



# 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 RŮZNÉHO ZPŮSOBU NALOŽENÍ JÍZDNÍCH KOL NA JÍZDNÍ STABILITU VOZIDLA

INFLUENCE OF DIFFERENT STYLES OF LOADING BICYCLES ON VEHICLE DRIVING STABILITY

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

**Bc. Radim Janoušek**

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

**Ing. et Ing. Bc. Martin Bilík, Ph.D.**

**BRNO 2025**

# Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Radim Janoušek**  
Studijní program: **Expertní inženýrství v dopravě**  
Studijní obor: **bez specializace**  
Vedoucí práce: **Ing. et Ing. Bc. Martin Bilík, Ph.D.**  
Akademický rok: **2024/25**  
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 různého způsobu naložení jízdních kol na jízdní stabilitu vozidla**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Cílem práce je navrhnout a následně vyhodnotit experimentální měření, při kterých by bylo možné ověřit vliv různě naložených jízdních kol, např. na střeše, na zadním nosiči atd., 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 a způsobů upevnění jízdních kol.
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  
JANÍČEK, 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 2024/25

V Brně, dne

L. S.

---

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

---

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

## **ABSTRAKT**

Cílem této diplomové práce je analyzovat vliv různých způsobů přepravy jízdních kol na jízdní stabilitu vozidla. Analýza je provedena na základě dat získaných z měření polohy těžiště a testu prudké změny jízdního pruhu dle normy ISO 3888-2 (tzv. losí test). Testování bylo realizováno na zkušební ploše s využitím tří vozidel (BMW 530d xDrive, Volkswagen Sharan a Škoda Superb). Každé z vozidel bylo testováno ve třech konfiguracích: bez nosiče, s nosičem na tažné zařízení a s nosičem na střeše. Ze získaných dat byl následně posouzen vliv způsobu přepravy elektrokol na jízdní dynamiku vozidla, přičemž byly zohledněny změny v poloze těžiště a reakce vozidla při vyhýbacím manévru.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Stabilita vozidla; nosič jízdních kol; jízdní manévry; těžiště vozidla; vliv zatížení.

## **ABSTRACT**

The aim of this thesis is to analyse the effect of different bicycle transport methods on the vehicle's driving stability. The analysis is based on data obtained from the centre of gravity position measurement and the ISO 3888-2 abrupt lane change test (moose test). Testing was carried out on a test track using three vehicles (BMW 530d xDrive, Volkswagen Sharan and Skoda Superb). Each of the vehicles was tested in three configurations: without carrier, with carrier on the towbar and with carrier on the roof. From the data obtained, the effect of the method of transporting the e-bikes on the driving dynamics of the vehicle was then assessed, taking into account changes in the centre of gravity position and the vehicle's response during the evasive manoeuvre.

## **KEYWORDS**

Vehicle stability; bicycle carrier; driving manoeuvres; vehicle centre of gravity; load effects.

---

JANOŠEK, Radim. *Vliv různého způsobu naložení jízdních kol na jízdní stabilitu vozidla*. Diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, Odbor znaleství ve strojírenství, analýza dopravních nehod a oceňování motorových vozidel, 2025. Vedoucí práce: Ing. et Ing. Martin Bilík, Ph.D.

# Prohlášení autora o původnosti díla

<b>Jméno a příjmení autora:</b>	Bc. Radim Janoušek
<b>VUT ID autora:</b>	221301
<b>Typ práce:</b>	Diplomová práce
<b>Akademický rok:</b>	2024/25
<b>Téma závěrečné práce:</b>	Vliv různého způsobu naložení jízdních kol na jízdní stabilitu vozidla

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Vliv různého způsobu naložení jízdních kol na jízdní stabilitu vozidla“ jsem vypracoval 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 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.

Brno .....  
.....  
podpis autora\*

---

\*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce, panu Ing. et Ing. Martinu Bilíkovi, Ph.D., za odborné vedení, cenné rady, trpělivost a podnětné návrhy, které významně přispěly k realizaci této práce.

Děkuji také doktorandům za pomoc při realizaci měření, konkrétně Ing. Davidu Jelínkovi za spolupráci při měření polohy těžiště, Ing. Jakubu Woletzovi a Ing. Danielu Mikyskovi za cenné rady a pomoc při měření jízdní dynamiky vozidel.

Dále bych chtěl vyjádřit vděčnost svým spolužákům, kteří mě podporovali a zpříjemnili mi studium. Zejména Bc. Matěji Hasalovi za ochotu, Bc. Markétě Dobešové a Bc. Lukáši Drapelovi za pomoc při měření a seznámení s lokalitou.

Zvláštní poděkování patří mé rodině a blízkým, zejména mámě, tátovi a to největší Ing. Kristýně Honzákové, za trpělivost, podporu a zázemí, díky kterým jsem mohl úspěšně dokončit tuto práci.

# Obsah

Úvod	13
<b>1 Stabilita vozidel</b>	<b>14</b>
1.1 Druhy stability vozidel . . . . .	14
1.1.1 Směrová stabilita . . . . .	14
1.1.2 Podélná stabilita . . . . .	15
1.1.3 Příčná stabilita . . . . .	16
1.1.4 Vertikální stabilita . . . . .	16
1.2 Rozvor náprav a rozchod kol . . . . .	16
1.3 Těžiště . . . . .	17
1.3.1 Poloha těžiště v podélném a příčném směru . . . . .	17
1.3.2 Určení podélné a příčné polohy těžiště . . . . .	19
1.3.3 Výšková poloha těžiště . . . . .	20
1.3.4 Vliv polohy těžiště na brzdné vlastnosti . . . . .	22
1.3.5 Vliv nákladu na stabilitu vozidel . . . . .	24
<b>2 Jízdní odpory</b>	<b>25</b>
2.1 Valivý odpor . . . . .	25
2.2 Aerodynamický odpor . . . . .	26
2.2.1 Dopad aerodynamického odporu na směrovou stabilitu . . . . .	26
2.2.2 Vliv nákladu na střeše na stabilitu vozidel . . . . .	27
2.3 Odpor stoupání . . . . .	27
2.4 Odpor zrychlení . . . . .	27
2.5 Tah od tažného zařízení . . . . .	28
<b>3 Nosiče jízdních kol</b>	<b>29</b>
3.1 Právní rámec pro přepravu jízdních kol . . . . .	29
3.2 Nejčastější druhy nosičů jízdních kol . . . . .	30
3.2.1 Nosič jízdních kol na tažné zařízení . . . . .	30
3.2.2 Střešní nosič jízdních kol . . . . .	31
3.2.3 Nosič jízdních kol na páté dveře . . . . .	32
3.2.4 Nosič jízdních kol pro pickup . . . . .	33
3.2.5 Vertikální a horizontální nosiče jízdních kol . . . . .	33
3.3 Limitní nosnost střechy vozidla . . . . .	34
3.4 Hmotnost jízdních kol a jejich přeprava . . . . .	34
<b>4 Formulace problému</b>	<b>35</b>

<b>5</b>	<b>Příprava a realizace měření</b>	<b>36</b>
5.1	Testovací vozidla . . . . .	36
5.2	Použité příslušenství . . . . .	37
5.3	Měření polohy těžiště . . . . .	38
5.4	Měření jízdního manévru . . . . .	38
5.4.1	Záznamové zařízení ObserVR1000 . . . . .	38
5.4.2	Snímač Dytran 7576A4 . . . . .	40
5.4.3	Test prudké změny jízdního pruhu dle ISO 3888-2 . . . . .	41
<b>6</b>	<b>Výsledky měření</b>	<b>44</b>
6.1	Stanovení polohy těžiště . . . . .	44
6.1.1	Poloha těžiště - BMW 530d xDrive . . . . .	44
6.1.2	Poloha těžiště - Škoda Superb . . . . .	45
6.1.3	Poloha těžiště - Volkswagen Sharan . . . . .	47
6.2	Data získaná z jízdního manévru . . . . .	49
6.2.1	Ukázka datového záznamu z jízdního testu . . . . .	49
6.2.2	Zpracování dat . . . . .	51
6.2.3	Analýza průběhu jízdního manévru . . . . .	53
<b>7</b>	<b>Vyhodnocení dat z jízdního manévru</b>	<b>56</b>
7.1	Ukázkové průběhy jízdního manévru . . . . .	56
7.1.1	Ukázkový průběh Volkswagen Sharan bez přidaného zatížení . . . . .	56
7.1.2	Ukázkový průběh Škoda Superb se střešním nosičem . . . . .	57
7.1.3	Ukázkový průběh BMW 530d s nosičem na tažné zařízení . . . . .	58
7.2	Porovnání průběhů . . . . .	60
7.2.1	Porovnání průběhů BMW 530d bez zatížení a se střešním nosičem . . . . .	60
7.2.2	Porovnání průběhů Volkswagen Sharan bez zatížení a se střešním nosičem . . . . .	61
7.2.3	Porovnání průběhů BMW 530d bez zatížení a s nosičem na tažné zařízení . . . . .	63
7.2.4	Porovnání průběhů Škoda Superb bez zatížení a s nosičem na tažné zařízení . . . . .	64
7.2.5	Porovnání průběhů Volkswagen Sharan s nosičem na tažné zařízení a se střešním nosičem . . . . .	66
	<b>Závěr</b>	<b>68</b>
	<b>Literatura</b>	<b>70</b>

# Seznam obrázků

1.1	Rozvor a rozchod znázorněný graficky . . . . .	17
1.2	Schéma podélného těžiště . . . . .	20
1.3	Schéma měření příčného těžiště . . . . .	21
1.4	Schéma měření výškové polohy těžiště . . . . .	22
1.5	Poměr brzdných sil . . . . .	23
1.6	Schéma změny polohy těžiště . . . . .	24
2.1	Schéma jízdních odporů působící na vozidlo . . . . .	25
3.1	Nosič jízdních kol na tažné zařízení . . . . .	31
3.2	Střešní nosič jízdních kol . . . . .	32
3.3	Nosič jízdních kol na páté dveře . . . . .	32
3.4	Nosič jízdních kol pro pickup . . . . .	33
3.5	Vertikální nosič jízdních kol . . . . .	34
5.1	Použitá jízdní kola . . . . .	37
5.2	Místo měření . . . . .	39
5.3	Záznamové zařízení ObserVR1000 . . . . .	39
5.4	Inerciální snímač Dytran 7576A . . . . .	40
5.5	Průjezd vozidla Volkswagen Sharan jízdním manévrem . . . . .	40
5.6	Orientace snímače ve vozidlech . . . . .	41
5.7	Schéma dráhy manévru dle ISO 3888-2 . . . . .	42
6.1	BMW 530d s nosičem na tažném zařízení . . . . .	45
6.2	Škoda Superb se střešním nosičem . . . . .	46
6.3	Škoda Superb s nosičem na tažném zařízení . . . . .	46
6.4	Volkswagen Sharan bez přidaného zatížení . . . . .	48
6.5	Volkswagen Sharan s nosičem na tažném zařízení . . . . .	48
6.6	Záznam zrychlení a úhlových rychlostí ze zařízení ObserVR1000 . . . . .	50
6.7	Zobrazení polohy na mapovém podkladu v softwaru ObserVIEW . . . . .	50
6.8	Záznam polohy GPS v podobě grafu z ObserVIEW . . . . .	51
6.9	Filtrovaný záznam zrychlení ze zařízení ObserVR1000 . . . . .	52
6.10	Graf průběhu příčného zrychlení a vertikální úhlové rychlosti na podélné dráze . . . . .	53
6.11	Průběh příčného zrychlení, vertikální úhlové rychlosti a trajektorie vozidla během manévru . . . . .	54
7.1	Průběh jízdního manévru Volkswagen Sharan bez přidaného zatížení . . . . .	57
7.2	Průběh jízdního manévru Škoda Superb se střešním nosičem . . . . .	58
7.3	Průběh jízdního manévru BMW 530d s nosičem na tažné zařízení . . . . .	59
7.4	Porovnání průběhů BMW 530d bez zatížení a se střešním nosičem . . . . .	61

7.5	Porovnání průběhů Volkswagen Sharan bez zatížení a se střešním nosičem . . . . .	62
7.6	Porovnání průběhů BMW 530d bez zatížení a s nosičem na tažném zařízení . . . . .	64
7.7	Porovnání průběhů Škoda Superb bez zatížení a s nosičem na tažné zařízení . . . . .	65
7.8	Porovnání průběhů Volkswagen Sharan s nosičem na tažné zařízení a se střešním nosičem . . . . .	67

# Seznam tabulek

5.1	Technické parametry měřených vozidel . . . . .	36
5.2	Technické parametry použitého příslušenství . . . . .	37
5.3	Rozměry úseků pro test dle ISO 3888-2 . . . . .	42
6.1	Poloha těžiště BMW 530d . . . . .	45
6.2	Poloha těžiště Škoda Superb . . . . .	47
6.3	Poloha těžiště Volkswagen Sharan . . . . .	49

# Úvod

V současné době se přeprava jízdních kol vozidly stává běžnou praxí. Tento trend je podpořen zejména rozvojem cykloturistiky a rostoucí oblibou elektrokol. K přepravě více jízdních kol najednou se často využívají doplňková zařízení ve formě nosičů. Nejčastěji se jedná o nosiče umístěné na střeše vozidla nebo na tažném zařízení. Ačkoliv nosiče jízdních kol představují pohodlný a bezpečný způsob přepravy, který umožňuje zachování zavazadlového prostoru uvnitř vozidla, představují zároveň dodatečné zatížení, které může mít vliv na jízdní stabilitu vozidla.

Toto dodatečné zatížení mění polohu těžiště vozidla, což ovlivňuje jeho jízdní vlastnosti, zejména při dynamických nebo krizových manévrech, jako je například vyhýbací manévr. Vzhledem k tomu, že elektrokola jsou výrazně těžší než běžná jízdní kola, je vliv jejich přepravy na stabilitu vozidla ještě významnější.

Přestože výrobci nosičů udávají nosnosti a obecná doporučení, v dostupné literatuře se vyskytuje omezený počet experimentálních studií, které by detailně zkoumaly, jak konkrétní způsoby upevnění jízdních kol ovlivňují dynamiku vozidla. Články a studie se často týkají aerodynamického odporu nosičů nebo vlivu dodatečné hmotnosti na spotřebu paliva, zatímco přímé porovnání jízdní stability vozidel s různými způsoby upevnění jízdních kol zůstává málo pokryté. Tato skutečnost ukazuje na mezeru v současném výzkumu.

Cílem této diplomové práce je částečně tuto mezeru zaplnit. Konkrétně si práce klade za cíl navrhnout a realizovat experimentální měření, které umožní porovnat vliv různých způsobů přepravy jízdních kol (včetně elektrokol) na jízdní stabilitu vozidla. Na základě provedených měření bude posouzen dopad zatížení na polohu těžiště vozidla a na jeho chování při krizových manévrech.

# 1 Stabilita vozidel

Vozidla představují složité dynamické systémy, jejichž návrh a analýza vyžadují důkladný přístup k zajištění požadovaného chování. Stabilita vozidla je jedním z nejpodstatnějších aspektů. Určuje schopnost vozidla udržet požadovanou trajektorii a odolávat vnějším silám a momentům. Nedostatečná stabilita může vést k nežádoucím jevům, jako je například smyk při vysoké rychlosti, převrácení vozidla nebo pohyb přívěsu ze strany na stranu, který se postupně zhoršuje a může nakonec způsobit ztrátu kontroly nad vozidlem.[1]

Stabilita vozidla zahrnuje také schopnost lidského operátora nebo automatického systému efektivně řídit vozidlo. Dynamické vlastnosti vozidla by měly být navrženy tak, aby umožnily člověku snadno a přesně udržovat požadovanou trajektorii. Pokud vozidlo vyžaduje neustálou korekci směru, je považováno za obtížně ovladatelné až neovladatelné.[1]

Základním předpokladem pro bezpečnou jízdu je schopnost vozidla navrátit se do rovnovážného stavu po vychýlení. Stabilitu mechanických soustav lze popsat jako rozdíl potenciální energie mezi stabilní a vratkou rovnovážnou polohou. Stabilita tuhého tělesa v gravitačním poli je přímo úměrná jeho hmotnosti a výšce těžiště ve stabilní poloze a nepřímo úměrná výšce těžiště ve vratké poloze. Tento princip platí i pro vozidla, kde hmotnost a poloha těžiště významně ovlivňují dynamické vlastnosti.[2]

## 1.1 Druhy stability vozidel

Existuje několik druhů stability, z nichž každý ovlivňuje chování vozidla za různých podmínek. Tyto typy jsou podrobně popsány v následujících sekcích.

### 1.1.1 Směrová stabilita

Směrová stabilita zajišťuje schopnost vozidla udržet požadovaný směr pohybu určený natočením volantu, a to i při působení vnějších sil nebo momentů, jako je například boční vítr nebo nerovnosti vozovky. Vozidlo je považováno za stabilní, pokud těmto vlivům dokáže odolávat i bez častých zásahů řidiče. Tato schopnost přispívá k komfortu a bezpečnosti jízdy.[2]

Z pohledu dynamiky je směrově stabilní vozidlo charakterizováno tak, že při odchýlení od přímého směru jízdy vznikají síly, které přirozeně usilují o návrat k původní trajektorii. Tento mechanismus minimalizuje riziko smyku nebo jiných nežádoucích destabilizujících jevů.[3]

Na směrovou stabilitu mají dle [3] vliv následující faktory:

- **Řídicí mechanismus:** Systém řízení musí zajistit, aby kola udržovala přímý směr jízdy a nedocházelo k jejich nechtěnému pohybu, například při zdvihu náprav. To lze dosáhnout správným navržením geometrie řízení a optimálním umístěním kloubů řízení.
- **Konstrukce náprav:** Nápravy musí být navrženy tak, aby při zdvihu náprav nedocházelo k samovolnému řízení kol, a aby se minimalizoval vznik bočních sil.
- **Vlastnosti pneumatik:** Správné rozložení boční tuhosti pneumatik mezi přední a zadní nápravu je klíčové pro zachování stability, přičemž je třeba brát v úvahu rozložení hmotnosti vozidla.
- **Odpružení:** Systém odpružení by měl zajišťovat maximální kontakt kol s vozovkou a potlačovat nežádoucí kmity vozidla. Tím se zachovávají stabilizační síly potřebné pro směrovou stabilitu.
- **Aerodynamická stabilita:** Konstrukce vozidla by měla být taková, aby boční vítr nezpůsobil změny směru vozidla, což je zásadní zejména při vyšších rychlostech.

### 1.1.2 Podélná stabilita

Podélná stabilita se vztahuje k chování vozidla při rozjezdu, zrychlování a brzdění. Jejím cílem je zajistit kontrolu trakce a minimalizovat ztráty adheze, ke kterým dochází při prokluzu nebo skluzu kol. Tato stabilita je důležitá pro efektivní pohyb vozidla vpřed a zejména pro bezpečné zastavení.

Základem podélné stability je kontrola skluzu kol, což znamená sledování rozdílu mezi rychlostí, jakou se kola otáčejí, a rychlostí, jakou se auto pohybuje po silnici. Tento rozdíl se vyjadřuje jako poměr skluzu. Optimální nastavení tohoto poměru je klíčové pro zachování trakce a ovladatelnosti vozidla. Příliš velký skluz totiž může vést k tomu, že vozidlo ztratí přilnavost k povrchu, například při prudkém brzdění na kluzké vozovce nebo při agresivním zrychlování.[4]

Na podélnou stabilitu mají vliv zejména tyto faktory:

- **Povrch vozovky:** Povrchy s nízkou adhezí, jako například mokrý asfalt nebo led, zvyšují riziko ztráty trakce.
- **Vlastnosti pneumatik:** Adhezní vlastnosti a opotřebení pneumatik mají zásadní vliv na přenos sil.
- **Brzdové a hnací systémy:** Systémy jako je ABS (Anti-lock Braking System) a ASR (Anti-Slip Regulation), přispívají k udržení podélné stability tím, že kontrolují skluz kol v kritických situacích.

### 1.1.3 Příčná stabilita

Příčná stabilita vozidla zajišťuje jeho schopnost udržet kontrolu při průjezdu zatáčkou. Klíčovými faktory ovlivňujícími příčnou stabilitu jsou úhel natočení volantu, rychlost otáčení vozidla kolem jeho svislé osy a úhel bočního skluzu. Tyto parametry musí být precizně regulovány, aby se minimalizovalo riziko smyku nebo převrácení.[5]

Při jízdě v zatáčce hraje roli vztah mezi výškou těžiště a rozchodem kol. Pokud je výška těžiště menší než polovina rozchodu kol, vozidlo je náchylnější ke smyku než k převrácení. Naopak vyšší poloha těžiště zvyšuje pravděpodobnost převrácení. Maximální odstředivá síla, která na vozidlo působí, nesmí překročit sílu adheze mezi pneumatikami a vozovkou. Pokud tato rovnováha selže, dojde buď k převrácení vozidla, nebo ke smyku.

Kromě polohy těžiště stabilitu ovlivňují také boční deformace pneumatik a naklánění karoserie, které zmenšují stabilizační moment a posouvají těžiště směrem k vnějším kolům. Tyto vlivy dále zvyšují riziko převrácení, zejména při vysokých rychlostech nebo při kontaktu kol s překážkou.[3]

### 1.1.4 Vertikální stabilita

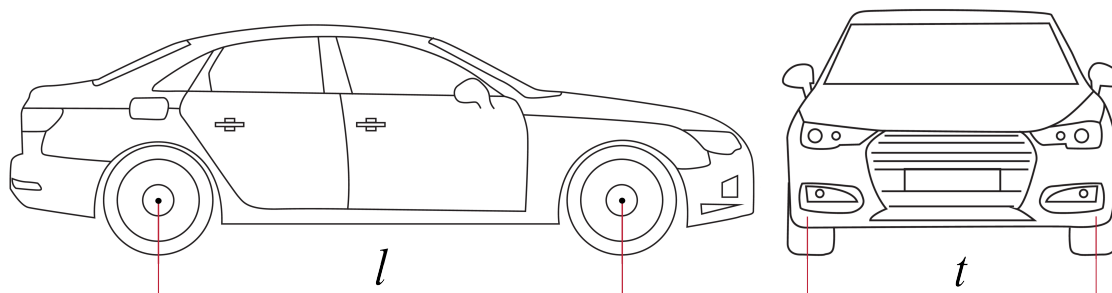
Vertikální stabilita vozidla se zaměřuje na jeho chování při pohybech ve vertikálním směru, jako je nadskakování nebo ponořování přední či zadní části při jízdě přes nerovnosti. Tento aspekt stability úzce souvisí s funkcí odpružení, jehož úkolem je minimalizovat dynamické pohyby vozidla a zajistit komfort a bezpečnost během jízdy.

Základem vertikální stability je kontrola svislých sil působících na pneumatiky, které musí být v souladu s celkovou hmotností vozidla. To znamená, že odpružení vozidla musí být navrženo tak, aby zvládalo vertikální dynamiku způsobenou jízdami manévry a vnějšími vlivy. Nepřiměřené pohyby vozidla mohou vést ke ztrátě kontaktu kol s vozovkou, což negativně ovlivňuje trakci a stabilitu.[6]

## 1.2 Rozvor náprav a rozchod kol

**Rozvor náprav** je jeden ze základních parametrů popisující rozměry vozidla. Je definován jako vzdálenost kolmic spuštěných na podélnou střední rovinu vozidla ze stopníků dvou kol umístěných za sebou na téže straně vozidla. Na obrázku 1.1 je označen písmenem  $l$ . Delší rozvor obecně zvyšuje stabilitu v přímém směru a jízdni komfort, protože umožňuje plynulejší reakce na nerovnosti vozovky. Může však snižovat agilitu vozidla, které pak hůře reaguje v ostrých zatáčkách. Naopak

kratší rozvor zlepšuje manévrovatelnost a odezvu, ale může vést k tvrdší jízdě a snížené stabilitě při vyšších rychlostech.[7]



Obr. 1.1: Rozvor a rozchod znázorněný graficky [8], upraveno

**Rozchod kol** se přibližně shoduje se vzdáleností středu otisků pneumatik kol téže nápravy. Obvykle rozchod přední a zadní nápravy nebývá stejný. Na obrázku 1.1 je označen písmenem  $t$ . Větší rozchod kol snižuje boční přenos hmotnosti při zatáčení, čímž se snižuje naklánění karoserie a zvyšuje stabilita v zatáčkách. Toto uspořádání umožňuje lepší ovladatelnost, zejména při manévrech ve vysokých rychlostech. Užší rozchod kol může zvýšit riziko převrácení v důsledku většího bočního přenosu hmotnosti a může mít za následek méně předvídatelné jízdni vlastnosti.

Vzájemný vztah mezi rozvorem a rozchodem kol je při konstrukci vozidla zásadní. Například zvětšení rozchodu kol může kompenzovat vyšší těžiště snížením náklonů karoserie, zatímco delší rozvor může zmírnit účinky přenosu hmotnosti při zrychlování a brzdění.[9]

## 1.3 Těžiště

Těžiště vozidla je bod, ve kterém působí výslednice gravitačních sil všech jeho částí. Poloha těžiště zásadně ovlivňuje dynamické vlastnosti vozidla, jeho stabilitu a ovladatelnost. Správné určení polohy těžiště je důležité pro analýzu jízdni vlastností vozidla, ať už při běžném manévrování, krizových situacích, nebo nehodových stavech, jako je převrácení.

### 1.3.1 Poloha těžiště v podélném a příčném směru

Těžiště vozidla lze analyzovat ve dvou hlavních směrech: podélném (mezi přední a zadní nápravou) a příčném (mezi levými a pravými koly). Poloha těžiště v podélném směru určuje nejen statické rozložení hmotnosti mezi nápravami, ale i dynamické chování vozidla při změnách směru jízdy, například v zatáčkách nebo při

bočním náklonu vozovky. Vliv těžiště na jízdní stabilitu lze vyjádřit prostřednictvím rovnováhy momentů bočních sil působících na jednotlivé nápravy:

$$Fy_p \cdot l_p = Fy_z \cdot l_z, \quad (1.1)$$

kde  $Fy_p$  a  $Fy_z$  představují boční síly na přední a zadní nápravě, zatímco  $l_p$  a  $l_z$  označují vzdálenost těžiště od přední a zadní nápravy.

Podle [3] lze boční síly vyjádřit pomocí směrových úchylek a součinitelů boční tuhosti pneumatik:

$$K_p \cdot \delta_p \cdot l_p = K_z \cdot \delta_z \cdot l_z \quad (1.2)$$

kde  $K_p$  a  $K_z$  jsou součinitele boční tuhosti pneumatik na přední a zadní nápravě a  $\delta_p$  a  $\delta_z$  představují směrové úchyly přední a zadní nápravy.

Pokud je tento vztah splněn, vozidlo se pohybuje po přímé trajektorii i při působení boční síly, aniž by se stáčelo. Bude se pohybovat po přímce odchýlené o úhel  $\delta$  od původního směru. Takové vozidlo se označuje jako **neutrální**.

Pokud však dochází k nerovnováze a platí vztah:

$$K_p \cdot l_p > K_z \cdot l_z \quad (1.3)$$

a tedy:

$$\delta_p < \delta_z \quad (1.4)$$

dochází k **přetáčivému chování**. To znamená, že zadní náprava vykazuje větší směrovou úchytku než přední, což vede k větší rotaci vozidla proti směru původní boční síly. Tento jev způsobuje dodatečnou odstředivou sílu, která zvyšuje zatačivost vozidla. Přetáčivost může být při vyšších rychlostech problematická, neboť s rostoucím natočením vozidla může dojít až ke ztrátě kontroly nad jeho pohybem.[3]

Naopak, pokud platí:

$$K_p \cdot l_p < K_z \cdot l_z \quad (1.5)$$

a tedy:

$$\delta_p > \delta_z \quad (1.6)$$

vozidlo vykazuje **nedotáčivé chování**. V tomto případě má přední náprava větší směrovou úchytku než zadní, což způsobuje stáčení vozidla ve směru působící boční síly. Tento jev vytváří odstředivou sílu opačného směru než původní boční síla, čímž se částečně kompenzuje vliv bočního zatížení a vozidlo má tendenci udržet širší

trajektorii. Nedotáčivost je považována za stabilnější vlastnost, neboť s rostoucí rychlostí vozidlo nemá tendenci se přetáčet a zůstává lépe ovladatelné.[3]

Změna polohy těžiště ovlivňuje dynamiku vozidla, zejména v situacích, kdy dojde k přidání hmotnosti v zadní části vozidla, například při použití nosičů kol na tažném zařízení. Posunutím těžiště směrem k zadní nápravě se zvyšuje  $l_p$ , zatímco  $l_z$  se zmenšuje. Tento posun může vést ke změně směrových úchylek a potenciálně způsobit přetáčivé chování vozidla. Jaký bude skutečný vliv na stabilitu vozidla, závisí na konkrétní změně rozložení hmotnosti a dalších dynamických faktorech.

### 1.3.2 Určení podélné a příčné polohy těžiště

Určení podélné a příčné polohy těžiště vozidla vyžaduje použití minimálně dvou vah, na které lze umístit jednotlivé nápravy nebo kola jedné strany vozidla. Měření musí probíhat na vodorovné a pevné ploše, aby bylo zajištěno přesné a spolehlivé stanovení hmotnostních hodnot.

#### Podélná poloha těžiště

Podélná poloha těžiště je dána hmotnostním rozložením mezi přední  $m_p$  a zadní  $m_z$  nápravou a celkovou délkou rozvoru vozidla  $l$ . Vzdálenost těžiště od jednotlivých náprav lze vypočítat podle následujících vztahů:

$$l_p = \frac{m_z}{m_p + m_z} \cdot l \quad [m] \quad (1.7)$$

$$l_z = \frac{m_p}{m_p + m_z} \cdot l \quad [m] \quad (1.8)$$

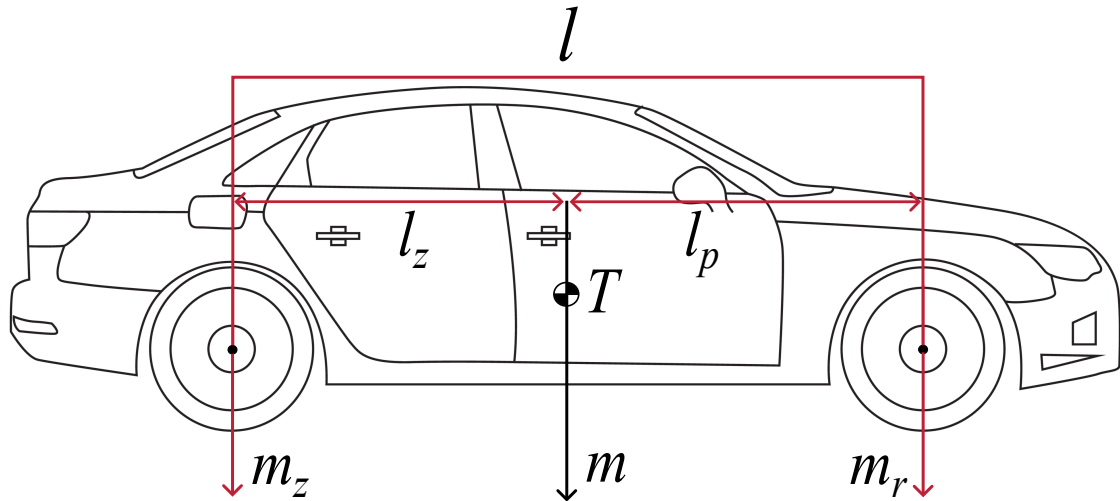
Kde:

- $l_p$  je vzdálenost těžiště od přední nápravy,
- $l_z$  je vzdálenost těžiště od zadní nápravy.

Tyto hodnoty umožňují určit, jak je hmotnost vozidla rozložena mezi jednotlivé nápravy, což je klíčové pro analýzu dynamických vlastností vozidla, například při zatáčení nebo při akceleraci a brzdění.

#### Příčná poloha těžiště

Příčná poloha těžiště se obvykle nenachází přesně v podélné rovině souměrnosti vozidla. Pro její určení je třeba změřit hmotnosti na levé ( $m_l$ ) a pravé ( $m_r$ ) straně vozidla a znát rozchod kol ( $t$ ). Příčnou polohu těžiště lze vypočítat podle následujících vztahů:



Obr. 1.2: Schéma podélného těžiště [8], upraveno

$$t_l = \frac{m_r}{m_l + m_r} \cdot t \quad [m] \quad (1.9)$$

Pro příčnou polohu těžiště od pravé strany vozidla platí vztah:

$$t_r = \frac{m_l}{m_l + m_r} \cdot t \quad [m] \quad (1.10)$$

Kde:

- $t_l$  představuje vzdálenost těžiště od levé strany vozidla,
- $t_r$  představuje vzdálenost těžiště od pravé strany vozidla.

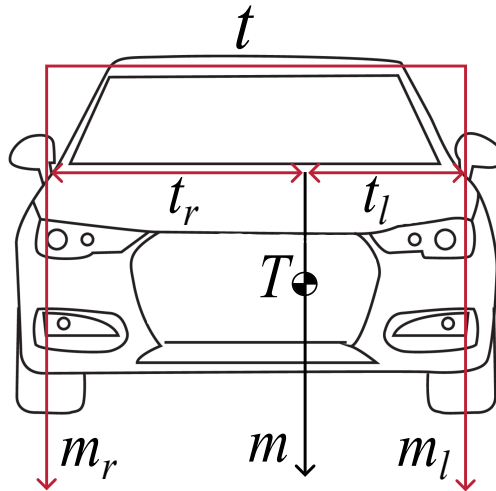
Tyto hodnoty jsou nezbytné pro analýzu stability vozidla, zejména při jízdě v zatáčkách nebo při působení bočního větru.[10]

### 1.3.3 Výšková poloha těžiště

Výška těžiště vozidla hraje zásadní roli v jeho stabilitě a ovlivňuje náchylnost k převrácení. Při dynamických manévrech, jako je zatáčení nebo náraz, se některé síly působící na vozidlo přenášejí přes jeho těžiště. Čím výše je těžiště umístěno, tím delší je rameno momentu sil, což vede k větší tendenci vozidla k naklánění a potenciálnímu převrácení. Tento efekt je výraznější u vozidel s vyšší karoserií, například SUV a užitkových vozidel, zatímco vozidla s nízkým těžištěm, jako jsou elektromobily, jsou stabilnější díky umístění těžkých baterií do podlahy.[11]

Rychlost vozidla  $v$ , při které může dojít k převrácení v zatáčce, lze určit vztahem:

$$v = \sqrt{\frac{b \cdot r \cdot g}{2 \cdot h_g}} \quad [m/s] \quad (1.11)$$



Obr. 1.3: Schéma měření příčného těžiště [8], upraveno

Kde:

- $b$  je rozchod kol [m],
- $r$  je poloměr zatáčky [m],
- $g$  je gravitační zrychlení [ $\text{m/s}^2$ ],
- $h_g$  je výška těžiště [m].

Nižší těžiště vozidla tedy přispívá k vyšší stabilitě a umožňuje vyšší rychlost průjezdu zatáčkou bez rizika převrácení.

### Určení výškové polohy těžiště

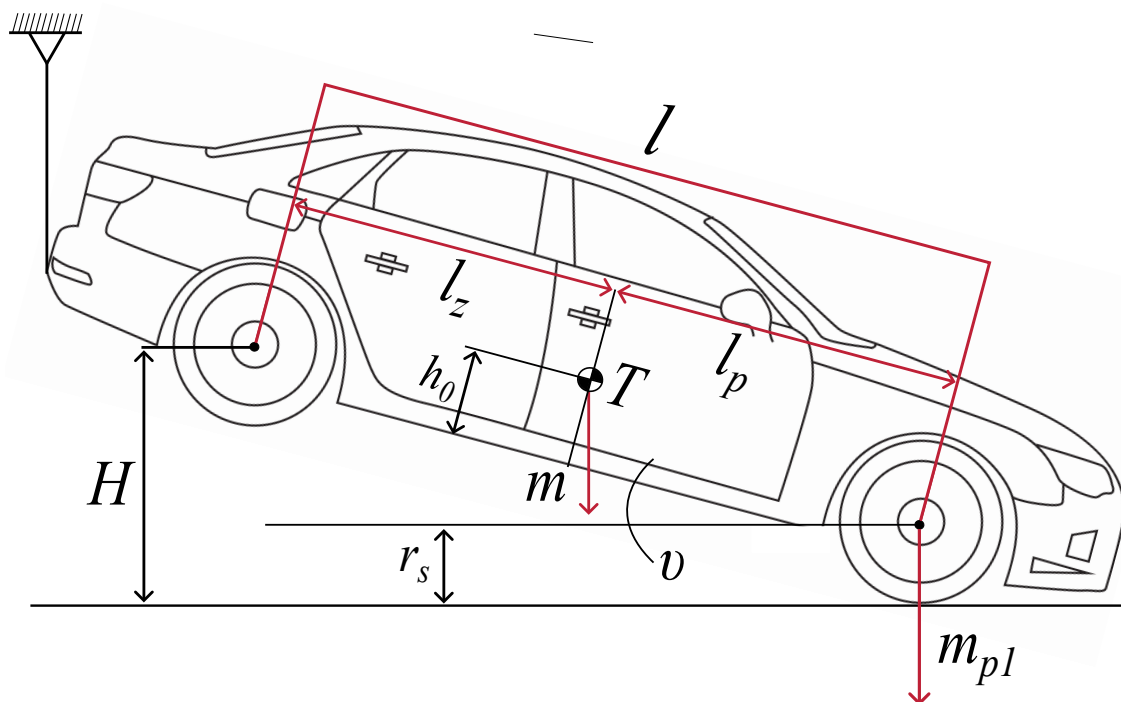
Přesné stanovení výškové polohy těžiště je nezbytné pro analýzu jízdních vlastností vozidla a hodnocení jeho stability. Měření musí probíhat tak, aby nebyla ovlivněna hmotnost vozidla. Mezi běžně používané metody patří zvedací metoda, při níž se jedna z náprav zvedne do určité výšky  $H$ , což způsobí naklonění vozidla o úhel  $v$ .

Pokud je například zvedána zadní náprava a zároveň měřena hmotnost na přední nápravě, dojde ke změně zatížení přední nápravy o hodnotu  $\Delta m_{p1}$ , což lze vyjádřit vztahem:

$$m_{p1} = m_p + \Delta m_{p1} \quad (1.12)$$

Ze znalosti přírůstku  $\Delta m_{p1}$  lze určit výškovou vzdálenost těžiště od spojnice středů náprav podle vztahu:

$$h_0 = \frac{\Delta m_{p1}}{m} \cdot \frac{l}{\text{tg } v} \quad (1.13)$$



Obr. 1.4: Schéma měření výškové polohy těžiště [8], upraveno

Pro získání celkové výškové polohy těžiště je nutné přičíst vzdálenost středu kola od země  $r_s$ :

$$h_g = h_0 + r_s \quad (1.14)$$

Aby se minimalizovala chyba měření, provádí se měření při různých úhlech naklonění  $\nu$  a sledují se odpovídající přírůstky zatížení nápravy  $\Delta m_{p1}$ . [10, 3]

Studie ukazují, že elektrická vozidla mají obecně nižší těžiště než vozidla se spalovacím motorem. Důvodem je strategické umístění těžkých trakčních baterií v podlaze vozidla, což pozitivně ovlivňuje stabilitu a jízdní vlastnosti těchto vozidel. [3]

### 1.3.4 Vliv polohy těžiště na brzdné vlastnosti

Poloha těžiště vozidla významně ovlivňuje jeho brzdné vlastnosti. Na základě znalosti polohy těžiště lze analyzovat dynamické chování vozidla při brzdění. Pro zjednodušení můžeme uvažovat dva základní scénáře změny polohy těžiště: **změnu výškové polohy těžiště** a **změnu podélné polohy těžiště** směrem od přední nápravy. Kritické poměrné zpomalení  $z_{krit}$  lze vyjádřit vztahem:

$$z_{krit} = \frac{\psi - i}{\chi} \quad (1.15)$$

Kde jednotlivé veličiny jsou definovány následovně:

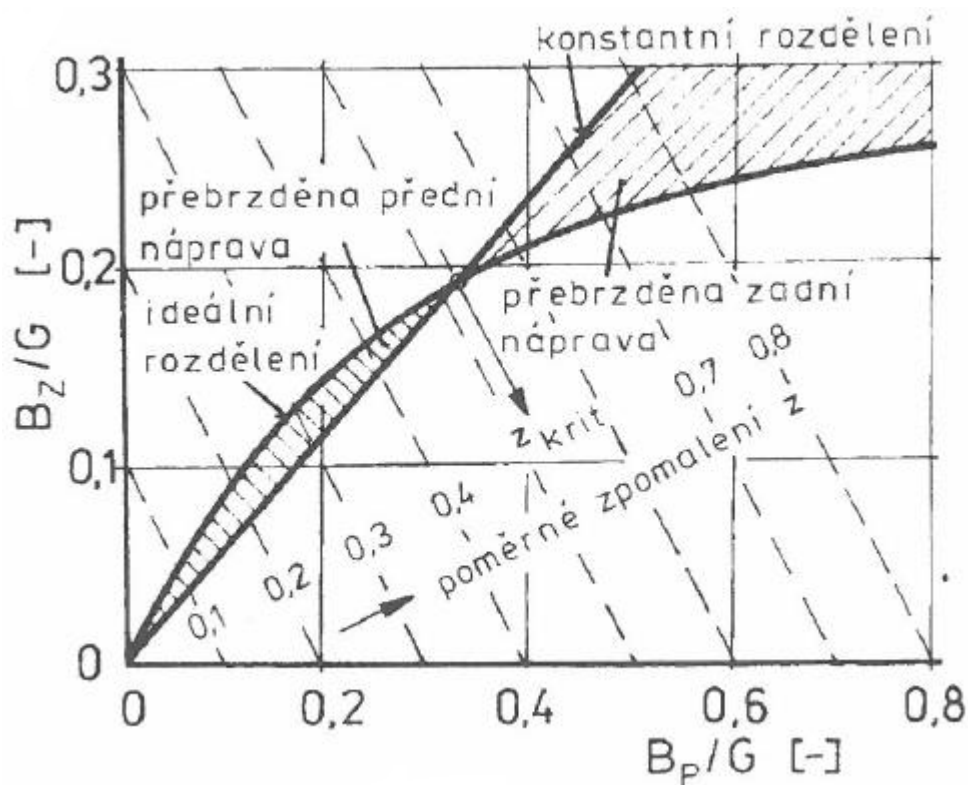
- $\psi$  je dáno vztahem:

$$\psi = \frac{l_p}{l} \quad (1.16)$$

- $\chi$  je dáno vztahem:

$$\chi = \frac{h_g}{l} \quad (1.17)$$

- $i$  je poměr brzdných sil na jednotlivých nápravách

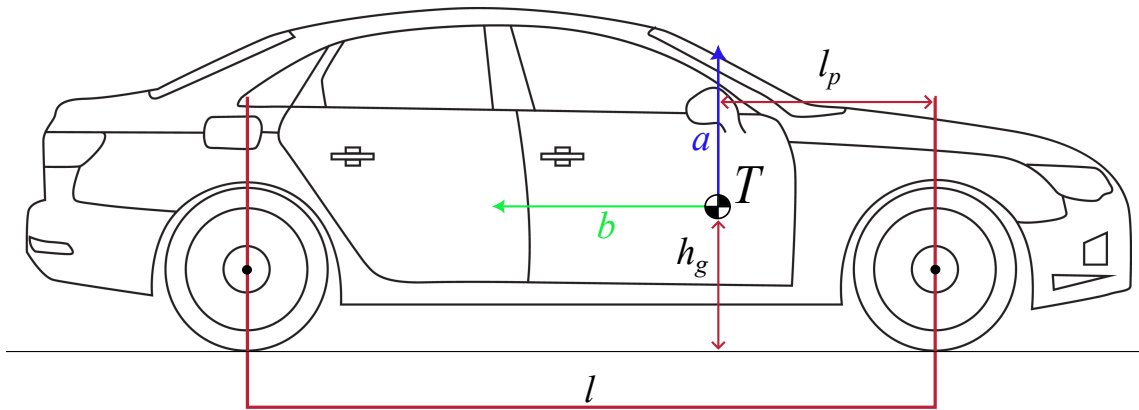


Obr. 1.5: Poměr brzdných sil [3]

Podle obrázku 1.6 lze rozlišit dva případy, ve kterých dojde ke změně hodnoty  $z_{krit}$ , za předpokladu, že poměr brzdných sil  $i$  zůstane konstantní: Nyní můžeme uvažovat stavy (a) a (b), jak je vidět na obrázku 1.6, za předpokladu, že poměr brzdných sil  $i$  nezmění:

- Zvýšení výškové polohy těžiště:** Nárůst hodnoty  $h_g$  vede ke zvýšení hodnoty  $\chi$ , což snižuje hodnotu  $z_{krit}$ . Tím se zmenšuje maximální možné brzdné zpomalení vozidla.

- (b) **Posun těžiště dále od přední nápravy:** Zvýšení hodnoty  $l_p$  způsobí nárůst hodnoty  $\psi$ , což vede k vyšší hodnotě  $z_{krit}$ . Tento stav znamená, že vozidlo je schopné dosáhnout většího brzdného zpomalení.



Obr. 1.6: Schéma změny polohy těžiště [8], upraveno

### 1.3.5 Vliv nákladu na stabilitu vozidel

Rozložení hmotnosti nákladu má zásadní vliv na jízdní stabilitu vozidla, zejména při dynamických manévrech jako je brzdění. Během brzdění dochází k přenosu hmotnosti směrem k přední nápravě v důsledku setrvačných sil a výšky těžiště vozidla. Pokud je těžiště nákladu umístěno vysoko nebo nevhodně daleko od středu vozidla, zvyšuje se riziko odlehčení zadní nápravy, ztráty adheze a tím i snížení směrové stability.

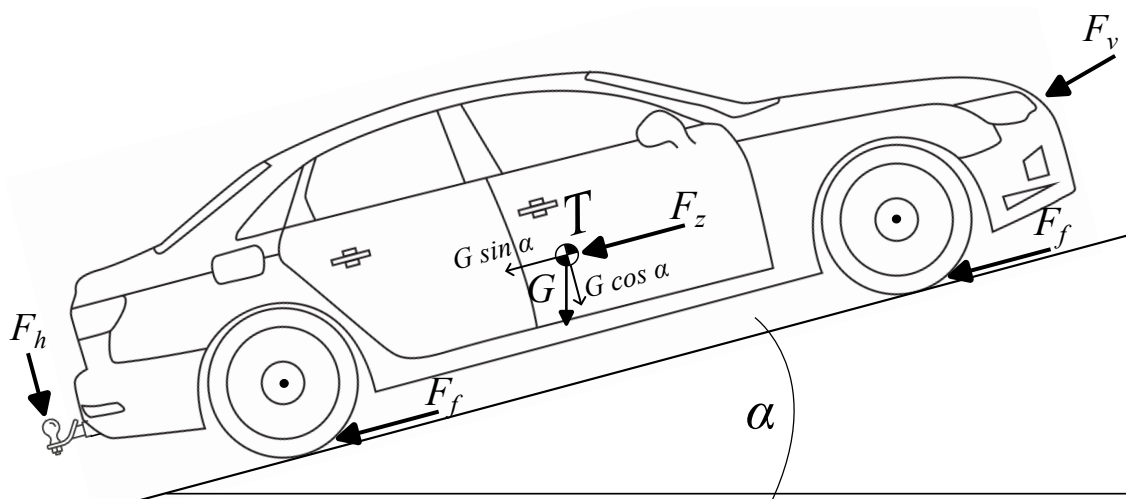
Umístění těžkého nákladu za zadní nápravu snižuje zatížení přední nápravy, což může vést ke zhoršení účinnosti brzdění, zejména při nouzovém brzdění. Tento způsob rozložení hmotnosti však také negativně ovlivňuje stabilitu vozidla při jízdě vpřed, protože posun těžiště směrem dozadu zvyšuje riziko nežádoucích pohybů, zejména na nerovném povrchu nebo při prudké změně směru.

Je nezbytné náklad bezpečně zajistit proti posunutí i při intenzivním brzdění. Zvýšit tření mezi nákladem a ložnou plochou zajistí stabilitu přepravovaných předmětů. Správné zajištění nákladu je proto nejen otázkou bezpečnosti, ale i jedním z faktorů, které přispívají ke stabilní jízdě vozidla.

Na základě praktických měření se doporučuje nakládat těžký náklad co nejnižší a co nejblíže k zadní nápravě, aby bylo dosaženo optimální rovnováhy mezi brzdícím výkonem a stabilitou vozidla. Přesto je nutné pečlivě zvažovat konkrétní konfiguraci zatížení, protože její vliv na chování vozidla se může lišit v závislosti na hmotnosti nákladu, rozměrech ložné plochy a celkové geometrii vozidla.[12]

## 2 Jízdní odpory

Tímto pojmem se označují síly, které působí proti pohybu vozidla a které musí být překonány hnací silou motoru, aby se vozidlo mohlo pohybovat vpřed. Tyto odpory mají zásadní vliv na spotřebu paliva a dynamiku vozidla. Na obrázku 2.1 jsou jednotlivé druhy jízdních odporů graficky znázorněny a v následujících částech kapitoly budou podrobněji popsány.



Obr. 2.1: Schéma jízdních odporů působící na vozidlo [8], upraveno

### 2.1 Valivý odpor

Valivý odpor vzniká deformací pneumatiky a vozovky při jejich vzájemném kontaktu. Vlivem ztrát v pneumatice, které se mění v teplo, jsou síly potřebné ke stlačení pneumatiky větší než síly působící při jejím návratu do původního tvaru. Výsledná radiální reakce vozovky je proto předsunuta před osu kola, což vytváří moment, který je třeba kompenzovat vodorovnou silou. Pro překonání valivého odporu musí působit vodorovná síla o velikosti :

$$F_f = G_k \cdot f \quad [N] \quad (2.1)$$

Kde:

- $G_k$  je zatížení,
- $f$  je součinitel valivého odporu, který závisí na povrchu vozovky, deformaci pneumatiky.

Minimalizace valivého odporu je zásadní pro zlepšení efektivity vozidla a snížení spotřeby energie.[2]

## 2.2 Aerodynamický odpor

Aerodynamický odpor je síla vznikající prouděním vzduchu kolem pohybujícího se tělesa. V případě jedoucího vozidla část vzduchu obtéká karoserii shora, část proudí pod vozidlem a mezi spodkem vozidla a povrchem vozovky. Za vozidlem dochází k víření vzduchu v příčné rovině vozidla, čímž vzniká aerodynamický odpor. Velikost této síly závisí především na čelní ploše vozidla, součiniteli aerodynamického odporu a rychlosti proudění vzduchu kolem vozidla.

Překonání aerodynamického odporu vyžaduje přibližně 80 % celkového výkonu vozidla při jízdě konstantní rychlostí, přičemž zbytek výkonu je potřeba na překonání valivého odporu. S rostoucí rychlostí se podíl výkonu nutného k překonání aerodynamického odporu dále zvyšuje.[13] Hodnota této síly je závislá na hustotě vzduchu a mechanických vlastnostech prostředí, jak vyplývá z rovnice:

$$F_v = \frac{c_x \cdot \rho \cdot S_x \cdot v_r^2}{2} \quad [N] \quad (2.2)$$

Kde:

- $c_x$  je součinitel aerodynamického odporu [-],
- $\rho$  je hustota vzduchu [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ],
- $S_x$  je čelní plocha vozidla [ $\text{m}^2$ ],
- $v_r$  je relativní rychlost proudění vzduchu kolem vozidla, skládající se z rychlosti pohybu vozidla  $v$  a rychlosti větru  $v_v$ :

$$\vec{v}_r = \vec{v} + \vec{v}_v \quad [m/s] \quad (2.3)$$

Součinitel aerodynamického odporu  $c_x$  se stanovuje experimentálně, nejčastěji měření v aerodynamickém tunelu na modelech nebo skutečných vozidlech. Pro osobní automobily se typicky pohybuje v rozmezí 0,3–0,4. Nižší součinitel odporu přispívá k nižší spotřebě paliva a vyšší efektivitě provozu.

### 2.2.1 Dopad aerodynamického odporu na směrovou stabilitu

Aerodynamické síly a momenty ovlivňují nejen spotřebu paliva, ale také jízdní vlastnosti a stabilitu vozidla. Významným faktorem je vliv bočního větru a přídavné zátěže, které mohou způsobit nestabilitu při vyšších rychlostech:

- Přídavné zatížení na střeše vozidla posouvá těžiště směrem vzhůru, což zvětšuje klopné momenty a negativně ovlivňuje stabilitu při náhlých změnách směru.
- Přítomnost střešního nosiče mění rozložení aerodynamických tlaků na vozidle a posouvá aerodynamický střed tlaku směrem vzhůru, čímž se zvyšuje citlivost vozidla na boční vítr.

- Výrazné změny aerodynamických sil a momentů mohou být pro řidiče citelné a vyžadují častější korekce řízením.

Doplňkové prvky na vozidle, jako jsou střešní nosiče nebo aerodynamická přídatná zařízení, mohou nepříznivě ovlivnit aerodynamiku vozidla. Je proto důležité zohlednit jejich vliv zejména z hlediska bezpečnosti a jízdní stability.

### 2.2.2 Vliv nákladu na střeše na stabilitu vozidel

Náklad na střeše vozidla, jako například střešní boxy, může výrazně ovlivnit aerodynamické vlastnosti vozidla, což má vliv nejen na zvýšení odporu vzduchu a spotřebu paliva, ale také na stabilitu a ovladatelnost při jízdě. Střešní boxy mění distribuci tlaků a síly působící na vozidlo, zejména při rychlostech nad 60 km/h, kdy se aerodynamické síly stávají dominantními. Numerické simulace ukazují, že nesprávné umístění boxu může zvýšit aerodynamický odpor až o 20 %, což zhoršuje jízdní vlastnosti a bezpečnost. [14]

## 2.3 Odpor stoupání

Odpor stoupání je způsoben složkou tíhy vozidla, která působí rovnoběžně s povrchem vozovky. Velikost této síly lze určit pomocí vztahu:

$$F_s = \pm G \cdot \sin \alpha \quad [N] \quad (2.4)$$

Kde:

- $G$  je celková tíha vozidla,
- $\alpha$  je úhel sklonu vozovky vůči vodorovné rovině (úhel stoupání).

Odpor stoupání působí vždy ve směru tíhové složky a při jízdě do kopce zpomaluje vozidlo. Naopak při jízdě z kopce vozidlo urychluje, a působí tak jako hnací síla, proto je ve vztahu znaménko „ $\pm$ “.[2, 3]

V praxi se místo úhlu  $\alpha$  ve stupních často používá stoupání  $s$  vyjádřené v procentech, které lze vypočítat jako:

$$s = \tan \alpha \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.5)$$

## 2.4 Odpor zrychlení

Odpor zrychlení vzniká v důsledku setrvačných sil, které působí proti směru zrychlení vozidla. Tento odpor zahrnuje nejen posuvné zrychlení hmoty vozidla, ale také vliv rotačních částí, jako jsou kola, převodové ústrojí a motor. Velikost této síly je dána vztahem:

$$F_z = m \cdot a \quad [N] \quad (2.6)$$

Kde:

- $m$  je hmotnost vozidla [kg],
- $a$  je podélné zrychlení vozidla [m/s<sup>2</sup>].

Vliv rotačních částí způsobuje, že pro dosažení stejného zrychlení je zapotřebí větší hnací moment na kolech. Tento efekt je zvláště významný při nízkých převodových stupních, kde se vliv rotačních částí výrazně projevuje. Naopak při vyšších převodových stupních má odpor zrychlení menší dopad, což je důvodem, proč se maximální zrychlení osobních vozidel často dosahuje na 2. převodový stupeň.[3, 2]

## 2.5 Tah od tažného zařízení

Táhne-li vozidlo přívěs, projevují se jízdní odpory přívěsu jako tah na závěsném háku tažného vozidla. Tento tah zahrnuje složky valivého odporu, aerodynamického odporu, odporu stoupání a odporu zrychlení přívěsu.

V praxi je výpočet aerodynamického odporu přívěsu často zahrnut do výpočtu celé jízdní soupravy, protože aerodynamický součinitel  $c_x$  se měří pro celou sestavu tažného vozidla a přívěsu.[3, 2]

## 3 Nosiče jízdních kol

Nosiče jsou častým způsobem, jak pomocí vozidla přepravovat více jízdních kol najednou. Hlavními benefity nosičů jsou pohodlí a bezpečnost. Umožňují zachování zavazadlového prostoru a prostoru pro cestující uvnitř vozidla, kde by jízdní kola pravděpodobně nebyla upevněna a vytvářela by zbytečné riziko. Pro upevnění jízdních kol na nosič není nutná demontáž předního kola nebo jiných částí. Nosiče tedy představují ideální způsob přepravy jízdních kol vozidlem.

Některé nosiče mohou omezit výhled řidiče z vozidla nebo zakrýt registrační značku a osvětlení vozidla, což může být v rozporu s předpisy. Nosiče na tažné zařízení nabízejí prostor pro dodatečnou registrační značku a bývají osazeny světly. Oproti tomu nosiče na zadní dveře tyto prvky často nemají. Tyto dva druhy nosičů mohou podstatně omezit výhled z vozidla, zatímco střešní nosič tento problém nezpůsobuje. Na druhou stranu je pro řidiče snadné zapomenout na změněnou výšku vozidla, což může být problém například při vjezdu do garáže.

Výběr správného nosiče je zásadní nejen pro bezpečnou přepravu jízdního kola či elektrokola, ale také pro pohodlí a efektivitu celého procesu. Při převozu horských kol je nutné zohlednit jejich specifickou geometrii a širší pneumatiky, což může významně ovlivnit volbu vhodného typu nosiče. Některé nosiče, například střešní, mohou být nepraktické při přepravě těžkého jízdního kola nebo při skupinových cyklistických výletech. Pro tyto účely jsou vhodnější nosiče s vertikálním zavěšením, především pro dodávky či pickup, které lépe zvládají vyšší kapacitu.

Dalšími zásadními aspekty při výběru nosiče jsou způsob uchycení a minimalizace rizika poškození rámu jízdního kola. Správná volba nosiče by měla také umožnit snadné nakládání a vykládání jízdních kol, aby se předešlo poškození vozidla, jízdních kol či samotného nosiče. Velký důraz je třeba klást na bezpečnostní prvky nosiče – zejména na zajištění, které zabrání vypadnutí jízdních kol při rychlé jízdě na dálnici, a také možnost uzamknutí jízdních kol na nosiči, čímž se snižuje riziko jejich krádeže. Některé typy nosičů navíc umožňují přístup do zavazadlového prostoru i s naloženými jízdními koly, což může být pro řadu uživatelů klíčovým faktorem při volbě konkrétního modelu nosiče.[15, 16]

### 3.1 Právní rámec pro přepravu jízdních kol

Při přepravě jízdních kol pomocí doplňkových zařízení, jako jsou střešní nosiče nebo nosiče na tažné zařízení, je nutné brát v úvahu také legislativní požadavky na jejich konstrukci a bezpečné uchycení. Vyhláška č. 153/2023 Sb., o schvalování technické způsobilosti vozidel a technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích, ve spojení s přílohou č. 12 k vyhlášce č. 341/2014 Sb., stanovuje

požadavky na doplňková zařízení.

Podle této legislativy musí být nosiče spolehlivě připevněny k vozidlu a nesmí přesahovat jeho půdorysný obrys (s výjimkou zadní části). Konstrukce nesmí obsahovat ostré hrany a musí být navržena tak, aby odolala zpomalení v podélném směru o hodnotě alespoň 6 g. Nosiče také musí umožnit bezpečné uchycení přepravovaných předmětů a vnější části musí splňovat požadavky na výčnělky dle předpisu EHK č. 26.[17, 18]

## **3.2 Nejčastější druhy nosičů jízdních kol**

Na trhu existuje několik běžně používaných typů nosičů jízdních kol, které se liší způsobem uchycení, konstrukčním řešením i vlivem na jízdní vlastnosti vozidla. Každý z těchto typů má své výhody i nevýhody a jejich výběr často závisí na konkrétním vozidle, počtu přepravovaných jízdních kol či požadavcích uživatele. V této části jsou popsány nejčastější varianty nosičů.

### **3.2.1 Nosič jízdních kol na tažné zařízení**

Nosiče kol na tažné zařízení jsou oblíbené pro svou vysokou stabilitu a nosnost, díky čemuž jsou ideální pro přepravu těžších horských kol a elektrokol. Jejich konstrukce umožňuje snadné nakládání bez nutnosti zvedání jízdních kol do výšky. Některé z modelů jsou vybaveny sklápěcím mechanismem, který částečně usnadňuje přístup do zavazadlového prostoru.

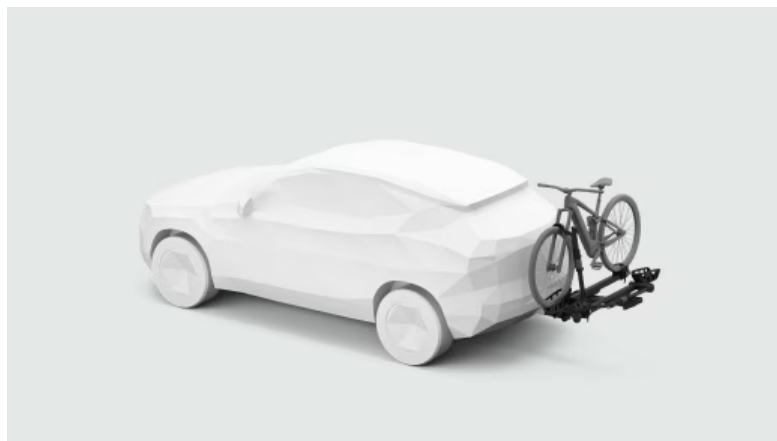
Z hlediska aerodynamiky má nosič na tažném zařízení menší dopad na odpor vzduchu než střešní nosič. Simulace na vozidle BMW X4 ukázala, že při rychlosti 60 km/h se aerodynamický odpor zvýšil pouze o 2,29 %, přičemž vliv na spotřebu paliva zůstal minimální. Přidání nosiče však mírně mění tlakové rozložení na zadní části vozidla a vytváří víření vzduchu, které může ovlivnit jízdní vlastnosti, zejména u užšího vozidla, kde by se odpor vzduchu zvýšil výrazněji.[19]

Naložení nosiče na tažné zařízení ovšem mění celkovou polohu těžiště vozidla. Přesná změna závisí na konkrétní hmotnosti vozidla, rozložení hmotnosti a geometrii vozidla. Nejvíce se změna projeví při prudkém brzdění nebo zatáčení. I přes tyto faktory je nosič na tažném zařízení z hlediska ekonomiky provozu a uživatelské přívětivosti vhodnější než střešní nosiče.

Zvýšené zatížení zadní nápravy klade vyšší nároky na podvozkové komponenty vozidla. Výrobci tlumičů upozorňují, že při dlouhodobém provozu v tomto stavu může dojít ke zrychlenému opotřebení pružin a tlumičů. Poškozené tlumiče snižují účinnost tlumení, negativně ovlivňují stabilitu vozidla a mohou vést k prodloužení brzdné dráhy, zejména na nerovném povrchu. Při výrazném zatížení zadní části může

docházet také k odlehčení přední nápravy, což snižuje trakci, zhoršuje ovladatelnost a může vést k nerovnoměrnému opotřebení pneumatik.[20]

Nevýhodou nosičů na tažném zařízení je také omezený výhled dozadu a zakrytí registrační značky nebo zadních světel, což vyžaduje použití přídatných světel a značky. Tento typ nosiče je určen pouze pro vozidla vybavená tažným zařízením. Ilustrace typického provedení je uvedena na obrázku 3.1.[15]



Obr. 3.1: Nosič jízdních kol na tažné zařízení [16]

### 3.2.2 Střešní nosič jízdních kol

Střešní nosiče neomezují výhled z vozidla ani přístup do zavazadlového prostoru. Rovněž nezakrývají registrační značku nebo zadní světla, což zajišťuje jejich praktické využití. Tyto nosiče jsou obvykle levnější než jiné typy.

Nevýhodou však zůstává zvýšení odporu vzduchu, což negativně ovlivňuje spotřebu paliva, a to zejména při vyšších rychlostech. Podle [13] samotný střešní nosič zvyšuje aerodynamický odpor při rychlosti 60 km/h o 14,5 %. Přidání jízdního kola na střešní nosič tento odpor dále zvyšuje až na 75,85 %, což má zásadní vliv na stabilitu vozidla.

Zvýšení těžiště a větší náchylnost na boční vítr mohou ovlivnit jízdní vlastnosti, zejména při rychlé jízdě nebo prudkých manévrech. Upevnění jízdních kol na střešní nosič je také fyzicky náročnější, protože vyžaduje zvedání jízdních kol na úroveň střechy vozidla.

Dalším omezením je změna výšky vozidla, což může komplikovat průjezd pod nízkými překážkami, jako jsou garáže, podjezdy nebo mosty (viz obr. 3.2).[15]

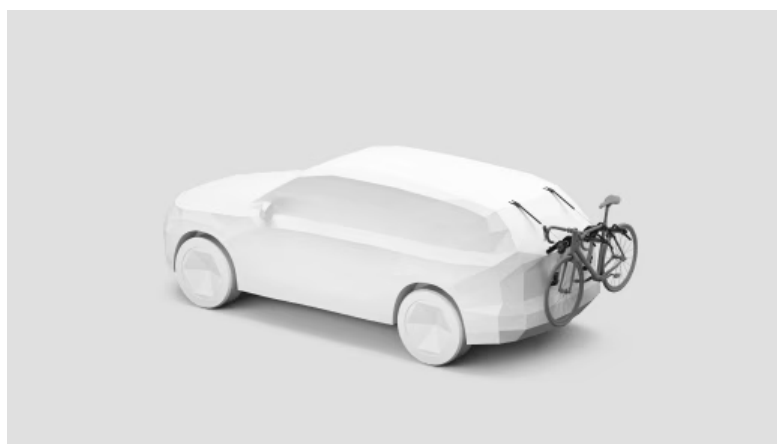


Obr. 3.2: Střešní nosič jízdních kol [16]

### 3.2.3 Nosič jízdních kol na páté dveře

Tento typ představuje cenově dostupné řešení vhodné pro většinu vozidel bez tažného zařízení nebo podélných střešních nosičů. Lze je snadno instalovat i demonstrovat. Nosiče na páté dveře obvykle nezasahují do prostoru registrační značky.

Na druhou stranu omezují výhled z vozidla a při nesprávné instalaci existuje vyšší riziko poškození laku. Další nevýhodou je namáhání pátých dveří a omezený přístup do zavazadlového prostoru, pokud jsou jízdní kola upevněna. Jak ukazuje obrázek 3.3, tento typ nosiče se hodí zejména pro příležitostné použití a převoz menšího počtu kol.[15]

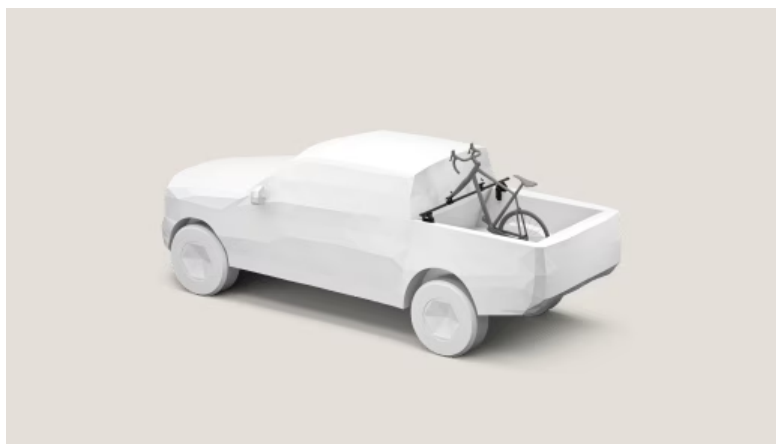


Obr. 3.3: Nosič jízdních kol na páté dveře [16]

### 3.2.4 Nosič jízdních kol pro pickup

Nosiče určené pro pickupy se montují přímo do nákladového prostoru vozidla. Použití ochranných podložek na zadní víko nákladového prostoru zajišťuje bezpečné upevnění jízdních kol a jejich snadnou přepravu. Tento typ nosiče je ideální pro převoz většího počtu jízdních kol a vyznačuje se nízkými pořizovacími náklady.

Nevýhodou může být poškození laku vozidla při dlouhodobém používání. Jak napovídá název, tento typ nosiče je určen výhradně pro vozidla typu pick-up, což je ilustrováno na obrázku 3.4.[15]



Obr. 3.4: Nosič jízdních kol pro pickup [16]

### 3.2.5 Vertikální a horizontální nosiče jízdních kol

Vertikální nosiče jsou ideální pro přepravu většího počtu jízdních kol, často až šesti, a nacházejí využití u dodávek nebo autobusů. Jízdní kola jsou zavěšena vertikálně na svislém rámu nosiče, což umožňuje efektivní využití prostoru. Tento typ nosiče bývá populární mezi uživateli horských kol. Některé modely však mohou být omezeny kompatibilitou, například pouze s konkrétními typy jízdních kol nebo rámy.

Horizontální nosiče fungují na principu uchycení jízdních kol za horní rámovou trubku. Jsou vhodné pro jízdní kola s tradiční konstrukcí rámu a často se používají na zadních částech větších vozidel, jako jsou dodávky. Nevýhodou může být vyšší riziko poškození rámu při nedostatečném zabezpečení, a tento typ nosiče není ideální pro jízdní kola s netradiční geometrií rámu. Příklad nosiče je ilustrován na obrázku 3.5.[15]



Obr. 3.5: Vertikální nosič jízdních kol [16]

### 3.3 Limitní nosnost střechy vozidla

Dynamická (jízdní) nosnost střechy běžných osobních automobilů se zpravidla pohybuje v rozmezí 75–100 kg, včetně hmotnosti příčníků a samotného nosiče. Výjimečně může dosahovat až 120 kg, zejména u robustnějších vozidel typu SUV či off-road. Výrobci vozidel i nosičů zároveň uvádějí, že pro provoz v terénu se doporučuje snížit maximální zatížení na přibližně 50–75 % kapacity určené pro provoz na běžných komunikacích.[21] Při přepravě nákladu na střeše je tedy nutné zohlednit nejen konstrukční limity karoserie vozidla, ale také maximální hodnoty stanovené výrobcem střešního nosiče a příčníků.

### 3.4 Hmotnost jízdních kol a jejich přeprava

Hmotnost běžného hliníkového jízdního kola se zpravidla pohybuje kolem 13 kg. Elektrické převodové sady určené k dodatečné montáži na jízdní kola mohou ve své nejlehčí, prototypové podobě vážit přibližně 2 kg. V případě komerčně dostupných systémů se však hmotnost elektrické nástavby obvykle pohybuje v rozmezí 9 až 30 kg. Typická hmotnost kompletního elektrokola (včetně baterie) se pohybuje v rozmezí 20–25 kg.[22]

Lithium-iontové baterie, které se v elektrokolech používají nejčastěji, mívají hmotnost přibližně 3–4 kg. Z toho lze odvodit, že samotné elektrokolo bez baterie má hmotnost přibližně 20 kg. Z důvodu bezpečnosti a snazší manipulace se doporučuje při přepravě elektrokol baterii předem odejmout.[23]

Když ke hmotnosti tří elektrokol přidáme hmotnost samotného nosiče, celková hmotnost naloženého nosiče může dosahovat až 100 kg.[20]

## 4 Formulace problému

V současné době je přeprava jízdních kol pomocí osobních automobilů běžnou praxí a to zejména v souvislosti s rozvojem cykloturistiky a rostoucí oblibou elektrokol. Na trhu existuje široké spektrum nosičů na jízdní kola, které se liší způsobem upevnění. Nejčastěji se jedná o nosiče umístěné na střeše vozidla nebo na tažném zařízení. Tyto nosiče, společně s přepravovanými jízdními koly, však představují dodatečné zatížení, které může měnit polohu těžiště vozidla a tím i jeho jízdní vlastnosti, zejména při dynamických nebo krizových manévrech.

Vzhledem k tomu, že elektrokola jsou výrazně těžší než běžná jízdní kola (běžně 20–25 kg včetně baterie), je vliv jejich přepravy na stabilitu vozidla ještě významnější. Přesto se v dostupné literatuře vyskytuje jen velmi omezený počet experimentálních studií, které by detailně zkoumaly, jak konkrétní způsoby upevnění ovlivňují dynamiku vozidla. Výrobci nosičů běžně udávají nosnosti a obecná doporučení, avšak chybí podrobnější analýzy reálného chování vozidla v zatíženém stavu.

Články a studie se týkají zejména aerodynamického odporu nosičů nebo vlivu přídavné hmotnosti na spotřebu paliva, nicméně přímé porovnání jízdní stability vozidel s různými způsoby upevnění jízdních kol zůstává málo pokryté. Získané informace tak ukazují na mezeru v současném výzkumu, kterou se tato práce snaží částečně zaplnit.

Cílem této diplomové práce je tedy navrhnout a realizovat experimentální měření, které umožní porovnat vliv různých způsobů přepravy jízdních kol (včetně elektrokol) na jízdní stabilitu vozidla. Na základě měření bude posouzen dopad zatížení na polohu těžiště a na chování vozidla při krizových manévrech. Výsledky mohou přispět k lepšímu pochopení bezpečnostních rizik a sloužit jako podklad pro doporučení ohledně výběru vhodného způsobu přepravy jízdních kol.

## 5 Příprava a realizace měření

V této kapitole je popsán postup prováděných měření na třech různých vozidlech, dále popsanych v části 5.1. Každé vozidlo bylo testováno ve třech konfiguracích: bez nosiče, se střešním nosičem a s nosičem jízdních kol na tažném zařízení.

Měření zahrnovala zatížení náprav pro výpočet polohy těžiště vozidla a jízdní manévry dynamické změny jízdního pruhu. Cílem těchto měření je získat údaje o dynamických vlastnostech vozidel a stabilitě v různých podmínkách.

### 5.1 Testovací vozidla

Vozidla byla vybrána především na základě dostupnosti, přičemž cílem bylo pokrýt širší spektrum běžně používaných automobilů. Snahou bylo zahrnout různé kategorie vozidel, která by reprezentovala typické volby pro převoz jízdních kol. Všechna vozidla jsou poháněna vznětovým motorem a mají možnost montáže jak střešního nosiče, tak nosiče na tažné zařízení. Jedná se o běžná rodinná vozidla, která jsou často potkávána na českých cestách a jsou typickými kandidáty pro přepravu jízdních kol.

Podrobné technické parametry, včetně typu převodovky, pohonu a provozní hmotnosti, jak je uvedeno v technickém průkazu, jsou shrnuty v tabulce 5.1.

Vozidlo	BMW 530d xDrive	Škoda Superb	Volkswagen Sharan
Kategorie	Kombi	Kombi	MPV
Palivo	nafta motorová	nafta motorová	nafta motorová
Objem motoru	2993 cm <sup>3</sup>	1968 cm <sup>3</sup>	1896 cm <sup>3</sup>
Výkon motoru	195 kW	110 kW	85 kW
Druh pohonu	Pohon 4 kol	Pohon přední nápravy	Pohon 4 kol
Hmotnost	1865 kg	1520 kg	1784 kg
Převodovka	Automatická	Automatická	Manuální
Rok výroby	2018	2015	2007
Rozměr pneumatiky	225/55 R17	235/45 R18	195/60 R16
Výrobce pneumatiky	Michelin	Continental	Continental
Označení pneumatiky	Alpin 5	Wintercontact	VanContact Winter
Dezén	Zimní	Zimní	Zimní
Hloubka dezénu LP/PP/LZ/PZ [mm]	5,97/5,90/6,22/5,34	7,40/7,76/7,61/7,54	5,42 / 5,76 / 5,83 / 5,60

Tab. 5.1: Technické parametry měřených vozidel

## 5.2 Použité příslušenství

Při výběru příslušenství bylo podstatné, aby mohlo být použito stejné na všech vybraných vozidlech. Byl tedy použit nosič kol na tažné zařízení od výrobce Peruzzo a střešní příčníky od výrobce G3. Ty však nebylo možné použít na vozidle BMW 530d a byly místo toho použity příčníky výrobce Thule. Nosnost příčníků je v obou případech 75 kg. Na příčníky byly použity na všechna vozidla stejné nosiče značky Hakr, do kterých se upevnila cyklistická kola. Technické parametry použitého příslušenství jsou popsány v tabulce 5.2.

Typ nosiče	Střešní příčníky	Střešní příčníky	Nosič kol	Zadní nosič
Výrobce a model	Thule WingBar 9595B	G3 Open Alu	Hakr Cyklo	Peruzzo pure instinct pro 3 kola
Použití	BMW (střešní nosič)	Sharan, Superb (střešní nosič)	Na střešní příčníky	BMW, Sharan, Superb (nosič na tažné zařízení)
Nosnost [kg]	75	75	15	60
Celková hmotnost [kg]	70	63	-	77
Maximální rychlost [km/h]	-	-	110	130
Poznámka			×3 na vozidlo	

Tab. 5.2: Technické parametry použitého příslušenství

Pro simulaci elektrokol byla použita tři jízdní kola s hmotností přibližně 15 kg. Na každé jízdní kolo byly přidány dvě PET láhve naplněné pískem a vodou, čímž se zvýšila hmotnost každého jízdního kola na přibližně 20 kg, což odpovídá hmotnosti elektrokola bez baterie. Jsou znázorněny na obrázku 5.1.



Obr. 5.1: Použitá jízdní kola [vlastní]

## 5.3 Měření polohy těžiště

Měření podélné a příčné polohy těžiště probíhalo podle postupu uvedeného v části 1.3.2 této práce. Měření bylo realizováno v garáži ÚSI na zvedáku pro zajištění vodorovného povrchu pro měření. Pro měření zatížení náprav byla použita Nápravná automobilová váha (sada obsahující 4 platformy a indikátor s tiskárnou) od společnosti DINI ARGEO, model SN: 0100190432B2. Souprava umožňuje měřit zatížení od jednotlivých kol s přesností na 0,5 kg. Měřená vozidla byla na tuto váhu najížděna v každé zkoumané konfiguraci.

Zjištění výškové polohy těžiště bylo prováděno pomocí zvedání zadní nápravy vozidla a měření přírůstku zatížení na přední nápravě jak je popsáno v 1.3.3. Vozidla byla měřena ve třech výškách a jako výsledek byla považována průměrná hodnota.

## 5.4 Měření jízdního manévru

Měření jízdního manévru probíhalo na testovací ploše v areálu letiště Vyškov, poblíž dálnice D46. Tato plocha je dostatečně prostorná pro testy jízdní dynamiky a byla vybrána kvůli své vhodnosti pro tento typ měření. Na ploše jsou kluzné plochy. Testovací trať byla vytyčena mimo ně, aby výsledky nebyly ovlivněny. Měření probíhalo dne 29. března 2025. Letecký snímek z měřicího místa je zobrazen na obrázku 5.2. Testování probíhalo za zataženého počasí, přičemž srážky byly minimální (1 mm). Jízdní manévry se uskutečnily při teplotě mezi 8,3 a 13,5 °C.

### 5.4.1 Záznamové zařízení ObserVR1000

Pro účely měření jízdních manévru bylo použito zařízení ObserVR1000 (sériové číslo 0AD5344) od společnosti Vibration Research (VR). Jedná se o uživatelsky přívětivý přístroj, který slouží ke sběru a následné analýze naměřených dat. Díky integrovanému bateriovému napájení není nutné používat externí zdroj energie. Do příslušných vstupních kanálů zařízení byl připojen snímač pro měření akcelerace a úhlových rychlostí, dále byl připojen GPS snímač pro záznam rychlosti a polohy vozidla během testů. Data byla během měření ukládána na SD kartu a následně zpracována v softwaru ObserVIEW. Přístroj ObserVR1000 je zobrazen na obrázku 5.3.[25]



Obr. 5.2: Místo měření [24]



Obr. 5.3: Záznamové zařízení ObserVR1000 [vlastní]

## 5.4.2 Snímač Dytran 7576A4

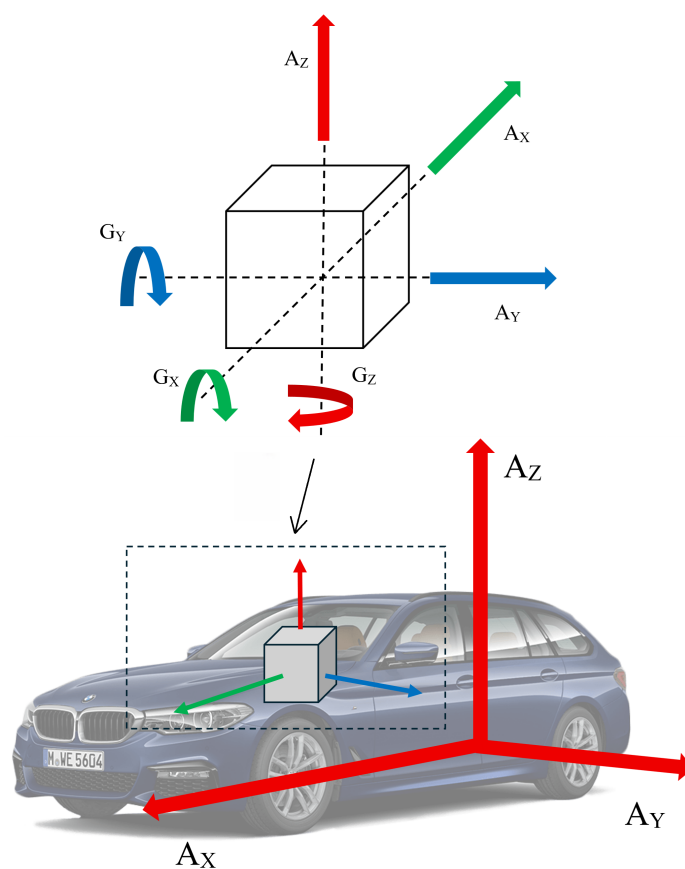


Obr. 5.4: Inerciální snímač Dytran 7576A [26]

Pro měření akcelerací a úhlových rychlostí vozidla byl použit inerciální snímač Dytran 7576A (sériové číslo SN 288). Jedná se o plně analogový snímač se šesti stupni volnosti, který v jednom těle integruje tři MEMS akcelerometry pro měření zrychlení ve třech kolmých osách (X, Y, Z) a tři MEMS gyroskopy pro měření úhlových rychlostí kolem těchto os. Snímač poskytuje analogový výstupní signál, který je dále zaznamenáván záznamovým zařízením. Díky svým kompaktním rozměrům a robustní konstrukci je ideální pro použití při dynamických testech vozidel, jakými jsou například jízdní manévry prováděné v této práci. Snímač je zobrazen na obrázku 5.4. Orientace snímače Dytran ve všech měřených vozidlech je znázorněna na obrázku 5.6.[26]



Obr. 5.5: Průjezd vozidla Volkswagen Sharan jízdním manévrem [vlastní]



Obr. 5.6: Orientace snímače ve vozidlech [vlastní]

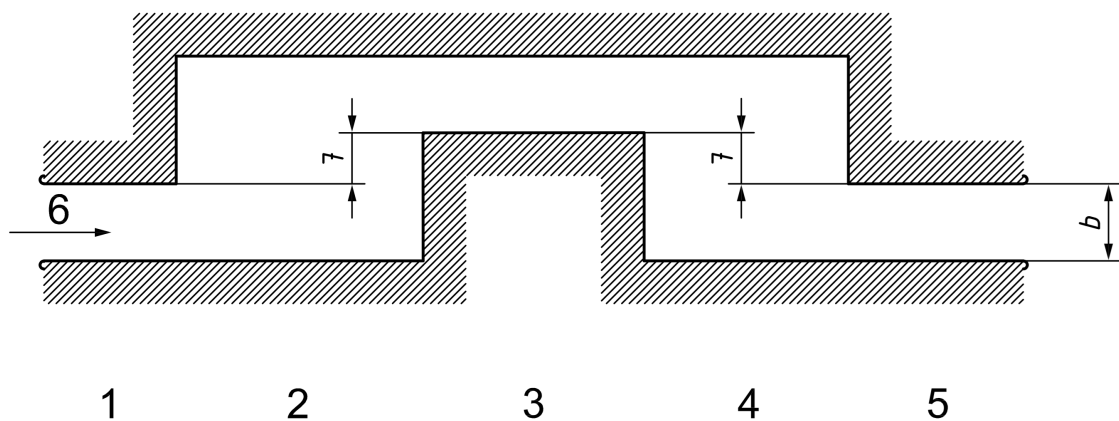
### 5.4.3 Test prudké změny jízdního pruhu dle ISO 3888-2

Zkoušený test podle normy ISO 3888-2 slouží k hodnocení stability a ovladatelnosti vozidla při náhlé změně jízdního pruhu, například v situaci, kdy je nutné se vyhnout nečekané překážce na vozovce. Tento test je běžně využíván při posuzování jízdních vlastností osobních vozidel a díky standardizovanému postupu umožňuje

srovnatelné a opakovatelné výsledky napříč různými typy vozidel.

Vozidlo nejprve dosáhne předepsané vstupní rychlosti a následně projíždí tratí, přičemž v její prostřední části provádí rychlou změnu směru jízdy. Rychlost se postupně zvyšuje až do okamžiku, kdy dojde ke ztrátě stability nebo kontaktu s vytyčenými kužely. Hodnotí se schopnost vozidla udržet správnou dráhu a celková stabilita během manévru.

Zkušební dráha se skládá z pěti po sobě jdoucích úseků, jejichž rozměry se odvozují od šířky testovaného vozidla. Přesné délky a šířky jednotlivých sekcí jsou uvedeny v tabulce 5.3, přičemž schéma celé tratě je znázorněno na obrázku 5.7. Klíčovým parametrem je šířka vozidla, podle níž se určují šířky jednotlivých úseků, aby bylo zajištěno rovné testovací prostředí pro všechna vozidla.



Obr. 5.7: Schéma dráhy manévru dle ISO 3888-2 [27]

Sekce	Délka [m]	Posun pruhu	Šířka (b) [m]
1	12	-	$1,1 \times \text{šířka vozidla} + 0,25$
2	13,5	-	-
3	11	1 (sekce 7)	šířka vozidla + 1
4	12,5	-	-
5	12	-	$1,3 \times \text{šířka vozidla} + 0,25$ minimálně 3 m

Tab. 5.3: Rozměry úseků pro test dle ISO 3888-2 [27]

Test byl prováděn na rovném betonovém povrchu. Cílem bylo dosáhnout nájezdové rychlosti 50 km/h, aby bylo možné výsledná data vzájemně porovnat. V rámci testování byla použita vozidla zmíněná v kapitole 5.1. Každé vozidlo bylo testováno

bez nosičů, s nosičem na tažném zařízení a se střešním nosičem. Každá ze zmíněných konfigurací byla měřena desetkrát. Pro vyhodnocení byly zaznamenávány následující veličiny:

- počáteční rychlost při vjezdu do tratě (pomocí GPS),
- příčné, podélné a vertikální zrychlení (pomocí akcelerometrů),
- náklony vozidla (pomocí gyroskopů).

Hodnocení bylo zaměřeno na celkovou stabilitu vozidla během manévru. Předpokládalo se, že přídatné zatížení povede k negativnímu vlivu na směrovou stabilitu vozidla a zvýšenému náklonu karoserie.

## 6 Výsledky měření

Tato kapitola představuje výsledky získané z provedených měření a popisuje postup jejich zpracování. Jsou zde uvedeny naměřené hodnoty, jejich vyhodnocení a způsob, jakým byly analyzovány za účelem posouzení vlivu jednotlivých konfigurací na jízdní stabilitu vozidla.

### 6.1 Stanovení polohy těžiště

Postup stanovení polohy těžiště jednotlivých vozidel je podrobně popsán v části 5.3 této práce. V této kapitole jsou uvedeny přehledné tabulky s výsledky měření pro každé testované vozidlo. Tabulky obsahují vstupní hodnoty použité při výpočtu, celkovou hmotnost vozidla, podíl z největší technicky přípustné hmotnosti a vypočtené souřadnice těžiště ve třech směrech – podélném, příčném a výškovém. U každého vozidla jsou uvedeny výsledky pro tři konfigurace: bez přidaného zatížení, se střešním nosičem a s nosičem na tažné zařízení.

#### 6.1.1 Poloha těžiště - BMW 530d xDrive

U vozidla BMW 530d xDrive došlo při konfiguraci s nosičem na tažné zařízení k nárůstu celkové hmotnosti na 2083 kg, což odpovídá využití 82,3 % z největší technicky přípustné hmotnosti. Jedná se o nejvyšší relativní zatížení ze všech testovaných vozidel. Z hlediska změny polohy těžiště byly posuny ve všech směrech nejmenší v relativních hodnotách vůči rozměrům vozidla. To lze přičíst především vyšší pohotovostní hmotnosti a robustnější konstrukci vozidla, která snižuje vliv dodatečného zatížení.

Při použití střešního nosiče se výška těžiště změnila z 550,6 mm na 602,3 mm. Přestože se jedná o nárůst o více než 50 mm, výsledná hodnota překračuje výchozí výškové těžiště vozidla Škoda Superb pouze o 1,4 mm. Posun v podélném směru byl při použití nosiče na tažné zařízení nejmenší z celé sady měření. Příčná poloha těžiště zůstala prakticky neměnná. Přehled všech naměřených a vypočtených hodnot pro vozidlo BMW 530d xDrive je uveden v tabulce 6.1. Konfiguraci s nosičem kol na tažném zařízení ilustruje obrázek 6.1.



Obr. 6.1: BMW 530d s nosičem na tažném zařízení [vlastní]

BMW 530d	Bez přidaného zatížení	Střešní nosič	Nosič na tažné zařízení
Rozvor $l$ [mm]	2975		
Rozchod $t$ [mm]	1605		
Největší technicky přípustná hmotnost [kg]	2530		
Celkové zatížení $m$ [kg]	2006	2076	2083
Využito z největšího možného zatížení	79,3 %	82,0 %	82,3 %
Podélná poloha $l_P$ [mm]	1526,8	1548,4	1636,8
Příčná poloha $t_L$ [mm]	816,5	814,9	814,8
Výšková poloha $h_g$ [mm]	550,6	602,3	565,1

Tab. 6.1: Poloha těžiště BMW 530d

### 6.1.2 Poloha těžiště - Škoda Superb

V případě vozidla Škoda Superb bylo při využití nosiče kol na tažném zařízení dosaženo celkové hmotnosti 1680 kg, což znamená využití 80,6 % největší technicky přípustné hmotnosti. Došlo také k největšímu podélnému posunu těžiště ze všech testovaných vozidel. Těžiště se posunulo z výchozí hodnoty 1194,2 mm na 1341,2 mm směrem vzad. Zajímavostí je, že pouze v této konfiguraci došlo také k mírnému snížení výškové polohy těžiště oproti stavu bez přidaného zatížení, konkrétně o 9,6 mm.

Při použití střešního nosiče došlo ke zvýšení výšky těžiště z původních 600,9 mm na 632,7 mm. Tento výškový posun je nejmenší ze všech testovaných vozidel. Příčná poloha těžiště se v jednotlivých konfiguracích prakticky nezměnila. Kompletní přehled naměřených a vypočtených hodnot pro vozidlo Škoda Superb je uveden v tabulce 6.2. Konfigurace se střešním nosičem je zachycena na obrázku 6.2, zatímco konfigurace s nosičem na tažném zařízení je zobrazena na obrázku 6.3.



Obr. 6.2: Škoda Superb se střešním nosičem [vlastní]



Obr. 6.3: Škoda Superb s nosičem na tažném zařízení [vlastní]

Škoda Superb	Bez přidaného zatížení	Střešní nosič	Nosič na tažné zařízení
Rozvor $l$ [mm]	2836		
Rozchod $t$ [mm]	1586		
Největší technicky přípustná hmotnost [kg]	2085		
Celkové zatížení $m$ [kg]	1603	1667	1680
Využito z největšího možného zatížení	76,9 %	80,0 %	80,6 %
Podélná poloha $l_P$ [mm]	1194,2	1231,7	1341,2
Příčná poloha $t_L$ [mm]	794,5	794,0	791,6
Výšková poloha $h_g$ [mm]	600,9	632,7	591,3

Tab. 6.2: Poloha těžiště Škoda Superb

### 6.1.3 Poloha těžiště - Volkswagen Sharan

U vozidla Volkswagen Sharan se při použití nosiče kol na tažném zařízení zvýšila celková hmotnost na hodnotu 1965 kg, což odpovídá využití 79,3 % největší technicky přípustné hmotnosti. Jedná se o nejnižší využitý podíl ze všech testovaných vozidel.

Podélná poloha těžiště se při upevnění nosiče na tažné zařízení výrazně posunula směrem vzad, nicméně tento posun byl menší než u vozidla Škoda Superb. Výšková poloha těžiště v této konfiguraci zůstala téměř shodná s původním stavem bez zatížení.

Největší změnu výškové polohy těžiště však vykazovala konfigurace se střešním nosičem. V tomto případě došlo ke zvýšení výšky těžiště o téměř 90 mm oproti základní konfiguraci bez přidaného zatížení. Tento výrazný posun je největší ze všech testovaných vozidel a odpovídá konstrukci Volkswagen Sharan, která je charakterizována relativně vysokou stavbou karoserie. Příčná poloha těžiště se u všech konfigurací změnila minimálně. Kompletní přehled naměřených a vypočtených hodnot pro vozidlo Volkswagen Sharan je uveden v tabulce 6.3. Vozidlo v konfiguraci bez přidaného zatížení je zachyceno na obrázku 6.4, zatímco konfigurace s nosičem kol na tažném zařízení je znázorněna na obrázku 6.5.



Obr. 6.4: Volkswagen Sharan bez přidaného zatížení [vlastní]



Obr. 6.5: Volkswagen Sharan s nosičem na tažném zařízení [vlastní]

Volkswagen Sharan	Bez přidaného zatížení	Střešní nosič	Nosič na tažné zařízení
Rozvor $l$ [mm]	2835		
Rozchod $t$ [mm]	1530		
Největší technicky přípustná hmotnost [kg]	2510		
Celkové zatížení $m$ [kg]	1889	1952	1965
Využito z největšího možného zatížení	75,3 %	77,8 %	79,3 %
Podélná poloha $l_p$ [mm]	1216,4	1246,8	1330,9
Příčná poloha $t_L$ [mm]	777,1	774,0	775,9
Výšková poloha $h_g$ [mm]	651,2	740,7	661,5

Tab. 6.3: Poloha těžiště Volkswagen Sharan

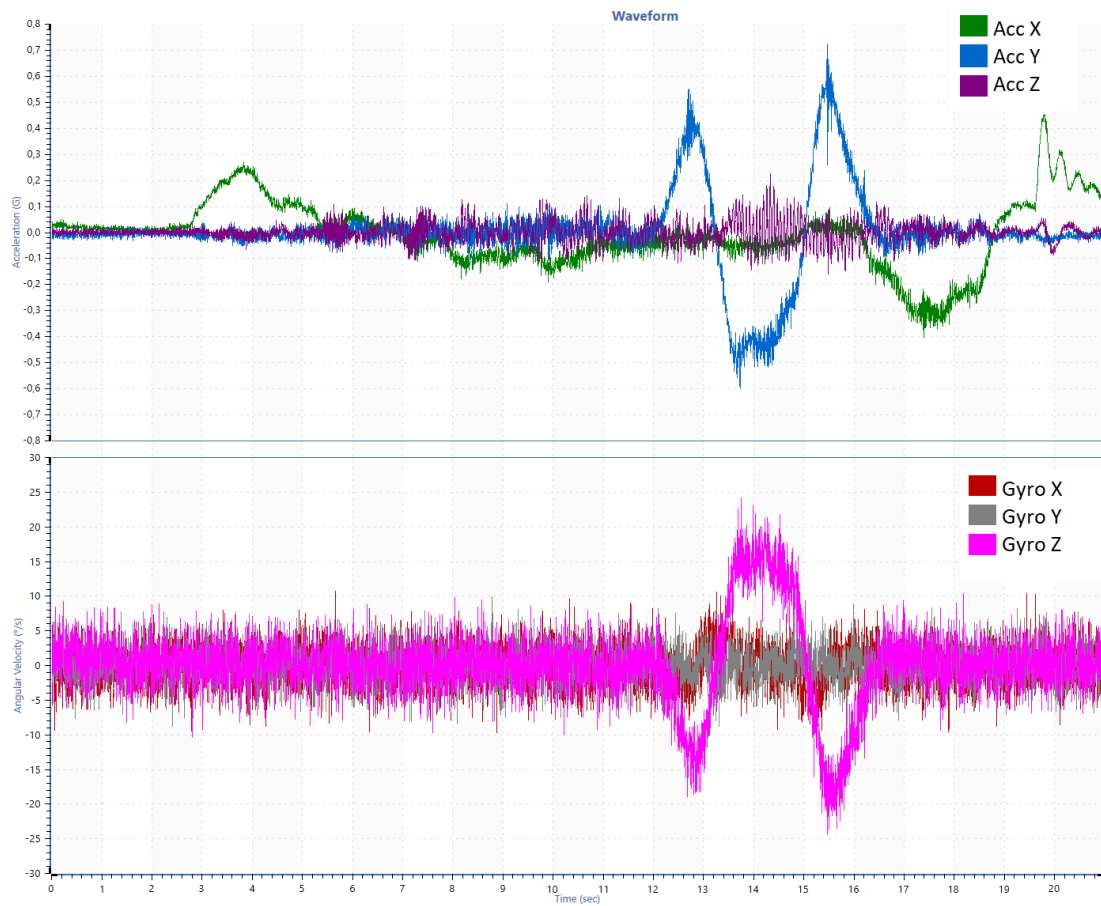
## 6.2 Data získaná z jízdního manévru

Tato kapitola se zaměřuje na zpracování dat získaných při jízdních testech dle normy ISO 3888-2. Nejprve je uveden příklad zaznamenaných hodnot ze záznamového zařízení, který slouží k ilustraci měřených veličin. Následuje popis postupu zpracování, který zahrnuje převod zrychlení na dráhu, filtrování signálů, převod časových průběhů na závislost veličin na dráze a kompenzaci případných systematických odchylek. Cílem této části je vytvořit datový základ pro další vyhodnocení stability jednotlivých vozidel v různých konfiguracích zatížení.

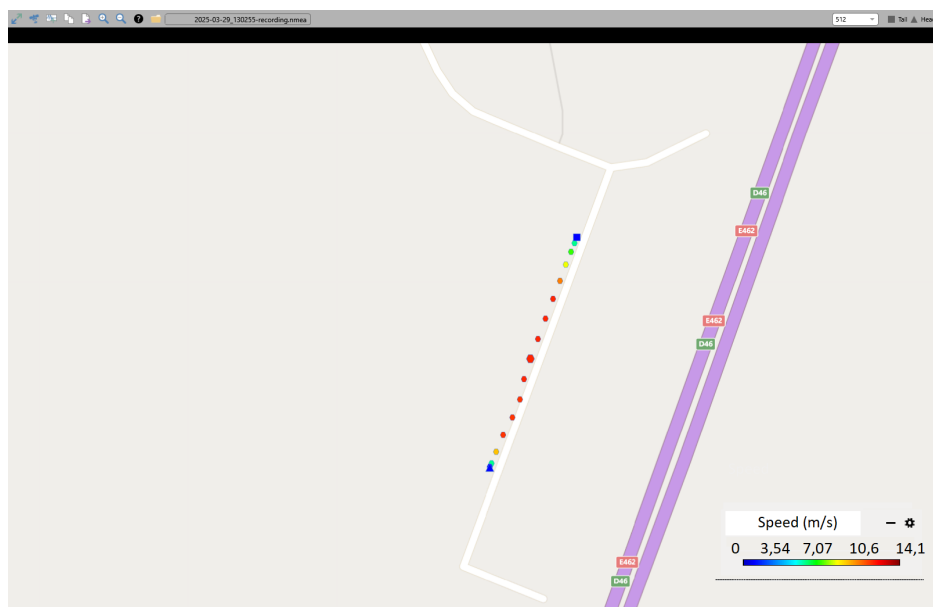
### 6.2.1 Ukázka datového záznamu z jízdního testu

Jako ukázka datového záznamu je v této části uveden výstup z jízdního testu vozidla BMW 530d xDrive ve variantě bez přidaného zatížení. K měření byl využit dříve popsáný záznamový systém ObserVR1000, který zaznamenával zrychlení ve třech osách – podélné ( $Acc X$ ), příčné ( $Acc Y$ ) a vertikální ( $Acc Z$ ) – a zároveň úhlové rychlosti kolem těchto os ( $Gyro X$ ,  $Gyro Y$ ,  $Gyro Z$ ). Časový průběh těchto veličin je znázorněn na obrázku 6.6.

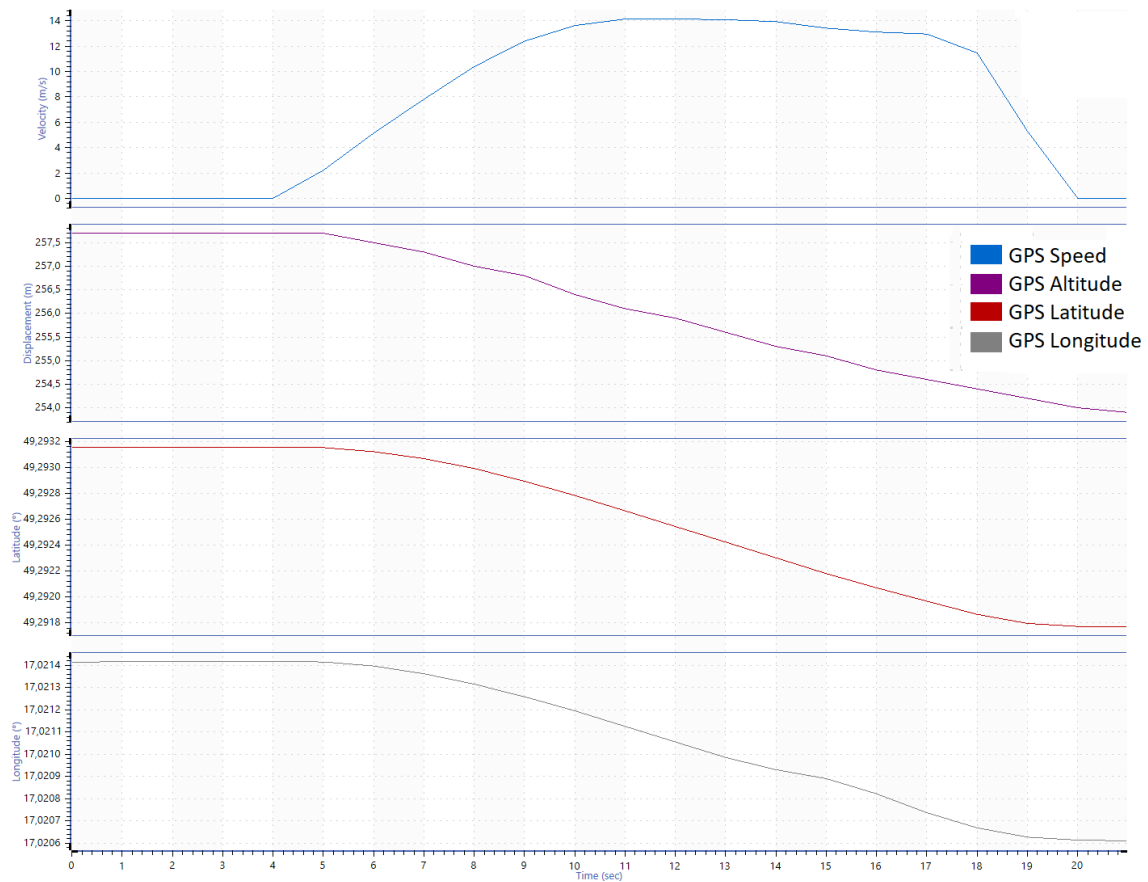
Součástí měření byla i data z připojeného GPS snímače, který zaznamenával rychlost vozidla ( $GPS Speed$  a základní geografické údaje: zeměpisnou šířku ( $GPS latitude$ ), zeměpisnou délku ( $GPS longitude$ ) a nadmořskou výšku ( $GPS altitude$ ). Tyto veličiny lze v softwaru ObserVIEW zobrazit buď přímo nad mapovým podkladem (obrázek 6.7), nebo jako samostatné časové průběhy (obrázek 6.8). Veškerá data jsou ve výstupu vázána na časovou osu.



Obr. 6.6: Záznam zrychlení a úhlových rychlostí ze zařízení ObserVR1000 [vlastní]



Obr. 6.7: Zobrazení polohy na mapovém podkladu v softwaru ObserVIEW [vlastní]



Obr. 6.8: Záznam polohy GPS v podobě grafu z ObserVIEW [vlastní]

## 6.2.2 Zpracování dat

Tato část popisuje úpravy naměřených dat před jejich vyhodnocením. Veškerá data byla získána pomocí záznamového zařízení ObserVR1000 a zpracována v softwaru ObserVIEW a následně v aplikaci Microsoft Excel.

### Filtrování signálů

Zrychlení bylo zaznamenáváno ve všech třech směrech (podélném, příčném a vertikálním) v jednotkách G. Pro další zpracování byla data přímo v softwaru ObserVIEW převedena na jednotky  $m/s^2$ . Následně byla na akcelerační i gyroskopická data aplikován filtr typu dolní propust (low-pass filter) Butterworth 6. řádu, jehož cílem bylo potlačit šum a zvýšit čitelnost signálu. Filtrovaný záznam je vidět na obrázku 6.9.



Obr. 6.9: Filtrovaný záznam zrychlení ObserVR1000 [vlastní]

## Převod časových závislostí na závislosti na dráze

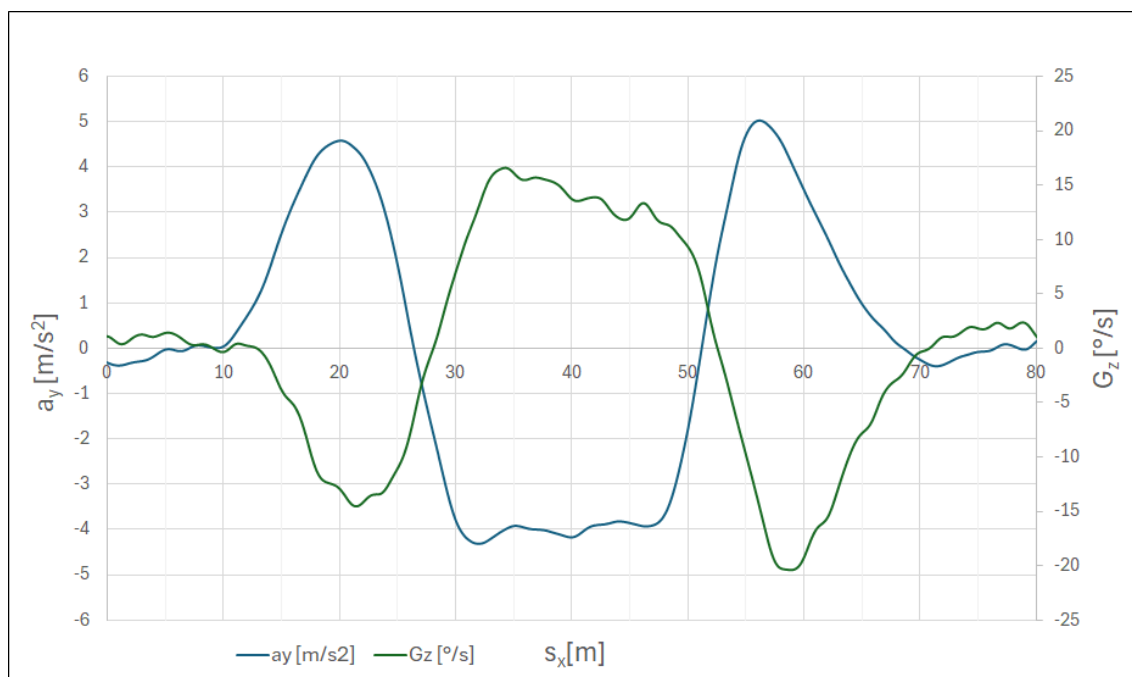
Vzhledem k tomu, že všechna zaznamenaná data byla vztažena k času a jednotlivé jízdy měly různou dobu trvání (vlivem rozdílné nájezdové rychlosti), bylo nutné převést časové závislosti veličin na závislosti na uražené dráze. Tento převod byl proveden numerickou integrací.

Zrychlení v podélné ose (*Acc X*) bylo integrováno pro výpočet rychlosti a následně i podélné vzdálenosti. Stejným způsobem bylo z příčného zrychlení (*Acc Y*) získáno příčné přemístění. Výsledkem byla trajektorie pohybu vozidla během manévru.

Správnost numerické integrace byla ověřena porovnáním s rychlostí z GPS snímače (*GPS Speed*), který byl rovněž součástí záznamového zařízení.

## Oprava systematických chyb

V některých případech bylo zřejmé, že akcelerometr nebyl ve vozidle ideálně ustaven. To se projevilo tím, že i ve stavu klidu vykazoval nenulové hodnoty zrychlení. Tato systematická odchylka byla kompenzována odečtením klidové hodnoty zaznamenané na začátku a konci každého měření. Upravený graf průběhu příčného zrychlení a vertikální úhlové rychlosti je na obrázku 6.10.



Obr. 6.10: Graf průběhu příčného zrychlení a vertikální úhlové rychlosti na podélné dráze [vlastní]

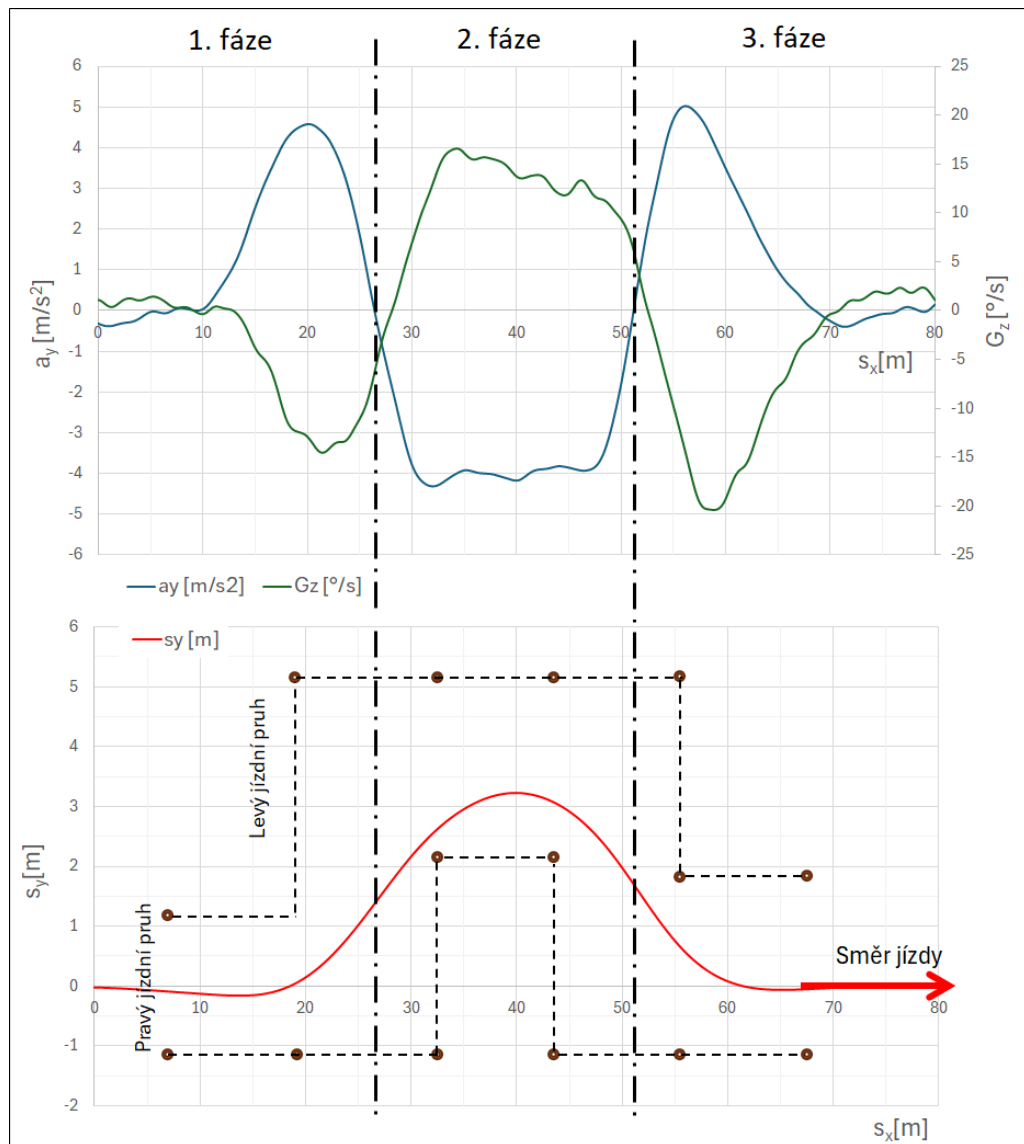
### 6.2.3 Analýza průběhu jízdního manévru

Na základě zpracovaných dat bylo možné graficky znázornit průběh celého vyhýbacího manévru. Obrázek 6.11 zachycuje jeden z měřených průjezdů s vozidlem BMW 530d bez přidaného zatížení. V horní části grafu je znázorněn průběh příčného zrychlení  $a_y$  (modře) a úhlové rychlosti kolem svíslé osy  $G_z$  (zeleně) v závislosti na podélné dráze vozidla  $s_x$ . Tyto veličiny vystihují dynamické chování vozidla v jednotlivých fázích vyhýbacího manévru.

Na základě průběhu příčného zrychlení lze manévr rozdělit do tří charakteristických částí:

- **1. fáze** – úvodní vybočení vozidla doleva z pravého jízdního pruhu do levého při zahájení vyhýbacího manévru.

- **2. fáze** – fáze korekce směru, při které vozidlo po vybočení přechází ze zatáčení vlevo do zatáčení vpravo. Dochází ke změně směru bočního zrychlení a k přesunu vozidla zpět do pravého jízdního pruhu. Tato část manévru je často dynamicky nejkritičtější, protože se zde projevují rychlé změny v příčném pohybu vozidla.
- **3. fáze** – finální stabilizace směru jízdy a vyrovnání trajektorie do přímého směru v pravém jízdním pruhu.



Obr. 6.11: Průběh příčného zrychlení, vertikální úhlové rychlosti a trajektorie vozidla během manévru [vlastní]

Spodní část obrázku 6.11 zachycuje příčné přemístění vozidla  $s_y$  v závislosti na podélné dráze  $s_x$ . Červená křivka představuje vypočtenou trajektorii vozidla během

celého manévru. Černé čárkované linie vymezují předepsané okraje testovacího koridoru dle normy ISO 3888-2 (viz kapitola 5.4.3), který vozidlo musí projet bez dotyku kuželů. Pro lepší přehlednost je zde znázorněn i směr jízdy.

Zobrazení příčného zrychlení a úhlové rychlosti kolem svislé osy v závislosti na ujeté dráze nad trajektorií umožňuje podrobně sledovat dynamickou odezvu vozidla v jednotlivých úsecích manévru. Toto uspořádání usnadňuje identifikaci změn v chování vozidla ve vztahu ke konkrétní části projeté dráhy a umožňuje porovnat vliv zkoumaných nosičů kol na jízdní stabilitu vozidla během vyhýbacího manévru.

## 7 Vyhodnocení dat z jízdního manévru

Tato kapitola navazuje na předchozí část, kde byla popsána příprava dat z jízdního manévru a určení polohy těžiště. Následující text se zaměřuje na samotné vyhodnocení průběhu manévru a srovnání jednotlivých konfigurací vozidel.

Vyhodnocení je rozděleno podle způsobu zatížení vozidla, konkrétně na konfigurace bez přidaného zatížení, s nosičem na střeše a s nosičem na tažném zařízení.

Neupravené časové záznamy ze záznamového zařízení, které předcházely zpracování a úpravám popsaným v hlavním textu, jsou uvedeny v příloze. Jsou rozděleny podle jednotlivých vozidel a konfigurací a obsahují souhrnný přehled všech zaznamenaných jízd bez další filtrace.

### 7.1 Ukázkové průběhy jízdního manévru

Tato část se věnuje podrobnějšímu představení tří vybraných záznamů jízdního manévru, které reprezentují různé konfigurace zatížení u různých vozidel. Cílem je ilustrovat charakteristické chování vozidla během jednotlivých fází manévru a vytvořit základ pro následné porovnání. Vybrané průběhy odpovídají následujícím konfiguracím:

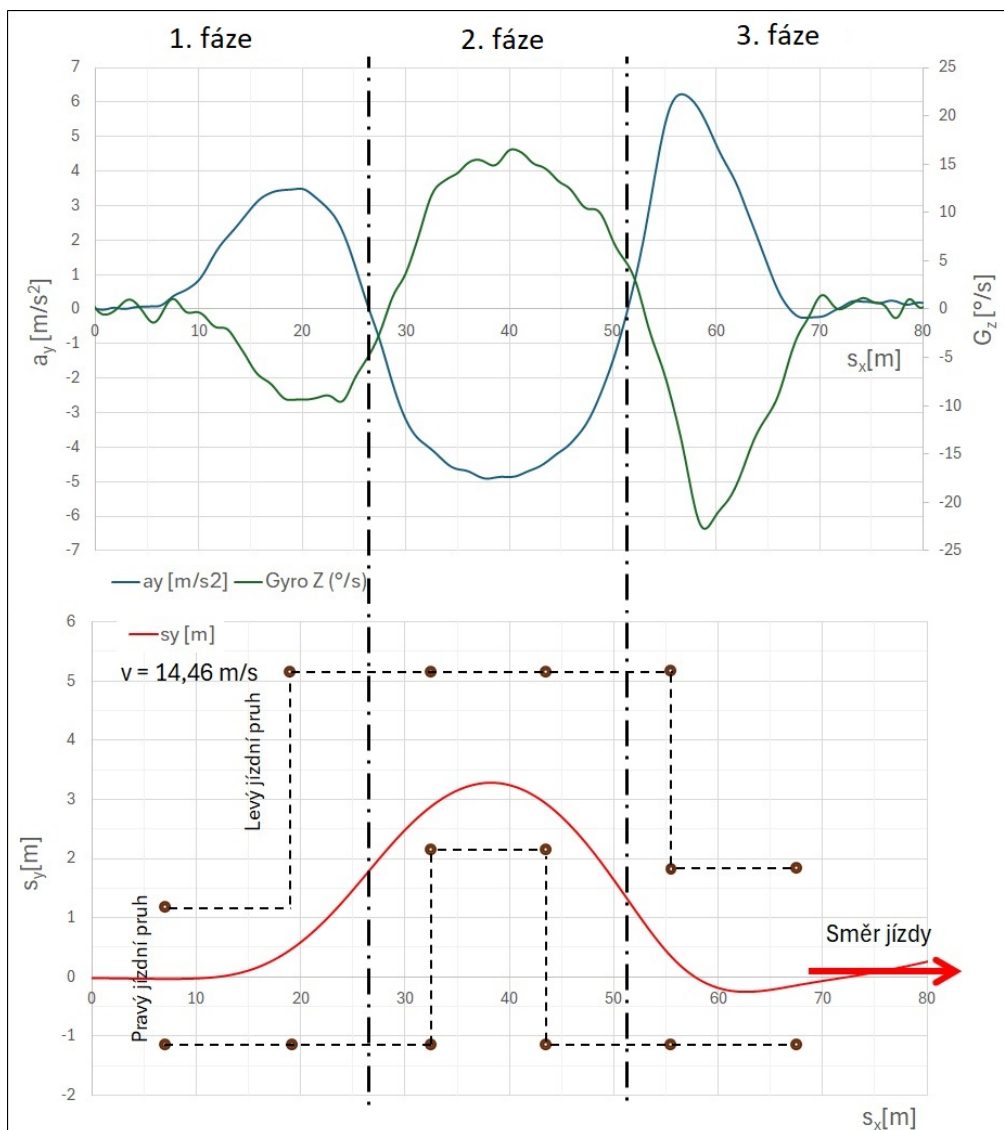
- Škoda Superb – bez přidaného zatížení,
- Volkswagen Sharan – se střešním nosičem,
- BMW 530d – s nosičem na tažném zařízení.

Ve všech grafech je v legendě uvedena nájezdová rychlost označená symbolem  $v$  a dále tři křivky odpovídající následujícím veličinám:

- Příčné zrychlení – modře, jednotky  $[m/s^2]$ ,
- Úhlové rychlosti kolem svislé osy – zeleně, jednotky  $[^\circ/s]$ ,
- Trajektorie – červeně, jednotky  $[m]$ .

#### 7.1.1 Ukázkový průběh Volkswagen Sharan bez přidaného zatížení

Na obrázku 7.1 je znázorněn průběh jízdního manévru vozidla Volkswagen Sharan v konfiguraci bez přidaného zatížení. Průběh příčného zrychlení (modrý) má celkově plynulý a hladký charakter, bez znatelných výkyvů nebo rozkmitání. Průběh mezi jednotlivými lokálními extrémy je bez náhlých změn nebo oscilací. Tvar křivky bočního zrychlení je zaoblený a nevykazuje známky ztráty stability či nestandardního chování vozidla. Data z gyroskopu (zelené) podporují interpretaci plynulého průběhu – křivka úhlové rychlosti kolem svislé osy je rovněž bez známek prudkých korekcí nebo výkyvů řízení.



Obr. 7.1: Průběh jízdního manévru Volkswagen Sharan bez přidaného zatížení [vlastní]

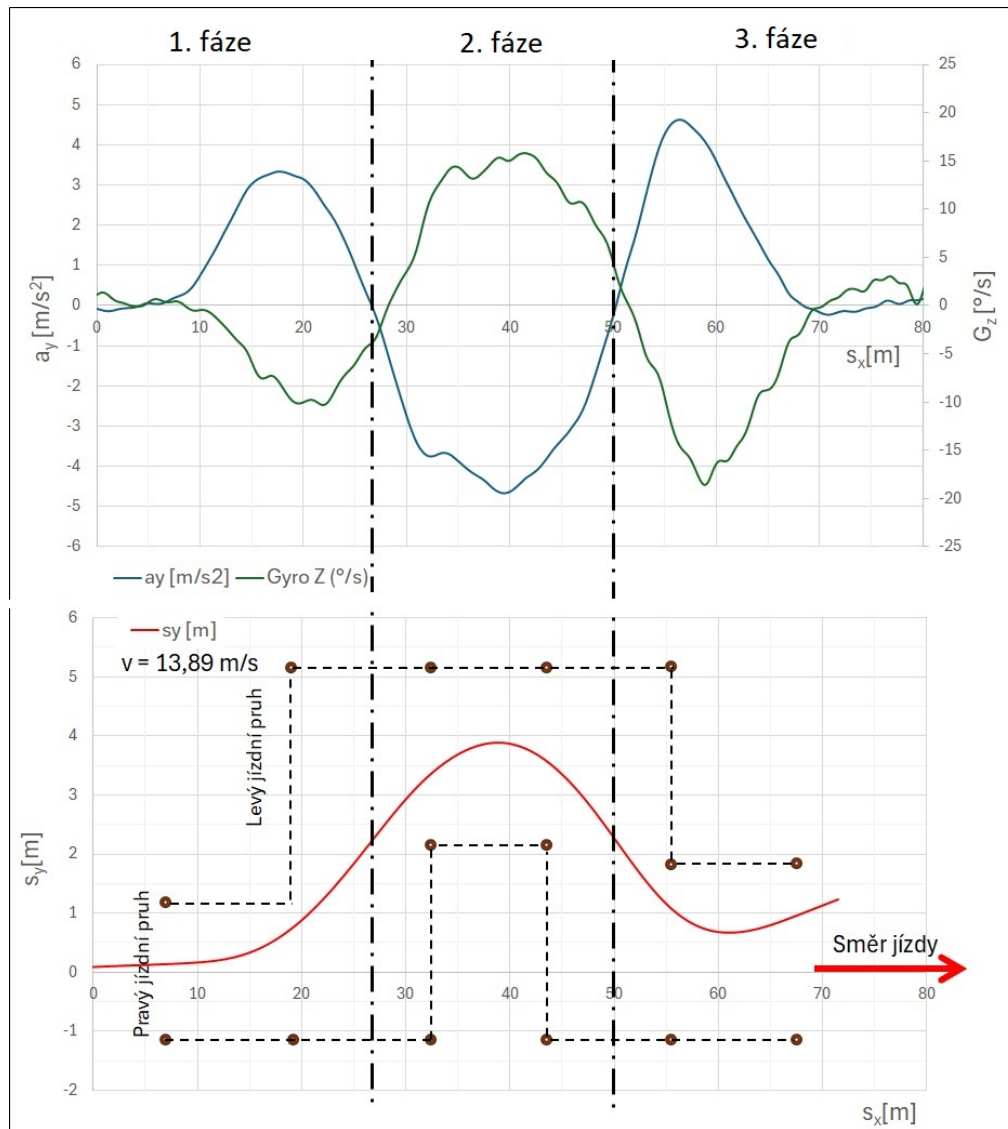
### 7.1.2 Ukázkový průběh Škoda Superb se střešním nosičem

Na obrázku 7.2 je znázorněn průběh jízdního manévru vozidla Škoda Superb v konfiguraci se střešním nosičem. Již v první fázi je patrný ostřejší a méně plynulý průběh příčného zrychlení (modrá křivka), který má oproti konfiguraci bez zatížení výrazněji špičatý tvar. Ve druhé fázi se průběh liší ještě výrazněji – boční zrychlení klesá, ale před dosažením minima vzroste a až poté klesne na ono minimum. Tento efekt může souviset s dynamickým chováním vozidla zatíženého hmotou umístěnou vysoko nad těžištěm.

Gyroskopická data (zelená křivka) rovněž nevykazují hladký zaoblený průběh

jako u nezatížené konfigurace (viz obrázek 7.1). V oblasti vrcholu jsou více sploštělá, což může být způsobeno setrvačností hmoty uložené na střeše a jejím opožděným pohybem vůči karoserii.

Trajektorie vozidla ve spodní části grafu (červená křivka) ukazuje, že vozidlo projíždělo levou část jízdního pruhu blíže k levému okraji a při výjezdu z koridoru bylo vychýleno výrazněji vlevo ve srovnání s konfigurací bez zatížení.



Obr. 7.2: Průběh jízdního manévru Škoda Superb se střešním nosičem [vlastní]

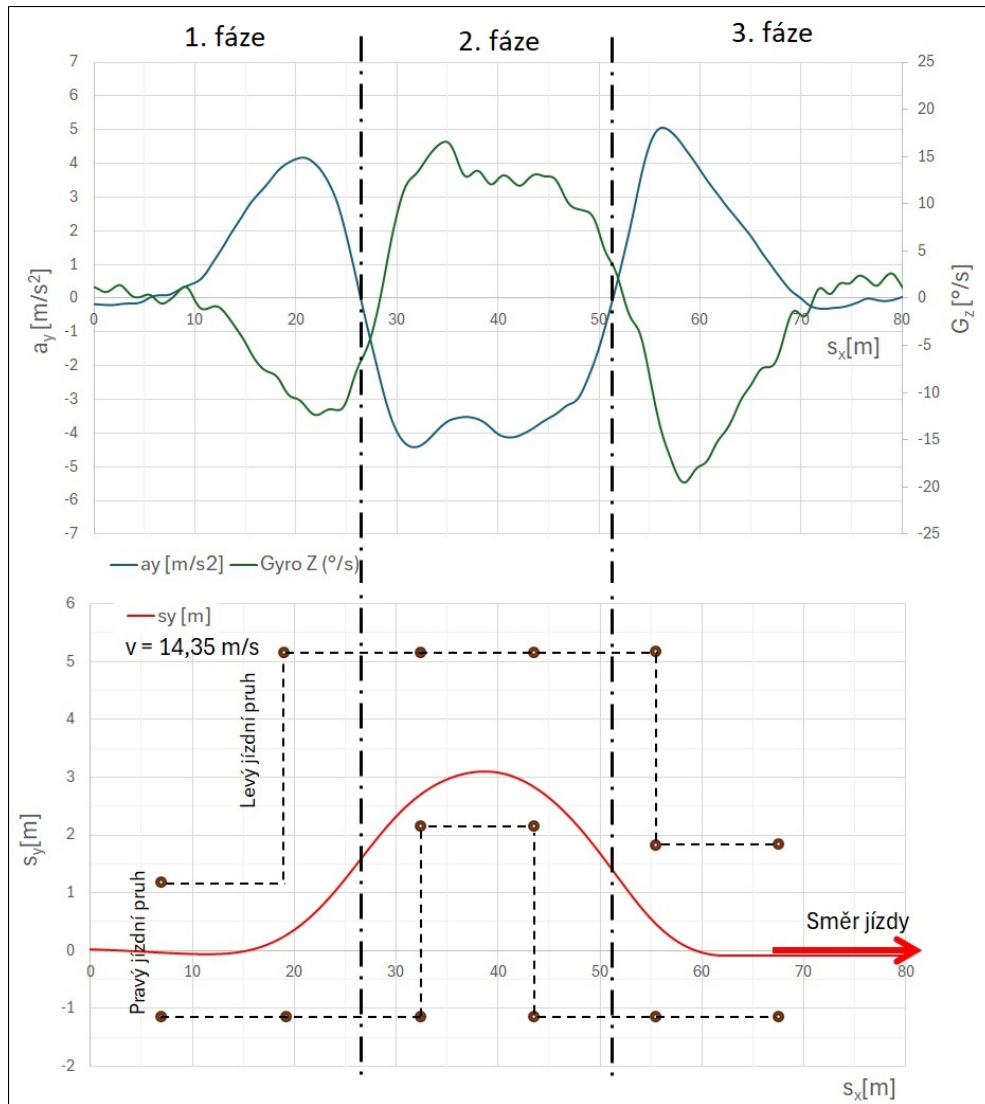
### 7.1.3 Ukázkový průběh BMW 530d s nosičem na tažné zařízení

Průběh jízdního manévru vozidla BMW 530d s nosičem na tažné zařízení je znázorněn na obrázku 7.3. Příčné zrychlení (modrá křivka) v první a třetí fázi nevykazuje výrazné odchylky oproti konfiguraci bez zatížení. Ve druhé fázi je patrný

náznak oscilace – hodnota klesá k minimu, krátce vzroste a znovu klesá, než přejde do třetí fáze.

Tento jev odpovídá i průběhu úhlové rychlosti (zelená křivka), která po dosažení vrcholu rovněž mírně kolísá. Průběh naznačuje dynamickou reakci vozidla na změnu směru zatížení, i když nevede k výraznému narušení stability.

Trajektorie (červená křivka) je velmi podobná konfiguraci bez zatížení a vozidlo se během průjezdu nevychyluje směrem doleva jako v případě konfigurace se střešním nosičem.



Obr. 7.3: Průběh jízdního manévru BMW 530d s nosičem na tažné zařízení [vlastní]

## 7.2 Porovnání průběhů

V této sekci jsou vzájemně porovnávány průběhy jízdního manévru vozidel v různých konfiguracích. Jako referenční jsou použity průběhy měřené v konfiguraci bez přidaného zatížení.

### 7.2.1 Porovnání průběhů BMW 530d bez zatížení a se střešním nosičem

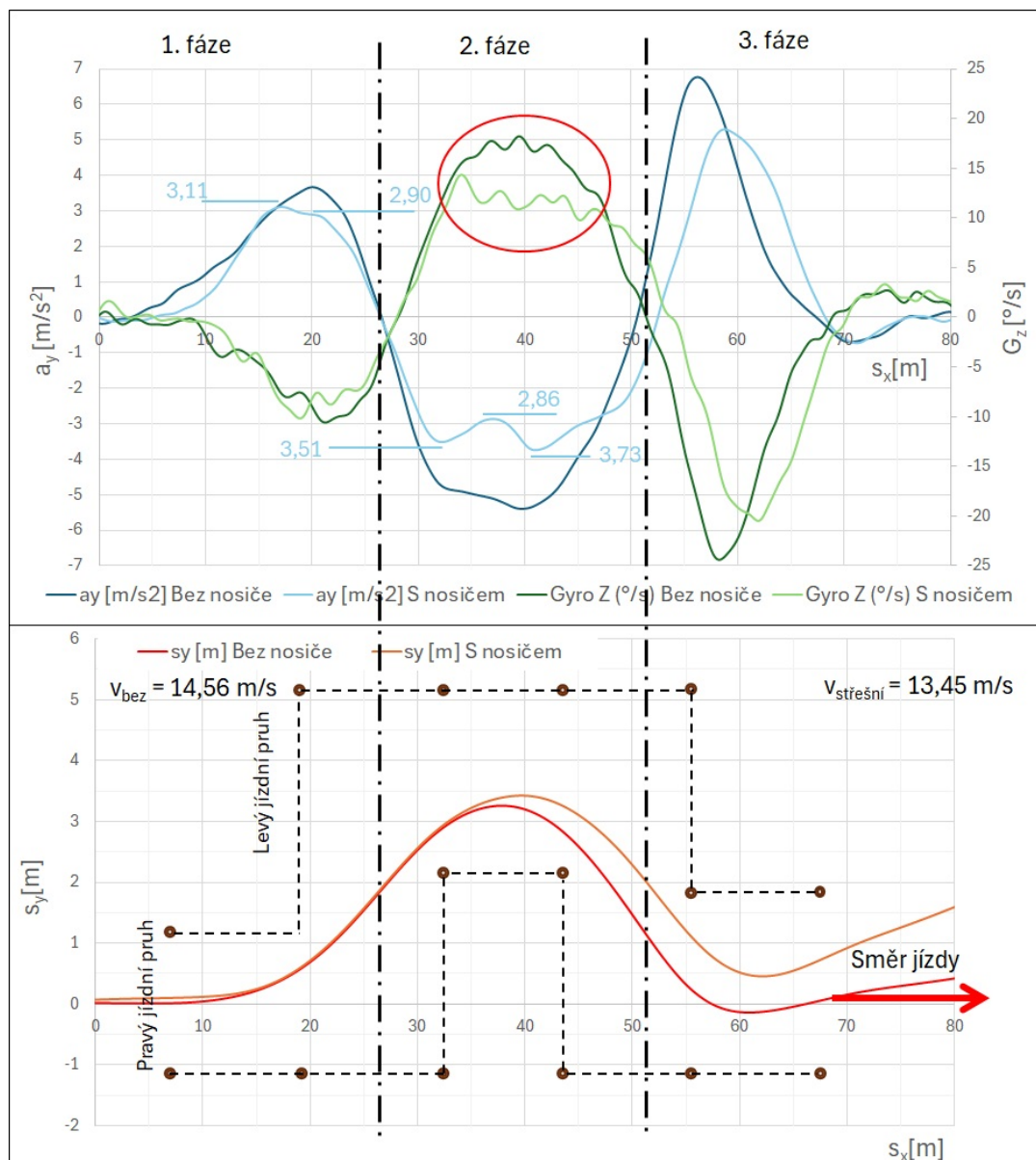
Na obrázku 7.4 jsou porovnány průběhy vozidla BMW 530d v konfiguraci bez zatížení (tmavé barvy – modrá, zelená, červená) a se střešním nosičem (světlé barvy – světle modrá, světle zelená, oranžová). Z grafu je patrné, že průběh jízdy se střešním nosičem dosahuje nižších hodnot příčného zrychlení, což je způsobeno zejména nižší nájezdovou rychlostí.

Při detailnějším pohledu je však vidět, že průběh příčného zrychlení se střešním nosičem vykazuje méně hladký charakter než bez zatížení. V první fázi je zřetelný krátký pokles hodnoty zrychlení z lokálního maxima  $3,11 \text{ m/s}^2$  na hodnotu  $2,90 \text{ m/s}^2$ , kde zrychlení krátce setrvává, než začne výrazněji klesat do druhé fáze.

Ve druhé fázi průběh se střešním nosičem nejprve dosáhne lokálního minima  $-3,51 \text{ m/s}^2$ , poté krátce vzroste na hodnotu  $-2,86 \text{ m/s}^2$  a následně opět klesá k absolutnímu minimu  $-3,73 \text{ m/s}^2$ . Naproti tomu průběh bez zatížení vykazuje ve druhé fázi monotónní pokles bez dodatečných oscilací.

V průběhu úhlové rychlosti kolem svislé osy jsou rovněž patrné rozdíly. Ve druhé fázi vykazuje křivka se střešním nosičem místo hladkého obloukového maxima plošší vrchol s následnými oscilacemi kolem hodnoty přibližně  $11,10 \text{ }^\circ/\text{s}$ . Tato oscilace může být způsobena setrvačností nákladu uloženého na střeše vozidla.

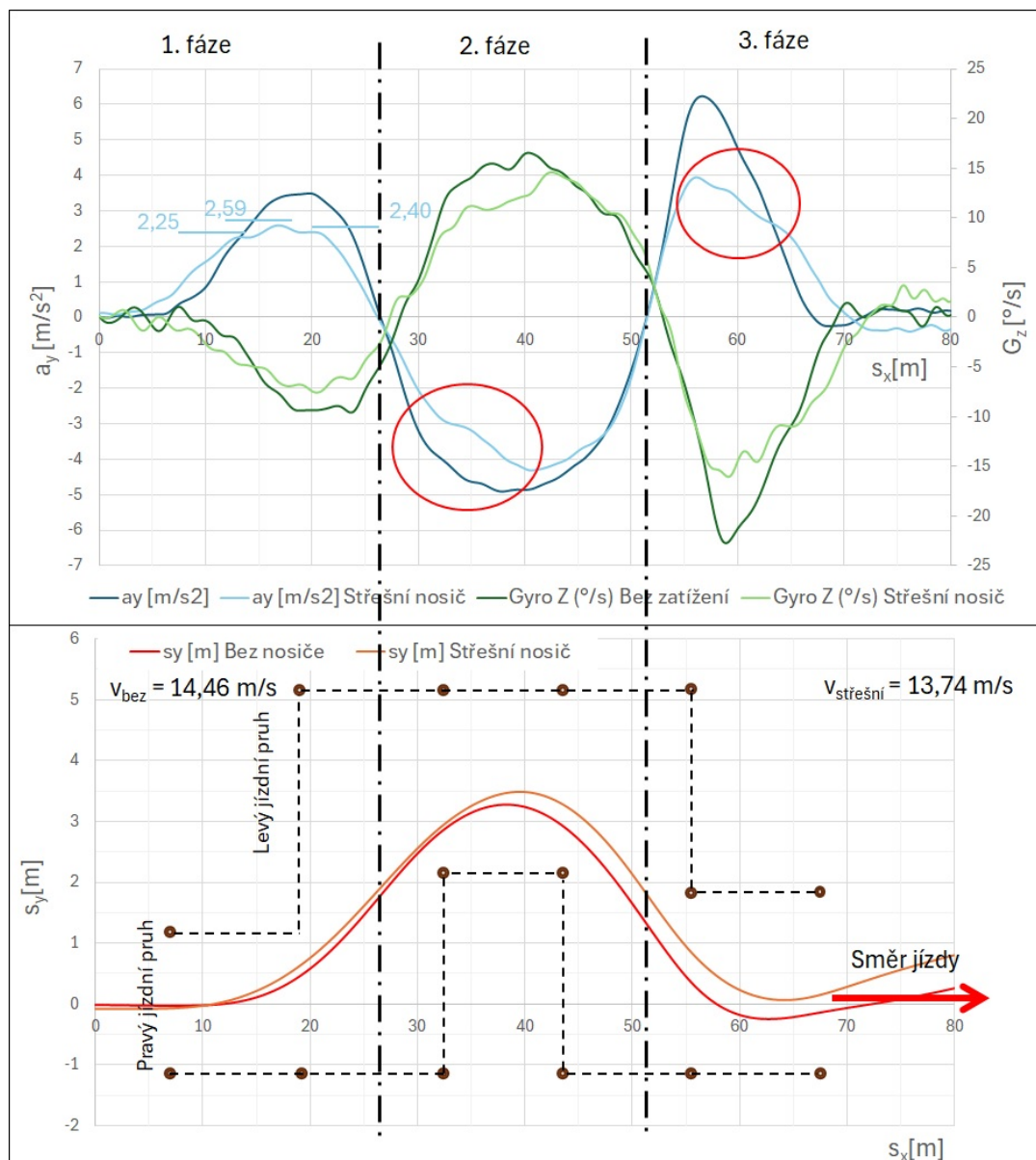
Trajektorie vozidla ukazuje, že při konfiguraci se střešním nosičem se vozidlo pohybuje více vlevo v levém jízdním pruhu a také při návratu do pravého pruhu opouští koridor výrazněji vlevo než v konfiguraci bez zatížení.



Obr. 7.4: Porovnání průběhů BMW 530d bez zatížení a se střešním nosičem [vlastní]

## 7.2.2 Porovnání průběhů Volkswagen Sharan bez zatížení a se střešním nosičem

Na obrázku 7.5 je znázorněno porovnání průběhů vozidla Volkswagen Sharan v konfiguraci bez zatížení (tmavé barvy – modrá, zelená, červená) a se střešním nosičem (světlé barvy – světle modrá, světle zelená, oranžová). V první fázi průběhu se střešním nosičem je viditelné krátkodobé ustálení příčného zrychlení po dosažení hodnoty  $2,25$  m/s<sup>2</sup>. Hodnota poté vzroste na  $2,59$  m/s<sup>2</sup>, následně klesne na hodnotu  $2,40$  m/s<sup>2</sup>, kde opět krátce setrvává, než začne přecházet do druhé fáze.



Obr. 7.5: Porovnání průběhů Volkswagen Sharan bez zatížení a se střešním nosičem [vlastní]

Ve druhé a třetí fázi jsou v grafu označena červeným kruhem místa, kde průběh příčného zrychlení se střešním nosičem vykazuje zřetelnou neplynulost a krátkodobé výkyvy. Naproti tomu průběh bez zatížení si zachovává hladký a rovnoměrně zaoblený tvar.

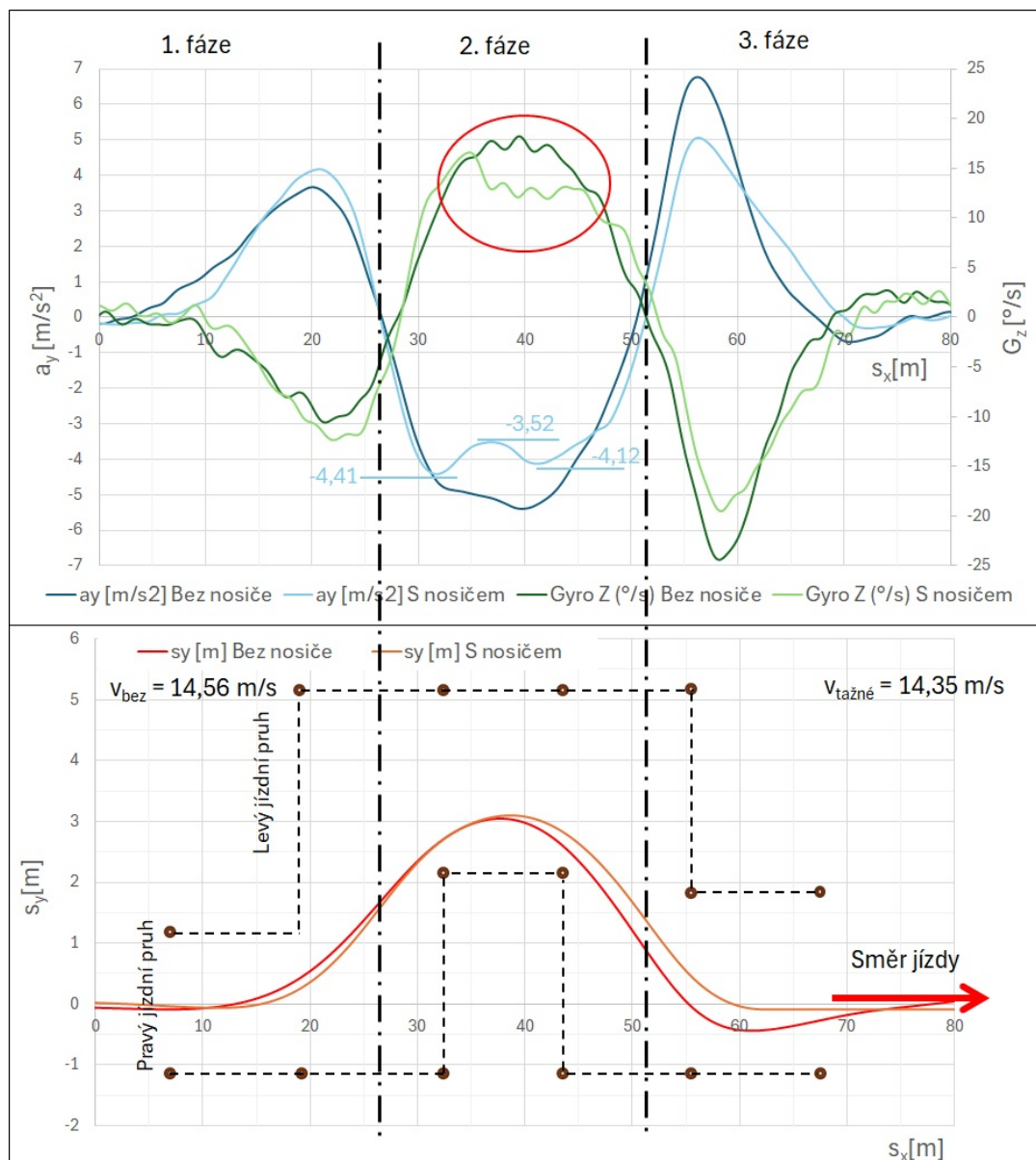
Trajektorie vozidla Volkswagen Sharan se střešním nosičem je ve srovnání s konfigurací bez zatížení posunuta doleva – jak při průjezdu levým jízdním pruhem, tak i při následném návratu do pravého jízdního pruhu. Tento jev je shodný s chováním pozorovaným u vozidla BMW 530d (viz obrázek 7.4).

### 7.2.3 Porovnání průběhů BMW 530d bez zatížení a s nosičem na tažné zařízení

Na obrázku 7.6 jsou porovnány průběhy vozidla BMW 530d bez zatížení (tmavě modrá, tmavě zelená, červená) a s nosičem na tažné zařízení (světlé barvy). Průběh příčného zrychlení (světle modrá křivka) s nosičem na tažném zařízení vykazuje hladký charakter v první a třetí fázi. Ve druhé fázi však můžeme pozorovat, že po dosažení minima  $-4,41 \text{ m/s}^2$  hodnota bočního zrychlení krátce vzroste na  $-3,52 \text{ m/s}^2$  a následně opět klesne na hodnotu  $-4,12 \text{ m/s}^2$ , než začne narůstat směrem ke třetí fázi. Oproti tomu průběh bez zatížení (tmavě modrá křivka) je ve druhé fázi hladší s rovnoměrným poklesem bez zřetelných oscilací.

Při pohledu na průběh úhlové rychlosti kolem svislé osy je zřejmé, že konfigurace bez nosiče (tmavě zelená křivka) je ve druhé fázi symetrická a plynulá. V konfiguraci s nosičem na tažném zařízení (světle zelená křivka) je viditelná oscilace po dosažení absolutního maxima, která způsobuje neplynulý průběh úhlové rychlosti.

Trajektorie vozidla s nosičem na tažném zařízení vykazuje mírně větší poloměr projetého oblouku. Při výjezdu z koridoru je trajektorie rovnější než u konfigurace bez zatížení, která vykazuje odklon doleva. Tato odchylka může být způsobena korekcemi během řízení s cílem udržet vozidlo přibližně uprostřed jízdního koridoru.



Obr. 7.6: Porovnání průběhů BMW 530d bez zatížení a s nosičem na tažném zařízení [vlastní]

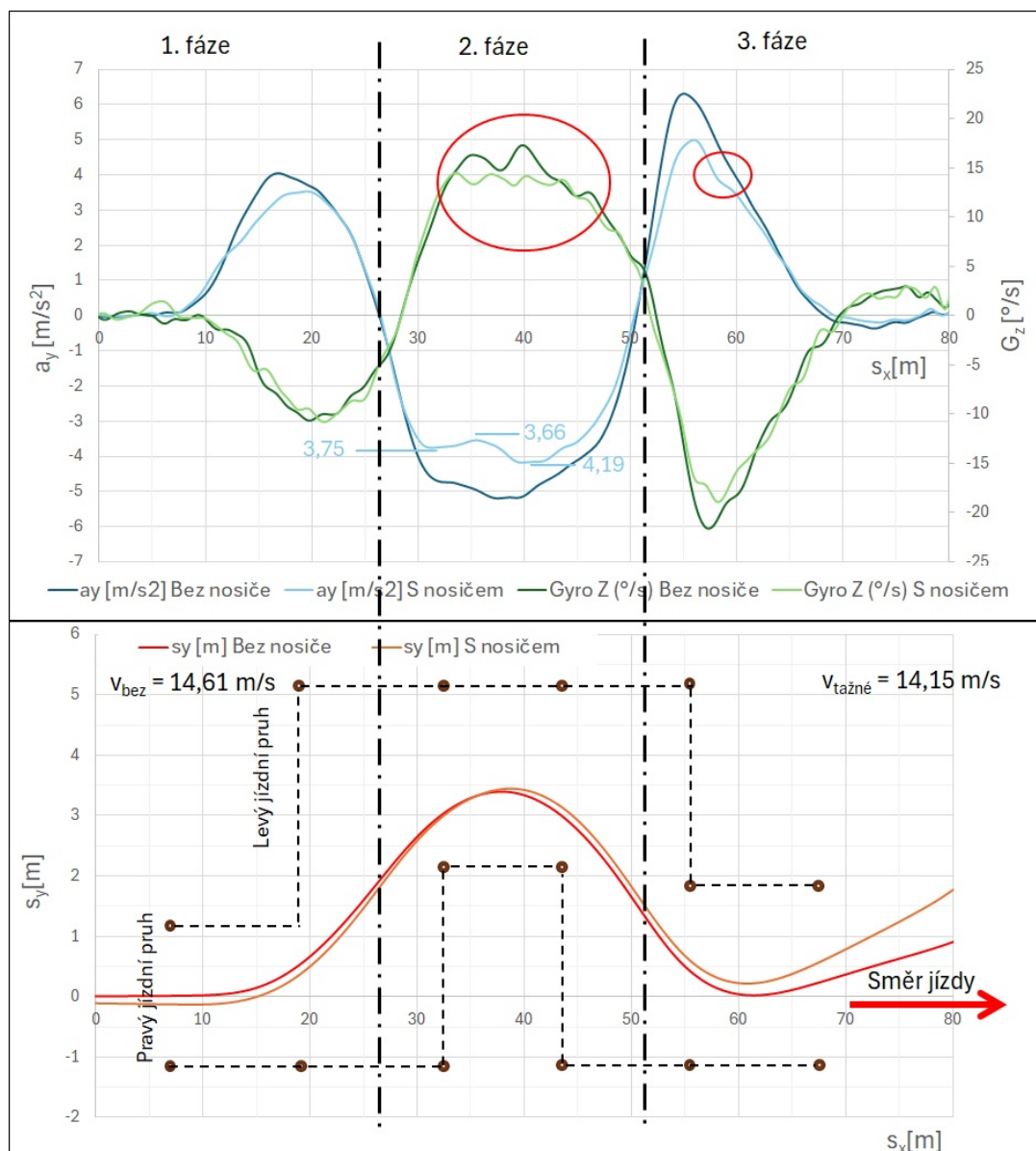
## 7.2.4 Porovnání průběhů Škoda Superb bez zatížení a s nosičem na tažné zařízení

Na obrázku 7.7 jsou porovnány průběhy vozidla Škoda Superb bez zatížení (tmavě modrá, tmavě zelená, červená) a s nosičem na tažné zařízení (světlé barvy). První fáze vykazuje v obou konfiguracích hladký průběh bez znatelných odchylek. Ve druhé fázi je však u konfigurace s nosičem patrná výraznější dynamická změna – po dosažení hodnoty  $-3,75$  m/s<sup>2</sup> boční zrychlení krátce vzroste na  $-3,66$  m/s<sup>2</sup>, aby ná-

sledně kleslo k absolutnímu minimu  $-4,19 \text{ m/s}^2$ . Poté průběh plynule přechází do třetí fáze. Po dosažení maxima ve třetí fázi je viditelné zpomalení poklesu průběhu zrychlení s nosičem, označené červeným kruhem, které může souviset s nestabilitou vyvolanou přídatným zatížením.

Průběh úhlové rychlosti kolem svislé osy u konfigurace s nosičem je ve druhé fázi plošší a vykazuje opakované přiblížení hodnotě přibližně  $15,00 \text{ }^\circ/\text{s}$ , což může naznačovat krátkodobé kolísání reakce vozidla na směr zatížení.

Trajektorie obou konfigurací jsou velmi podobné, navzájem o desetinu metru odsazené. Výjezd z koridoru probíhá v obou případech přibližně ve stejné stopě.



Obr. 7.7: Porovnání průběhů Škoda Superb bez zatížení a s nosičem na tažné zařízení [vlastní]

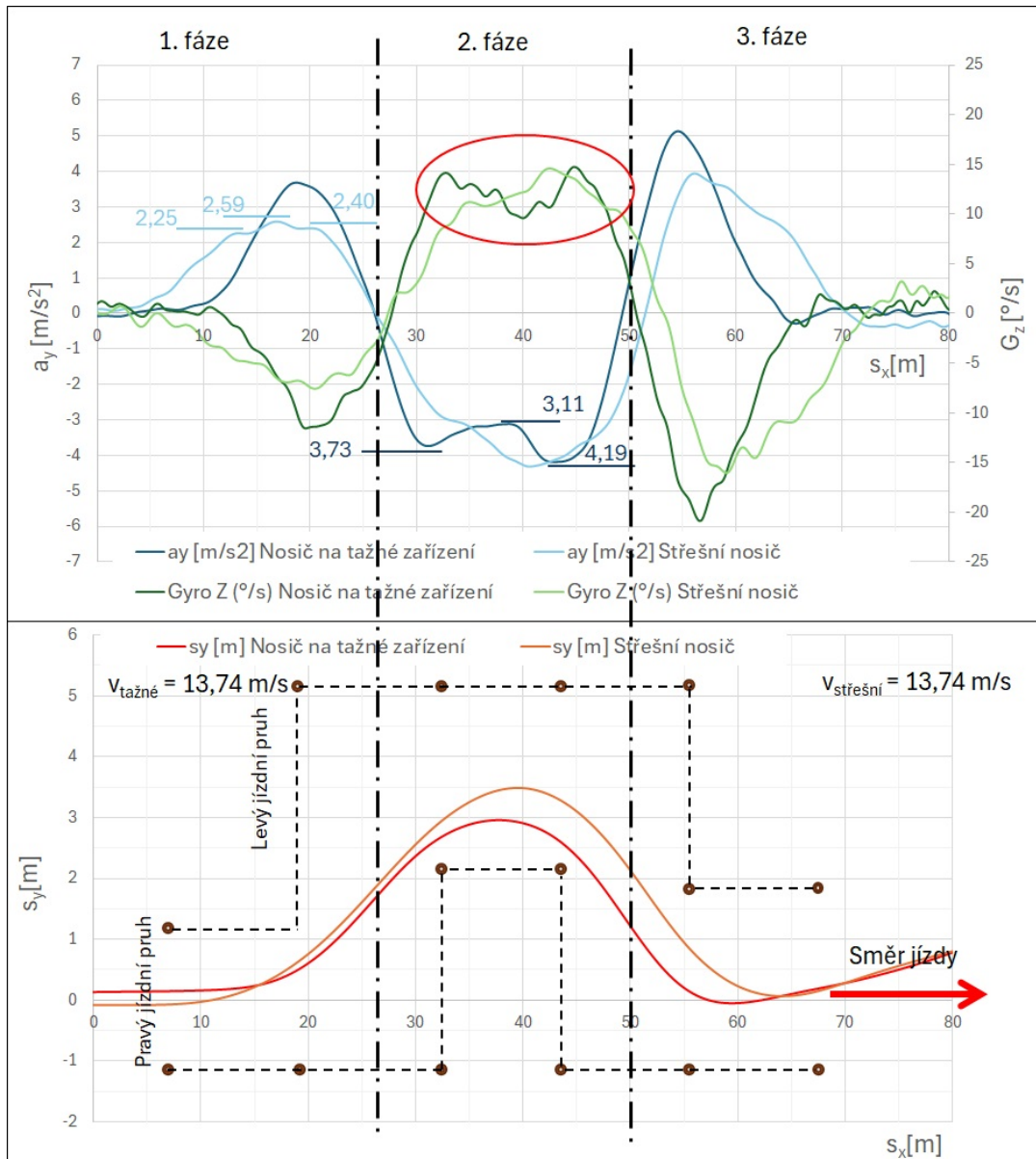
## 7.2.5 Porovnání průběhů Volkswagen Sharan s nosičem na tažné zařízení a se střešním nosičem

Na obrázku 7.8 jsou porovnány průběhy jízdního manévru vozidla Volkswagen Sharan ve dvou konfiguracích: s nosičem na tažné zařízení (tmavě modrá, tmavě zelená, červená) a se střešním nosičem (světlé barvy). Při pohledu na průběh příčného zrychlení (modrá křivka) je patrné, že konfigurace se střešním nosičem vykazuje v první fázi méně plynulý náběh – hodnota nejprve naroste na  $2,25 \text{ m/s}^2$ , krátce stagnuje, následně vzroste na  $2,59 \text{ m/s}^2$  a po poklesu se ustálí na  $2,40 \text{ m/s}^2$ . Naproti tomu průběh s nosičem na tažném zařízení má plynulejší charakter bez zřetelných výkyvů.

Ve druhé fázi je rozdíl výraznější - konfigurace se střešním nosičem vykazuje neklidnější průběh příčného zrychlení a zároveň také úhlové rychlosti. Po dosažení hodnoty  $-3,73 \text{ m/s}^2$  dochází k postupnému zvýšení zrychlení na  $-3,11 \text{ m/s}^2$  a následně opětovnému poklesu k  $-4,19 \text{ m/s}^2$ . Podobně i úhlová rychlost (zelená křivka) v této fázi u střešního nosiče osciluje kolem hodnoty  $10,00$  až  $12,00 \text{ }^\circ/\text{s}$ . Oproti tomu průběh s nosičem na tažném zařízení má kompaktnější a méně rozkmitaný tvar.

V úvodu třetí fáze je u konfigurace se střešním nosičem pozorovatelné zpomalení poklesu příčného zrychlení, zatímco u nosiče na tažném zařízení probíhá změna plynuleji.

Trajektorie vozidla je v obou konfiguracích srovnatelná, s mírným posunem konfigurace se střešním nosičem více vlevo – jak v levém jízdním pruhu, tak při návratu do pravého. Tento posun odpovídá pozorovanému chování i u ostatních vozidel zatížených na střeše.



Obr. 7.8: Porovnání průběhů Volkswagen Sharan s nosičem na tažné zařízení a se střešním nosičem [vlastní]

# Závěr

Tato diplomová práce se zabývala analýzou vlivu různých způsobů přepravy jízdních kol na jízdní stabilitu osobního vozidla. Téma je aktuální vzhledem k rostoucí oblibě cykloturistiky a rozšíření těžších elektrokol, jejichž přeprava představuje dodatečné zatížení, které může ovlivnit jízdní vlastnosti vozidla, zejména při krizových manévrech. Práce si kladla za cíl navrhnout a realizovat experimentální měření, která umožní porovnat vliv střešního nosiče a nosiče na tažné zařízení na jízdní stabilitu vozidla, včetně zohlednění hmotnosti elektrokol. Cílem bylo také částečně zaplnit mezeru v dostupné literatuře, kde se nachází omezený počet experimentálních studií zaměřených na tento konkrétní aspekt.

Pro splnění stanovených cílů byla provedena rešerše v oblasti vozidel a způsobů upevnění jízdních kol. Následně byl navržen a realizován soubor experimentálních měření na třech testovacích vozidlech (BMW 530d xDrive, Volkswagen Sharan, Škoda Superb), každém ve třech konfiguracích: bez nosiče, se střešním nosičem a s nosičem na tažné zařízení. Pro simulaci hmotnosti elektrokol byla použita jízdní kola zatížená na přibližně 20 kg. Klíčová měření zahrnovala stanovení polohy těžiště vozidla v různých konfiguracích a test prudké změny jízdního pruhu dle normy ISO 3888-2 (tzv. losí test) při nájezdové rychlosti 50 km/h. Data z jízdního manévru (zrychlení, úhlové rychlosti, trajektorie) byla sbírána pomocí záznamového zařízení ObserVR1000 a inerciálního snímače Dytran 7576A, následně zpracována a vyhodnocena.

Výsledky měření polohy těžiště potvrdily, že přídavné zatížení mění jeho polohu. Střešní nosič způsoboval výrazné zvýšení výškové polohy těžiště, zejména u vozidla Volkswagen Sharan, u kterého výšková poloha těžiště vzrostla ze 651,2 mm na 740,7 mm při použití střešního nosiče, což představuje nárůst o přibližně 13,7 %. Nosič na tažné zařízení naopak posunul těžiště výrazně směrem k zadní nápravě, nejvíce u vozidla Škoda Superb. U tohoto vozidla způsobil nosič na tažné zařízení výrazný podélný posun ze 1194,2 mm na 1341,2 mm, tedy o 147,0 mm, přičemž výška těžiště mírně klesla z 600,9 mm na 591,3 mm. Tyto změny v poloze těžiště mají teoretický dopad na jízdní stabilitu a dynamické vlastnosti vozidla, včetně náchylnosti k převrácení a chování při brzdění.

Analýza dat z jízdního manévru dle ISO 3888-2 ukázala, že přeprava jízdních kol pomocí nosičů má měřitelný vliv na dynamické chování vozidla ve srovnání s konfigurací bez zatížení. V konfiguracích s nosiči byly v průbězích příčného zrychlení a úhlové rychlosti kolem svislé osy pozorovány méně plynulé průběhy a náznaky oscilací, zejména ve druhé, dynamicky nejnáročnější fázi vyhýbacího manévru. Tyto jevy naznačují zhoršenou odezvu vozidla a potenciální snížení jízdní stability.

V případě střešního nosiče byly rovněž pozorovány odchylky v trajektorii, zejména

výraznější vychýlení vozidla v levém jízdním pruhu i při návratu do pravého pruhu. Například u vozidla Volkswagen Sharan byla ve druhé fázi manévru trajektorie se střešním nosičem odsazena vlevo o 0,25 m oproti jízdě bez zatížení. U vozidla BMW 530d činila odchylka trajektorie ve stejné fázi 0,23 m. Negativní dopad střešního nosiče je zde zřetelnější, pravděpodobně v důsledku zvýšení polohy těžiště a možného vlivu aerodynamického odporu. Nosič na tažné zařízení ovlivňuje stabilitu odlišně. Především posunem zatížení směrem k zadní části vozidla, přičemž jeho efekt na trajektorii je méně výrazný. Pro srovnání, u vozidla Volkswagen Sharan činil rozdíl v maximálním vychýlení mezi konfigurací se střešním nosičem a s nosičem na tažné zařízení přibližně 0,38 m.

Získané výsledky potvrzují, že způsob přepravy jízdních kol má významný vliv na jízdní stabilitu vozidla. Negativní dopad střešního nosiče je patrnější, pravděpodobně v důsledku zvýšení těžiště a možného vlivu aerodynamického odporu. Nosič na tažné zařízení ovlivňuje stabilitu jiným způsobem, především přesunem zatížení směrem k zadní části vozidla, přičemž jeho efekt je méně výrazný.

Cíle diplomové práce byly splněny, neboť byla navržena, realizována a vyhodnocena experimentální měření, která poskytla cenná data pro porovnání vlivu různých typů nosičů na stabilitu vozidla při standardizovaném vyhýbacím manévru. Práce tak přispívá k lepšímu pochopení bezpečnostních aspektů spojených s přepravou jízdních kol a poskytuje experimentální podklad v oblasti, kde dosud chyběly detailnější studie.

Pro další výzkum by bylo možné rozšířit testování na širší spektrum vozidel a typů nosičů. Dále by bylo přínosné analyzovat chování vozidla při různých rychlostech, na odlišných površích vozovky či za různých klimatických podmínkách. Rovněž lze uvažovat o zařazení dalších jízdních zkoušek dle mezinárodních norem (např. jiných testů ISO), včetně měření brzdné dráhy.

# Literatura

- [1] Dean Karnopp. *Vehicle dynamics, stability, and control*. Dekker mechanical engineering. CRC press, Boca Raton, 2nd ed edition, 2013.
- [2] František Vlk. *Dynamika motorových vozidel*. Nakladatelství František Vlk, Brno, 2. vyd. edition, 2003.
- [3] Stanislav Tokař and Aleš Vémola. *Teorie vozidel*. Ústav soudního inženýrství VUT, Brno, 2020.
- [4] Zihan Li, Ping Wang, Hanghang Liu, Yunfeng Hu, and Hong Chen. Coordinated longitudinal and lateral vehicle stability control based on the combined-slip tire model in the mpc framework. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 161:107947, December 2021. URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0888327021003423>, doi:10.1016/j.ymssp.2021.107947.
- [5] Asal Nahidi, Alireza Kasaiezadeh, Saeid Khosravani, Amir Khajepour, Shih-Ken Chen, and Bakhtiar Litkouhi. Modular integrated longitudinal and lateral vehicle stability control for electric vehicles. *Mechatronics*, 44:60–70, June 2017. URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0957415817300405>, doi:10.1016/j.mechatronics.2017.04.001.
- [6] Haiyan Zhao, Weixuan Chen, Jinyang Zhao, Yilin Zhang, and Hong Chen. Modular integrated longitudinal, lateral, and vertical vehicle stability control for distributed electric vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 68(2):1327–1338, February 2019. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8598906/>, doi:10.1109/TVT.2018.2890228.
- [7] Ing Jan Sajdl Ph.D. Rozvor náprav, June 2020. URL: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/rozvor-naprav/>.
- [8] Zakir. Car outline. Zdroj: Adobe Stock, č. 116683887. URL: <https://stock.adobe.com>.
- [9] Ing Jan Sajdl Ph.D. Rozchod kol, June 2020. URL: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/rozchod-kol/>.
- [10] Tomáš Štěpánek. MĚŘENÍ POLOHY TĚŽIŠTĚ VOZIDLA. Master’s thesis, FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ VUT, 2008. URL: [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=10886](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=10886).
- [11] Uwe Fuerbeth. Centre of gravity of motor vehicles. *Forensic Science International*, 361:112073, August 2024. URL: <https://linkinghub.elsevier.com>.

- com/retrieve/pii/S0379073824001543, doi:10.1016/j.forsciint.2024.112073.
- [12] Tomas Skrucany, Jan Vrabel, and Patrik Kazimir. The influence of the cargo weight and its position on the braking characteristics of light commercial vehicles. *Open Engineering*, 10(1):154–165, February 2020. URL: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/eng-2020-0024/html>, doi:10.1515/eng-2020-0024.
- [13] Firoz Alam, Harun Chowdhury, Hazim Moria, and Simon Watkins. Effects of vehicle add-ons on aerodynamic performance. In *Asian Congress of Fluid Mechanics*, page 186, 01 2010.
- [14] Radosław Mikołaj Janicki and Adam Piechna. Examining influence of a rooftop cargo carrier position on automobile aerodynamics. In *Computational technologies in engineering*, page 020073, Jora Wielka, Poland, 2019. URL: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article/597967>, doi:10.1063/1.5092076.
- [15] How to Choose a Car Bike Rack & Types of Bike Racks | evo. URL: <https://www.evo.com/guides/how-to-choose-a-car-bike-rack>.
- [16] Thule | United States. URL: <https://www.thule.com/en-us/>.
- [17] Ministerstvo dopravy ČR. Vyhláška č. 153/2023 Sb., o schvalování technické způsobilosti vozidel a technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích. <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2023-153>, 2023. ve znění pozdějších předpisů.
- [18] Ministerstvo dopravy ČR. Příloha č. 12 k vyhlášce č. 341/2014 Sb., o schvalování technické způsobilosti vozidel a technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích. <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2014-341>, 2014. ve znění pozdějších předpisů.
- [19] Iacob-Liviu Scurtu. Aerodynamic performance evaluation for a vehicle structure equipped with a bicycle rack. *Ingineria automobilulue*, pages 10–14, 03 2021. doi:10.1088/1757-899X/1220/1/012024.
- [20] ZF Friedrichshafen AG. URL: [https://press.zf.com/press/en/releases/release\\_37316.html](https://press.zf.com/press/en/releases/release_37316.html).
- [21] RoofRack RoofRack. Load ratings... explained, May 2025. URL: <https://roofrack.com.au/load-ratings/>.

- [22] N. C. D. Silva, W. D. S. K. Withanage, V. K. Jayasundara, S. P. Randombage, P. M. T. S. A. Jayasiri, W. M. K. G. Perera, M. Mavin De Silva, and R. Wijesiriwardhana. An experimental study on smart electric bicycle with weight minimized power pack. In *2021 3rd International Conference on Electrical Engineering (EECon)*, page 80–86, Colombo, Sri Lanka, September 2021. IEEE. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9580942/>, doi:10.1109/EECon52960.2021.9580942.
- [23] Bosch. How many kilos do ebikes weigh? URL: <https://www.bosch-ebike.com/en/everything-about-the-ebike-redirect/rund-ums-ebike/stories-experiences-and-adventures/ebike-weight-this-is-how-much-an-electric-bike-weighs>.
- [24] Seznam.cz. Mapy, 2025. Přístup: 29. 03. 2025. URL: <https://mapy.seznam.cz>.
- [25] THP Systems. Vrobservr1000 brochure usa, 2018. Přístup: 29. 03. 2025. URL: [https://www.thp-systems.com/wp-content/uploads/2018/11/VR0bserVR1000\\_BrochureUSA\\_English.pdf](https://www.thp-systems.com/wp-content/uploads/2018/11/VR0bserVR1000_BrochureUSA_English.pdf).
- [26] Dytran. 7576a. URL: <https://www.hbkworld.com/web/dytran/global/en/products/accelerometers/variable-capacitance--vc--mems/6-degree-of-freedom/7576a>.
- [27] ISO. Passenger cars — test track for a severe lane-change manoeuvre, part 2: Obstacle avoidance. standard, International Organization for Standardization, Geneva, CH, 2011.
- [28] ISO. Passenger cars — stopping distance at straight-line braking with abs — open-loop test method. standard, International Organization for Standardization, Geneva, CH, 2022.
- [29] David Jelínek. Dynamika vozidel, cvičení. neveřejné, 2023.
- [30] Abdul Qaiyoom. Bike outline. Zdroj: Adobe Stock, č. 644861735. URL: <https://stock.adobe.com>.
- [31] German Ovchinnikov. Bike outline multiple views. Zdroj: Adobe Stock, č. 255085246. URL: <https://stock.adobe.com>.