné deformace materiálu, ze kterého jsou vyrobeny.“ [7] Dle použitého materiálu a tvaru pružiny vzniká pružina o určité závislosti zatížení na deformaci, a tedy i tuhosti. Má-li pružina lineární charakteristiku, a tedy neměnnou tuhost, lze její chování matematicky popsat následující rovnicí:

$$F_p = -k * y \quad (1)$$

Kde: F_p je síla pružiny [N], k koeficient tuhosti [N/m] a y je výchylka pružiny z klidového stavu [m]

Charakteristika pružiny nemusí mít vždy lineární průběh, potom je hovořeno o progresivních pružinách. Toho může být u vinutých pružin dosaženo: proměnlivým stoupáním závitů, proměnlivým průměrem drátu nebo proměnlivým průměrem drátu a zároveň proměnlivým průměrem pružiny. Koeficient tuhosti k , je závislý zejména na materiálu pružiny a na rozměrech a druhu pružiny. Pro výpočet tuhosti vinuté pružiny s drátem kruhového průřezu platí vztah [7]:

$$k = \frac{d^4 * G}{8 * n * D^3} \quad (2)$$

Kde: k je tuhost pružiny [N/m], d průměr drátu [m], D střední průměr pružiny [m], n počet činných závitů [-] a G modul pružnosti ve smyku [Pa].

Dle materiálu pružicího prvku jsou rozlišovány pružiny [4]:

- a) Ocelové – listové torzní, vinuté
- b) Pryžové
- c) Vzduchové – pneumatické
- d) Vzduchokapalinové – hydropneumatické
- e) Pryžokapalinové – hydroelastické

Dle způsobu zatěžování lze pružiny rozdělit na [4]:

- a) Pružiny namáhané ohybem – listová pera, spirálové pružiny, šroubovitě zkrutné pružiny
- b) Pružiny namáhané krutem – šroubovitě tlačné a tažné pružiny, torzní tyče
- c) Pružiny namáhané kombinovaně – talířové pružiny, kroužkové pružiny

TLUMIČE

Tlumič je technické zařízení, které odebírá mechanickou energii a přeměňuje ji v jinou formu energie, nejčastěji v teplo, vznikající hydraulickým odporem při průtoku vhodnými ventily, případně třením u třecích tlumičů nebo u listových pružin. Tlumič tedy absorbuje a rozptyluje energii na rozdíl od pružiny a dokáže tak měnit vlastní frekvenci soustavy.[5][7]

Tlumicí sílu tlumiče s lineární charakteristikou lze vyjádřit:

$$F_t = -c * v \quad (3)$$

Kde: F_t je tlumicí síla [N], c koeficient tlumení [Ns/m] a v rychlost [m/s]

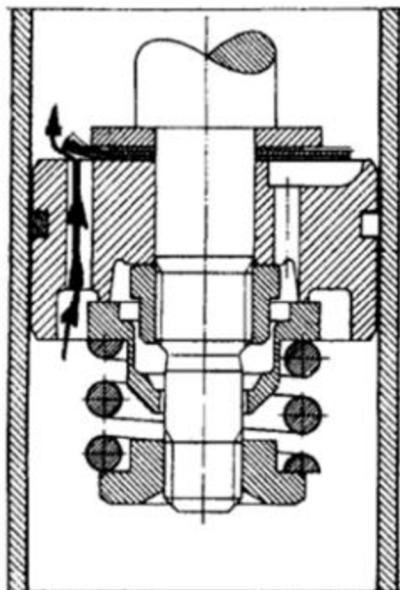
Dle způsobu přeměny mechanické energie lze tlumiče kmitů rozdělit na [5]:

- a) Deformační tlumič – je tvořen materiálem s velkým vnitřním útlumem, tzv. silentblok.
- b) Hmotový tlumič – jedná se o hmotu připevněnou nejčastěji pružinami a tlumiči k soustavě, která působí proti pohybům vyvolanými kmitáním
- c) Třecí tlumič – skládá se ze dvou navzájem pohyblivých částí, mezi kterými vzniká tření. Nevýhodou je rychlé opotřebování a víceméně konstantní tlumicí síla
- d) Kapalinový – pracovní látkou je olej, který je přepouštěn mezi vnitřním a vnějším pláštěm. Prostor nad olejem je spojen s atmosférou
- e) Plynokapalinový – uvnitř pláště je udržován určitý přetlak plynem, který tlačí přes plovoucí píst na olej.
- f) Pneumatický tlumič
- g) Elektromagnetický

Dle konstrukce můžeme tlumiče rozdělit na [5]:

- a) pákové (používané v minulosti)
- b) teleskopické – jednoplášťové, dvouplášťové

Tlumiče používané v současnosti pracují jako dvojčinné (tlumí v obou směrech pohybu). U vozidel požadujeme, aby byl tlumič při pohybu nápravy ke karosérii méně účinný než v opačném směru. Toho je dosaženo rozdílnými průměry průtokových otvorů a přítlačnými silami pružin na membrány uzavírající tyto otvory. Při stlačování tlumiče proudí kapalina otvory na větším poloměru pístu, který je překryt membránou s malou přítlačnou silou. Při roztahování tlumiče je tomu naopak. Předpětí šroubové pružiny působící na membránu lze měnit maticí, čímž dosáhneme různých tlumicích účinků. Vhodnou kombinací průtokových ventilů, předpětí a charakteristik přítlačných pružin dosáhneme požadované tlumicí charakteristiky. U dvouplášťového tlumiče je charakteristika závislá ještě na provedení vyrovnávacího ventilu a u jednoplášťového na velikosti přetlaku ve vyrovnávacím prostoru. [5][7]



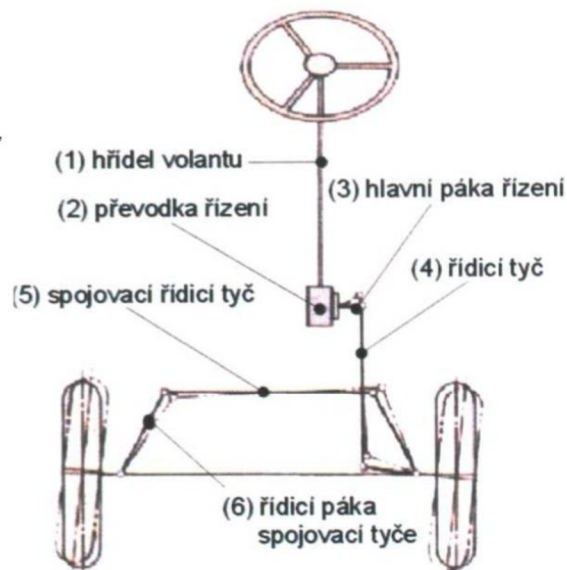
Obr. č. 6: Detail tlumiče s průtokovým ventilem [4]

4.1.3 Řízení

Řízení může ovlivňovat pohyb nákladu a samotnou stabilitu vozidla. V moment, kdy dochází k manipulaci s volantem, přenáší se síly až na kola vozidla, čímž dochází k zatáčení vozu po oblouku s určitým poloměrem. Toto přímo ovlivňuje působení odstředivých sil, stabilitu vozidla a chování nákladu ve vozidle. [7]

Hlavním účelem řízení je natočit kola do rejdu a změnit tím směr jízdy, umožnit rozdílný úhel rejdu rejdových kol při průjezdu směrovým obloukem a dostatečně zvětšit silový moment pro ovládání rejdových kol. Ovládací orgán je umístěn v kabině řidiče. Části, které provádí vlastní natáčení kol do rejdu jsou na rejdové nápravě a převodové části, které přenáší pohyb z volantu na řídicí části, se nachází jednak na rámu anebo mezi rámem a řídicí nápravou. [7]

Hlavní části řízení jsou volant, převodka řízení, hlavní páka řízení, řídicí tyč, spojovací řídicí tyč a řídicí páka spojovací tyče.

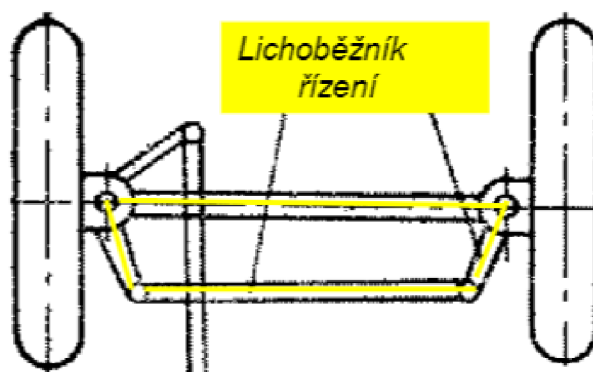


Obr. č. 7: Hlavní části řízení [6]

Řízení přední nápravou

Tento typ řízení se využívá u všech dvoustopých motorových vozidel. Při řízení předními koly s rejdovými čepy se může každé kolo otáčet kolem vlastní osy otáčení řízení. Vznikne podélnou osou svislých čepů nebo spojením horního a dolního bodu otáčení zavěšení kol. Plocha řízení při vytočení kol kolem osy se téměř nezmění. Každé řízené kolo se musí otáčet podle poloměru zatáčky, aby se kola mohla při jízdě zatáčkou správně odvalovat, a ne smýkat. Čím je menší poloměr zatáčky, tím je potřeba většího natočení kol. Proto vnitřní kolo má menší poloměr zatočení než kolo vnější. Toho lze dosáhnout pomocí lichoběžníku řízení. [5][6]

Lichoběžník řízení je tvořen při přímé poloze předních kol spojovací tyčí, oběma pákami spojovací tyče a spojovací linií bodů otáčení.



Obr. č. 8: Lichoběžník řízení [6]

Tyčové řídicí ústrojí

Tento systém je důležitý pro přenos pohybu z převodky řízení na rejdová kola, přenos síly a její změnu podle potřeby a nastavení vzájemné polohy rejdových kol. Hlavními částmi jsou spojovací řídicí tyče, kulové klouby řízení a řídicí páky. [7]

Převodka řízení

Hlavní funkcí převodky řízení je převod rotačního pohybu volantů na vychylování táhla řízení, případně posouvání ozubené tyče a zároveň zvýšení točivého momentu vytvořeného silou řidiče na volant. Nejčastěji se využívá hřebenová převodka řízení. [7]

4.1.4 Rozložení hmot v podélném směru a vodící vlastnosti pneumatik ovlivňující stabilitu vozidla

Poměr statického rozložení zatížení na obě nápravy a rozložení bočních sil na nápravy určují polohu těžiště vozidla v podélném směru. Boční silou je např. síla odstředivá při zatáčení nebo boční síla od příčného sklonu vozovky. Platí zde bilance momentů bočních sil obou náprav vzhledem k těžišti [1]: $Y_1 \cdot l_1 = Y_2 \cdot l_2$

Podle chování vozidel na vozovce, lze rozdělit [1] [6]:

Neutrální vozidlo – vozidlo se bude při působení boční síly pohybovat s určitou složkou boční rychlosti, ale nebude se však stáčet.

Přetáčivé vozidlo – nestabilní pohyb, u vozidla dojde při působení boční síly k bočnímu posouvání a ke stáčení vozidla proti směru původní boční síly. Vznikne odstředivá síla, která má stejný smysl jako původní boční síla, a zatáčení vozidla se o to zvětší. To má za následek, že při jízdě zatáčkou by vozidlo zatáčelo na menším poloměru, než odpovídá rejdu kol, a se zvyšující se rychlostí by se tento poloměr zmenšoval do té doby, než by došlo ke smyku zadní nápravy a rotaci vozidla kolem svislé osy.

Nedotáčivé vozidlo – stabilní pohyb, u vozidla dojde ke stáčení ve směru působení boční síly, tím vznikne odstředivá síla v opačném smyslu než původní boční síla. Vozidlo má napřimovací tendenci. Při jízdě zatáčkou vozidlo zatáčí na větším poloměru, než odpovídá rejdu kol.

4.2 TĚŽIŠTĚ

V tíhovém poli působí na každý element tělesa tíhová síla. Pokud by se dané síly sečetly, tak jejich výslednice bude ležet v těžišti tělesa. Celé těleso lze tedy nahradit jedním bodem a v uvažovaném ději lze vyšetřovat pouze stav daného těžiště. [8] [9]

4.2.1 Podélná a příčná poloha

Pro zjišťování podélné a příčné polohy je zapotřebí znát hmotnosti připadající na jednotlivá kola. Vozidlo musí být měřeno ve vodorovné poloze, aby nedošlo ke zkreslení. Součet hmotností na přední a zadní nápravě se musí rovnat součtu hmotnosti celého vozidla. [6] [10]

Pro zjištění podélné vzdálenosti těžiště od přední nápravy se využívá vzorec: [6]

$$l_p = \frac{m_z}{m_p + m_z} * l \quad (5)$$

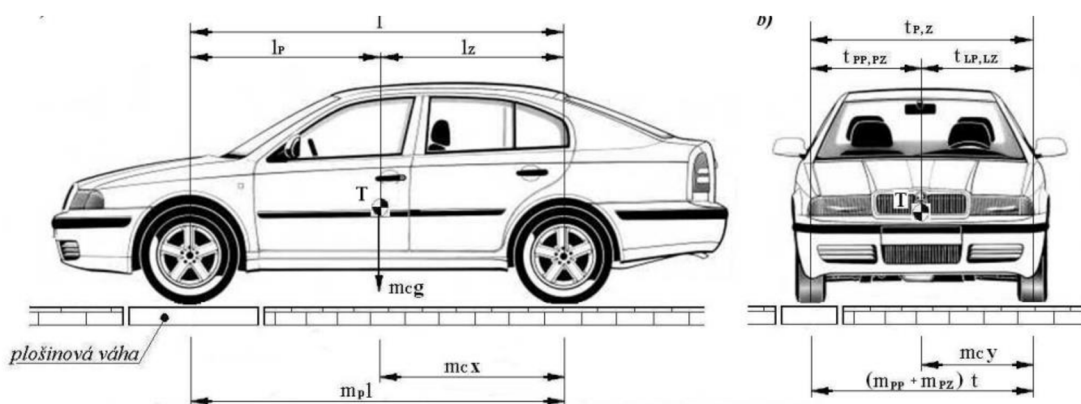
kde m_z je hmotnost kol zadní nápravy, m_p hmotnost kol přední nápravy a l rozvor.

Pro zjištění příčné vzdálenosti těžiště od levého předního kola se využívá vzorec [6]:

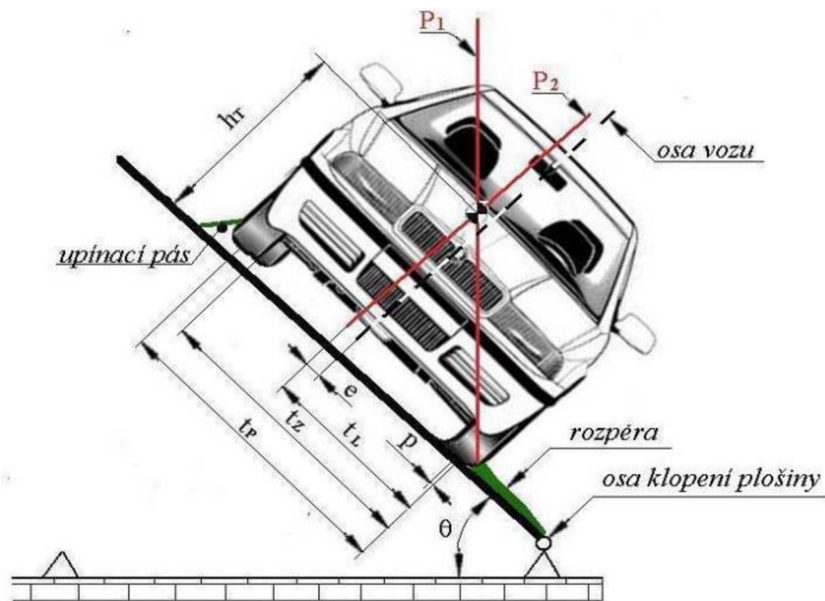
$$t_1 = \frac{m_2}{m_2 + m_1} * t_p \quad (6)$$

Kde m_1 je hmotnost levého předního kola, m_2 hmotnost pravého předního kola a t_p je rozchod předních kol.

Podélná poloha těžiště bývá většinou v místech středu sedadla řidiče a příčná poloha je posunuta od středu automobilu směrem k sedadlu spolujezdce.



Obr. č. 12: Podélná a příčná poloha těžiště [11]



Obr. č. 14: Metoda překlopení [11]

4.3 SÍLY PŮSOBÍCÍ NA NÁKLAD

Síly působí na náklad za jízdy pouze, pokud se vozidlo pohybuje, tedy s výjimkou gravitační síly. Náklad je nutné dostatečně upevnit a zajistit tak bezpečný převoz nákladu na místo určení, aby nedocházelo k poškození nákladu, vozidla, nebo ovlivňování jízdy vozidla. Podstatnou roli hrají hmotnost nákladu, součinitel tření mezi nákladem a kontaktní plochou náklad-vozidlo, těžiště a rozměry nákladu. Těžký náklad ovlivňuje jízdní vlastnosti vozidla, zejména může způsobovat horší brzdné účinky a snižovat ovladatelnost a stabilitu. Čím těžší náklad, tím větší síly působí během jízdy, což v nejhorsích případech může vést až k překlopení vozidla, hlavně pokud náklad o vysoké hmotnosti má polohu těžiště v nadměrné výšce. [12]

4.3.1 Tíhová síla

Tíhová síla působí kolmo do středu země na všechna tělesa přitažlivou silou s působišťem v jejich těžišti. Tato síla je vyvolávána gravitačním polem Země, tedy působí na všechna tělesa. Čím je těleso těžší, tím větší je síla, která na něho působí. Pro výpočet tíhové síly se využívá vzorec [12]:

$$F_G = m * g \quad (7)$$

4.3.2 Odstředivá síla

Při změně směru jízdy vozidla jedoucího po pozemní komunikaci, například při průjezdu zatáčkou, působí na náklad odstředivá síla o takové velikosti, která může vést až k destabilizaci vozidla. Tento efekt bývá umocněn špatnou fixací nákladu, kdy se náklad začne pohybovat po

vozidle. Volně se pohybující náklad radikálně změní stabilitu nákladního vozidla díky posunu těžiště. Toto má velký vliv na bezpečný průjezd zatáčkou [12]. Pro výpočet se využívá vzorec:

$$F_o = m * a_d = \frac{mv^2}{r} \quad (8)$$

Kde m je hmotnost nákladu, a_d je dostředivé zrychlení, v je rychlost vozidla a r je poloměr křivosti.

4.3.3 Setrvačné síly

Tato síla se projevuje při rozjezdu nebo při zpomalení vozidla a působí vždy proti směru pohybu vozidla. Při rozjezdu tato síla nijak neohrožuje stabilitu vozidla, jelikož je zde dosahováno malých rychlostí, může ale dojít k překlopení samotného nákladu. Pokud uvažujeme setrvačnou sílu nákladu při brzdění vozidla, setrvačným pohybem nákladu dojde k nárazu, který prodlouží brzdnou dráhu vozidla. Z tohoto důvodu vhodné volit polohu nákladu a jeho fixaci takovou, aby nedošlo k samovolnému pohybu nákladu ve směru jízdy. [12]

4.3.4 Třecí síla

Při posunu nákladu dochází ke tření mezi podložkou a nákladem. Vnikající síla je žádoucí, jelikož zvyšuje sílu potřebou pro pohyb samotného nákladu. Hlavní faktorem je zde koeficient tření, který může být ovlivněn použitím různých materiálů styčných ploch [12]. Pro výpočet tření se využívá vzorec:

$$F_t = m * g * \mu \quad (9)$$

Kde m je hmotnost nákladu, g je tíhové zrychlení a μ je třecí koeficient.

5 FORMULACE PROBLÉMŮ A STANOVENÍ CÍLŮ ŘEŠENÍ

V běžném silničním provozu dochází každý den k situacím, kdy je osobním vozidlem převážen nevhodně uchycený náklad, či zcela nezajištěný. V případě, kdy takové vozidlo musí v kritických momentech provádět brzdový, či úhybný manévr, může vlivem neupevněného nákladu dojít k ovlivnění vozidla, které se projeví buď pouze na uzavřené soustavě vozidla (nevznikne žádná další interakce s okolím) nebo dojde ke změně pohybu vozidla, což může vést ke vzniku dopravní nehody. Pro řešení takovéto dopravní nehody v analýze silničních nehod by bylo vhodné tento vliv definovat a určit jeho závislosti k různým vstupním parametrům.

Vliv neupevněného nákladu se těžko kvantifikuje a je závislý na mnoha parametrech. Pro řešení tohoto problému byla vyrobena konstrukce simulující náklad a následně analyzován vliv na vozidlo s ohledem na vybrané charakteristiky.

6 POUŽITÉ METODY

Zvolenou metodou bylo naměření hodnot příčného (axiálního) zrychlení vozidla během sady jízdních zkoušek vybraných vozidel. Experiment jízdní zkoušky spočíval v průjezdu vybraného manévru s neupevněným nákladem v zavazadlovém prostoru. Následně proběhl sběr dat z přístrojů, jejich porovnání a vyhodnocení.

6.1 POUŽITÁ VOZIDLA A KONSTRUKCE

V jízdních zkouškách bylo použito 5 osobních vozidel s rozdílnou konstrukcí karoserie. Všechna tato vozidla měla platnou STK a byla řízena jedním řidičem. Použitými vozidly byly Citroen Xsara Picasso (dále jen Citroen), BMW 530d xDrive touring (dále jen BMW), Škoda Octavia IV combi (dále jen Škoda), Volkswagen Caravelle (dále jen Caravelle) a Volkswagen Phaeton (dále jen Phaeton), jejichž parametry jsou v **Tab. č. 1**:

Tab. č. 1 – Využitá vozidla

	Citroen	BMW	Škoda	Caravelle	Phaeton
Rok výroby	2003	2018	2021	2018	2006
Výkon motoru [kW]	66	195	105	146	331
Palivo	nafta	nafta	nafta	nafta	benzín
Typ karoserie	MPV/kombi	Kombi	Kombi	MPV	Hatchback
Rozvor l [mm]	2760	2886	2686	3400	2881
Rozchod nápravy přední tp/zadní tz [mm]	1434/1452	1558/1581	1543/1535	1634/1640	1629/1612

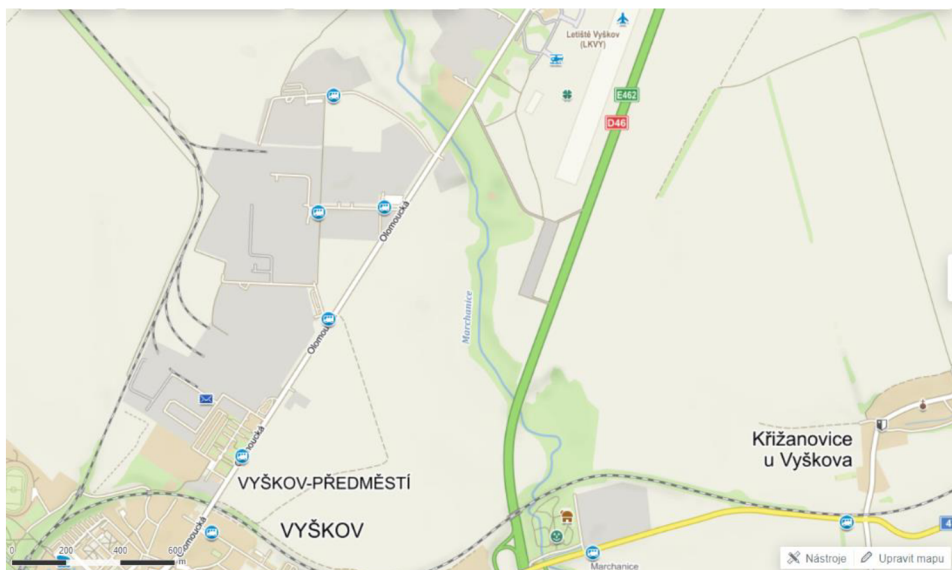
Pro experiment bylo nutné vytvořit konstrukci, která by umožňovala simulovat neupevněný náklad v zavazadlovém prostoru tak, aby byla jednotná pro všechna vozidla a zároveň, aby bylo možné zajistit opakovatelnost měření a porovnatelnost výsledků. Na základě těchto parametrů a rozměrů zavazadlových prostorů vozidel byla navržena a sestavena konstrukce. Konstrukce se skládala z vozíku na kolečkách a klece, do které bylo při experimentu umísťováno závaží. Součástí konstrukce byla také oka, která sloužila k upevnění pomocí kurt. Jako závaží bylo využito několik částí vlakových kolejnic s celkovou hmotností 105 kg.



Obr. č. 15: Konstrukce vozíku a klece

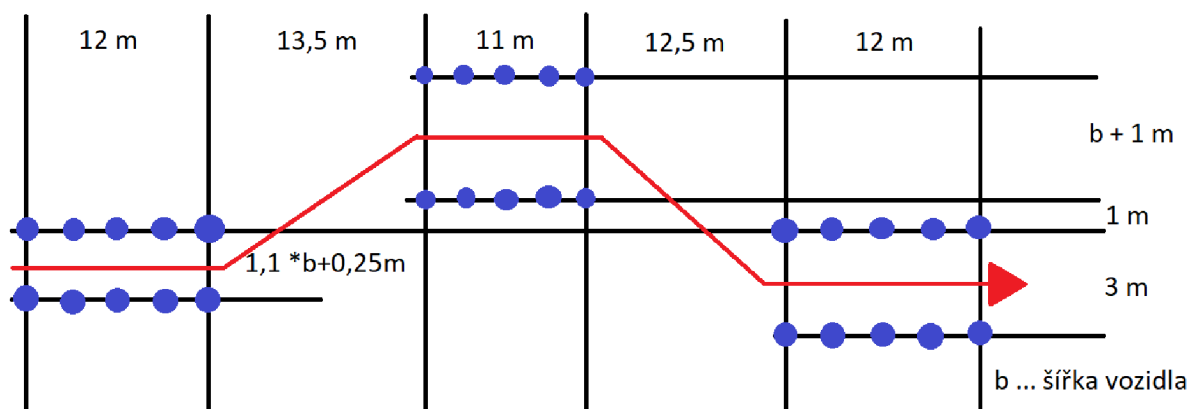
6.2 MĚŘENÝ MANÉVR

Jízdní zkoušky byly provedeny 3. dubna 2023 v blízkosti města Vyškov, v místě odstavné plochy letiště Vyškov. Podmínky během experimentu byly následující: polojasno, teplota 1–3 °C, větrno (nárazově až 30 m/s), sucho, vozová část byla v místě experimentu asfaltová s minimálním sklonem.



Obr. č. 16: Místo měření

Pro sběr dat a zjištění vlivu nákladu byl zvolen manévr podle ISO 3888-2. Tento manévr simuluje vyhnutí překážky v městském provozu. Tomuto testu se také říká „Losí test“ („Moose test“). Na Obr. 17 je vyobrazen tvar a rozměr samotného manévru. Norma ISO přesně definuje tvar a rozměry pro zkušební manévr. Doporučená rychlost vjezdu je 60–65 km/h. Po vjezdu je doporučeno vyšlápnutí pedálu akceleraátoru při zařazeném nejvyšší rychlostním stupni tak, aby otáčky motoru byly nejméně 2000 ot/min.



Obr. č. 17: Schéma vyhýbacího manévru dle ISO 3888-2.

Během experimentu bylo usilováno o zachování stejné vjezdové rychlosti tak, aby se u všech jízd, co nejvíce blížila maximální povolené rychlosti v obci (50 km/h). Tato rychlost byla zvolena proto, aby průběh manévru simuloval reálnou situaci v městském provozu.

Šířka b je konstantní pro všechna vozidla. Byla zvolena podle šířky největšího z nich, Caravelle.

6.3 ZJIŠTĚNÍ TĚŽIŠTĚ TESTOVANÝCH VOZIDEL

Všechna vozidla, která byla použita v jízdách zkouškách byla zvážena ve 4 různých stavech s upevněnou konstrukcí (vozíkem) v zavazadlovém prostoru. Vozidla byla zvážena – s prázdným vozíkem uprostřed, s plným vozíkem uprostřed, s plným vozíkem v poloze nejvíce vlevo a s plným vozíkem nejvíce vpravo. Všechna měření byla provedena i s řidičem.

6.4 JÍZDNÍ ZKOUŠKA

Pro kvantifikaci vlivu neupevněného nákladu byla do vozidel nainstalována 2 zařízení, která byla umístěna vždy na přední sklo vozidla. Toto umístění zajišťovalo snadnou manipulaci a nastavení zařízení. Pro zjištění hodnot radiálního a axiálního zrychlení, během vyhýbacího manévru, bylo využito zařízení XL METER. Pro co nejlepší porovnatelnost dat z XL METERu, byla měřena rychlost vozidla pomocí zařízení Telemetrie Racelogic Performance, které díky přímému připojení přes GPS umožňovalo znát okamžitou hodnotu rychlosti vozidla v reálném čase. Díky této vlastnosti bylo možné dosahovat podobných vjezdových rychlostí do vyhýbacího manévru.



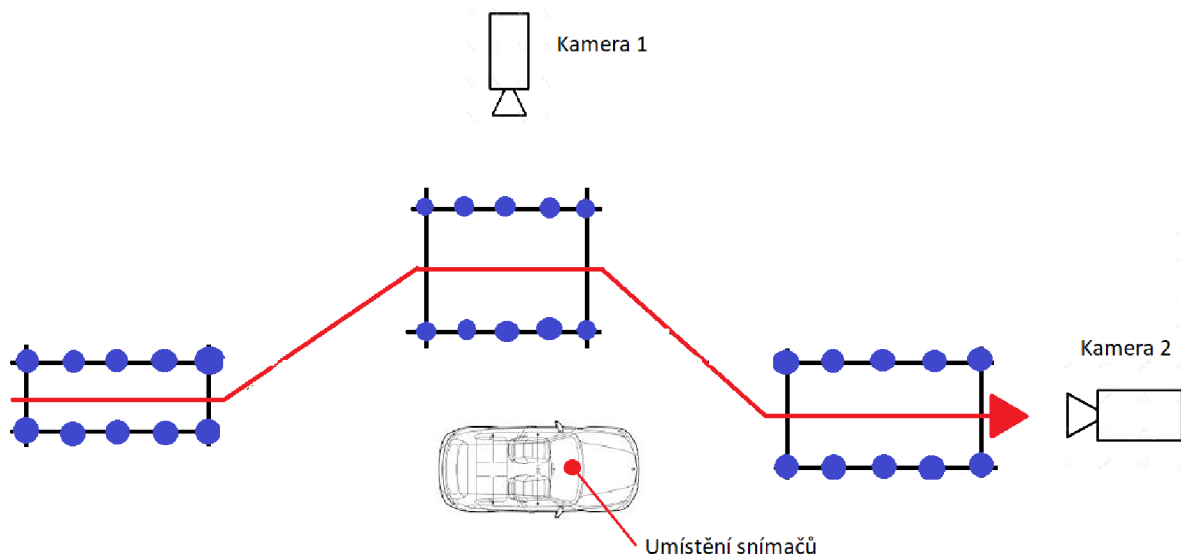
Obr. č. 18: Telemetrie Racelogic Performance



Obr. č. 19: XL METER

Pro zpětnou verifikaci průběhu manévru byly veškeré průjezdy sledovány 2 nahrávajícími kamerami.

S každým vozidlem bylo měřeno 8 průjezdů manévrem s plným nákladem + 1 měření průjezdu vozidla bez nákladu a konstrukce (kromě vozidel BMW a Caravelle). Pro srovnatelnost výsledků byla poloha vozíku před každou jízdou upravena do středu konstrukce.



Obr. č.20: Schéma umístění snímačů a kamer

6.5 POUŽITÝ SOFTWARE

Pro zpracování dat z měřících zařízení bylo využito několika programů. Pro určení rychlosti ze zařízení Telemetrie Racelogic Performance bylo využito programu Performance Box Tools, verze 1.8.2, kde pro každé vozidlo byla zjišťována a zaznamenána vjezdová rychlost do manévru. Pro určení příčného zrychlení a jeho změn ze zařízení XL Meter byl použit program XL Vision. Všechna zjištěná data byla zpracována do tabulek pomocí programu Microsoft Excel.

7 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY A JEJICH ANALÝZA

7.1 POSUN POLOHY TĚŽIŠTĚ

Nejprve byly změřeny hodnoty hmotností u všech vozidel. V **Tab. č. 2** jsou uvedeny naměřené hodnoty pro vozidlo Citroen. Hodnoty hmotností ostatních vozidel jsou v **Příloze 1**.

Tab. č. 2 – Hmotnost a poloha těžiště vozidla Citroen

	Citroen			
	N	Z	L	P
m1 [kg]	406,0	406,5	410,0	401,5
m2 [kg]	433,0	434,5	429,5	437,0
m3 [kg]	284,5	337,5	327,5	349,0
m4 [kg]	283,5	337,5	347,5	326,0
m [kg]	1407,0	1515,5	1514,5	1513,5
tp [cm]	111,40	122,93	123,01	123,09
t1 [cm]	74,01	74,05	73,37	74,74
t4 [cm]	72,73	72,60	70,45	75,07
d [cm]	1,791	1,702	0,366	3,186

U každého vozidla došlo ke zvážení ve 4 polohách značených N (nezatížena nákladem), Z (zatížena nákladem), L (náklad v maximální levé poloze) a P (náklad v maximální pravé poloze). Všechna měření probíhala se stejným řidičem.

Následně byly spočítány hodnoty pro určení polohy těžiště a vzdálenosti od podélné osy vozidla podle **Vzorců č. 5-6**. Příklad výpočtu:

$$l_p = \frac{m_3 + m_4}{m} * l = \frac{518,5 + 541}{2503,5} * 276 = 121,93 \text{ cm}$$

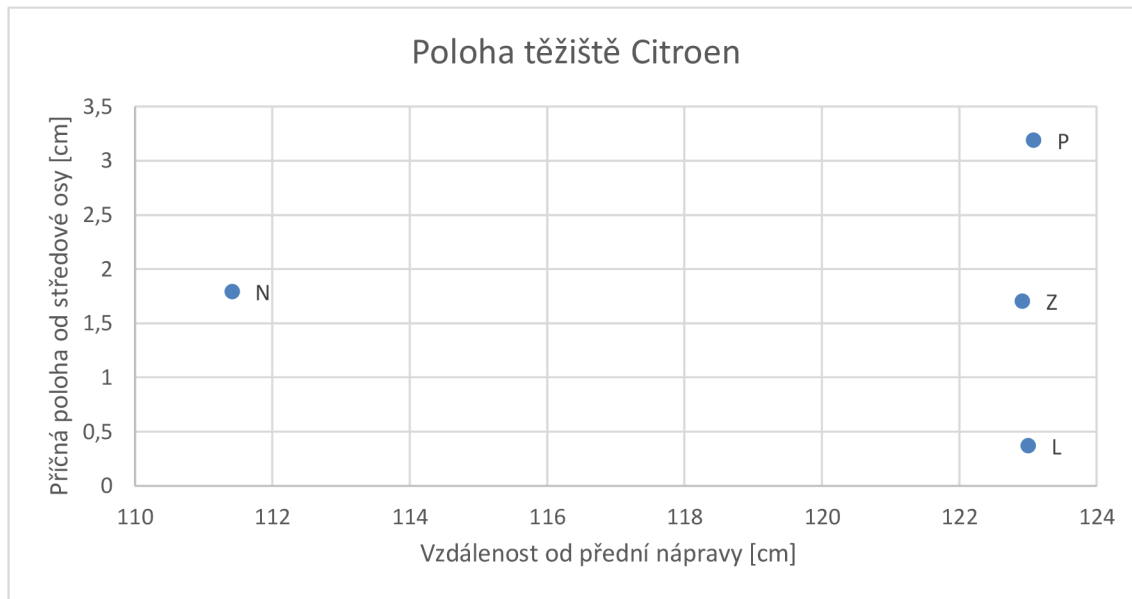
$$t_1 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} * t_p = \frac{724}{724 + 720} * 143,4 = 81,63 \text{ cm}$$

$$t_4 = \frac{m_3}{m_3 + m_4} * t_z = \frac{518,5}{518,5 + 541} * 145,2 = 78,89 \text{ cm}$$

$$d = \frac{l_p}{l} * (t_4 - t_1) + \left(t_1 - \frac{t_p}{2} \right) = \frac{121,93}{276} * (78,89 - 81,63) + \left(81,63 - \frac{143,4}{2} \right) = -0,933 \text{ cm}$$

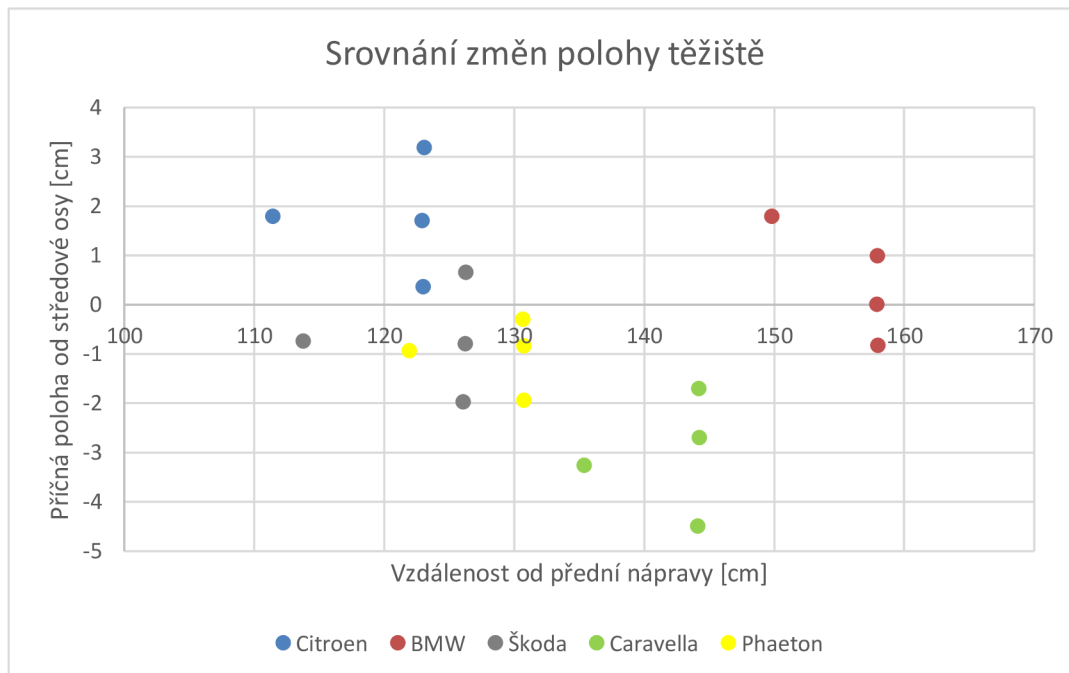
kde d je vzdálenost polohy těžiště od podélné osy [cm] a záporná hodnota znamená, že poloha těžiště se nachází na levé straně vozu od podélné osy vozidla.

Graf č.1 zobrazuje polohu těžiště pro vozidlo Citroen. Polohy těžiště pro ostatní vozidla jsou graficky znázorněny v **Přílohách 2-3**.



Graf č. 1 - Poloha těžiště vozidla Citroen

Pro porovnání byly všechny hodnoty od všech vozidel vloženy do **Grafu č. 2**.



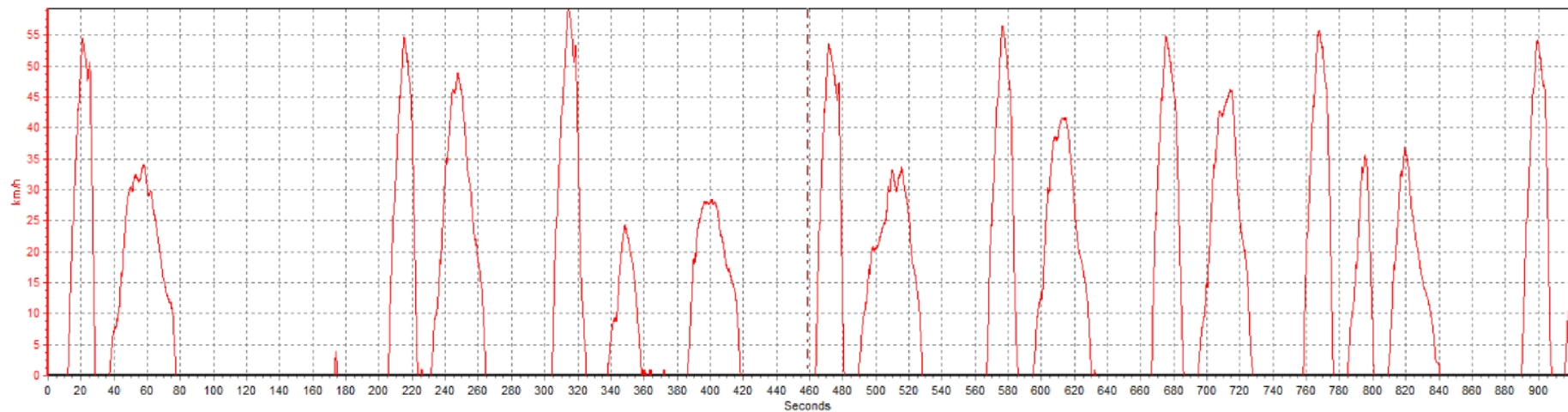
Graf č. 2 - Srovnání poloh těžiště všech vozidel

Z rozpoložení bodů těžiště v **Grafech v Přílohách 2-3** je vidět, že změna polohy těžiště jsou závislá na poloze nákladu u všech vozidel. Liší se pouze vozidlo BMW, a to v důsledku omylu při měření, kdy je v **Příloze 2** vidět, že pomyslná přímka procházející body poloh těžiště N a Z se nenachází v relativně vodorovné poloze s vodorovnou osou. Zároveň pro toto vozidlo je vidět, že vlivem konstrukce vozidla se příčná poloha těžiště vozidla s řidičem nachází přímo na vodorovné ose vozidla, což naznačuje velmi dobrou boční stabilitu. U všech vozidel se předpokládalo, že při pohybu nákladu bude vychýlení příčné polohy těžiště takové, že rozdíl poloh P a Z bude roven rozdílu poloh L a Z. Tento předpoklad se se s určitou odchylkou potvrdil u tří vozidel, a to Citroen, BMW a Škoda. Vychýlení u vozidla Caravelle může být následkem neupevnění nákladu do středu zavazadlového prostoru. Tímto mohlo v jedné extrémní poloze dojít k většímu posunu polohy těžiště než ve druhé. K největším změnám polohy těžiště v podélném směru došlo u vozidel Škoda a Citroen. To je zapříčiněno hlavně poměrem velkého rozchodu kol a nízké hmotnosti vozidla, kdy může dojít k odlehčení přední nápravy, což může vést ke zhoršení stability při zatáčení, rozjezdu a brzdění a dále k prodloužení brzdné dráhy, a zároveň k negativnímu vlivu změny nedotáčivosti vozidla směrem k přetáčivosti. Naopak nejmenší změna polohy těžiště v příčném směru byla u vozidla BMW. Reálná hodnota bude ovšem o něco vyšší, jelikož pro hodnotu Z není hodnota zjištěna s vlivem hmotnosti řidiče.

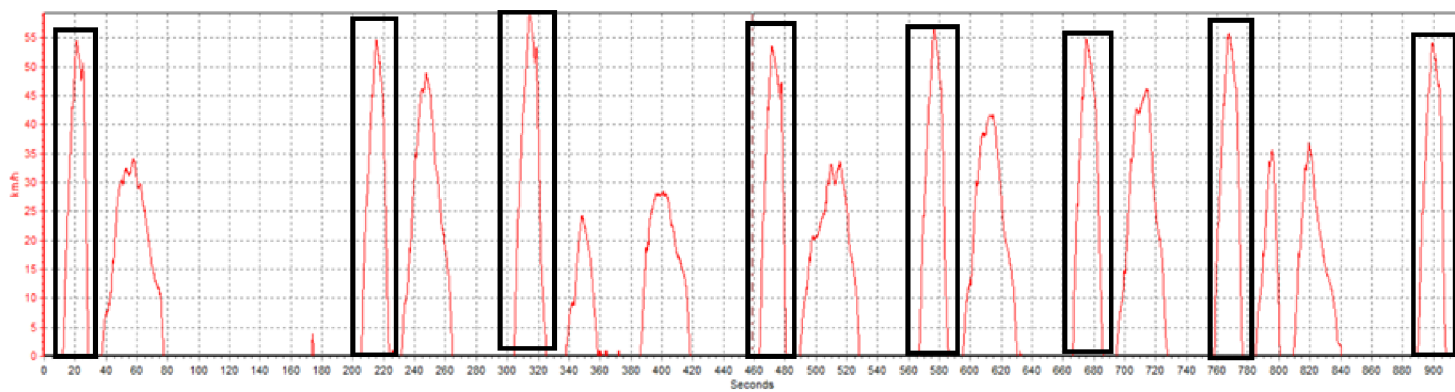
Z dosavadních výsledků lze říct, že nejlepší stabilitu by mělo mít vozidlo BMW – nejen díky příčné poloze těžiště na podélné ose vozidla, ale také je nejmenší vychýlení vlivem nákladu v maximální poloze. Jako nejnestabilnější vozidla působí Citroen a Škoda, jelikož došlo k velkým změnám jejich těžiště v příčném směru a výchyly dosahují nejvyšších hodnot při maximálních polohách nákladu. Navíc vozidlo Citroen má příčnou polohu těžiště v nadprůměrné vzdálenosti od osy vozidla. Lze ho tedy považovat za nejnestabilnější. V teoretické rovině by bylo nutné uvažovat také vliv naplnění palivové nádrže či vliv povětrnostních podmínek (zejména bočního větru). Pro potřeby této diplomové práce však jsou tyto vlivy považovány za nepodstatné a budou zanedbány.

7.2 RYCHLOSTI VJEZDU

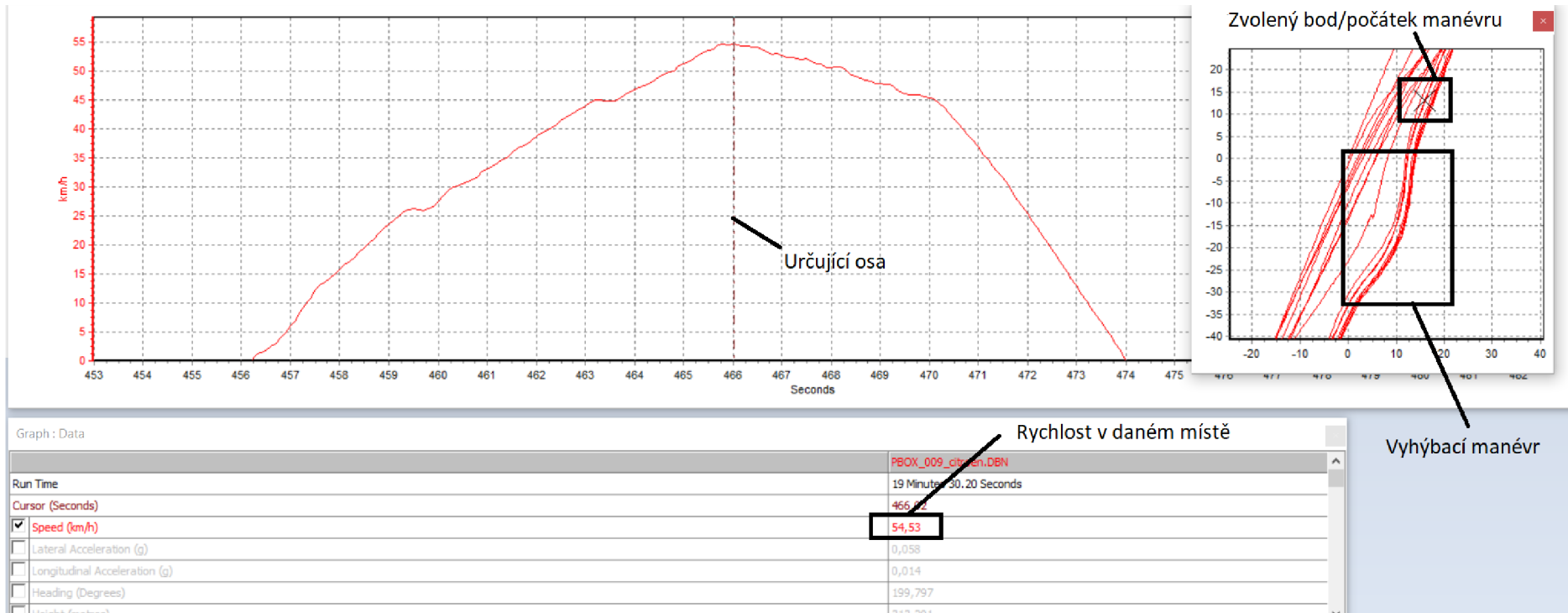
Rychlosti vjezdu vozidel byly zjištěny díky zařízení Telemetrie Racelogic Performance a softwaru Performance Box Tools. Při zjišťování rychlostí bylo pracováno s grafy, které zobrazují, jak samotná měření, tak i všechny rychlostní úseky od připojení a spuštění zařízení. Níže je vykreslen **Graf č. 3**, který zobrazuje hodnoty rychlosti vozidla Citroen. Grafy ostatních vozidel jsou součástí **Příloh 4-5**. Ve zmíněných grafech byla hledána měření samotných manévru s tím, že bylo známo podobné maximum daných měření a že vždy proběhlo měření a krátce poté došlo k přejezdu vozidla na startovní polohu před dalším měřením. Touto metodou byly zvoleny úseky pro zjišťování konkrétních rychlostí (Graf č. 8). Hodnoty vjezdových rychlostí pro každý průjezd byly získány tak, že určující osa byla posouvána do bodu, kdy křížek znázorňující polohu vozidla odpovídal poloze počátku manévru. Rychlost byla zobrazena na dolním řádku v km/h.



Graf č. 3 - Hodnoty rychlosti vozidla Citroen ze zařízení Telemetrie Racelogic Performance



Graf č. 4 - Úseky průjezdu manévru vozidla Citroen



Graf č. 5 – Určení vjezdové rychlosti do manévru v programu Performance Box Tools

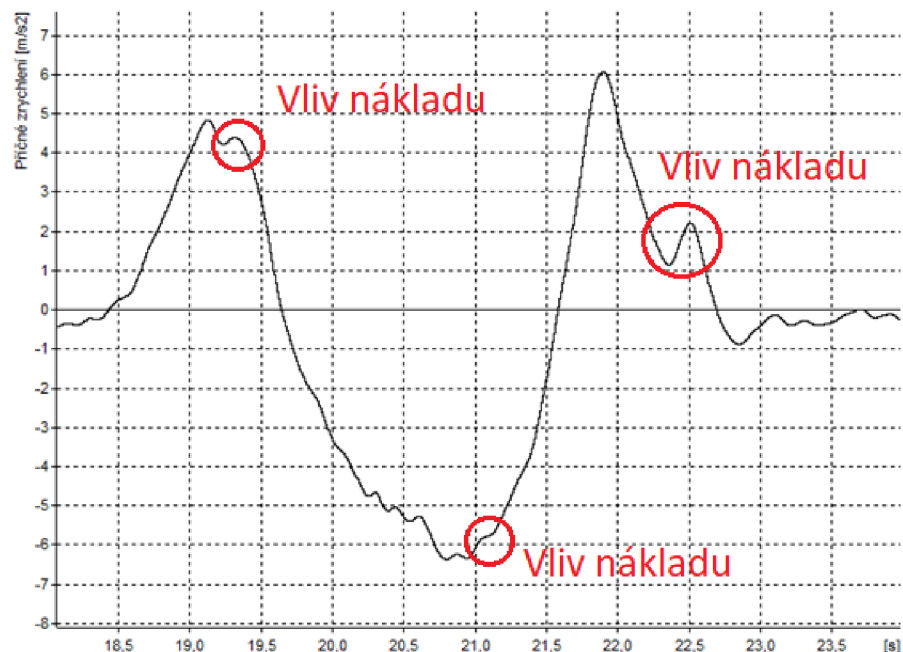
Tab. č. 3: Hodnoty vjezdových rychlostí [km/h] (zaokrouhlit na celé

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8
Citroen	54,5	54,6	59,3	53,6	56,5	54,8	55,7	54,1
BMW	51,9	51,1	49,3	51,9	50,2	50,4	51,1	50,9
Caravelle	45,2	50,1	49,6	48,5	50,9	49,9	45,4	51,2
Phaeton	47,2	47,9	51,1	53,1	51,2	53,2	52,1	53,6

Z Tab č. 3 je vidět, že nejvyšší vjezdové rychlosti byly dosaženo s vozidlem Citroen, které řidič dobře znal. U všech vozidel se průměrné hodnoty rychlostí shodují s naší požadovanou s menšími odchylkami. Tyto hodnoty rychlostí jsou pouze orientační pro srovnatelnost dalších hodnot, proto nebudou vstupovat do analýzy a jejich rozdíl bude brán v potaz později a pouze okrajově.

7.3 ZATÍŽENÍ PŘI MANÉVRU

Vliv neupevněného nákladu byl zjišťován zpracováním hodnot ze zařízení XL METER. Nejprve byla získána křivka závislosti příčného zrychlení na čase (Obr. č. 21), na které je vidět ve kterých jejích částech měl náklad vliv.



Obr. č. 21 - Znárodnění analyzovaných hodnot axiálního zrychlení

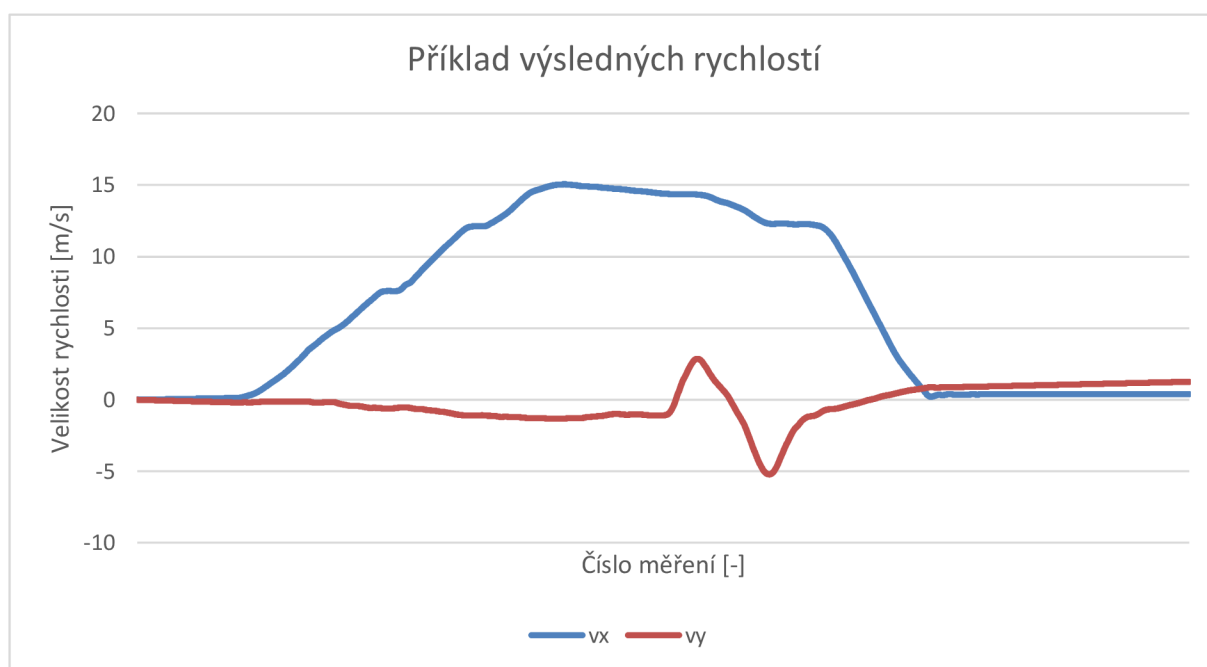
K porovnání veškerých měření, bylo nutné závislost příčného zrychlení na čase převést na závislost na dráze. Nejprve byly z programu XL Vision exportovány veškeré hodnoty příčného a podélného zrychlení všech měření pro jedno vozidlo do programu Windows Excel. Následně byla spočítána rychlost pro každou hodnotu v daném okamžiku pro každé měření s tím, že záznam zrychlení byl zaznamenávám frekvencí 200 Hz, tedy měření probíhalo každých 0,005 s.

Příklad výpočtu:

$$v = v_0 + a * t = v_0 + a * 0,005$$

Kde v_0 je rychlost před měřeným okamžikem, a zrychlení (příčné nebo podélné).

Příklad výsledných hodnot rychlostí je na **Grafu č. 6**:



Graf č. 6: Příklad výsledných rychlostí

V ideálním případě by rychlosti v_x a v_y začínali a končili na vodorovné ose 0. Aby tohoto bylo dosaženo, byl zvolený offset, který se uplatnil pro všechna měření jednoho vozidla tak, abychom se přiblížili ideální situaci. Například pro vozidlo Škoda byl zvolen offset:

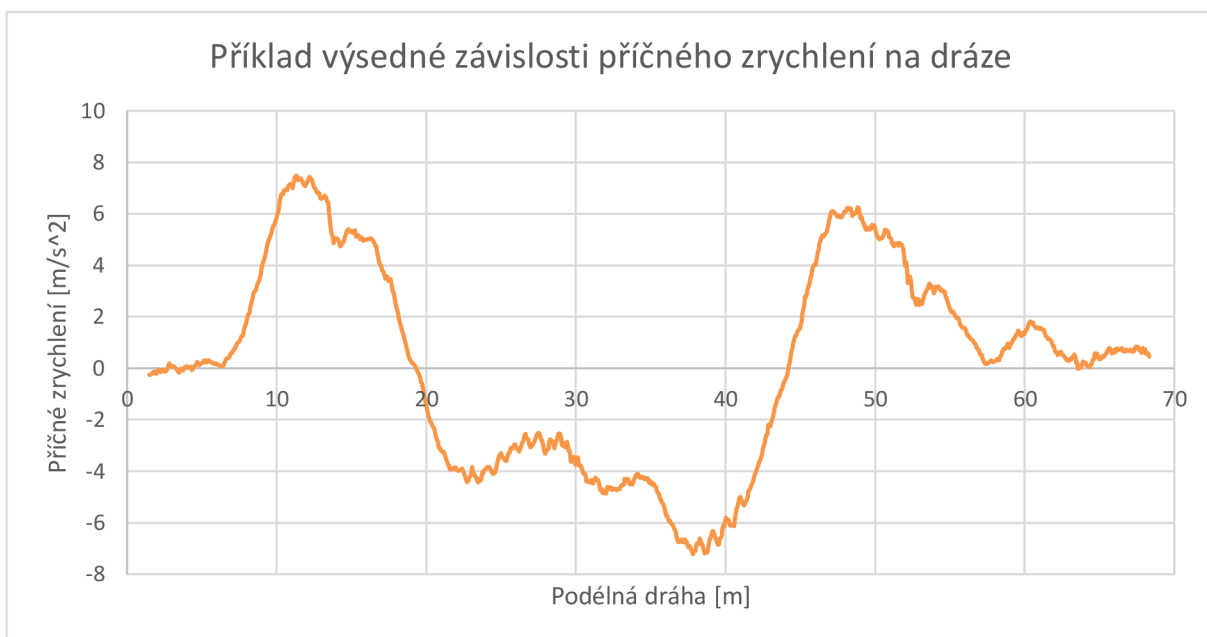
$$a_{offx} = 0,00$$

$$a_{offy} = 0,06$$

Dráha vozidla v ose x byla spočítána následovně:

$$s_x = s_{x0} + v_x * 0,005 + 0,5 * 0,005^2 * (a_x + a_{offx})$$

Zájemovou částí grafu pro nás byla oblast, kde působí příčné zrychlení. **Graf č. 7** zobrazuje příklad závislosti tohoto zrychlení na přepočítané dráze.



Graf č. 7: Příklad výsledné závislosti příčného zrychlení na dráze

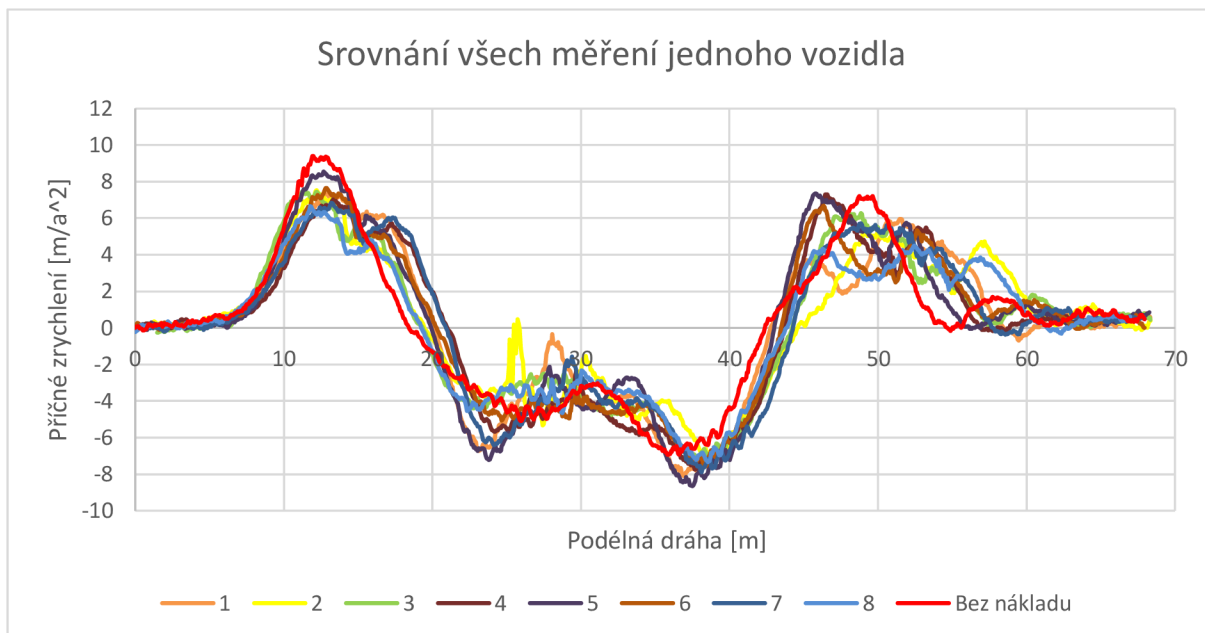
Takto bylo možno vykreslit všechna měření jednoho vozidla. Z těchto grafů byla hodnocena část vlivu neupevněného nákladu. Jednalo se o velikost působícího zrychlení (působení), které vyvolal neupevněný náklad a o ovlivnění nákladem, definované jako dráha, na které došlo k vyrovnání vzniklého působení. Toto je zobrazeno na Obr. č. 22:



Obr. č. 22: Vysvětlení zjišťovaných parametrů

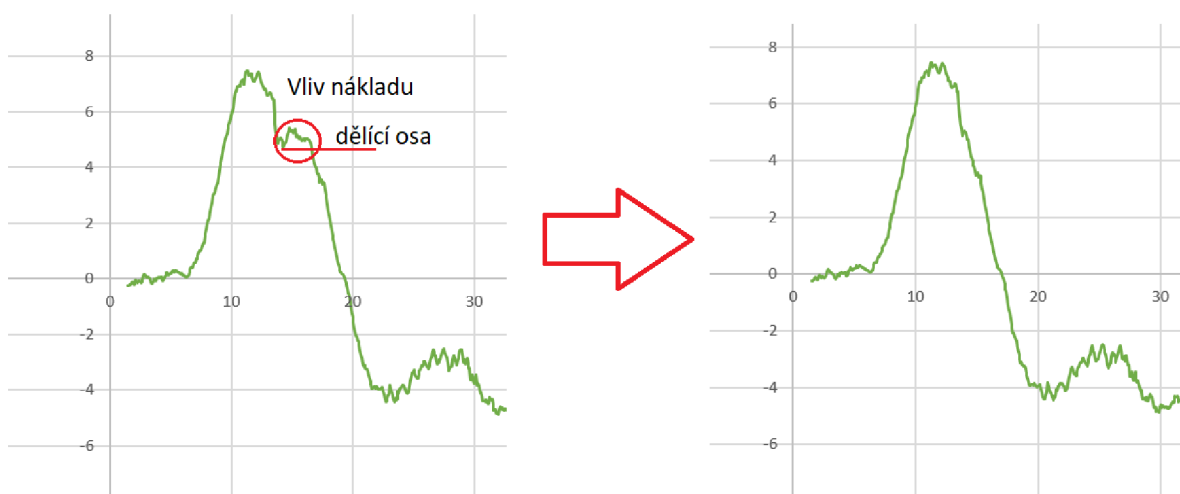
Veškeré vlivy nákladu jsou řešeny pouze v 1. a 3. skoku, jelikož ve 2. skoku ve všech měřeních vznikají velké odchylky způsobené pravděpodobně stabilizačními systémy, případně vlivem samotného řidiče druhotným zatáčením.

Dále byly všechny závislosti příčného zrychlení na dráze pro jedno vozidlo vloženy do jednoho grafu a zarovnány tak, aby nárůst příčného zrychlení všech jízd na počátku skoku 1 byl totožný. Tím byla zaručen soulad a porovnatelnost všech grafů pro vozidlo.



Graf č. 7: Srovnání všech měření vozidla

Při porovnání grafů jízdy s neupevněným nákladem a bez něho byly nalezeny úseky, které byly důsledkem vlivu nákladu. Pro zjištění změny dráhy, jakožto vychýlení vozidla v y-ové ose, vlivem neupevněného nákladu byl pro každé měření z 1. a 3. skoku odstraněn úsek vlivu nákladu od počátku jeho působení až po hodnotu zrychlení shodnou s jeho počátkem (hodnoty ležící na jedné vodorovné ose). Tento postup je graficky znázorněn na Obr. č. 23.



Obr. č. 23: Grafické znázornění úpravy dat

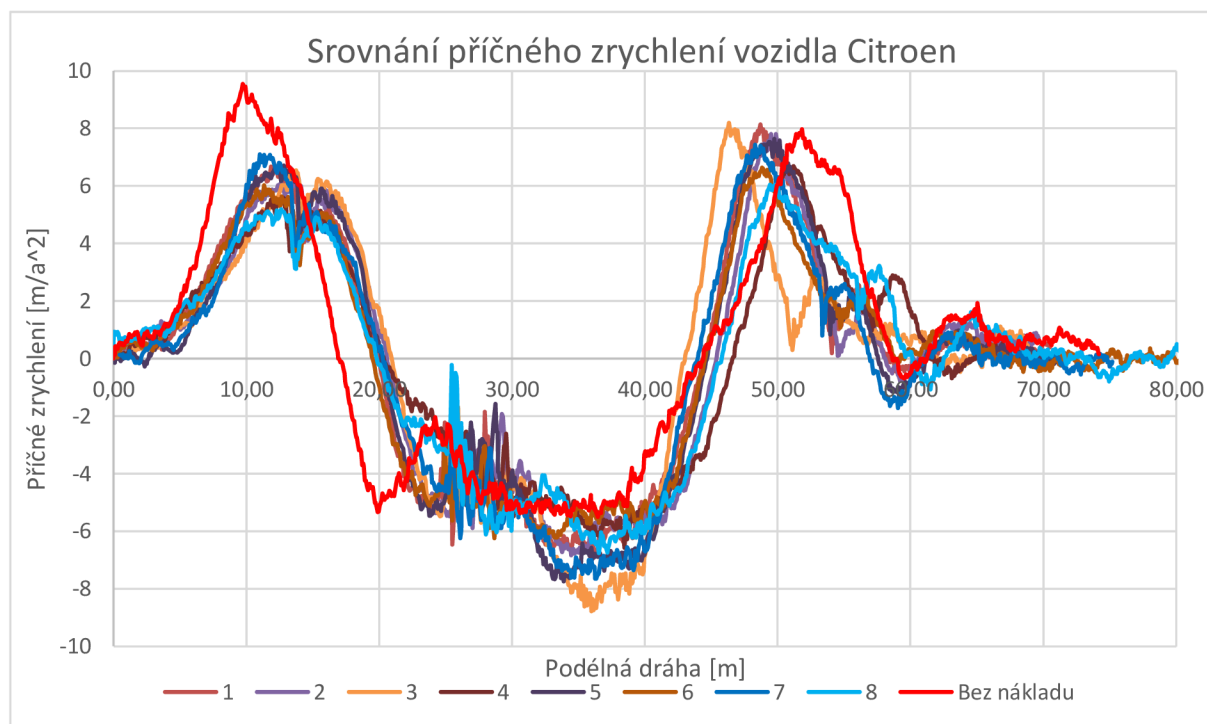
Následně byly spočítány hodnoty dráhy y pro graf s vlivem a pro upravený graf bez vlivu a poté od sebe byly odečteny hodnoty, které odpovídaly dráze uražené na konci vlivu nákladu. Tedy byla odečítána dráha stejného řádku pro hodnoty dráhy y s/bez vlivu neupraveného nákladu.

5,81	4,64	5,25	5,78	5,55	4,94	4,98	4,34	-0,2655	-0,0983	-0,4228	-0,7427	-0,965	-0,8602	-1,5272	-1,8393
5,96	4,66	5,28	5,50	5,51	5,01	4,80	4,13	-0,2558	-0,0975	-0,4133	-0,7359	-0,9571	-0,8632	-1,5242	-1,8305
5,98	4,48	5,17	5,24	5,51	5,18	4,83	4,20	-0,2955	-0,0766	-0,4037	-0,729	-0,9491	-0,8761	-1,5209	-1,8264
6,20	4,45	5,12	4,98	5,65	5,21	4,77	4,31	-0,2952	-0,0856	-0,394	-0,7219	-0,941	-0,8689	-1,5176	-1,8226
6,22	4,50	5,13	4,81	5,64	5,14	4,57	4,20	-0,2249	-0,0544	-0,3842	-0,7148	-0,9247	-0,8616	-1,5142	-1,8193
5,97	4,33	5,17	4,80	5,68	5,06	4,74	4,34	-0,2143	-0,0432	-0,3742	-0,7075	-0,9247	-0,8641	-1,5106	-1,8163
6,18	4,22	5,11	4,83	6,13	5,14	4,79	4,58	-0,2038	-0,0318	-0,364	-0,7	-0,9157	-0,8465	-1,5069	-1,8129
6,37	4,19	5,02	4,82	6,12	5,68	4,89	4,38	-0,1928	-0,0204	-0,3538	-0,6925	-0,9069	-0,8388	-1,5031	-1,8095
6,04	4,28	5,09	4,92	6,00	5,69	5,16	4,59	-0,1818	-0,0088	-0,3434	-0,6848	-0,8981	-0,8309	-1,4992	-1,8060
5,08	4,31	5,02	5,09	5,96	5,21	5,26	4,86	-0,1708	0,00285	-0,3329	-0,6771	-0,889	-0,8223	-1,4951	-1,8025
6,18	4,34	4,95	5,09	6,05	5,24	5,22	4,59	-0,1593	0,01462	-0,3223	-0,6692	-0,8799	-0,8149	-1,4909	-1,7991
6,10	4,39	5,01	5,13	5,92	5,17	5,26	4,47	-0,1562	0,02651	-0,3116	-0,6611	-0,8705	-0,8066	-1,4866	-1,8066
6,15	4,31	5,02	5,26	5,84	5,10	5,36	4,80	-0,1345	0,0506	-0,2897	-0,6447	-0,8514	-0,7898	-1,4822	-1,8116
6,13	4,31	4,98	5,20	5,91	5,04	5,47	4,63	-0,1128	0,08281	-0,2786	-0,6362	-0,8417	-0,7811	-1,4779	-1,8112
5,98	4,27	5,02	5,26	5,79	5,00	5,42	4,35	-0,1005	0,07513	-0,2673	-0,6277	-0,8318	-0,7724	-1,4681	-1,8059
6,00	4,31	5,04	5,34	5,75	5,04	5,44	4,60	-0,0883	0,08755	-0,2559	-0,619	-0,8217	-0,7635	-1,4681	-1,8004
6,13	4,36	5,04	5,18	5,62	5,02	5,43	4,44	-0,0759	0,10068	-0,2444	-0,6102	-0,8115	-0,7545	-1,458	-1,8048
5,97	4,41	5,05	5,30	5,48	4,62	5,41	4,15	-0,0634	0,11273	-0,2328	-0,6012	-0,8012	-0,7454	-1,4527	-1,8048
6,03	4,28	5,01	5,25	5,48	4,89	5,48	4,18	-0,0507	0,12548	-0,221	-0,5922	-0,7907	-0,7362	-1,4473	-1,8048
5,07	4,25	4,95	5,19	5,35	4,96	5,53	4,07	-0,0379	0,13833	-0,2092	-0,5829	-0,7801	-0,7268	-1,4418	-1,8074
6,13	4,28	4,76	5,23	5,28	4,81	5,59	3,88	-0,0249	0,1513	-0,1972	-0,5736	-0,7693	-0,7173	-1,4361	-1,8074
6,18	4,14	4,75	5,25	5,02	5,55	5,39	3,76	-0,0118	0,16437	-0,1851	-0,5641	-0,7584	-0,7077	-1,4303	-1,8053
6,15	4,00	4,47	5,20	5,29	5,10	5,59	3,76	0,00153	0,17754	-0,1728	-0,5545	-0,7474	-0,698	-1,4244	-1,8053
6,06	3,88	4,23	5,33	5,17	5,00	5,75	3,86	0,01497	0,19082	-0,1605	-0,5448	-0,7363	-0,6881	-1,4183	-1,8028
5,93	3,66	4,04	5,31	5,08	4,56	5,84	3,74	0,04331	0,21766	-0,1354	-0,5249	-0,7156	-0,668	-1,4057	-1,8
5,88	3,56	4,00	5,45	5,00	4,51	5,98	3,82	0,0563	0,23133	-0,1227	-0,5148	-0,7031	-0,6577	-1,3992	-1,804
5,84	3,61	3,80	5,37	5,05	4,78	6,06	3,71	0,07023	0,24469	-0,11	-0,5045	-0,6904	-0,6474	-1,3934	-1,8067
5,81	3,51	3,77	5,97	5,02	4,67	5,95	3,63	0,08444	0,25863	-0,0971	-0,4941	-0,6787	-0,6369	-1,3857	-1,8
5,66	3,39	3,64	5,70	4,82	4,44	5,90	3,63	0,09873	0,27246	-0,0841	-0,4839	-0,6668	-0,6263	-1,3787	-1,811
5,55	3,37	3,47	5,73	4,61	4,33	6,00	3,36	0,11323	0,28639	-0,0711	-0,4729	-0,6547	-0,6156	-1,3716	-1,8062
5,48	3,33	3,54	5,56	4,58	4,30	6,03	3,36	0,12787	0,30039	-0,0579	-0,4621	-0,6426	-0,6047	-1,3643	-1,8091
5,29	3,27	3,57	5,51	4,48	4,13	5,98	3,25	0,14263	0,31448	-0,0447	-0,4511	-0,6303	-0,5938	-1,3569	-1,8152
5,15	3,23	3,40	5,49	4,26	4,21	6,00	3,07	0,15752	0,32865	-0,0314	-0,44	-0,6179	-0,5828	-1,3494	-1,8148
5,08	3,16	3,46	5,39	4,06	4,06	5,83	2,92	0,17254	0,3429	-0,018	-0,4287	-0,6055	-0,5715	-1,3417	-1,8075
4,96	3,08	3,45	5,31	3,92	3,69	5,71	2,81	0,18769	0,35774	-0,0045	-0,4174	-0,5939	-0,5604	-1,3338	-1,8002
4,84	2,98	3,20	5,33	3,75	4,02	5,64	2,60	0,20298	0,37165	0,0091	-0,4058	-0,5802	-0,549	-1,3258	-1,8027
4,75	2,87	3,01	5,03	3,57	4,01	5,66	2,45	0,21838	0,38613	0,02277	-0,3942	-0,5674	-0,5376	-1,3177	-1,8152
4,68	2,59	2,91	5,08	3,44	3,53	5,48	2,30	0,23388	0,40069	0,03651	-0,3824	-0,5545	-0,526	-1,3094	-1,8077
5,84	4,33	3,77	6,38	5,56	5,29	5,95	3,50	-0,3038	-0,1403	-0,4507	-0,7682	-0,9951	-0,9167	-1,5889	-1,8487
5,15	4,31	3,64	6,33	5,60	4,96	5,49	3,36	-0,2845	-0,1301	-0,4509	-0,7621	-0,9878	-0,9103	-1,5857	-1,8454
5,08	4,31	3,67	6,37	5,08	5,32	5,25	3,25	-0,285	-0,1197	-0,442	-0,7588	-0,9803	-0,9037	-1,583	-1,8421
4,96	4,27	3,54	6,22	5,08	4,44	5,20	3,07	-0,2733	-0,1092	-0,4331	-0,7493	-0,9727	-0,8977	-1,5802	-1,8386
4,84	4,31	3,57	5,78	5,00	4,83	4,98	2,92	-0,2655	-0,0986	-0,4241	-0,7427	-0,965	-0,8902	-1,5772	-1,835
4,75	4,36	3,40	5,50	5,05	4,30	4,80	2,81	-0,2556	-0,0879	-0,4149	-0,7359	-0,9572	-0,8832	-1,5242	-1,8314
4,68	4,41	3,46	5,24	4,83	4,83	4,63	2,60	-0,2456	-0,0771	-0,4057	-0,7259	-0,9492	-0,8762	-1,5209	-1,8277
4,62	4,28	3,45	4,98	4,82	4,21	4,77	2,45	-0,2355	-0,0661	-0,3964	-0,7219	-0,9411	-0,8669	-1,5176	-1,824
4,51	4,25	3,20	4,81	4,61	4,06	4,42	2,30	-0,2253	-0,0551	-0,387	-0,7148	-0,9329	-0,8618	-1,5142	-1,8201
4,46	4,28	3,01	4,80	4,58	3,99	4,32	2,17	-0,2149	-0,044	-0,3776	-0,7075	-0,9245	-0,8544	-1,5105	-1,8163
4,35	4,16	2,81	4,83	4,48	4,00	4,38	2,04	-0,2044	-0,0327	-0,3668	-0,7	-0,9161	-0,847	-1,5069	-1,8133
4,06	4,14	2,67	4,69	4,26	4,01	5,34	1,86	-0,1959	-0,0214	-0,3584	-0,6925	-0,9075	-0,8394	-1,5031	-1,8083
3,96	4,00	2,43	4,66	4,06	3,93	3,79	1,74	-0,1872	-0,0099	-0,3487	-0,6849	-0,8988	-0,8317	-1,4992	-1,8043
3,70	3,88	2,29	4,63	3,92	3,95	3,60	1,63	-0,1774	0,00165	-0,3359	-0,6771	-0,89	-0,8224	-1,4953	-1,8002
3,52	3,84	2,12	4,62	3,73	3,90	3,43	1,49	-0,1615	0,01331	-0,3292	-0,6692	-0,8812	-0,8161	-1,4912	-1,8061
3,36	3,66	1,89	4,56	3,57	3,87	3,27	1,37	-0,1505	0,02506	-0,3193	-0,6612	-0,8722	-0,8082	-1,487	-1,82919
3,19	3,56	1,74	4,58	3,44	3,80	3,12	1,23	-0,1395	0,03691	-0,3094	-0,6531	-0,8631	-0,8001	-1,4828	-1,8287
2,90	3,61	1,57	4,51	3,31	3,63	2,98	1,00	-0,1283	0,04885	-0,2994	-0,6448	-0,854	-0,792	-1,4785	-1,82835
2,87	3,51	1,43	4,41	3,18	3,44	2,81	1,00	-0,1171	0,06088	-0,2894	-0,6365	-0,8447	-0,7837	-1,4741	-1,8292
2,69	3,39	1,30	4,19	3,07	3,27	2,66	0,85	-0,1058	0,07259	-0,2794	-0,6298	-0,8354	-0,7754	-1,4696	-1,82749
2,21	3,37	1,12	4,01	2,97	3,21	2,34	0,80	-0,0945	0,0852	-0,2683	-0,6194	-0,826	-0,767	-1,4651	-1,82706
2,33	3,33	0,98	3,94	2,87	3,01	2,40	0,74	-0,0831	0,09749	-0,2592	-0,6108	-0,8165	-0,7585	-1,4604	-1,82663
2,18	3,27	0,79	3,79	2,79	2,82	2,28	0,74	-0,0716	0,10986	-0,2491	-0,602	-0,807	-0,7499	-1,4558	-1,82619
1,96	3,23	0,63	3,54	2,74	2,66	2,10	0,67	-0,06	0,12231	-0,2389	-0,5931	-0,7974	-0,7413	-1,4511	-1,82576
1,83	3,16	0,50	3,40	2,67	2,57	2,10	0,48	-0,0485	0,13485	-0,2287	-0,5842	-0,7877	-0,7326	-1,4463	-1,82532
1,65	3,08	0,40	3,25	2,61	2,48	1,85	0,41	-0,0368	0,14746	-0,2186	-0,5751	-0,7779	-0,7238	-1,4414	-1,82468
1,52	2,96	0,30	3,09	2,57	2,29	1,83	0,31	-0,0251	0,16016	-0,2084	-0,566	-0,7681	-0,715	-1,4366	-1,82444
1,33	2,87	0,24	2,88	2,49	2,20	1,63	0,26	-0,0134	0,17293	-0,1982	-0,5568	-0,7582	-0,7061	-1,4316	-1,82395
1,20	2,59	0,20	2,88	2,43	2,09	1,50	0,01	-0,0017	0,18577	-0,1879	-0,5475	-0,7483	-0,6971	-1,4267	-1,8235
1,17	2,60	0,17	2,63	2,26	1,95	1,35	-0,11	0,01012	0,19868	-0,1777	-0,5381	-0,7382	-0,6881	-1,4216	-1,82311
1,06	1,34	0,12	2,51	2,10	1,81	1,26	-0,22	0,02193	0,21165	-0,1675	-0,5287	-0,7282	-0,6791	-1,4165	-1,8226
0,94	2,16	0,06	2,41	2,00	1,72	1,00	-0,24	0,03378	0,22469	-0,1573	-0,5182	-0,718	-0,6699	-1,4115	-1,8222
0,96	1,96	-0,06	2,27	1,83	1,62	0,81	-0,42	0,04564	0,23778	-0,1471	-0,5097	-0,7079	-0,6608	-1,4064	-1,82178
0,85	1,59	-0,23	2,17	1,55	1,50	0,55	-0,61	0,05754	0,25093	-0,1368	-0,5001	-0,6976	-0,6516	-1,4013	-1,82134
0,60	1,50	-0,34	2,13	1,49	1,40	0,39	-0,79	0,06945	0,26412	-0,1266	-0,4904	-0,6874	-0,6424	-1,3961	-1,8209
0,50	1,39	-0,54	2,01	1,28	1,34	0,28	-0,88	0,08333	0,29063	-0,1062	-0,4709	-0,6667	-0,62		

Pro znázornění výpočtu, pokud z **Obr.č. 24** z horní poloviny, která náleží hodnotám grafu s vlivem neupevněného nákladu, vezmeme z levé tabulky hodnotu zrychlení $5,15 \text{ m/s}^2$ tak pro tuto hodnotu platí v daném okamžiku dráha $s_y=0,15752 \text{ m}$ z pravé části. Následně byla odstraněna červená oblast v tabulce, zobrazující působení nákladu. Tím vznikla tabulka na spodní části **Obr. č. 24** a pro stejný okamžik (řádek) byla vypočtena ze zrychlení $a=0,15 \text{ m/s}^2$ dráhy $s_y=0,11727 \text{ m}$. Nakonec byly tyto hodnoty drah od sebe odečteny a výsledná dráha odpovídala vychýlení vozidla vlivem neupevněného nákladu, tomto případě $0,15752 - 0,11727=0,04025 \text{ m}$, jakožto nejkritičtější charakteristika vlivu neupevněného nákladu.

7.3.1 Vozidlo Citroen

Pro vozidlo Citroen, po nastavení vhodného offsetu, je srovnání hodnot příčného zrychlení v **Grafu č. 8** a hodnoty Velikosti působení, Ovlivnění a Vychýlení v důsledku vlivu nákladu v **Tab. č.4**:



Graf č.8: Srovnání příčného zrychlení vozidla Citroen

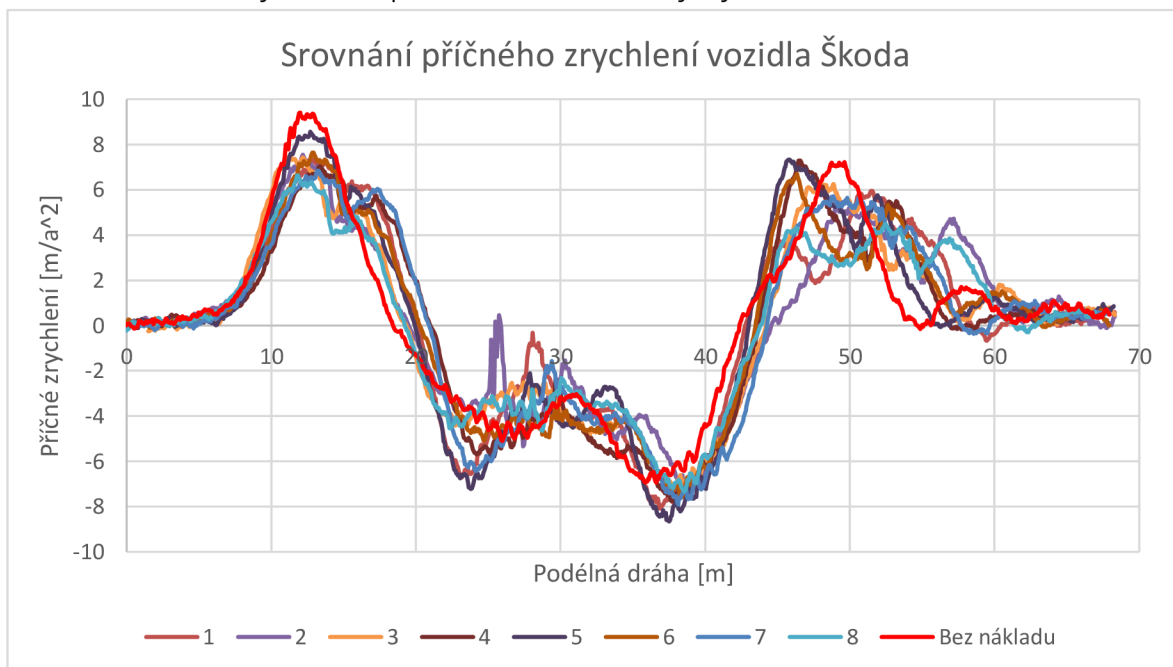
Tab. č. 4: Hodnoty vozidla Citroen

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	Průměry
Vjezdová rychlost [km/h]	55	55	59	54	57	55	56	54	55
Velikost působení [m/s ²]	1,15	1,65	1,61	1,19	1,54	1,79	1,41	1,75	1,510
Vychýlení 1[cm]	6,7	8,8	10,2	10,2	8,3	9,9	5,9	8,0	8,5
Velikost působení [m/s ²]	2,17	1,59	2,08	1,75	1,31	1,08	1,80	1,83	1,700
Vychýlení 2[cm]	9,7	5,3	9,1	7,8	7,8	3,8	9,0	5,9	7,3

Hodnoty měření s nákladem vůči sobě relativně korespondují, jak hodnotami, tak tvarem křivky. Rozdíl je převážně ve třetím skoku na pozici vychýlení nákladem, což může být důsledek nedokonalého offsetu, případně pohybu XL METERu během měření. Křivka pro měření „Bez nákladu“ je posunuta od ostatních křivek již od počátku vlivem rozdílné Vjezdové rychlosti a zároveň, toto měření bylo provedeno jako poslední, tedy řidič již znal tvar manévru a chování vozidla.

7.3.2 Vozidlo Škoda

Pro vozidlo Škoda, po nastavení vhodného offsetu, je srovnání hodnot příčného zrychlení v **Grafu č.9** a hodnoty Velikosti působení, Ovlivnění a Vychýlení v důsledku vlivu nákladu v **Tab. č.5**:



Graf č.9: Srovnání příčného zrychlení vozidla Škoda

Tab. č. 5: Hodnoty vozidla Škoda

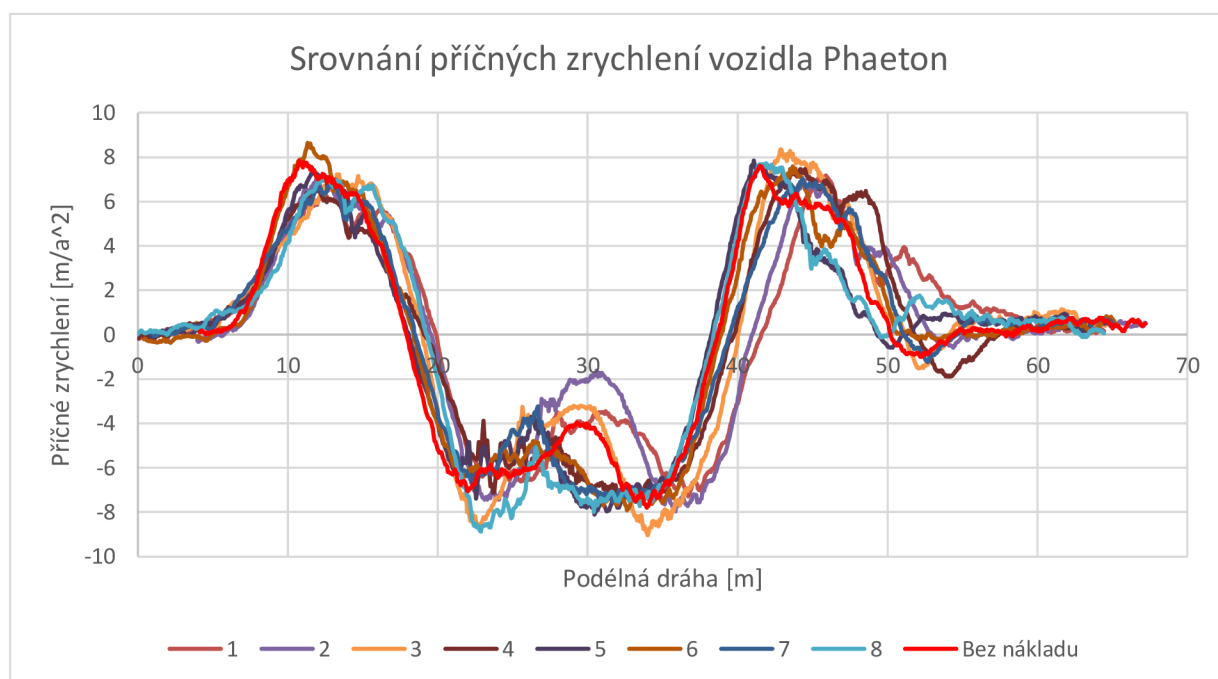
Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	Průměry
Vjezdová rychlost [km/h]	48	50	54	51	50	53	52	52	51
Velikost působení [m/s ²]	0,59	0,10	0,49	0,59	0,41	0,10	1,42	0,53	0,529
Vychýlení 1[cm]	6,0	0	2,3	2,9	1,3	1,6	6,2	6,1	3,3
Velikost působení [m/s ²]	0,50	2,63	0,56	2,30	2,40	2,16	0,93	1,52	1,625
Vychýlení 2[cm]	0,1	18,6	2,5	12,2	7,8	17,1	2,4	13,9	9,4

Ze srovnání všech měření je vidět, že chování všech křivek je téměř shodné. Rozdíly se vyskytují v extrémech příčného měření, které převážně způsobuje rozdíl v řízení. Stejně tak rozdíl zakončení manévru na konci třetího skoku je ovlivněn řízením. To způsobuje i velkou diferenci ve Vychýlení 2.

Proto toto vozidlo byla rychlost vyhodnocena z dat XL METERu.

7.3.3 Vozidlo Phaeton

Pro vozidlo Phaeton, po nastavení vhodného offsetu, je srovnání hodnot příčného zrychlení v **Grafu č.10** a hodnoty Velikosti působení, Ovlivnění a Vychýlení v důsledku vlivu nákladu v **Tab. č.6**:



Graf č. 10: Srovnání příčných zrychlení vozidla Phaeton

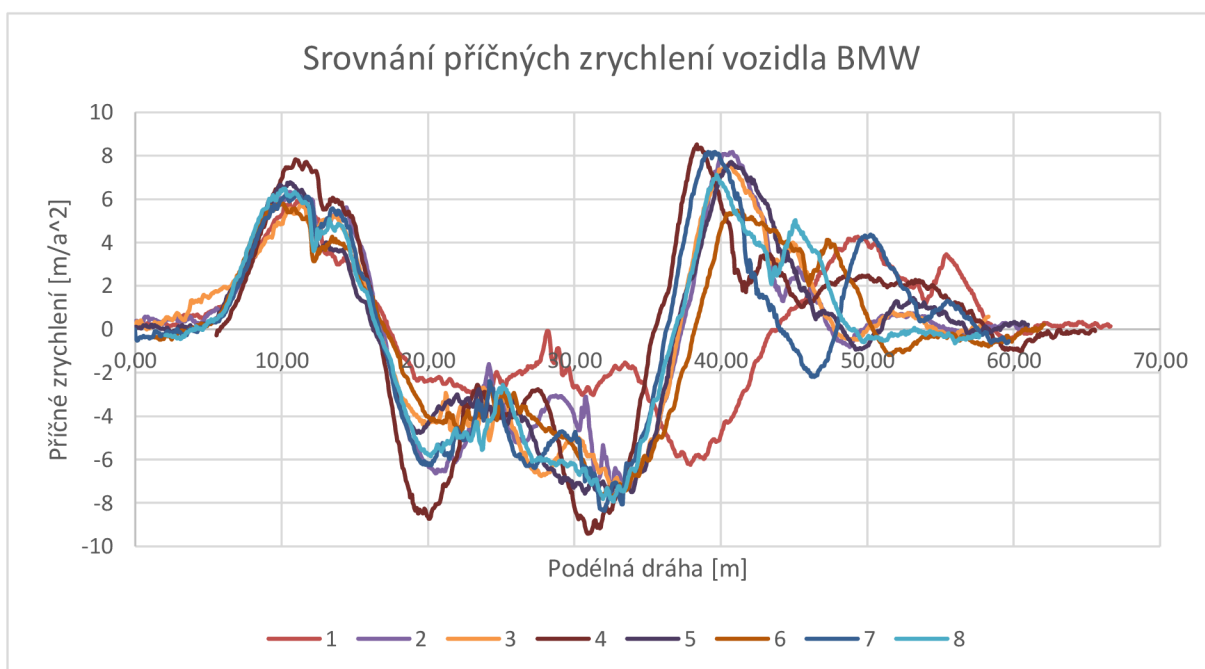
Tab. č. 6: Hodnoty vozidla Phaeton

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	Průměry
Vjezdová rychlost [km/h]	47	48	51	53	51	53	52	54	52
Velikost působení [m/s ²]	0,83	1,03	0,70	0,34	0,88	0,30	0,89	1,25	0,780
Vychýlení 1[cm]	4,8	1,8	7,9	2,2	0,9	2,6	2,3	2,9	3,2
Velikost působení [m/s ²]	1,36	0,66	0,60	1,05	X	0,82	0,85	0,90	0,890
Vychýlení 2[cm]	9,2	4,4	0,5	8,5	0,7	1,8	0,9	1,9	3,5

Pro toto vozidlo došlo k velmi přesnému srovnání průběhu příčného zrychlení i s měřením bez nákladu, i přes fakt, že bylo měřeno až po druhotném připojení měřících přístrojů. Hodnoty Velikosti působení a Ovlivnění jsou ve všech měřeních srovnatelné a zároveň velikosti Vychýlení dosahují ve většině případů nízkých hodnot. U tohoto vozidla byly vjezdové rychlosti nižší kvůli neznalosti a nezkušenosti řidiče.

7.3.4 Vozidlo BMW

Pro vozidlo BMW, po nastavení vhodného offsetu, je srovnání hodnot příčného zrychlení v Grafu č.11 a hodnoty Velikosti působení, Ovlivnění a Rozdílu v důsledku vlivu nákladu v Tab. č. 7:



Graf č. 11: Srovnání příčných zrychlení vozidla BMW

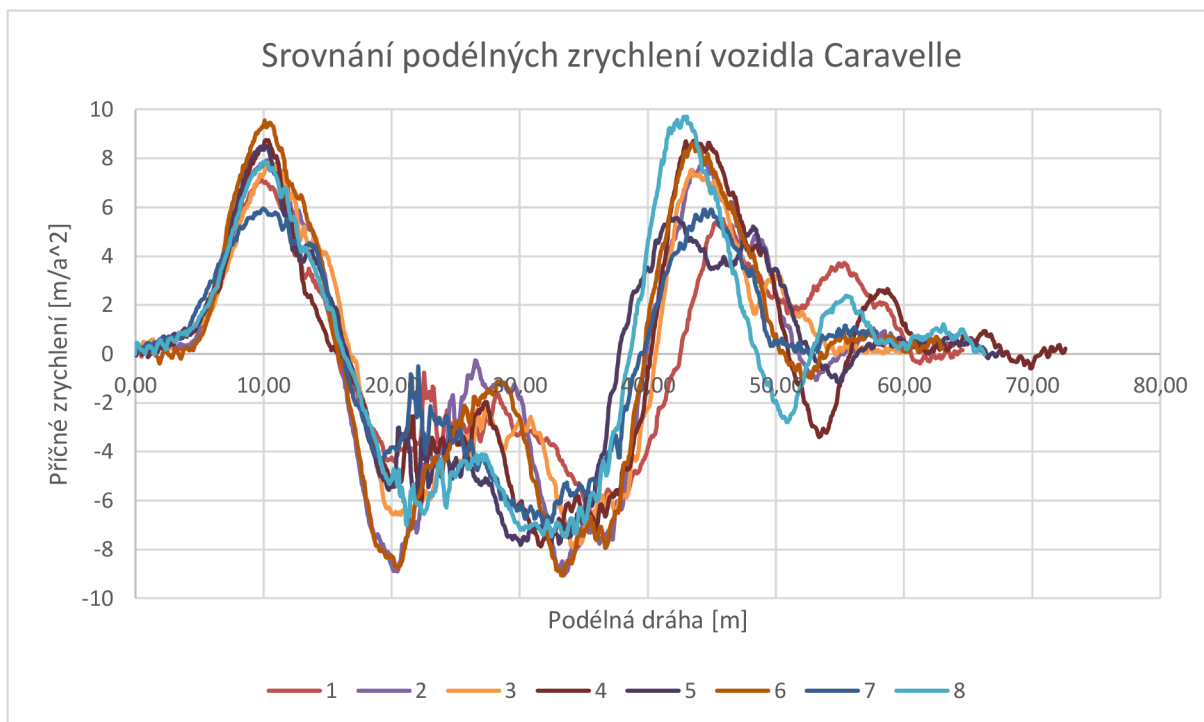
Tab. č. 7: Hodnoty vozidla BMW

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	Průměry
Vjezdová rychlost [km/h]	52	51	49	52	50	50	51	51	51
Velikost působení [m/s ²]	0,17	0,95	0,64	0,54	0,22	1,01	1,16	1,19	0,735
Vychýlení 1[cm]	1,3	5,5	2,7	3,7	1,0	4,9	5,4	5,4	3,7
Velikost působení [m/s ²]	2,20	1,33	0,94	1,75	X	2,06	(6,44)	2,76	1,840
Vychýlení 2[cm]	14,1	5,3	4,3	5,5	0,7	12,3	x	21,9	9,2

Chování křivek vykazuje podobnost, a to i ve skoku 2, kde podle tvaru křivky docházelo ve většině měření ke druhotnému zatáčení, proto zde vznikají 2 extrémy příčného zrychlení. Hodnoty vlivu nákladu ve 3. skoku pro měření č. 7 nebyly brány v potaz, jelikož zde nebylo možné určit, zda vychýlení příčného zrychlení je způsobeno náklonem vozu nebo vlivem nákladu a pro měření 5 zde nebyl vytvořen extrém hodnoty příčného zrychlení, pouze došlo ke změně klesání křivky. Zároveň křivka měření č. 1 má dost odlišný tvar, což je důsledkem pohybu XL METERu během měření, tedy při zjišťování hodnot a určení offsetu byla tato hodnota méně významná. U tohoto vozidla byly Vjezdové rychlosti nižší kvůli neznalosti a nezkušenosti řidiče. Pro vozidlo BMW nebylo provedeno měření bez nákladu.

7.3.5 Vozidlo Caravelle

Pro vozidlo Caravelle, po nastavení vhodného offsetu, je srovnání hodnot příčného zrychlení v **Grafu č.12** a hodnoty Velikosti působení, Ovlivnění a Vychýlení v důsledku vlivu nákladu v **Tab č. 8**:



Graf č 12: Srovnání podélných zrychlení vozidla Caravelle

Tab. č. 8: Hodnoty vozidla Caravelle

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	Průměry
Vjezdová rychlost [km/h]	45	50	50	49	51	50	45	51	49
Velikost působení [m/s ²]	0,00	0,00	0,51	0,00	0,31	0,00	0,17	0,00	0,124
Vychýlení 1[cm]	0,02	0	1,0	0,02	0,34	0	0,34	0,09	0,2
Velikost působení [m/s ²]	1,97	0,23	1,55	0,00	1,61	0,00	0,00	0,00	0,670
Vychýlení 2[cm]	25,1	1,6	3,8	0,9	13,6	0	0	0,02	6,4

Křivky příčného zrychlení mají všechny zpočátku srovnatelný průběh, ovšem během druhého skoku se projevuje vliv sekundárního řízení nebo vliv nějakého stabilizačního systému a následně vzniká rozdílný vývoj zrychlení ve třetím skoku. Jelikož je toto vozidlo rozměrově největší, dochází, i přes nízké Vjezdové rychlosti, k naklápění vozidla, a tedy k velkým extrémům zrychlení v prvním skoku. I přes tento fakt v několika měření nevzniká vůbec žádná hodnota Velikosti působení, ani hodnota Ovlivnění. Hodnoty Vychýlení jsou pro toto vozidlo extrémně malé, jelikož vliv nákladu pouze ovlivnil klesavou tendenci příčného zrychlení. Pro vozidlo Caravelle nebylo provedeno měření bez nákladu.

7.4 VÝSLEDNÝ VLIV NEUPEVNĚNÉHO NÁKLADU

Pro celkové porovnání vlivu nákladu na stabilitu vozidla byla vytvořena **Tab. č. 9** se všemi zjištěnými hodnotami.

Tab. č. 9: Výsledná analýza

	Citroen	Škoda	Phaeton	BMW	Caravelle
Poměr hmotností [%]	6,9	6,3	4,0	4,8	4,0
Poměr příčné polohy těžiště [%]	0,98	0,85	0,51	0,58	1,16
Poměr podélné polohy těžiště [%]	4,17	4,64	3,06	2,80	2,59
Průměrná vjezdová rychlost [km/h]	55	51	51	51	49
Průměrná velikost působení 1[m/a ²]	1,510	0,529	0,780	0,735	0,124
Průměrná velikost působení 2[m/a ²]	1,700	1,625	0,890	1,840	0,670
Průměrné vychýlení 1 [cm]	8,5	3,3	3,2	3,7	0,2
Průměrné vychýlení 2 [cm]	7,3	9,3	3,5	9,2	6,4

Poměr hmotností je procentuální hodnota hmotnosti nákladu vzhledem k hmotnosti vozidla bez nákladu.

Hodnota poměru příčné polohy těžiště odpovídají poměru rozchodu předních kol daného vozidla a průměrné změně příčné polohy vozidla při nákladu v poloze L a P. Hodnota poměru podélné polohy těžiště odpovídá poměru rozvoru kol a změny podélné polohy těžiště vozidla s nákladem a bez nákladu. U těchto hodnot platí, čím vyšší hodnota, tím se předpokládá vyšší vliv nákladu na stabilitu vozidla.

Stejná závislost se očekává od vjezdové rychlosti, kde s rostoucí rychlostí roste příčné zrychlení, které přímo ovlivňuje velikost vlivu nákladu na vozidlo.

Srovnáním hodnot vlivu neupevněného nákladu z **Tab. č. 9** můžeme výše zmíněná tvrzení potvrdit. Při porovnání hodnot vozidel Citroen a Škoda jsou již patrné rozdíly hodnot, a to v důsledku rozdílu Poměru hmotností, i když minimálního. U vozidla Škoda byla rychlost stanovena z hodnot z XL METERu u průměrné hodnotě 52 km/h a při srovnání s vozidlem Citroen vzniká trojnásobná hodnota Průměrné velikosti působení v prvním skoku a mírně vyšší hodnota ve třetím skoku. Zároveň s tím je samotné vychýlení vozidla téměř trojnásobné (3,3 cm pro vozidlo Škoda, 8,5 cm pro vozidlo Citroen). Tedy zde se potvrzuje, že vliv na stabilitu vozidla vlivem neupevněného nákladu je převážně závislý na Poměru hmotností vozidlo/náklad. To koresponduje s porovnáním

hodnot Poměru hmotností vozidla Citroen a Caravelle, kde u vozidla Caravelle vzniká nejmenší vychýlení vozidla pro první skok.

Poměr hmotností u vozidel Phaeton a Caravelle je shodný, ale liší se zde hodnoty Poměrného ovlivnění a vychýlení. To může být způsobeno rozdílem Poměrné podélné a příčné polohy těžiště. Lze tedy říci, že vliv neupevněného nákladu se také odvíjí od hmotnostního rozložení vozidla a je zde větší závislost na Poměrné podélné poloze těžiště než na příčné. Převážně tedy na Velikosti ovlivnění a působení se odvíjí od hodnot Poměrné podélné a příčné polohy těžiště. Vysoká hodnota Průměrného vychýlení 2 u vozidla Caravelle bude způsobena celkovým nakloněním vozu, vlivem typem karoserie, a tedy neupevněný náklad zde není urychlován pouze odstředivou silou, ale také gravitační. Naopak vozidlo Phaeton vzhledem k malému Poměru hmotností a Poměrným polohám těžiště se v prvním i třetím skoku chová shodně, díky čemuž může být bráno za nejstabilnější z vozidel.

U porovnání vozidel Škoda a BMW, která jsou z konstrukčního hlediska typem karoserie kombi, se zjištěné hodnoty významně neliší i přes rozdíl v Poměrné hmotnosti. To je převážně způsobeno sekundárním řízením u vozidla BMW ve druhém skoku, což ovlivnilo následující průběh celé křivky příčného zrychlení. Vznik tohoto průběhu je důsledkem nezkušenosti řidiče s tímto vozidlem. Vzhledem k řízení a poloměru rejdu vozidla BMW došlo během zatočení do druhého skoku k takovému natočení volantu a vozu, které vedlo k potřebě srovnání řízení vozidla do přímého směru a následně bylo znovu otočeno volantem.

Primárně můžeme brát jako hodnotu vlivu neupevněného nákladu samotné vychýlení vozu, jelikož se jedná o jedinou charakteristiku, která se projeví na okolí vozu. Celkové výsledné hodnoty potvrzují, že neupevněný náklad má vliv na vozidlo a jeho velikost je určena několika konstrukčními charakteristikami vozidla, převážně poměrem hmotností vozidla/náklad a poměrem změny podélné polohy těžiště, přičemž u všech těchto charakteristik platí přímá úměra, s rostoucí hodnotou roste velikost vychýlení a působení nákladu. Zároveň zde velkou roli hraje vjezdová rychlost do manévru, jelikož od ní se odvíjí velikost odstředivého zrychlení, kde znovu při rostoucí rychlosti roste odstředivé zrychlení, čímž roste velikost působení a vychýlení. Stejný vliv zde má poloměr zatáčení a samotné změny řízení, způsobené řidičem.

8 ZÁVĚR

Zaměření této diplomové práce bylo vybráno z důvodu komplexnosti problému, na první pohled ovlivnitelného mnoha charakteristikami. Z teoretické části zde mají většinový vliv konstrukční prvky vozidla a síly působící na náklad, konkrétně odstředivá síla, které se odvíjí od rychlosti a směru řízení.

S ohledem na tato fakta byla vytvořena konstrukce, která by simulovala neupevněný náklad a vliv nákladu v příčném směru, tak aby nedocházelo k poškození interiéru vozidla a zároveň byla snadně manipulovatelná. Konstrukce byla sestavena tak, aby působilo jen minimální množství vedlejších sil, které by negativně ovlivňovali výsledky měření.

Prováděný manévr byl měřen na volné letištní ploše a jeho parametry byly nastaveny podle normy pro určování stability vozidel. Jedinými parametry, které nebyly nastaveny podle normy, byla jednak vjezdová rychlost, kdy pro naše potřeby určení vlivu nákladu postačovala rychlost nižší, tak šířka manévru, která se neupravovala podle užitých vozidel, ale byla stanovena shodně pro všechna vozidla, podle rozměrově největšího z nich.

Vážení vozidel bylo prováděno za nárazového bočního větru. S ohledem na karoserii vozidla a velikost okamžitého působení větru mohly být naměřené hmotnosti ovlivněny nejen přitlakem, ale také mohlo docházet k mírnému naklonění a tím se změnilo rozložení hmotnosti, a tedy i poloha těžiště mohla být tímto ovlivněna. Zároveň nebyla všechna vozidla neměla plnou nádrž, což má také vliv na hodnoty měření. V ideálním případě by vážení mělo proběhnout v bezvětrných podmínkách na naprosté rovině a s plnou nádrží vozidla.

Celkové zpracování hodnot pro určení vlivu neupevněného nákladu probíhalo převážně přes tabulky excel. Aby bylo možné tento vliv porovnat pro všechna vozidla, bylo nutné vytvořit z dat grafy závislosti příčného zrychlení na dráze, v nichž se vliv nákladu projevil. Aby toto bylo možné, bylo potřeba v mezikroku upravit hodnoty zrychlení všech měření pro jedno vozidlo tak, aby rychlosti v příčném a podélném směru ideálně začínaly a končily v hodnotě 0. K tomuto se volil offset, který ale ne zcela zarovnal zrychlení všech měření, a tedy výsledný graf mohl být mírně ovlivněn touto nepřesností. Následně byl vliv nákladu kvantifikován na 2 hlavní charakteristiky. Působení, jakožto velikost příčného zrychlení vyvolané nákladem a vychýlení, což je hodnota odpovídající změně dráhy v osa y, která je pozorovatelná z okolí a má tedy v praxi nejvyšší význam z těchto hodnot.

Z porovnání veškerých získaných hodnot lze dojít k závěru, že vozidlo Citroen s poměrem hmotností náklad/vozidlo o hodnotě 6,9 % a Poměrem podélné polohy těžiště 4,17 % se díky hodnotám zrychlení vyvolané nákladem, definovaného jako Působení, o velikosti 1,5 a 1,7 m/s² vychýlilo o maximální hodnoty ze všech zjištěných 8,5 a 7,3 cm a je tedy bráno jako nejméně stabilní vozidlo. Naopak vozidlo Phaeton s poměrem hmotností náklad/vozidlo o hodnotě 4 % a Poměrem podélné polohy těžiště 3,1 % se díky minimálním hodnotám Působení o velikosti 0,8 a 0,9 m/s² vychýlilo o 3,2 a 3,5 cm je nestabilnější s ohledem na chování vozidla při manévru s pohyblivým nákladem. Výsledkem tedy je, že vliv neupevněného nákladu je převážně závislý na velikosti poměru hmotností náklad/vozidlo a na poměru změny polohy těžiště v podélné ose před/po přidání nákladu. Tyto charakteristiky jsou přímo závislé na vlivu neupevněného nákladu, tedy s klesajícími hodnotami klesá vliv neupevněného nákladu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel* / . Vyd. 2. Brno: Prof.Ing.František Vlk,DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2006, 432 s. ISBN 80-239-0024-2.
- [2] SZTWIERTNIA, Česlav. *Stabilita vozidla při jízdě v zatáčce*. Pardubice, 2006. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Doprvní fakulta Jana Pernera. Vedoucí práce doc. Ing. Juraj Slamka, Ph.D
- [3] KARNOPP, Dean. *Vehicle stability*. New York: Marcel Dekker, c2004. Mechanical engineering (Marcel Dekker, Inc.), 171. ISBN 0-8247-5711-4.
- [4] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*. 3. přeprac., rozš., aktualiz. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc, 2006, 464 s. ISBN 80-239-6464-x.
- [5] JAN, Z. – ŽDÁNSKÝ, B., *Automobily 1 Podvozky*, 2. vydání, Brno: Avid s.r.o., 2001
- [6] VÉMOLA A. *Konstrukce motorových vozidel, poklady k přednášce, Vysoké učení technické Brno, Ústav soudního inženýrství, expertní inženýrství v dopravě*, 2021
- [7] GSCHEIDLE, Rolf. a kol. *Příručka pro automechanika*. 3. Germany: Verlag EuropaLehrmittel, 2015. ISBN 978-3-8085-2163-2
- <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1482> (obrázky náprav)
- [8] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/101-teziste-telesa>
- [9] <https://cs.wikipedia.org/wiki/T%C4%9B%C5%BEi%C5%A1t%C4%9B>
- [10] SKOPALÍK, A., *Zjištní polohy těžišť osobních motorových vozidel*. Brno, 2004. 5 s. Referát. VUT, FSI, Katedra ÚSI, [on-line], [cit. 2012-10-02]. Dostupné z: .
- [11] FEDRA, T., *Měření výškové polohy těžiště vozidla*. Brno, VUT-FSI., 2010, 97 s., str. 19 až 24, [on-line], [cit. 2012-10-02]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=29233>.
- [12] KREJCARJaroslav. *Přepravní balení zboží, uložení a zajištění nákladu v dopravních prostředcích a kontejnerech*. Pardubice: Institut Jana Pernera, o. p. s., 2009. ISBN 978-80-86530-56-7.
- [13] SALEM, M.M.M., Mina M. IBRAHIM, M.A. MOURAD a K.A. Abd EL-GWWAD. *Sensitivity analysis of vehicle parameters on dynamic stability and vehicle handling performance*. *International journal of vehicle structures and systems* [online]. Chennai: MechAero Foundation for Technical Research & Education Excellence, 2021, **13**(1), 65-71 [cit. 2023-05-18]. ISSN 0975-3060. Dostupné z: doi:10.4273/ijvss.13.1.13

[14] LU, Hangyu, Gabor STEPAN, Jianwei LU a Denes TAKACS. Dynamics of vehicle stability control subjected to feedback delay. *European journal of mechanics, A, Solids* [online]. Elsevier Masson SAS, 2022, **96**, 104678 [cit. 2023-05-18]. ISSN 0997-7538. Dostupné z: doi:10.1016/j.euromechsol.2022.104678

SEZNAM ZKRATEK

F_p síla pružiny
 k koeficient tuhosti
 y vychýlení pružiny
 d průměr drátu pružiny
 D střední průměr pružiny
 n počet činných závitů
 G modul pružnosti ve smyku
 F_t tlumící síla
 c koeficient tlumení
 v rychlost
 l_p vzdálenost těžiště od přední nápravy
 l_z vzdálenost těžiště od zadní nápravy
 m_z hmotnost na zadní nápravě
 m_p hmotnost na přední nápravě
 l rozvor
 t_1 vzdálenost těžiště od levého předního kola
 t_2 vzdálenost těžiště od levého zadního kola
 m_1 hmotnost na levém předním kole
 m_2 hmotnost na pravém předním kole
 t_p rozchod předních kol
 t_z rozchod zadních kol
 F_G tíhová síla
 m hmotnost
 g gravitační zrychlení
 a_d odstředivé zrychlení
 r poloměr křivosti
 F_t třecí síla

d vzdálenost těžiště od podélné osy vozidla

v_x rychlost v ose x

v_0 počáteční rychlost

a zrychlení

t čas

$a_{\text{off}x}$ offset zrychlení na x-ové ose

$a_{\text{off}y}$ offset zrychlení na y-ové ose

s_x dráha na ose x

s_{x0} počáteční dráha

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Tabulky vážení a výsledné polohy těžiště vozidel

Příloha č. 2: Grafy polohy těžiště vozidel BMW a Phaeton

Příloha č. 3: Grafy polohy těžiště vozidel Škoda a Caravelle

Příloha č. 4: Grafy rychlostí ze zařízení Telemetrie Racelogick pro vozidla Škoda a BMW

Příloha č. 5: Grafy rychlostí ze zařízení Telemetrie Racelogick pro vozidla Caravelle a Phaeton

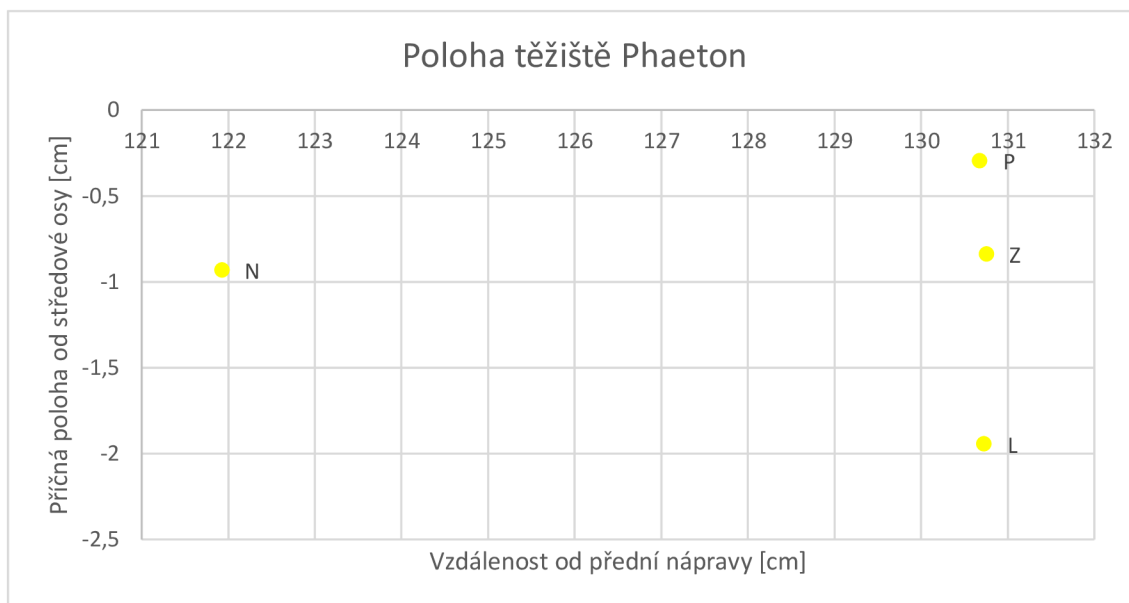
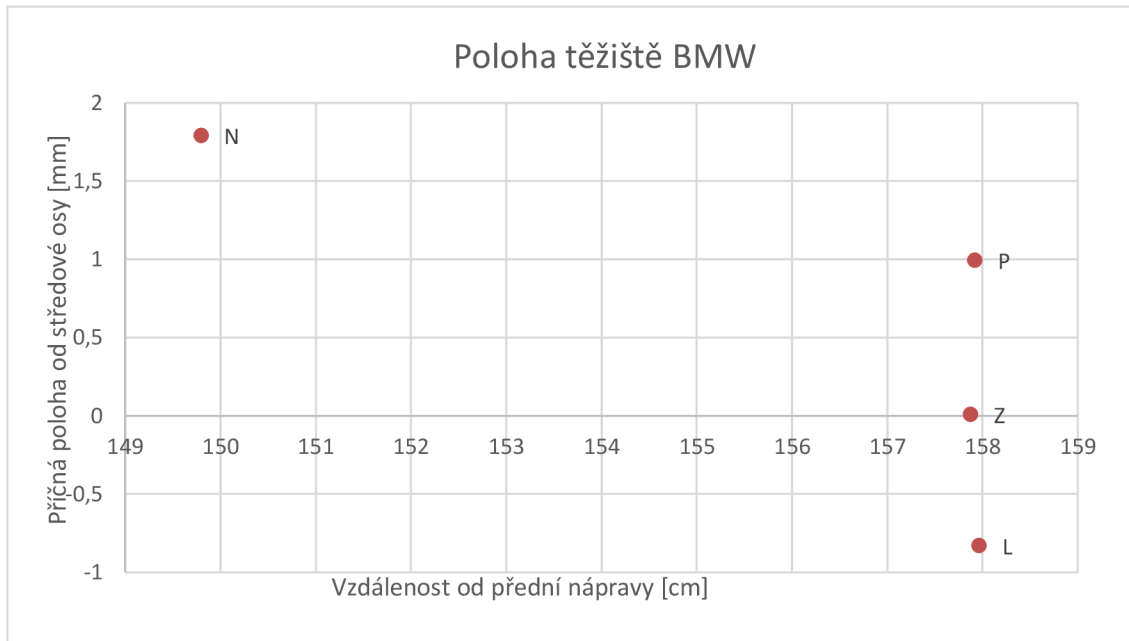
Příloha 1 Tabulky vážení a výsledné polohy těžiště vozidel

	Citroen				BMW			
	N	Z	L	P	N	Z	L	P
m1 [kg]	406	406,5	410	401,5	469	489,5	493	485,5
m2 [kg]	433	434	429,5	437	503	507	503,5	512
m3 [kg]	284,5	337,5	327,5	349	523	584,5	577	595
m4 [kg]	283,5	337,5	347,5	326	526	619	628	611
m [kg]	1407	1515,5	1514,5	1513,5	2021	2200	2201,5	2204
tp [cm]	111,40	122,93	123,01	123,09	149,80	157,88	157,97	157,92
t1 [cm]	74,01	74,05	73,37	74,74	80,62	79,27	78,72	79,972
t4 [cm]	72,73	72,6	70,45	75,07	78,82	76,78	75,70	78,00
d [cm]	1,791	1,702	0,366	3,186	1,790	0,009	-0,830	0,993

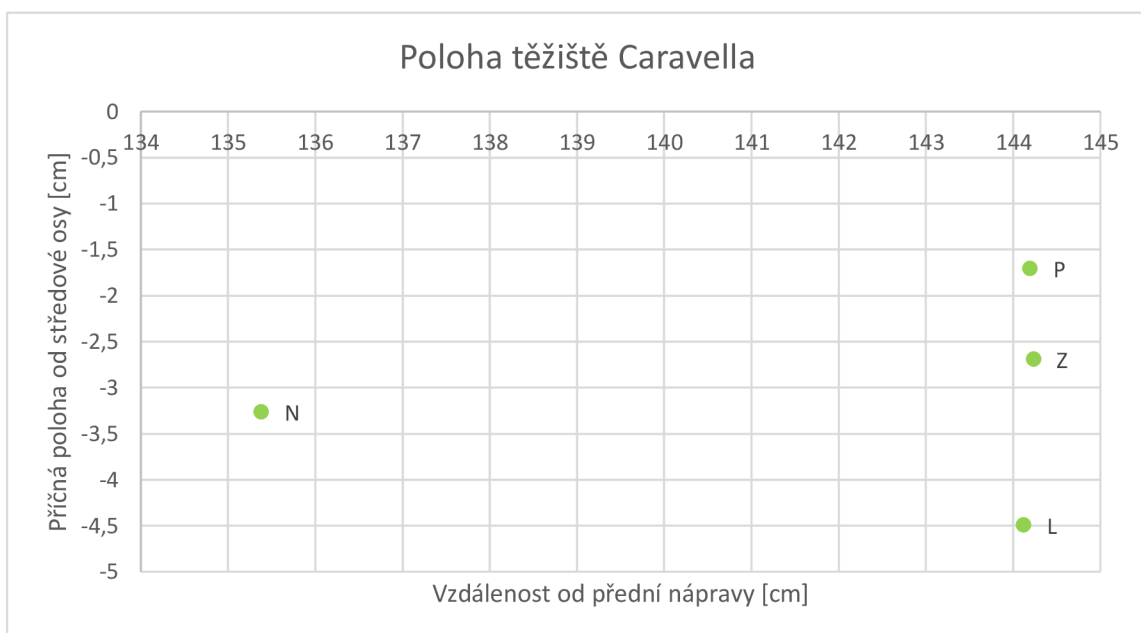
	Škoda				Caravelle			
	N	Z	L	P	N	Z	L	P
m1 [kg]	444,5	436	445	430	773	773	782,5	769,5
m2 [kg]	447	439,5	434,5	448	725,5	772	712	725,5
m3 [kg]	320,5	380	375	389,5	468	522	512	528
m4 [kg]	334,5	396,5	403	389,5	523,5	579	588	573,5
m [kg]	1546,5	1652,5	1657,5	1657	2490	2596	2595	2596,5
tp [cm]	113,76	126,21	126,06	126,28	135,39	144,20	144,12	144,24
t1 [cm]	77,37	77,46	76,23	78,73	79,11	81,65	77,85	79,30
t4 [cm]	75,12	75,12	73,99	76,75	77,41	77,75	76,33	78,61
d [cm]	-0,739	-0,791	-1,973	0,650	-3,267	-1,704	-4,495	-2,694

	Phaeton			
	N	Z	L	P
m1 [kg]	720	708,5	720,5	704
m2 [kg]	724	714,5	703	720,5
m3 [kg]	518,5	580,5	574,5	584
m4 [kg]	541	602	608	598,5
m [kg]	2503,5	2605,5	2606	2607
lp [cm]	121,93	130,75	130,73	130,68
t1 [cm]	81,63	81,74	80,40	82,34
t4 [cm]	78,89	79,13	78,32	79,61
d [cm]	-0,933	-0,841	-1,946	-0,296

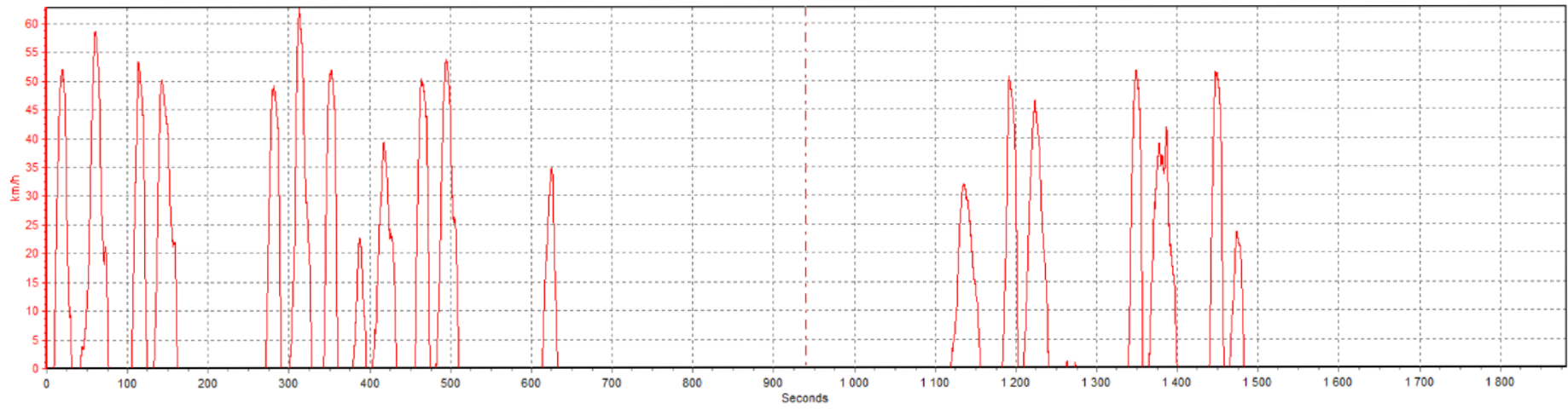
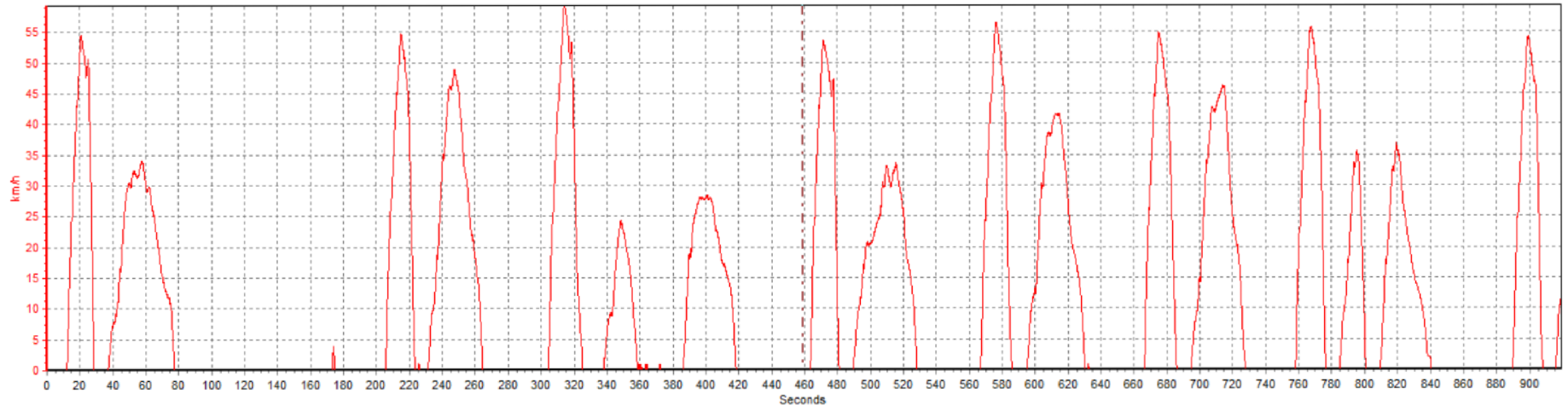
Příloha 2 Grafy polohy těžiště vozidel BMW a Phaeton



Příloha 3 Grafy polohy těžiště vozidel Škoda a Caravelle



Příloha 4 Grafy rychlostí ze zařízení Telemetrie Racelogick pro vozidla Škoda a BMW



Příloha 5 Grafy rychlostí ze zařízení Telemetrie Racelogick pro vozidla Caravelle a Phaeton

