



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

MĚŘENÍ VÝŠKOVÉ POLOHY TĚŽIŠTĚ U VOZIDEL SUV

MEASURING THE HEIGHT OF THE CENTER OF GRAVITY OF SUV'S

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Petr Foldyna

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michal Křížák

BRNO 2021

Zadání diplomové práce

Student:	Bc. Petr Foldyna
Studijní program:	Expertní inženýrství v dopravě
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	Ing. Michal Křížák
Akademický rok:	2021/22
Ústav:	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 V

Měření výškové polohy těžiště u vozidel SUV

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se bude zabývat analýzou změny výškové polohy těžiště u vozidel SUV vlivem změny zatížení. Úkolem bude na základě vlastních měření vyhodnotit vliv zatížení v kabině vozidla na výšku jeho těžiště, zejména s ohledem na problematiku převrácení vozidel.

Cíle diplomové práce:

Cílem práce je důkladná rešerše současného stavu poznání dané problematiky. Dalším cílem práce bude realizace dostatečného počtu měření vozidel i různých zátěží u každého vozidla. Na základě vyhodnocení dat z těchto měření budou porovnány rozdíly ve výškové poloze těžiště a posouzen vliv těchto změn na převrácení vozidla při dopravní nehodě. Výsledky budou následně vhodným způsobem prezentovány.

Seznam doporučené literatury:

BRADÁČ, A. a kol.: Soudní inženýrství. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1997. ISBN 80-7204-4133-9.

VLK, František. Dynamika motorových vozidel. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-239-0024-2.

RENSKI, Andrzej. Investigation of the influence of the center of gravity position on the course of vehicle rollover. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/279449206>

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

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

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

Specification Master's Thesis

Student: **Bc. Petr Foldyna**
Study programme: Expert Engineering in Traffic
Study field: no specialisation
Supervisor: **Ing. Michal Křížák**
Academic year: 2021/22
Department: Department of Expertise in Mechanical Engineering, Analysis of Traffic
Accidents and Vehicle Assessment

Pursuant to Act no. 111/1998 concerning universities and the BUT study and examination rules, you have been

Measuring the height of the center of gravity of SUV's

Recommended bibliography:

BRADÁČ, A. a kol.: Soudní inženýrství. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1997. ISBN 80-7204-4133-9.

VLK, František. Dynamika motorových vozidel. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-239-0024-2.

RENSKI, Andrzej. Investigation of the influence of the center of gravity position on the course of vehicle rollover. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/279449206>

Deadline for submission Master's Thesis is given by the Schedule of the Academic year 2021/22

In Brno,

L. S.

doc. Ing. Bc. Marek
Semela, Ph.D.
Head

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

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá měřením výšky těžiště u vozidel SUV. V teoretické části je pozornost věnována problematice těžiště a vlivu těžiště vozidla na jeho jízdní stabilitu. Dále jsou zde rozebrány jednotlivé metody měření výškové polohy těžiště u osobních vozidel. V praktické části práce je provedeno experimentální měření výšky těžiště vybraných vozidel SUV při různém zatížení, za použití metody naklápění vozidla na nápravu. Výška těžiště u vozidel s kapacitou pro pět osob dosahovala hodnot od 606 do 697 mm, přičemž nejnižší hodnota náleží vozidlu Toyota RAV4 Hybrid při zatížení řidičem. Nejvyšší hodnota byla zjištěna u vozidla Kia Sportage při zatížení třemi osobami. Zvláštním případem je vozidlo Landrover Defender, které má kapacitu pro devět osob. Tomuto byla zjištěna výšková poloha těžiště v rozmezí od 705 do 874 mm. Nejnižší hodnota byla zjištěna při zatížení řidičem, nejvyšší hodnota při zatížení devíti osobami. Pouze u vozidla Nissan Qashqai byla potvrzena rostoucí závislost mezi přírůstkem zatížení a výškovou polohou těžiště vozidla. Podobný trend byl zjištěn u vozidel Toyota RAV4 Hybrid, Jeep Compass a Landrover Defender. Zjištěné hodnoty mohou být použity při analýzách dopravních nehod vozidel SUV.

Abstract

The thesis deals with the issue of measuring the height of the center of gravity of SUV's. The first part of thesis is devoted to the issue of center of gravity and the influence of the height of the center of gravity on driving stability. Furthermore, individual methods of measuring the height of the center of gravity in passenger cars are discussed. The analytic part of the thesis is devoted to experimental measurement of the height of the center of gravity of selected SUV's at different vehicle load, by the method of tilting the vehicle on the axle. The results of the measurements showed that the height of the center of gravity for vehicles with a capacity for five people is in the range from 606 to 697 mm. The lowest value belongs to the vehicle Toyota RAV4 Hybrid, when loaded by the driver. The highest value was found for the vehicle Kia Sportage, when loaded by three passengers. The Landover Defender, which is vehicle, that has a capacity for nine people, was found to have a height of center of gravity ranging from 705 to 874 mm. The lowest value was found when loaded by the driver, the highest value when loaded by nine passengers. Only for the Nissan Qashqai was the growing dependence between the load increase and the height position of the vehicle's center of gravity confirmed. A similar trend was found for the Toyota RAV4 Hybrid, Jeep Compass and Landover Defender. The determined values can be used in the analysis of traffic accidents of SUV's.

Klíčová slova

Těžiště, výšková poloha těžiště vozidel SUV, měření výšky těžiště metodou naklápění vozidla na nápravu, faktor statické stability, převrácení vozidel.

Keywords

Center of gravity, the height of the center of gravity of SUV's, measuring the height of the center of gravity by the method of tilting vehicle on the axle, static stability factor, vehicle rollover.

Bibliografická citace

FOLDYNA, Petr. *Měření výškové polohy těžiště u vozidel SUV* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-10-05]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/127969>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, Odbor znalectví ve strojírenství, analýza dopravních nehod a oceňování motorových vozidel. Vedoucí práce Michal Křížák.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Měření výškové polohy těžiště u vozidel SUV“ 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/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně

.....

Podpis autora

Poděkování

Mé poděkování patří Ing. Michalovi Křížákovi za cenné rady, odborné vedení a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování diplomové práce věnoval. Také bych rád poděkoval rodině a přítelkyni za podporu během celé doby studia.

OBSAH

1	ÚVOD	13
2	SOUČASNÝ STAV / REŠERŠE	14
2.1	Vliv polohy těžiště na stabilitu vozidel	14
2.1.1	<i>Faktor statické stability (SSF)</i>	14
2.1.2	<i>Boční smyk vozidla</i>	16
2.1.3	<i>Převrácení vozidla</i>	17
2.2	Měření Podélné a příčné polohy těžiště	18
2.2.1	<i>Měření podélné polohy těžiště</i>	19
2.2.2	<i>Měření příčné polohy těžiště</i>	20
2.3	Měření výškové polohy těžiště	22
2.3.1	<i>Metoda naklápění vozidla na nápravu</i>	23
2.3.2	<i>Metoda vážení na sklopné plošině</i>	26
2.3.3	<i>Metoda zjištění úhlu překlopení</i>	29
2.3.4	<i>Metoda zavěšení vozidla</i>	31
2.3.5	<i>Metoda měření výškové polohy těžiště pomocí centrifugy</i>	32
3	FORMULACE PROBLÉMŮ A STANOVENÍ CÍLŮ ŘEŠENÍ	34
4	POUŽITÉ METODY A JEJICH ZDŮVODNĚNÍ	35
4.1	Místo měření a použité prostředky	35
4.1.1	<i>Nápravová váha</i>	35
4.1.2	<i>Zvedák</i>	36
4.2	Postup měření	37
5	VLASTNÍ ŘEŠENÍ / DOSAŽENÉ VÝSLEDKY	41
5.1	Měření vozidla Nissan Qashqai	41
5.1.1	<i>Zatížení řidičem</i>	42
5.1.2	<i>Zatížení řidičem a spolujezdcem</i>	43
5.1.3	<i>Zatížení třemi osobami</i>	43
5.1.4	<i>Zatížení čtyřmi osobami</i>	44
5.1.5	<i>Zatížení pěti osobami</i>	45
5.2	Měření vozidla Honda CRV	46
5.2.1	<i>Zatížení řidičem</i>	47
5.2.2	<i>Zatížení řidičem a spolujezdcem</i>	48
5.2.3	<i>Zatížení třemi osobami</i>	49
5.2.4	<i>Zatížení čtyřmi osobami</i>	50
5.2.5	<i>Zatížení pěti osobami</i>	51

5.3	Měření vozidla Toyota RAV4 Hybrid	51
5.3.1	<i>Zatížení řidičem</i>	52
5.3.2	<i>Zatížení řidičem a spolujezdcem</i>	53
5.3.3	<i>Zatížení třemi osobami.....</i>	54
5.3.4	<i>Zatížení čtyřmi osobami</i>	55
5.3.5	<i>Zatížení pěti osobami.....</i>	56
5.4	Měření vozidla Kia Sportage	57
5.4.1	<i>Zatížení řidičem</i>	58
5.4.2	<i>Zatížení řidičem a spolujezdcem</i>	59
5.4.3	<i>Zatížení třemi osobami.....</i>	59
5.4.4	<i>Zatížení čtyřmi osobami</i>	60
5.4.5	<i>Zatížení pěti osobami.....</i>	61
5.5	Měření vozidla Škoda Karoq	62
5.5.1	<i>Zatížení řidičem</i>	63
5.5.2	<i>Zatížení řidičem a spolujezdcem</i>	64
5.5.3	<i>Zatížení třemi osobami.....</i>	65
5.5.4	<i>Zatížení čtyřmi osobami</i>	66
5.5.5	<i>Zatížení pěti osobami.....</i>	67
5.6	Měření vozidla Jeep Compass.....	67
5.6.1	<i>Zatížení řidičem</i>	69
5.6.2	<i>Zatížení řidičem a spolujezdcem</i>	69
5.6.3	<i>Zatížení třemi osobami.....</i>	70
5.6.4	<i>Zatížení čtyřmi osobami</i>	71
5.6.5	<i>Zatížení pěti osobami.....</i>	72
5.7	Měření vozidla Landrover Defender	73
5.7.1	<i>Zatížení řidičem</i>	74
5.7.2	<i>Zatížení řidičem a spolujezdcem</i>	75
5.7.3	<i>Zatížení třemi osobami.....</i>	76
5.7.4	<i>Zatížení čtyřmi osobami</i>	77
5.7.5	<i>Zatížení pěti osobami.....</i>	77
5.7.6	<i>Zatížení šesti osobami</i>	78
5.7.7	<i>Zatížení sedmi osobami.....</i>	79
5.7.8	<i>Zatížení osmi osobami.....</i>	80
5.7.9	<i>Zatížení devíti osobami.....</i>	81
6	DISKUZE / ANALÝZA VÝSLEDKŮ ŘEŠENÍ	83

6.1 Výpočet faktoru statické stability (SSF) vozidel.....	86
7 ZÁVĚR.....	88
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	90
SEZNAM TABULEK	91
SEZNAM OBRÁZKŮ	95
SEZNAM ZKRATEK.....	96
SEZNAM PŘÍLOH	97
PŘÍLOHA 1 POMOCNÉ GRAFY URČENÉ K ELIMINACI CHYB PŘI MĚŘENÍ	98

1 ÚVOD

Automobily jsou součástí každodenního života většiny populace. V osobní dopravě se jedná o velmi oblíbený dopravní prostředek. Tomu však odpovídá velký provoz na silnicích. Automobilová doprava má své výhody, například časovou flexibilitu a schopnost dostat se v podstatě kamkoliv. Avšak s velkým provozem na silnicích souvisí vysoké riziko vzniku dopravní nehody. Bezpečnost v silničním provozu je ovlivněna mnoha faktory, mezi které patří také jízdní stabilita vozidel. Ta je mimo jiné ovlivňována právě těžištěm vozidla, jehož poloha má významný vliv na jízdní vlastnosti. Zatímco podélná a příčná poloha těžiště způsobuje přetáčivost, či nedotáčivost vozidla, výšková poloha těžiště ovlivňuje, zda se vozidlo za určitých okolností převrátí, nebo dojde „pouze“ ke smyku. U vozidel SUV (Sport Utility Vehicle) je problematika výškové polohy těžiště obzvláště významná, neboť tato vozidla jsou charakteristická tím, že oproti jiným typům osobních vozidel mají vyšší konstrukci. Tato skutečnost má vliv na výškovou polohu těžiště, která je zpravidla vyšší než u některých ostatních typů osobních automobilů. U vozidel SUV je proto větší pravděpodobnost, že v určitých situacích dojde k jejich převrácení.

V první části se práce zabývá pojmem těžiště a jeho vlivem na jízdní vlastnosti vozidel. Dále jsou zde rozebrány jednotlivé metody měření podélné, příčné a zejména výškové polohy těžiště. V experimentální části je provedeno měření výškové polohy těžiště u vybraných vozidel SUV při různém zatížení, za použití metody naklápění vozidla na nápravu. Výsledky jsou v závěru práce vyhodnoceny a okomentovány.

2 SOUČASNÝ STAV / REŠERŠE

Těžiště tělesa můžeme interpretovat jako působíště výslednice hmotných sil působících na jednotlivé části tělesa v gravitačním poli. Těžiště je bod každého hmotného tělesa, kterým prochází osa soustavy elementárních tíhových sil jednotlivých částí tělesa při jeho libovolném natáčení. To znamená, že pokud je zaveden pojem těžiště tělesa, můžeme celé těleso nahradit pouze jedním bodem (těžištěm) a pohyb celého tělesa dále řešíme tak, že vyšetřujeme pouze pohyb samotného těžiště. Těžiště nemusí vždy nutně ležet přímo v tělese, ale může se nacházet i mimo, například v jeho dutině. V případě, kdy spojujeme dvě tělesa, leží výsledné těžiště na úsečce spojující těžiště obou těles. Těžiště a jeho poloha jsou jedním z hlavních parametrů, pomocí kterých se analyzuje dynamické chování a ve velké míře se podílejí na jízdních vlastnostech vozidla. [1]

2.1 VLIV POLOHY TĚŽIŠTĚ NA STABILITU VOZIDEL

Poloha těžiště v podélném a příčném směru vozidla má vliv zejména na nesouměrné rozložení hmotnosti na jednotlivá kola, či nápravy vozidla. Toto nesouměrné rozložení sil má za následek zvýšenou přetáčivost, či nedotáčivost vozidla při jízdě zatáčkou, nebo při provozním brzdění vozidla. Výšková poloha těžiště ovlivňuje především stabilitu vozidla vzhledem ke smyku, či překlopení při průjezdu zatáčkou, nebo převrácení u speciálních vozidel při jízdě ze svahu nebo do svahu. Vysoká poloha těžiště může mít v kombinaci s nevhodnou podélnou polohou těžiště za intenzivního brzdění vliv na rozdělení sil na jednotlivé nápravy. Nevhodné rozdělení těchto sil může mít při přímé jízdě za následek přebrzdění zadní nápravy. Blokující kola zadní nápravy mohou uvést vozidlo do rotačního pohybu kolem své osy, přičemž se vozidlo stane neovladatelné. [2], [3]

2.1.1 Faktor statické stability (SSF)

Faktor statické stability neboli anglicky Static Stability Factor (SSF) je systém hodnocení, který vyvinula americká společnost National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). K hodnocení slouží přidělené hvězdičky, přičemž jedna hvězdička značí vysokou náchylnost k převrácení a pět naopak nízkou náchylnost k převrácení. Hodnota SSF je výpočtem odolnosti vozidla proti převrácení, založená na geometrických vlastnostech. Tato je závislá na rozchodu kol vozidla a výškové poloze těžiště (**vztah 1**). Opět analogicky čím menší je číslo SSF, tím je vozidlo více náchylné k převrácení. [4]

SSF lze vypočítat z následujícího vztahu:

$$SSF = \frac{b}{2h_t} \quad (1)$$

Kde:

- b je rozchod kol,
- h_T je výšková poloha těžiště.

Tabulka 1 Příklady hodnot SSF [5]

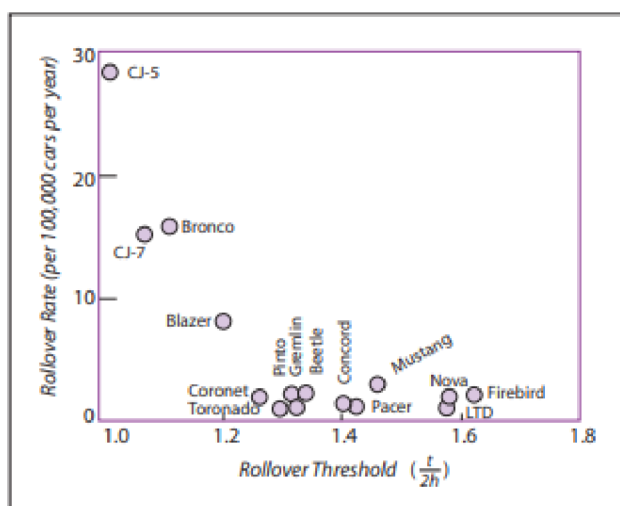
Typ vozidla	SSF
Klasický osobní automobil (kombi, sedan)	1,35 – 1,45
„Minivan“	1,10 – 1,25
Sport Utility Vehicle (SUV)	0,8 – 1,20
Nákladní automobily, pick-upy	1,10 – 1,25
Dvoupodlažní autobusy	0,60 – 0,75

Výzkumy společnosti NHTSA, zabývající se otázkou převrácení vozidel při nehodách prokázaly, že SSF se zdá být dobrým indikátorem pro určení pravděpodobnosti převrácení vozidla při těchto událostech. Společnost NHTSA také zavedla hvězdičkový systém hodnocení bezpečnosti vozidel, jež odráží závislost hodnoty SSF a procentuální pravděpodobnosti převrácení vozidla. [6]

Tabulka 2 Systém hodnocení bezpečnosti vozidel dle SSF [6]

Hodnocení	SSF	Pravděpodobnost převrácení vozidla
5 hvězdiček	> 1,45	<10 %
4 hvězdičky	1,25 – 1,44	10 % – 20 %
3 hvězdičky	1,13 – 1,24	20 % – 30 %
2 hvězdičky	1,04 – 1,12	30 % – 40 %
1 hvězdička	<1,03	> 40 %

Problematikou týkající se nehod s převrácením vozidel se zabýval Robertson a Kelly. [7] Tento výzkum ukazuje závislost SSF na převrácení u různých typů vozidel. Výsledky prokázaly vysokou citlivost změny nehodovosti vůči změně SSF pod hodnotou 1,2. Tedy, že vozidla s takto nízkou hodnotou SSF jsou velice náchylná na převrácení. Na **obrázku 1** můžeme pozorovat výsledky výzkumu. Vozidla s hodnotou menší než 1,2 jsou: Jeep CJ-5, CJ-7, Ford Bronco a Chevrolet Blazer, což jsou typická vozidla SUV. Většina vozidel SUV na současném trhu (zejména americkém) dosahují hodnot SSF 0,8-1,2. Je logické, že vozidla s nižší hodnotou SSF jsou náchylnější k převrácení, avšak vysoká citlivost zvyšování nehodovosti s převrácením od hodnoty 1,2 a méně je alarmující.



Obrázek 1 Závislost faktoru SSF (Rollover Threshold) na převrácení vozidel [7]

Nicméně stejně jako geometrické vlastnosti vozidla je nutné při převrácení brát v úvahu také tření mezi pneumatikou a vozovkou. Čím větší je toto tření, tím je vyšší pravděpodobnost převrácení vozidla namísto jeho smyku a naopak. [4]

2.1.2 Boční smyk vozidla

Základním předpokladem je, že k bočnímu smyku vozidla nenastane, pokud je třecí síla Y větší než boční síla F_Y , působící na vozidlo. (viz **vztah 2**) [5]

$$\Sigma Y \geq F_Y \quad (2)$$

Pro boční sílu při průjezdu zatáčkou platí následující vztah: [5]

$$F_Y = \frac{m \cdot v^2}{R} \quad (3)$$

Kde:

- m je hmotnost vozidla,
- v je rychlost vozidla,
- R je poloměr zatáčení.

Třecí síla, působící na vozidlo: [5]

$$Y = Z \cdot \mu \quad (4)$$

$$Z = m \cdot g \quad (5)$$

Kde:

- μ je součinitel adheze,
- Z je radiální reakce, působící na pneumatiky vozidla.

Po dosažení do **rovnice (2)** platí následující vztah: [5]

$$m \cdot g \cdot \mu \geq \frac{m \cdot v^2}{R} \quad (6)$$

Ze **vztahu (6)** můžeme následně vypočítat mezní rychlost pro průjezd zatáčkou, při které nedojde k bočnímu smyku vozidla: [5]

$$v \leq \sqrt{R \cdot g \cdot \mu} \quad (7)$$

2.1.3 Převrácení vozidla

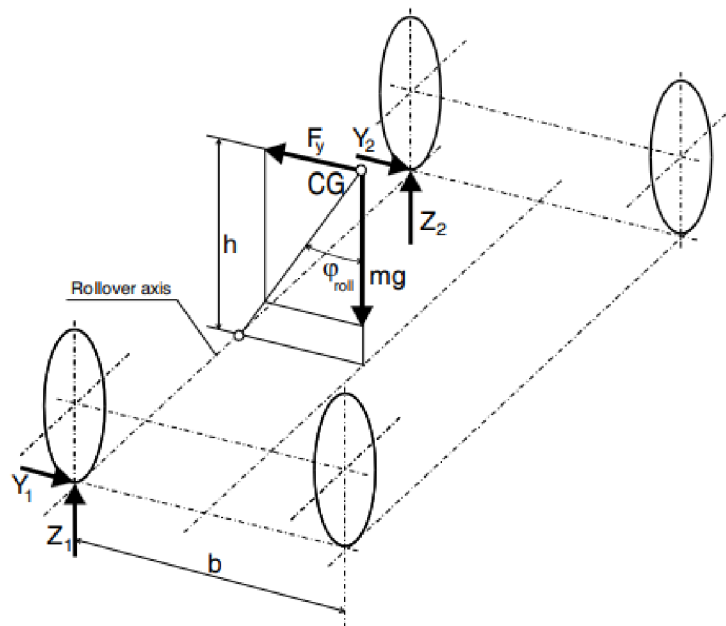
V předchozí kapitole bylo řešeno, kdy nastane smyk vozidla. V této kapitole budou rozebrány podmínky převrácení vozidla. Bude uvažováno se zjednodušeným tzv. rigidním modelem vozidla. V tomto modelu nejsou uvažovány vlivy odpružených částí vozidla (tlumiče, pneumatiky) Na toto vozidlo působí boční síly F_Y v místě jeho těžiště. K převrácení vozidla nenastane, dokud je moment převrácení menší nebo roven momentu hmotnosti vozidla (**vztah 8**). [5], [7]

$$F_Y \cdot h_T \leq m \cdot g \cdot \frac{b}{2} \quad (8)$$

V případě jízdy zatáčkou můžeme psát: [5], [7]

$$\frac{m \cdot v^2}{R} \cdot h_T \leq m \cdot g \cdot \frac{b}{2} \quad (9)$$

Bezpečnostní požadavek pro zabránění převrácení je tedy takový, že výslednice sil F_Y a $m \cdot g$ (gravitační síla) nesmí překročit hranici rozchodu kol (**obrázek 2**). V případě převrácení se vozidlo otáčí kolem této linie, hovoří se tedy o ose převrácení (Rollover axis). [5], [7]



Obrázek 2 Síly působící na vozidlo při průjezdu zatáčkou [5]

Následně lze opět vypočítat mezní rychlost pro bezpečný průjezd zatáčkou: [5], [7]

$$v \leq \sqrt{R \cdot g \cdot \frac{b}{2h_T}} \quad (10)$$

Je zřejmé, že boční smyk je méně nebezpečný než převrácení. Stejně tak mezní rychlost vypočtená pro boční smyk dosahuje menších hodnot než mezní rychlost vypočtená pro převrácení vozidla. (**vztah 11**) [5], [7]

$$\sqrt{R \cdot g \cdot \mu} \leq \sqrt{R \cdot g \cdot \frac{b}{2h_T}} \quad (11)$$

$$\mu \leq \frac{b}{2h_T} \quad (12)$$

Ze **vztahu (12)** je evidentní, že riziko převrácení vozidla závisí jednak na výškové poloze těžiště ve vztahu k rozchodu kol a za druhé na součiniteli adheze. [5], [7]

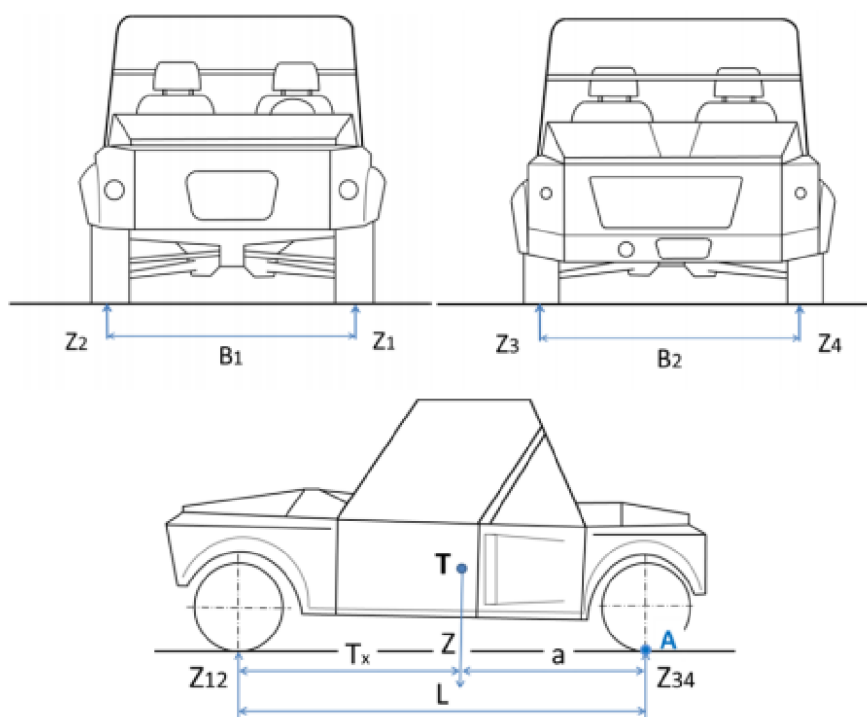
2.2 MĚŘENÍ PODÉLNÉ A PŘÍČNÉ POLOHY TĚŽIŠTĚ

Měření poloh těžiště vozidel se provádí obdobně u osobních automobilů, autobusů, nákladních automobilů i motocyklů. Pro účel této práce je pozornost věnována zjišťování těžiště u osobního automobilu. Zjišťování podélné a příčné polohy těžiště se provádí měřením zatížení jednotlivých kol vozidla. Předpokladem pro přesné měření je vodorovná plocha a správně kalibrované měřící zařízení.

2.2.1 Měření podélné polohy těžiště

Při určování podélné souřadnice těžiště je nutné vycházet z rozměrů vozidel (viz **obrázek 3**) a současně je potřeba znát radiální reakce kol Z_i . Tyto se zjistí měřením pomocí vah a následným vypočtením (viz **vztah 13**), kde g je tíhové zrychlení ($9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$). Současně je vozidlo nezbytné zajistit ve vodorovné poloze. Celková tíha vozidla působí v jeho těžišti T a je v rovnováze s reakcemi vozovky Z_1, Z_2, Z_3 a Z_4 . Součet $Z_1 + Z_2$ udává zatížení přední nápravy a součet $Z_3 + Z_4$ zatížení zadní nápravy. Součet $Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4$ je celkové zatížení vozidla Z . [8], [9]

$$Z = m \cdot g \quad (13)$$



Obrázek 3 Rozměry vozidla a značení radiálních reakcí [8]

Momentová a silová rovnice rovnováhy vztažená k bodu A (kontakt zadní nápravy s vozovkou) mají následující tvar: [8]

$$Z_{12} \cdot L - Z \cdot a + Z_{34} \cdot 0 = 0 \quad (14)$$

$$Z_{12} + Z_{34} - Z = 0 \quad (15)$$

$$Z_{12} = Z_1 + Z_2; Z_{34} = Z_3 + Z_4 \quad (16)$$

Kde:

- L – rozvor náprav vozidla,
- a – poloha těžiště od zadní nápravy,

- Z_{12} – radiální reakce přední nápravy,
- Z – tíha vozidla
- T_x – délková souřadnice těžiště (obrázek 1),
- Z_{34} – radiální reakce zadní nápravy.

Úpravou z předešlých vztahů je získán **vztah (17)**, který určuje souřadnici polohy těžiště od zadní nápravy a . Následně **vztahem (18)** délkovou souřadnici podélné polohy těžiště T_x . [8]

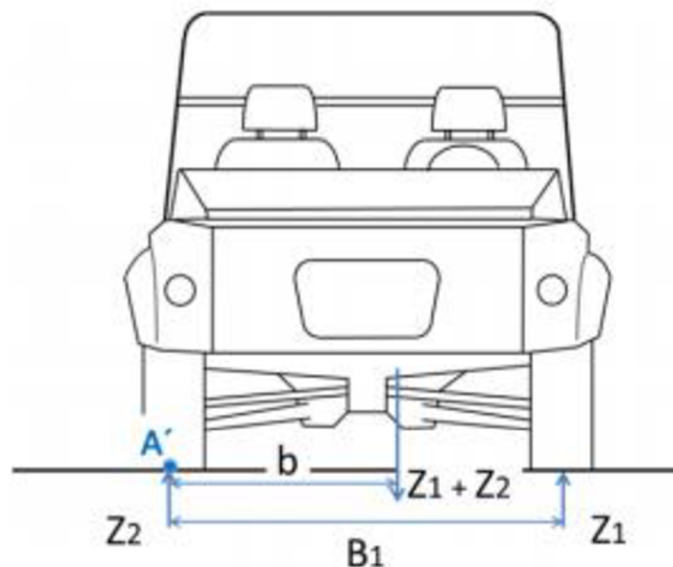
$$a = \frac{(Z_1 + Z_2) \cdot L}{Z} \quad (17)$$

$$T_x = L - a \quad (18)$$

2.2.2 Měření příčné polohy těžiště

Při zjišťování příčné polohy těžiště je postup obdobný jako u podélné polohy těžiště. Je nutné vycházet z rozměrů vozidla (**obrázek 4**) a z radiální reakce kol Z_i . Ne vždy vozidla mají na přední a zadní nápravě stejný rozchod kol. Těžiště pak zpravidla neleží v podélné ose vozidla. Toto by platilo pouze za předpokladu, že radiální reakce kol téže nápravy je stejná. Protože v praxi jsou tyto reakce odlišné, je třeba zjistit skutečnou příčnou polohu těžiště. Zjišťování příčné polohy těžiště je rozděleno do dvou kroků. V prvním kroku je zjištěna příčná souřadnice těžiště v ose přední nápravy a ve druhém kroku je provedeno to samé pro zadní nápravu. [8], [9]

Sestavená rovnice (19) vychází z **obrázku 4**. Za vztažný bod při sestavování momentové rovnice je brán bod A' , tedy kontakt pravého předního kola s vozovkou. [8]



Obrázek 4 Příčná poloha těžiště vozidla v ose přední nápravy [8]

Momentová rovnice rovnováhy vztahující se k bodu A' má tvar: [8], [9]

$$Z_1 \cdot B_1 - (Z_1 + Z_2) \cdot b = 0 \quad (19)$$

kde:

- B_1 je rozchod přední nápravy,
- b je příčná poloha těžiště od pravého předního kola. [8]

Po úpravě **rovnice (19)** získáme **vztah (20)**, udávající souřadnici příčné polohy těžiště v ose přední nápravy od pravého předního kola b . [8]

$$b = \frac{Z_1 \cdot B_1}{Z_1 + Z_2} \quad (20)$$

Dále můžeme určit, že příčná poloha těžiště se nachází (v případě, že vyjde kladná) vpravo od podélné osy vozidla vztahem:

$$b' = b - \frac{B_1}{2} \quad (21)$$

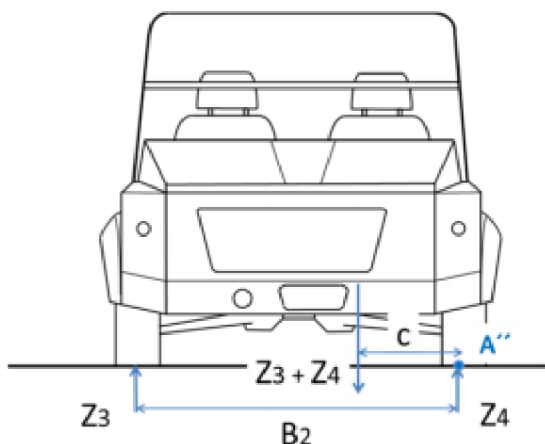
Při zjišťování příčné souřadnice těžiště v ose zadní nápravy je postup obdobný. Při sestavování **rovnice (22)** vycházíme z **obrázku 5**. Za vztažný bod zde považujeme bod A'' , tedy kontakt pravého zadního kola s vozovkou. [8]

Momentová rovnice rovnováhy vztahující se k bodu A'' má tvar: [8], [9]

$$Z_3 \cdot B_2 - (Z_3 + Z_4) \cdot c = 0 \quad (22)$$

kde:

- B_2 je rozchod zadní nápravy,
- c je příčná poloha těžiště od pravého zadního kola.



Obrázek 5 Příčná poloha těžiště v ose zadní nápravy [8]

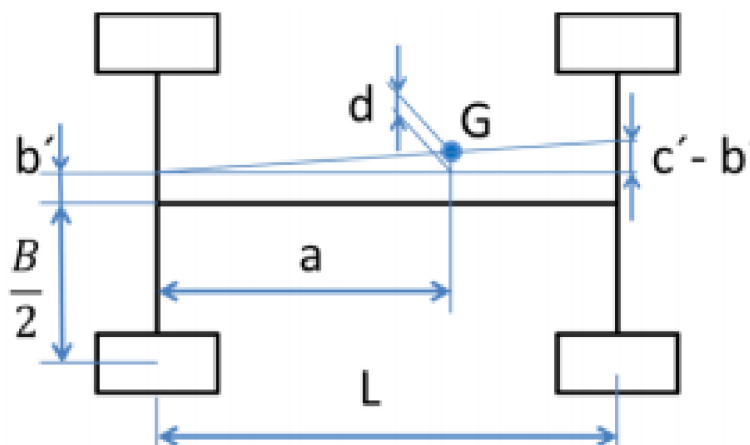
Úpravou předešlého vztahu získáme následující vztah, jenž udává souřadnici příčné polohy těžiště v ose zadní nápravy od pravého zadního kola (c): [8], [9]

$$c = \frac{Z_3 \cdot B_2}{Z_3 + Z_4} \quad (23)$$

Následně můžeme určit, že příčná poloha těžiště vozidla v zadní ose nápravy se nachází vpravo od podélné osy vozidla vztahem: [8], [9]

$$c' = c - \frac{B_2}{2} \quad (24)$$

Poté, co máme vyjádřené souřadnice příčné polohy těžiště vozidla v ose přední i zadní nápravy musíme vyjádřit skutečnou příčnou polohu těžiště vozidla Z_y . [8]



Obrázek 6 Určení příčné polohy těžiště v místě podélné souřadnice těžiště [8]

Určíme si dílčí souřadnici těžiště d ze vztahu: [8], [9]

$$d = b \cdot \frac{Z_2 + Z_4}{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4} \quad (25)$$

Z tohoto vztahu určíme skutečnou příčnou souřadnici těžiště vozidla Z_y , tak, že tato souřadnice, pokud je kladná, leží vpravo od podélné osy vozidla a je určena vztahem: [8], [9]

$$Z_y = b' + d \quad (26)$$

2.3 MĚŘENÍ VÝŠKOVÉ POLOHY TĚŽIŠTĚ

Zjišťování výškové polohy těžiště vozidla je obtížnější, než je tomu u podélné a příčné polohy těžiště vozidla. K měření výškové polohy těžiště existuje několik metod. Většina metod je založená na naklápění či naklápění vozidla. Z toho důvodu je nutné myslet na přesun pohonných hmot, či dalších provozních kapalin, působení pružin a tlumičů podvozku vozidla, vliv nesouměrné deformace pneumatik, ale také na pohyb předmětů ve vozidle. Všechny výše uvedené aspekty

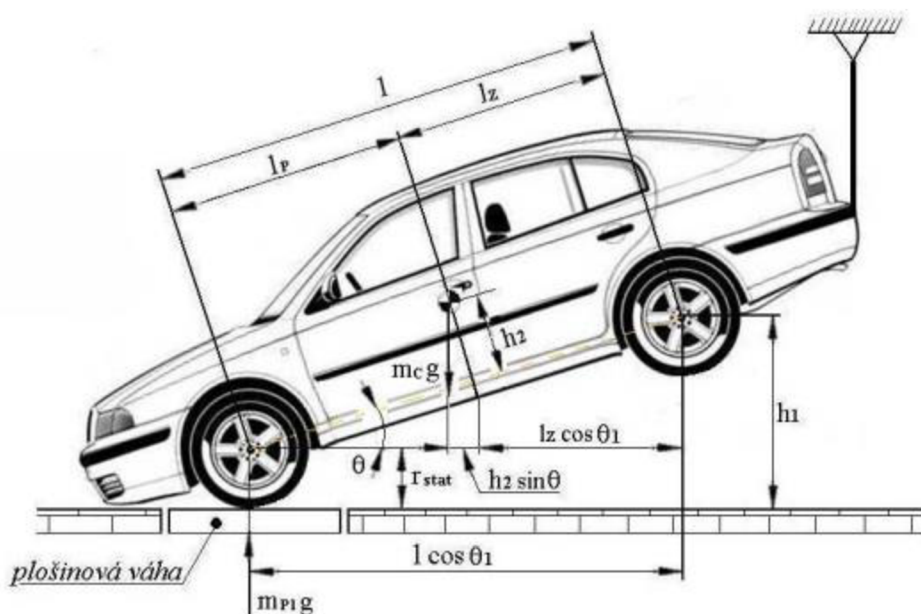
mohou mít vliv na výsledek měření polohy těžiště. Před začátkem měření výškové polohy těžiště je proto nezbytné co nejvíce potlačit, nebo nejlépe zamezit jejich projevu. Před měřením se například stahují pružiny vozidla a tlumiče jsou nahrazovány pevnou tyčí, nebo jsou vozidla vybaveny přípravky zamezující vzájemný posuv karoserie vozidla vůči podvozku při následném nadzvedávání některé z částí vozidla. [10], [11]

K zjištění výškové polohy těžiště vozidla se využívají následující metody:

- Metoda měření na sklopné plošině
- Metoda vážení vozidla při naklápění na nápravu
- Metoda zjištění úhlu překlopení
- Metoda zavěšení vozidla
- Zjišťování výškové polohy těžiště vozidla centrifugou [11]

2.3.1 Metoda naklápění vozidla na nápravu

Mezi nejčastěji používané metody k určení výškové polohy těžiště automobilu se používá právě metoda naklápění vozidla na nápravu. Tato je založena na principu počítání rovnováhy momentů vztažených k ose nadzdvížené nápravy a osy nápravy spočívající na vahách. V případě, že jsou známy hmotnosti vozidla, podélnou polohu těžiště, rozvor náprav vozidla a úhel náklonu (viz **obrázek 7**) je možno odvodit následující vztah: [12]



Obrázek 7 Měření výškové polohy těžiště vozidla metodou naklápění na nápravu [11]

Rovnice statické rovnováhy momentů k ose zadní nápravy: [11]

$$M: m_{p1} \cdot g \cdot \cos \theta_1 - m_c \cdot g (h_2 \cdot \sin \theta_1 + l_z \cdot \cos \theta_1) = 0 \quad (27)$$

Kde:

- m_{p1} je hmotnost připadající na zatíženou nápravu (zde přední),
- m_c je celková hmotnost vozidla,
- θ_1 je úhel měřený mezi vodorovnou a nakloněnou rovinou spojnice středů pneumatik přední a zadní nápravy vozidla,
- l je rozvor náprav,
- l_z je kolmá vzdálenost těžiště od osy zadní nápravy vozidla,
- h_2 je kolmá vzdálenost od roviny středů pneumatik přední a zadní nápravy vozidla k výškové poloze těžiště,
- g je tíhové zrychlení. [11]

Z **rovnice (27)** lze poté vyjádřit hmotnost připadající na zatíženou (zde přední) nápravu vozidla m_{p1} ve tvaru:

$$m_{p1} = m_c \cdot \frac{h_2}{l} \cdot \tan \theta_1 + m_c \cdot \frac{l_z}{l} = m_c \cdot \frac{h_2}{l} \tan \theta_1 + m_p \quad (28)$$

Pokud je vozidlo nakloněno na nápravu o úhel θ_1 dojde tím k přitížení této nápravy vozidla o hodnotu Δm_{p1} , oproti hmotnosti připadající na tuto nápravu m_p vozidla ve vodorovné poloze. (viz **rovnice 29**) [2]

$$m_{p1} = m_p + \Delta m_{p1} \quad (29)$$

Po následném dosazení do rovnice (28) můžeme psát:

$$\Delta m_{p1} = m_{p1} - m_p = m_c \cdot \frac{h_2}{l} \cdot \tan \theta_1 \quad (30)$$

Z tohoto vztahu lze snadno odvodit kolmou výškovou vzdálenost těžiště od roviny procházející středem předních a zadních pneumatik h_2 : [11]

$$h_2 = \frac{\Delta m_{p1}}{m_c} \cdot \frac{l}{\tan \theta_1} \quad (31)$$

Výšková poloha těžiště od opěrné roviny je potom dána součtem kolmé vzdálenosti h_2 od těžiště vozidla k rovině spojnice středů pneumatik a r_{stat} (statický poloměr) vzdálenosti středu pneumatik od opěrné roviny za předpokladu stejných vzdáleností r_{stat} pro přední i zadní pneumatiky. (viz **vztah 32**) [2]

$$h_T = h_2 + r_{stat} \quad (32)$$

V praxi může být odměřování úhlu naklonění θ často nepřesné, z toho důvodu je možno výškovou polohu těžiště spočítat i z výšky h_1 (viz **obrázek 7**) ze vztahu: [2]

Protože platí:

$$\tan \theta = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} \quad (33)$$

$$\cos \theta = \sqrt{1 - \sin^2 \theta} \quad (34)$$

Z tohoto lze napsat, že platí:

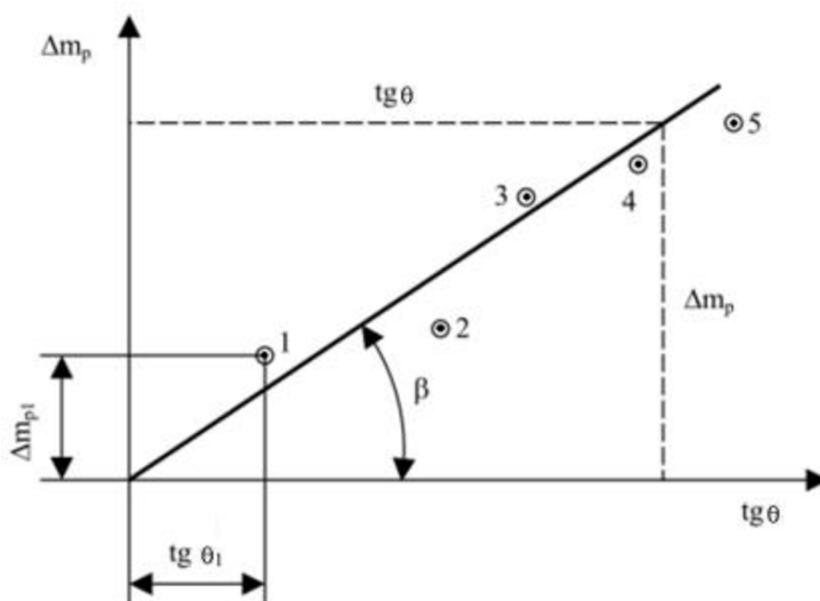
$$\sin \theta = \frac{h_1}{l} \quad (35)$$

$$\tan \theta = \frac{\sin \theta}{\sqrt{1 - \sin^2 \theta}} = \frac{h_1}{l} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{h_1^2}{l^2}}} = \frac{h_1}{\sqrt{l^2 - h_1^2}} \quad (36)$$

Po následném dosazení do **rovnice (31)** je možné výsledný vztah pro výpočet vzdálenosti h_2 formulovat následovně: [2]

$$h_2 = \frac{\Delta m_{p1}}{m_c} \cdot \frac{l}{h_1} \cdot \sqrt{l^2 - h_1^2} \quad (37)$$

Při zjišťování výškové polohy těžiště může při odměřování jednotlivých vzdáleností, či úhlů docházet k chybám, čímž mohou být zkresleny konečné výsledky. Z tohoto důvodu je doporučováno provádět více měření a výsledné Δm_{p1} a $\tan(\theta)$ ($h_1/\sqrt{l^2 - h_1^2}$) zaznamenat do grafu (viz **obrázek 8**). [2]



Obrázek 8 Pomocný graf určený k minimalizaci chyb měření při zjišťování výškové polohy těžiště [2]

Kde:

$$\tan \beta = \frac{\Delta m_p}{\tan \theta} \quad (38)$$

Takto zvýrazněnými body (1-5 viz **obrázek 8**) lze proložit přímkou. Směrnice této přímky je dána úhlem β . Přímka znázorňuje kolmou vzdálenost těžiště vozidla od roviny spojující středy přední a zadní pneumatiky. Výsledná vzdálenost h_2 je dána rovnicí: [2]

$$h_2 = \frac{\Delta m_{p1}}{m_c} \cdot \frac{l}{\tan \theta_1} = \frac{l}{m_c} \cdot \tan \beta \quad (39)$$

Následně pro určení celkové výšky těžiště je rovněž zapotřebí ke vzdálenosti h_2 připočíst vzdálenost středu pneumatik r_{stat} . (20)

Tuto metodu je vhodné použít v případech, kdy je zapotřebí zjistit výškovou polohu těžiště v krátkém čase, a především jednoduchým způsobem. Nehodí se však při zjišťování výšky těžiště u sportovních vozidel, mající těžiště pro své účely k dosažení požadovaných jízdních vlastností, položené co nejnižší k vozovce. Důvodem je skutečnost, že u vozidel s nízko položeným těžištěm při naklánění v malých úhlech náklonu nastává nepatrný přírůstek hmotnosti Δm_{p1} . Tímto se do měření dostává poměrně velká chyba. [10]

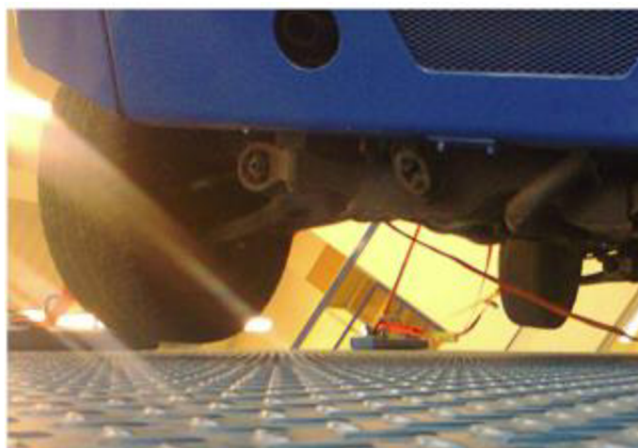
2.3.2 Metoda vážení na sklopné plošině

Tato metoda spočívá v tom, že je vozidlo umístěno na sklopnou plošinu (viz **obrázek 9**) tak, aby podélná osa vozidla byla a rovnoběžná s osou klopení plošiny, kolem které se vozidlo celé naklápí. Principem měření je plynulé a postupné naklánění plošiny. Výchozí pozicí je vodorovná základna, na kterou je umístěn automobil, u kterého je zjišťována výšková poloha těžiště. V tento moment je zjišťováno zatížení připadající na jednotlivé nápravy. Naklápění sklopné plošiny je zpravidla zajišťováno přímočarým hydromotorem, nebo pomocí výsuvného šnekového převodu. [8], [11]

Při naklápění plošiny s vozidlem sledujeme okamžik odlehčení horních kol (v tomto případě levá strana) od sklopné plošiny. (viz **obrázek 10**). V momentě, kdy je radiální reakce na horních kolech (zde Z_1 a Z_3), prochází vektor tíhy zkoumaného vozidla Z osou překlápění. Touto máme na mysli spojnice vnějších stop kol přední a zadní nápravy na spodní (zde pravé) straně vozidla. [8], [11]



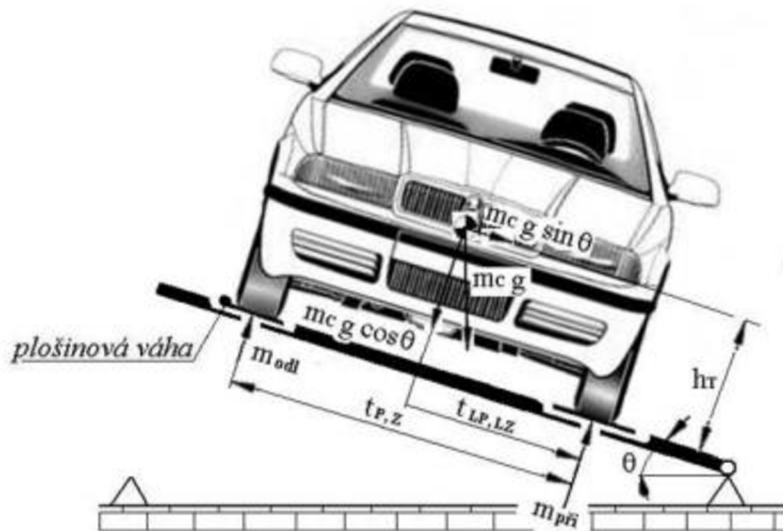
Obrázek 9 Sklopná plošina [8]



Obrázek 10 Ztráta kontaktu kol se sklopnou plošinou [8]

Vozidlo musí být na sklopné plošině správně upevněno tak, aby nedošlo k jeho posunu, nebo překlopení a následnému poškození. K zajištění upevnění jsou používány různé druhy rozpěrek a upínacích pásů. Dále je nutné vozidlo připravit k měření tak, aby nedocházelo k chybám vlivem přesunu paliva, provozních kapalin, předmětů, či vzájemnému posunu karosérie vůči podvozku díky pružinám nebo stlačováním tlumičů. [11]

Pokud je potřeba dosáhnout přesného měření, je rovněž žádoucí zohlednit také boční deformaci pneumatik. Poté je možno použít pro výpočet souřadnici Z_y (nebo $t_{ip, lz}$), ke které je připočtena $\frac{1}{2}$ šířky pneumatiky. Případně se pneumatiky nahustí na maximální tlak udávaný výrobcem pneumatik a jako referenční poměr použít souřadnici Z_y . [8]



Obrázek 11 Měření těžiště na sklopné plošině [11]

Výškovou polohu těžiště následně dopočítáme podle vztahu: [11]

$$h_T = \frac{t_{p,z}(m_{odl-0} \cdot \cos(\theta)) - m_{odl}}{m_c \cdot \sin(\theta)} \quad (40)$$

Kde:

- h_T je výška těžiště,
- m_{odl-0} je součet hmotností připadajících na pravou přední a pravou zadní pneumatiku, vozidla umístěného ve vodorovné poloze, před naklápěním,
- m_{odl} je součet hmotností připadajících na pravou přední a pravou zadní pneumatiku vozidla naklopeného o úhel θ , tedy součet hmotností na odlehčené straně vozidla naklopeného o úhel θ ,
- $t_{p,z}$ je rozchod kol přední a zadní nápravy (za předpokladu, že je shodný),
- m_c je celková hmotnost vozidla.

Pro přesný výsledek je rovněž vhodné provést více měření s různým naklápěním vozidla a dosažené výsledky zprůměrovat.

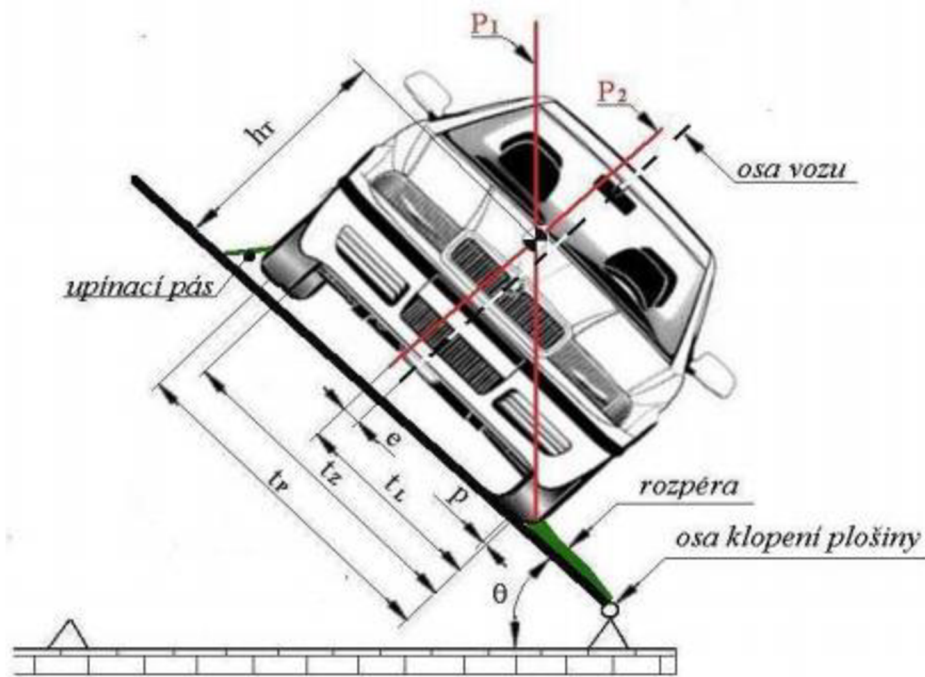
Výhoda této metody spočívá v tom, že k dosažení poměrně přesného výsledku výškové polohy těžiště vozidla postačí i relativně malých úhlů naklopení sklopné plošiny, než tomu může být u metody naklápění na nápravu. Pomocí této metody se dá také určit výšková poloha těžiště u sportovních vozidel mající těžiště účelně položeno co nejnižše. [11]

2.3.3 Metoda zjištění úhlu překlopení

Díky této metodě lze jednoduše a rychle stanovit výškovou polohu těžiště vozidla. Před začátkem měření je nutno znát příčnou a podélnou polohu těžiště měřeného vozidla a co nejvíce zamezit chybám v měření např. přesunem pohonných hmot a provozních kapalin, pohybem odpružené a neodpružené části vozidla a jinými faktory ovlivňující měření zmíněné v předchozích kapitolách. [10]

Měření pomocí této metody je velice podobné metodě vážení vozidla na sklopné plošině. Při měření výšky těžiště touto metodou musí být vozidlo na plošině umístěno tak, aby spojnice vnějších okrajů ráfku kol na bližší straně k ose klopení plošiny byla s osou klopení plošiny rovnoběžná. K tomuto se v praxi používají dvě stejně dlouhé rozpěry mezi přední a zadní pneumatiku vozidla na bližší straně k ose klopení plošiny a rám sklopné plošiny (viz **obrázek 12**). Při naklápění plošiny se vozidlo totiž o tyto rozpěry svévolně zapře a dojde k jeho vystředění v případě, že vozidlo na plošinu nenajedlo požadovaným způsobem. Současně tyto rozpěry zabraňují dalšímu bočnímu úsmyku vozidla. Vozidlo, jako u předešlé metody, je nutno upevnit takovým způsobem, aby při naklápění nedošlo k jeho úplnému překlopení. [10]

Plošina je u této metody také pomalu a plynule naklápěna do takového momentu, kdy dojde ke ztrátě styku všech pneumatik vozidla odlehčené strany s naklopnou plošinou. V tomto momentě se výšková poloha těžiště nachází v průsečíku přímkou P1 (**obrázek 12**) procházející vertikálně osou vnějších okrajů pneumatik, v místě styku pneumatiky s plošinou, na bližší straně vozidla k ose klopení plošiny a přímkou P2 vedoucí průsečíkem podélné a příčné polohy těžiště, kolmou k horizontální poloze vozidla v neklopeném stavu. [10]



Obrázek 12 Měření výškové polohy těžiště zjištěním úhlu překlacení [11]

Kde:

- e je vzdálenost příčné polohy těžiště vozidla od podélné osy vozidla,
- p je velikost příčné deformace pneumatiky vlivem naklápění vozidla,
- t_L je příčná vzdálenost těžiště vozidla od ohnisek středů pneumatik levé části vozidla,
- t_P je rozchod kol přední nápravy,
- t_Z je rozchod kol zadní nápravy.

V případech, kdy má vozidlo stejný rozchod kol na přední a zadní nápravě je vzorec pro výpočet výškové polohy těžiště touto metodou následující: [10]

$$h_T = t_L \cdot \tan(90 - \theta) \quad (41)$$

V případě, kdy je levá strana vozidla blíže k ose klopení plošiny než pravá strana, je použita ve **vztahu (41)** hodnota t_L . V opačném případě je uvažována hodnota t_{PR} . [10]

Výškovou polohu těžiště u vozidel s různým rozchodem kol u přední a zadní nápravy lze odvodit z následujících vztahů: [10]

$$\tan \gamma = \frac{t_P - t_Z}{2 \cdot l} \quad (42)$$

Kde:

- l je rozvor náprav vozidla

Ze **vztahu (42)** je možné vypočítat úhel γ . Výšková poloha se poté určí následovně:

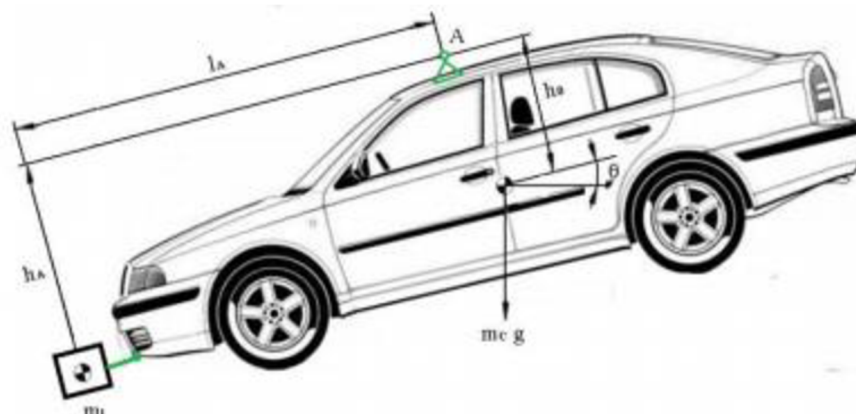
$$h_T = \frac{\left(\frac{t_Z}{2} + \frac{t_P - t_Z}{2 \cdot e} \cdot l + e\right)}{\tan \theta} \cdot \cos \gamma - p \quad (43)$$

Výhoda této metody zjišťování výškové polohy těžiště vozidla spočívá zejména ve snadné realizaci a malé časové náročnosti. Pokud operujeme s lehčími vozidly je možno sklopnou plošinu vyměnit za vhodné hydraulické zařízení, či jeřáb. V těchto případech je však o to více důležité zajistit vozidlo proti překlopení. Nevýhodou této metody je právě možnost poškození vozidla při překlopení, nebo možnost vzniku zranění. Dále je u této metody problematická přesnost určení úhlu překlopení a s tím i nepřesné výsledky při určování výškové polohy těžiště vozidla. [10]

2.3.4 Metoda zavěšení vozidla

Metoda zavěšení vozidla se v praxi při zjišťování výškové polohy těžiště moc nepoužívá. Důvodem je její nežádoucí, často deformační charakter měření. Nicméně ji lze použít k nalezení výškové polohy těžiště odpružených částí vozidel. [2]

Při této metodě je postupováno tak, že na karoserii vozidla je upevněno speciální zařízení, pomocí kterého bude celé vozidlo nadzvednuto nad podložku. Vozidlo se může kolem tohoto zařízení volně naklánět. Po ustálení naklánění vozidla je změřen úhel náklonu vozidla. Následně je na přední části upevněno přídavné závaží o předem známé hmotnosti m_1 . Přídavné závaží způsobí změnu náklonu vozidla o určitý úhel, pomocí kterého lze stanovit výškovou polohu těžiště vozidla. (viz **obrázek 13**) [2]



Obrázek 13 Měření výškové polohy těžiště metodou zavěšení vozidla [11]

Při výpočtech výškové polohy těžiště se vychází z rovnic rovnováhy statických momentů vzhledem k bodu závěsu – A: [11]

$$\sum M_A : m_1(l_A \cdot \cos \theta - h_A \cdot \sin \theta) - m_c \cdot h_0 \cdot \sin \theta = 0 \quad (44)$$

$$h_0 = \frac{m_1}{m_c} \cdot (l_1 \cdot \cot \theta - h_A) \quad (45)$$

Kde:

- θ je rozdíl úhlů mezi zavěšeným vozidlem zatíženým vozidlem o závaží m_1 a nezatíženým zavěšeným vozidlem.

Nevýhoda této metody spočívá především v náročné instalaci upevňovacího zařízení (bod A). Stejně tak je měření nešetrné vůči vozidlu. Z toho důvodu je tato metoda nevhodná zejména při zjišťování polohy těžiště u nových vozidel. Metodu je vhodné použít při měření havarovaných, poškozených vozidel. [11]

2.3.5 Metoda měření výškové polohy těžiště pomocí centrifugy

Mimo tradiční metody zjišťování výškové polohy těžiště vozidel, které se běžně používají existují i jiné „netradiční“ metody. Jedinečnou je právě metoda měření pomocí centrifugy. Tato metoda je velice nákladná a náročná. Vznikla ve Spojených státech amerických ve spolupráci National Highway and Traffic Safety Administration (NHTSA) s National Aeronautics and Space Administration (NASA). Důvodem spolupráce těchto institucí a vzniku této metody je problematika jízdní stability, zejména převrácení vozidel, přičemž největší důraz je kladen na vozidla typu pick-up a SUV. Tato vozidla jsou totiž více náchylná k převrácení během dopravních nehod než ostatní osobní automobily. [13]

Centrifuga je ve vlastnictví NASA a nachází se v Goddard Space Flight Center. Původně byla vystavěna k testování mezního napětí, která působí na vesmírná plavidla během startu do vesmíru. Avšak ve spolupráci s NHTSA se pomocí centrifugy zkoušejí vozidla. Centrifuga je vybavena dvěma rameny. Centrifugu pohání dva výkonné elektromotory umístěné pod podlahou, každý o výkonu 1250 koňských sil. Tyto dokážou ramena centrifugy rozpohybovat rychlostí, rovnající se třiceti násobku gravitační síly, která je naměřena na vnější části zkušební platformy. Dva elektromotory dokážou rozpohybovat ramena centrifugy na rychlost až 320 km/h. Nicméně testy na vozidlech se při takto velkém zatížení neprovádějí. Na vozidlech je maximální zatížení boční síly okolo 1 G. Centrifuga je napájena elektřinou a pro její velkou hmotnost je spotřeba při rozběhu stroje obrovská. Tato spotřeba však při rozpohybování ramen výrazně klesne. Zpomalování ramen je vyřešeno pomocí převodovky, podřazováním, tedy obdobně jako u vozidel s manuální převodovkou. [13]



Obrázek 14 Umístění vozidla na platformu centrifugy pomocí jeřábu [13]

NHTSA zavedla pojem faktor statické stability (SSF), který určuje, jak je které vozidlo náchylné pro převrácení. Dalo by se říci, že se svým způsobem jedná o dynamickou metodu, zachycující působení sil při průjezdu zatáčkou. Avšak nejedná se o zcela dynamickou zkoušku, pouze o její nasimulování, neboť vozidlo se otáčí díky vlastnímu pohonu centrifugy. V momentě, kdy je vozidlo centrifugou roztáčeno, na jeho bok působí stranové zrychlení. Při zvyšujících se otáčkách se jeho hodnota logicky zvyšuje. Při dosažení určité hodnoty vozidlo ztrácí stabilitu a nastává jeho překlápění. Takto můžeme postupným zvyšováním stranového zrychlení určovat hranice různých modelů vozidel. [13]

Vozidlo musí být na platformě centrifugy řádně zajištěné, aby nedošlo k jeho destrukci. Při dosažení určitých hodnot zrychlení se vozidlo začne samovolně překlápět. Z bezpečnostních důvodů je proto maximální úhel naklonění omezen na 20 stupňů. Ve vozidle je umístěna figurína, na které lze také provádět testy. Hořlavé palivo se nahrazuje netečnou kapalinou, jež má obdobné vlastnosti jako benzín. Na a uvnitř vozidla je umísťováno mnoho senzorů, sledující chování vozidla během experimentu. [13]

Z naměřených hodnot lze sestavit model, podle kterého se bude vozidlo chovat na silnici během krizových situací. Rovněž je možné určit polohu těžiště a její vliv na chování při reálném provozu. Zjištěné skutečnosti mohou být jak pro širokou veřejnost v podobě informací o problematice převrácení vozidel, tak pro konstruktéry vozidel. Zjištěné nedostatky vozidel mohou být odstraněny dříve, než automobil dostane do sériové výroby. Rovněž se z výsledků měření určí již zmíněný faktor statické stability. [13]

3 FORMULACE PROBLÉMŮ A STANOVENÍ CÍLŮ ŘEŠENÍ

Z teoretické části práce vyplývá, že těžiště automobilu má velký vliv na jízdní stabilitu. Podélná a příčná poloha těžiště způsobuje přetáčivost a nedotáčivost, výšková poloha těžiště ovlivňuje převrácení a smyk vozidla. Abychom tedy mohli předvídat chování vozidla v určitých situacích, je třeba znát polohu jeho těžiště. Jelikož je těžiště pouze pomyslný bod v prostoru vozidla, který není možné vidět a změřit, je potřeba jej určit z hmotnostních a rozměrových parametrů vozidla. Z těchto parametrů a ze známých vztahů lze určit podélné, příčné a výškové souřadnice těžiště.

Vozidla SUV jsou oproti některým ostatním typům osobních automobilů (minivan, sedan, hatchback, kombi) charakteristická vyšší konstrukcí. Tím pádem i jejich výšková poloha je zpravidla vyšší než u některých typů osobních vozidel. Tato skutečnost má za následek, že u vozidel SUV je za určitých situací větší pravděpodobnost, že dojde k převrácení. Převrácení vozidla může přitom mít vážné následky, především z hlediska bezpečnosti pasažérů.

Cílem práce je z experimentálního měření vybraných vozidel SUV zjistit jejich výškovou polohu těžiště při různém zatížení. Tyto zjištěné hodnoty mohou být použity při analýzách dopravních nehod vozidel tohoto typu. Pomocí zjištěné výšky těžiště vozidla je možné například vypočítat mezní rychlost pro konkrétní jízdní oblouky, nebo ji lze zakomponovat při provádění simulace v některých pomocných softwarech.

4 POUŽITÉ METODY A JEJICH ZDŮVODNĚNÍ

V teoretické části práce byla použita metoda literární rešerše. V praktické části práce bylo provedeno experimentální měření hmotnostních a rozměrových parametrů sedmi vybraných vozidel SUV při různém zatížení a následné dopočtení výškové polohy těžiště. K určení výškové polohy těžiště byla zvolena metoda naklápění vozidla na nápravu. Metoda byla vybrána zejména kvůli technologické nenáročnosti a skutečnosti, že Ústav soudního inženýrství disponuje prostředky, potřebnými k provedení měření. Tato metoda je podrobně popsána v **kapitole 2.3.1**. V závěru práce byly naměřené hodnoty výškových poloh všech vozidel vyhodnoceny. Tyto hodnoty byly porovnány a byla zkoumána závislost výškové polohy těžiště na zatížení vozidla.

4.1 MÍSTO MĚŘENÍ A POUŽITÉ PROSTŘEDKY

Měření všech vozidel se uskutečnilo v prostorách garáže Ústavu soudního inženýrství VUT v Brně. Byly zde k dispozici všechny použité prostředky, popsané v **kapitole 4.1.1**. Kromě prostředků, které jsou v následujících podkapitolách popsány, byly použity i další pomůcky. Jednalo se například o hydraulickou zvedací plošinu, elektrickou vrtačku, použitou ke zdvižení plošin zvedáků a pásový metr. K zatěžování vozidla bylo kromě figurantů použito devět pytlů s cementem, každý o hmotnosti 25 kg.

4.1.1 Nápravová váha

K měření hmotností byla použita nápravová váha značky Dino Argeo. Váhy jsou vhodné pro měření hmotnosti osobních vozidel, menších dodávek, vozíků apod. Celá sestava se skládá z indikátoru DFWKRP s vestavěnou tiskárnou, umístěným v přenosném kufříku. K indikátoru se dá připojit až 4 ks vážících platforem, LCD displej a komunikační rozhraní RS-232. [14]



Obrázek 15 Nápravová váha značky Dino Argeo [vlastní]

4.1.2 Zvedák

Ke zdvižení zadní nápravy vozidel, byl použit mechanický zvedák Easylift 1500. Tento zvedák je čistě mechanický. K pohánění se používá ruční elektrická vrtačka. Zvedák stojí na kolečkách a je tak kompletně mobilní. Konstrukčně je přizpůsobený na zvedání vozidel. Jeho nosnost je výrobcem uvedena na 1500 kg. Maximální zdvih 93 cm. [15]



Obrázek 16 Zvedák Easy-lift 1500 [vlastní]

4.2 POSTUP MĚŘENÍ

Před zahájením měření každého vozidla, bylo nezbytné je k tomuto úkonu připravit. Pro zajištění měření ve vodorovné poloze, byly pneumatiky vozidel nahuštěny zhruba na stejný tlak. Z vnitřního prostoru vozidla byly odstraněny předměty, které by se mohli při naklápění vozidla volně pohybovat a způsobovat tak možné vychýlení naměřených hodnot. Provozní kapaliny vozidel byly naplněny cca na 90 %. Přestože byly k dispozici prostředky k aretaci pružení vozidel, k tomuto úkonu nedošlo. Důvodem byla špatná dostupnost k pružinám kol. Instalace stahováku pružin by tak znamenala demontáž kol a v některých případech i podběhů blatníků a dalších částí, což vzhledem k tomu, že vozidla byla půjčená, nepřipadalo v úvahu. Tato skutečnost může způsobit, že výsledky jsou mírně ovlivněné.

Po splnění těchto úkonů bylo vozidlo umístěno na zvedací plošinu, kde byl změřen rozvor a rozchod přední i zadní nápravy. U vozidla byl také zjištěn statický poloměr zadních kol. Před započítáním měření hmotností byla rovněž provedena kalibrace nápravové váhy. Následně bylo

vozidlo umístěno na vážící platformy. Poté byla změřena hmotnost náprav vozidla ve vodorovné poloze. (viz **obrázek 17**) Tento úkon byl opakován při každém zatížení vozidla. Vozidla byla zatěžována podle kapacity míst k sezení. Od zatížení řidičem po plné zatížení.



Obrázek 17 Ukázka měření – příprava vážení vozidla ve vodorovné poloze [vlastní]

K zadním kolům byl přistaven mechanický zvedák easylift a následně probíhalo zdvižení zadní nápravy vozidla. Výška maximálního zdvižení byla vypočtena následujícím způsobem. Byl vybrán orientační bod na podběhu zadních kol. Tento bod leží na průsečíku pomyslné svislé čáry, procházející středem kol, na karoserii podběhu. (viz **obrázek 18**) Výška tohoto bodu byla zjišťována při každém zatížení z důvodu rozdílných hodnot díky pružení vozidla. K tomuto bodu se přičetlo 35 cm a do této výšky byla zdvižena zadní náprava. V této poloze byla změřena hmotnost přední nápravy vozidla. Poté byla zadní náprava snižována postupně po 5 cm do celkem 6 poloh (včetně výchozí v maximální výšce). V každé poloze proběhlo měření hmotnosti přední nápravy. Tento postup byl opakován pro každé zatížení vozidla.

Všechny naměřené hodnoty byly na místě zaznamenány a vyhodnocovány za podpory programu MS Excel. Pro každé měření byly provedeny kontrolní grafy závislosti přírůstku hmotnosti přední nápravy a tangens úhlu zdvižení zadní nápravy, určených k eliminaci chyb při měření. (**Příloha 1**) Z těchto grafů je pomocí lineární regrese určena směrnice přímky a ta je následně dosazena do vztahů v **kapitole 2.3.1.** k určení výsledné výškové polohy těžiště vozidel.



Obrázek 18 Zjišťování výšky orientačního bodu na karoserii vozidla [vlastní]



Obrázek 19 Měření hmotnosti vozidla naklápěného na přední nápravu [vlastní]

5 VLASTNÍ ŘEŠENÍ / DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

5.1 MĚŘENÍ VOZIDLA NISSAN QASHQAI

Během měření vozidla Nissan Qashqai bylo k postupnému zatěžování použito devět pytlů s cementem a dva figuranti. Na místo řidiče byl posazen figurant o hmotnosti 90 kg a na místo spolujezdce figurant, vážící 55 kg. Na zadní sedadla bylo postupně umísťováno až osm pytlů s cementem (hmotnost jednoho pytle je 25 kg), za účelem nasimulovat zatížení dvou dospělých osob a jednoho dítěte. Při měření zatížení třemi osobami byly umístěny za spolujezdce tři pytle s cementem o celkové hmotnosti 75 kg. Při zatížení čtyřmi osobami byly za řidiče přidány tři pytle s cementem o hmotnosti 75 kg. V poslední variantě, při měření zatížení pěti osobami, byly na prostřední sedadlo umístěny dva pytle s cementem o hmotnosti 50 kg. Do zavazadlového prostoru byl rovněž při posledním měření umístěn jeden pytel s cementem o hmotnosti 25 kg.

Tabulka 3 Rozměrové parametry vozidla Nissan Qashqai [vlastní]

Rozměrové parametry vozidla Nissan Qashqai	
Délka vozidla	4315 mm
Šířka vozidla	1780 mm
Výška vozidla	1615 mm
Rozvor vozidla (l)	2630 mm
Rozchod vozidla na přední nápravě (B ₁)	1550 mm
Rozchod vozidla na zadní nápravě (B ₂)	1550 mm
Statický poloměr (r_{stat})	343 mm

Tabulka 4 Hmotnost vozidla Nissan Qashqai ve vodorovné poloze při různém zatížení [vlastní]

Zatížení	m_1 (LP)	m_2 (PP)	m_3 (LZ)	m_4 (PZ)	m_p	m_c
Zatížení řidičem	418 kg	406,5 kg	324 kg	302 kg	824,5 kg	1451 kg
Zatížení řidičem a spolujezdcem	424 kg	430 kg	338 kg	321,5 kg	854 kg	1514 kg
Zatížení třemi osobami	423 kg	444 kg	362,5 kg	359 kg	867 kg	1589 kg
Zatížení čtyřmi osobami	439 kg	441 kg	400,5 kg	384 kg	880 kg	1665 kg
Zatížení pěti osobami	441 kg	439,5 kg	441 kg	421 kg	881 kg	1743 kg

Kde z pohledu řidiče:

- LP znamená levé přední kolo,
- PP znamená pravé přední kolo,
- LZ znamená levé zadní kolo,

- PZ znamená pravé zadní kolo,
- m_p je hmotnost přední nápravy ve vodorovné poloze,
- m_c je hmotnost obou náprav.

5.1.1 Zatížení řidičem

Tabulka 5 Hmotnostní a jiné parametry vozidla Nissan Qashqai při naklápění na přední nápravu - vozidlo zatížené řidičem [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
742,15	847	22,5	0,294
692,15	844,5	20	0,273
642,15	841,5	17	0,252
592,15	838,5	14	0,231
542,15	835	10,5	0,211
492,15	832	7,5	0,190

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě oproti m_p ,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 6 Souřadnice těžiště vozidla Nissan Qashqai zatíženého řidičem [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého řidičem v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1135
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1495
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	786
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	802
Výšková poloha těžiště (h_2)	266
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	609

Po dosazení do **rovnice (38), (39)** je získána výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Nissan Qashqai, zatíženého řidičem, je 266 mm od spojnice roviny středů kol. Po připočtení r_{stat} je celková výška těžiště od země 609 mm.

5.1.2 Zatížení řidičem a spolujezdcem

Tabulka 7 Hmotnostní a jiné parametry vozidla Nissan Qashqai při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené řidičem a spolujezdcem [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
742,15	878,5	24,5	0,294
692,15	876	22	0,273
642,15	872,5	18,5	0,252
592,15	869	15	0,231
542,15	866	12	0,211
492,15	862	8	0,190

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 8 Souřadnice těžiště vozidla Nissan Qashqai zatíženého řidičem a spolujezdcem [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého řidičem a spolujezdcem [v mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1146
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1484
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	770
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	794
Výšková poloha těžiště (h_2)	278
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	621

Po dosazení do **rovnice (38), (39)** je získána výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Nissan Qashqai, zatíženého řidičem a spolujezdcem, je 278 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat celkovou výšku těžiště 621 mm od země.

5.1.3 Zatížení třemi osobami

Tabulka 9 Hmotnostní a jiné parametry vozidla Nissan Qashqai při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené třemi osobami [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
752,15	894	27	0,298

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
702,15	891	24	0,277
652,15	887,5	20,5	0,256
602,15	884	17	0,235
552,15	879,5	12,5	0,215
502,15	876	9	0,195

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 10 Souřadnice těžiště vozidla Nissan Qashqai zatíženého třemi osobami [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého třemi osobami v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1195
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1435
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	756
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	779
Výšková poloha těžiště (h_2)	291
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	634

Po dosažení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Nissan Qashqai, zatíženého třemi osobami, je 291 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat výšku těžiště 634 mm od země.

5.1.4 Zatížení čtyřmi osobami

Tabulka 11 Hmotnostní a jiné parametry vozidla Nissan Qashqai při naklápění na přední nápravu - vozidlo zatížené čtyřmi osobami [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
761,5	908,5	28,5	0,303
711,5	906	26	0,281
661,5	901,5	21,5	0,260
611,5	897,5	17,5	0,239
561,5	893,5	13,5	0,219
511,5	889	9	0,198

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 12 Souřadnice těžiště vozidla Nissan Qashqai zatíženého čtyřmi osobami [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého čtyřmi osobami v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1240
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1390
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	773
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	791
Výšková poloha těžiště (h_2)	301
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	644

Po dosažení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Nissan Qashqai, zatíženého čtyřmi osobami, je 3011 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat celkovou výšku těžiště 644 mm od země.

5.1.5 Zatížení pěti osobami

Tabulka 13 Hmotnostní a jiné parametry vozidla Nissan Qashqai při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené pěti osobami [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
777,15	908,5	28,5	0,303
727,15	906	26	0,281
677,15	901,5	21,5	0,260
627,15	897,5	17,5	0,239
577,15	893,5	13,5	0,219
527,15	889	9	0,198

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 14 Souřadnice těžiště vozidla Nissan Qashqai, zatíženého pěti osobami [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého pěti osobami v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1301
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1329
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	776
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	793
Výšková poloha těžiště (h_2)	305
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	648

Po dosazení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Nissan Qashqai při zatížení pěti osobami, je 305 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat celkovou výšku těžiště 648 mm od země.

5.2 MĚŘENÍ VOZIDLA HONDA CRV

Během měření tohoto vozidla byly k postupnému zatěžování použity dva figuranti a devět pytlů s cementem. Na místě řidiče seděl figurant o hmotnosti 71 kg a na místě spolujezdce figurant o hmotnosti 90 kg. Na zadní sedadla bylo postupně umísťováno až osm pytlů s cementem (hmotnost jednoho pytle je 25 kg), za účelem nasimulovat zatížení dvou dospělých osob a jednoho dítěte. Při měření zatížení třemi osobami byly umístěny za spolujezdce tři pytle s cementem o celkové hmotnosti 75 kg. Při zatížení čtyřmi osobami byly přidány za řidiče tři pytle s cementem o hmotnosti 75 kg. V poslední variantě, při měření zatížení pěti osobami, byly na prostřední sedadlo umístěny dva pytle s cementem o hmotnosti 50 kg. V posledním případě byl do zavazadlového prostoru umístěn jeden pytel s cementem, vážící 25 kg.

Tabulka 15 Rozměrové parametry vozidla Honda CRV [vlastní]

Rozměrové parametry vozidla Honda CRV [mm]	
Délka vozidla	4570
Šířka vozidla	1820
Výška vozidla	1675
Rozvor vozidla (l)	2625
Rozchod vozidla na přední nápravě (B1)	1580
Rozchod vozidla na zadní nápravě (B2)	1580
Statický poloměr (r_{stat})	362

Tabulka 16 Hmotnost vozidla Honda CRV ve vodorovné poloze, při různém zatížení [vlastní]

Zatížení	m_1 (LP)	m_2 (PP)	m_3 (LZ)	m_4 (PZ)	m_p	m_c
Zatížení řidičem	480,5 kg	436,5 kg	366,5 kg	356,5 kg	917 kg	1640 kg
Zatížení řidičem a spolujezdcem	490 kg	477,5 kg	380 kg	387,5 kg	967,5 kg	1735 kg
Zatížení třemi osobami	489,5 kg	490,5 kg	403,5 kg	428 kg	980 kg	1812 kg
Zatížení čtyřmi osobami	506 kg	485,5 kg	443,5 kg	451 kg	991,5 kg	1886 kg
Zatížení pěti osobami	508 kg	489 kg	476 kg	487 kg	997 kg	1960 kg

Kde z pohledu řidiče:

- LP znamená levé přední kolo,
- PP znamená pravé přední kolo,
- LZ znamená levé zadní kolo,
- PZ znamená pravé zadní kolo,
- m_p je hmotnost přední nápravy ve vodorovné poloze,
- m_c je hmotnost obou náprav.

5.2.1 Zatížení řidičem

Tabulka 17 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Honda CRV při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené řidičem [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
712,15	943	26	0,282
662,12	940,5	23,5	0,261
612,15	937	20	0,240
562,15	933	16	0,219
512,15	929,5	12,5	0,199
462,15	925	8	0,179

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 18 Souřadnice těžiště vozidla Honda CRV, zatíženého řidičem [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého řidičem v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1157
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1468
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	828
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	801
Výšková poloha těžiště (h_2)	282
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	644

Po dosažení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Honda CRV, zatíženého řidičem, je 282 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat celkovou výšku těžiště 644 mm od země.

5.2.2 Zatížení řidičem a spolujezdcem

Tabulka 19 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Honda CRV při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené řidičem a spolujezdcem [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
712,15	994	26,5	0,282
662,12	992,5	25	0,261
612,15	988,5	21	0,240
562,15	984,5	17	0,219
512,15	980	12,5	0,199
462,15	976,5	9	0,179

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 20 Souřadnice těžiště vozidla Honda CRV, zatíženého řidičem a spolujezdcem [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého řidičem a spolujezdcem v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1161
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1464
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	800

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého řidičem a spolujezdcem v [mm]	
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	782
Výšková poloha těžiště (h_2)	270
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	633

Po dosažení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Honda CRV, zatíženého řidičem a spolujezdcem, je 270 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat výšku těžiště 633 mm od země.

5.2.3 Zatížení třemi osobami

Tabulka 21 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Honda CRV při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené třemi osobami [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
712	1008,5	28,5	0,282
662	1005	25	0,261
612	1001	21	0,240
562	997	17	0,219
512	994	14	0,199
462	989	9	0,179

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 22 Souřadnice těžiště vozidla Honda CRV, zatíženého třemi osobami [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého třemi osobami v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1205
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1420
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	789
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	767
Výšková poloha těžiště (h_2)	270
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	632

Po dosazení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Honda CRV, zatíženého třemi osobami, je 270 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat výšku těžiště 632 mm od země.

5.2.4 Zatížení čtyřmi osobami

Tabulka 23 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Honda CRV při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené čtyřmi osobami [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
649	1020	28,5	0,255
559	1017	25,5	0,234
549	1012,5	21	0,214
499	1008	16,5	0,194
449	1003	11,5	0,174
0,399	1000	8,5	0,154

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 24 Souřadnice těžiště vozidla Honda CRV, zatíženého čtyřmi osobami [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého čtyřmi osobami v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1245
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1380
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	806
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	783
Výšková poloha těžiště (h_2)	287
Celková výšková poloha T (h_T)	650

Po dosazení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Honda CRV, zatíženého čtyřmi osobami, je 287 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat výšku těžiště 650 mm od země.

5.2.5 Zatížení pěti osobami

Tabulka 25 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Honda CRV při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené pěti osobami [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
685	1029	32	0,270
635	1024,5	27,5	0,249
585	1020	23	0,229
535	1015	18	0,208
485	1011	14	0,188
435	1006	9	0,168

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 26 Souřadnice těžiště vozidla Honda CRV, zatíženého pěti osobami [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého pěti osobami v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1290
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1335
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	805
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	781
Výšková poloha těžiště (h_2)	300
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	662

Po dosažení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Honda CRV, zatíženého pěti osobami, je 300 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat výšku těžiště 662 mm od země.

5.3 MĚŘENÍ VOZIDLA TOYOTA RAV4 HYBRID

Během měření tohoto vozidla byly k postupnému zatěžování použity dva figuranti a devět pytlů s cementem. Na místě řidiče seděl figurant o hmotnosti 90 kg a na místě spolujezdce figurant o hmotnosti 55 kg. Na zadní sedadla bylo postupně umísťováno až osm pytlů s cementem (hmotnost jednoho pytle je 25 kg), za účelem nasimulovat zatížení dvou dospělých osob a jednoho

dítěte. Při měření zatížení třemi osobami byly umístěny za spolujezdce tři pytle s cementem o celkové hmotnosti 75 kg. Při zatížení čtyřmi osobami byly přidány za řidiče tři pytle s cementem o hmotnosti 75 kg. V poslední variantě, při měření zatížení pěti osobami, byly na prostřední sedadlo umístěny dva pytle s cementem o hmotnosti 50 kg. V posledním případě byl do zavazadlového prostoru umístěn jeden pytel s cementem, vážící 25 kg.

Tabulka 27 Rozměrové parametry vozidla Toyota RAV4 Hybrid [vlastní]

Rozměrové parametry vozidla Toyota RAV4 Hybrid [mm]	
Délka vozidla	4600
Šířka vozidla	1860
Výška vozidla	1685
Rozvor vozidla (l)	2690
Rozchod vozidla na přední nápravě (B ₁)	1620
Rozchod vozidla na zadní nápravě (B ₂)	1620
Statický poloměr (r _{stat})	363

Tabulka 28 Hmotnost vozidla Toyota RAV4 Hybrid ve vodorovné poloze při různém zatížení [vlastní]

Zatížení	m ₁ (LP)	m ₂ (PP)	m ₃ (LZ)	m ₄ (PZ)	m _p	m _c
Zatížení řidičem	510 kg	484,5 kg	407 kg	371 kg	994,5 kg	1773 kg
Zatížení řidičem a spolujezdcem	519,5 kg	505,5 kg	410,5 kg	392 kg	1025 kg	1828 kg
Zatížení třemi osobami	517 kg	520,5 kg	435,5 kg	430,5 kg	1037,5 kg	1904 kg
Zatížení čtyřmi osobami	528,5 kg	521 kg	475,5 kg	457 kg	1049,5 kg	1982 kg
Zatížení pěti osobami	526,5 kg	523,5 kg	514,5 kg	495 kg	1050 kg	2060 kg

Kde z pohledu řidiče:

- LP znamená levé přední kolo,
- PP znamená pravé přední kolo,
- LZ znamená levé zadní kolo,
- PZ znamená pravé zadní kolo,
- m_p je hmotnost přední nápravy ve vodorovné poloze,
- m_c je hmotnost obou náprav.

5.3.1 Zatížení řidičem

Tabulka 29 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Toyota RAV4 Hybrid při naklápění na přední nápravu - vozidlo zatížené řidičem [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
796	1021	26,5	0,310
746	1019	24,5	0,289
696	1016,5	22	0,268
646	1012,5	18	0,248
596	1008	13,5	0,227
546	1005,5	11	0,207

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 30 Souřadnice těžiště vozidla Toyota RAV4 Hybrid, zatíženého řidičem [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého řidičem v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1181
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1509
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	831
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	847
Výšková poloha těžiště (h_2)	242
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	606

Po dosažení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Toyota RAV4 Hybrid, zatíženého řidičem, je 242 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat výšku těžiště 606 mm od země.

5.3.2 Zatížení řidičem a spolujezdcem

Tabulka 31 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Toyota RAV4 Hybrid při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené řidičem a spolujezdcem [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
796	1051	26	0,310
746	1048	23	0,289
696	1046	21	0,268
646	1043,5	18,5	0,248
596	1036	11	0,227

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
546	1034	9	0,207

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 32 Souřadnice těžiště vozidla Toyota RAV4 Hybrid, zatíženého řidičem a spolujezdcem [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého řidičem a spolujezdcem v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1181
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1509
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	821
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	829
Výšková poloha těžiště (h_2)	253
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	617

Po dosažení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Toyota RAV4 Hybrid, zatíženého řidičem a spolujezdcem, je 253 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat výšku těžiště 617 mm od země.

5.3.3 Zatížení třemi osobami

Tabulka 33 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Toyota RAV4 Hybrid při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené třemi osobami [vlastní]

Výška h_1 (mm)	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
781	1064	26,5	0,304
731	1063	25,5	0,283
681	1060,5	23	0,262
631	1054	16,5	0,241
581	1051,5	14	0,221
531	1046,5	9	0,202

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,

- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 34 Souřadnice těžiště vozidla Toyota RAV4 Hybrid, zatíženého třemi osobami [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého třemi osobami v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1224
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1466
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	807
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	815
Výšková poloha těžiště (h_2)	254
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	617

Po dosazení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Toyota RAV4 Hybrid, zatíženého třemi osobami, je 254 od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat výšku těžiště 617 mm od země.

5.3.4 Zatížení čtyřmi osobami

Tabulka 35 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Toyota RAV4 Hybrid při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené čtyřmi osobami [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
771	1078	28,5	0,299
721	1075	25,5	0,278
671	1070,5	21	0,258
621	1066,5	17	0,237
571	1062	12,5	0,217
521	1058	8,5	0,197

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 36 Souřadnice těžiště vozidla Toyota RAV4 Hybrid, zatíženého čtyřmi osobami [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého čtyřmi osobami v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1266

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého čtyřmi osobami v [mm]	
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1424
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	816
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	826
Výšková poloha těžiště (h_2)	272
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	636

Po dosažení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Toyota RAV4 Hybrid, zatíženého čtyřmi osobami, je 272 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat výšku těžiště 636 mm od země.

5.3.5 Zatížení pěti osobami

Tabulka 37 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Toyota RAV4 Hybrid při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené pěti osobami [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
766	1083	33	0,297
716	1081	31	0,276
666	1076,5	26,5	0,256
616	1071,5	21,5	0,235
566	1067	17	0,215
516	1063	13	0,196

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 38 Souřadnice těžiště vozidla Toyota RAV4 Hybrid, zatíženého pěti osobami [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého pěti osobami v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1319
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1371
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	812
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	826
Výšková poloha těžiště (h_2)	270
Velková výšková poloha těžiště (h_T)	633

Po dosažení do **rovnice (38), (39)** následně získáme výšku těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Toyota RAV4 Hybrid, zatíženého pěti osobami, je 269,79 od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} dostaneme výšku těžiště 633,39 mm od země.

5.4 MĚŘENÍ VOZIDLA KIA SPORTAGE

Během měření tohoto vozidla byly k postupnému zatěžování použity dva figuranti a devět pytlů s cementem. Na místě řidiče seděl figurant o hmotnosti 90 kg a na místě spolujezdce figurant o hmotnosti 55 kg. Na zadní sedadla bylo postupně umísťováno až osm pytlů s cementem (hmotnost jednoho pytle je 25 kg), za účelem nasimulovat zatížení dvou dospělých osob a jednoho dítěte. Při měření zatížení třemi osobami byly umístěny za spolujezdce tři pytle s cementem o celkové hmotnosti 75 kg. Při zatížení čtyřmi osobami byly přidány za řidiče tři pytle s cementem o hmotnosti 75 kg. V poslední variantě, při měření zatížení pěti osobami, byly na prostřední sedadlo umístěny dva pytle s cementem o hmotnosti 50 kg. V posledním případě byl do zavazadlového prostoru umístěn jeden pytel s cementem, vážící 25 kg.

Tabulka 39 Rozměrové parametry vozidla Kia Sportage [vlastní]

Rozměrové parametry vozidla Kia Sportage [mm]	
Délka vozidla	4485
Šířka vozidla	1855
Výška vozidla	1645
Rozvor vozidla (l)	2670
Rozchod vozidla na přední nápravě (B ₁)	1620
Rozchod vozidla na zadní nápravě (B ₂)	1630
Statický poloměr (r_{stat})	350

Tabulka 40 Hmotnost vozidla Kia Sportage ve vodorovné poloze při různém zatížení [vlastní]

Zatížení	m_1 (LP)	m_2 (PP)	m_3 (LZ)	m_4 (PZ)	m_p	m_c
Zatížení řidičem	449,5 kg	422 kg	336,5 kg	302 kg	871,5 kg	1510 kg
Zatížení řidičem a spolujezdcem	457,5 kg	444 kg	346 kg	321 kg	901,5 kg	1569 kg
Zatížení třemi osobami	456,5 kg	458,5 kg	369,5 kg	359 kg	915 kg	1644 kg
Zatížení čtyřmi osobami	471,5 kg	456 kg	415,5 kg	376,5 kg	927,5 kg	1720 kg
Zatížení pěti osobami	473 kg	456 kg	454 kg	417,5 kg	929 kg	1801 kg

Kde z pohledu řidiče:

- LP znamená levé přední kolo,
- PP znamená pravé přední kolo,

- LZ znamená levé zadní kolo,
- PZ znamená pravé zadní kolo,
- m_p je hmotnost přední nápravy ve vodorovné poloze,
- m_c je hmotnost obou náprav.

5.4.1 Zatížení řidičem

Tabulka 41 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Kia Sportage při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené řidičem [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
769	898,5	27	0,301
719	895,5	24	0,280
669	891,5	20	0,259
619	888	16,5	0,238
569	884	12,5	0,218
519	880,5	9	0,198

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 42 Výsledné souřadnice těžiště vozidla Kia Sportage, zatíženého řidičem [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého řidičem v [mm]	
vzdálenost těžiště od přední nápravy	1129
vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1541
příčná vzdálenost těžiště od PP kola	836
příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	859
výšková poloha těžiště (h_2)	315
celková výšková poloha těžiště (h_T)	666

Po dosazení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Kia Sportage, zatíženého řidičem, je 315 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat výšku těžiště 666 mm od země.

5.4.2 Zatížení řidičem a spolujezdcem

Tabulka 43 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Kia Sportage při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené řidičem a spolujezdcem [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
769	930	28,5	0,301
719	926,5	25	0,280
669	923	21,5	0,259
619	919	17,5	0,238
569	914,5	13	0,218
519	910,5	9	0,198

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 44 Souřadnice těžiště vozidla Kia Sportage, zatíženého řidičem a spolujezdcem [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého řidičem a spolujezdcem v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1135
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1535
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	822
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	846
Výšková poloha těžiště (h_2)	326
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	677

Po dosažení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Kia Sportage, zatíženého řidičem a spolujezdcem, je 326 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat výšku těžiště 677 mm od země.

5.4.3 Zatížení třemi osobami

Tabulka 45 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Kia Sportage při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené třemi osobami [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$
759	945,5	30,5	0,297

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$
709	942	27	0,275
659	937,5	22,5	0,255
609	933	18	0,234
559	928,5	13,5	0,214
509	924	9	0,194

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 46 Souřadnice těžiště vozidla Kia Sportage, zatíženého třemi osobami [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého třemi osobami v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1184
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1486
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	808
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	827
Výšková poloha těžiště (h_2)	346
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	697

Po dosazení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Kia Sportage, zatíženého třemi osobami, je 346 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat výšku těžiště 697 mm od země.

5.4.4 Zatížení čtyřmi osobami

Tabulka 47 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Kia Sportage při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené čtyřmi osobami [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
749	960	32,5	0,292
699	955	27,5	0,271
649	950	22,5	0,251
599	947	19,5	0,230
549	942	14,5	0,210
499	938	10,5	0,190

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 48 Souřadnice těžiště vozidla Kia Sportage, zatíženého čtyřmi osobami [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého čtyřmi osobami v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1230
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1440
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	824
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	855
Výšková poloha těžiště (h_2)	331
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	682

Po dosažení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Kia Sportage, zatíženého čtyřmi osobami, je 331 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat výšku těžiště 682 mm od země.

5.4.5 Zatížení pěti osobami

Tabulka 49 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Kia Sportage při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené pěti osobami [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
739	962,5	33,5	0,288
689	959	30	0,267
639	954	25	0,246
589	949,5	20,5	0,226
539	945	16	0,206
489	940,5	11,5	0,186

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 50 Souřadnice těžiště vozidla Kia Sportage, zatíženého pěti osobami [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého pěti osobami v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1292
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1378
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	825
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	849
Výšková poloha těžiště (h_2)	326
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	677

Po dosažení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Kia Sportage, zatíženého pěti osobami, je 326 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat výšku těžiště 677 mm od země.

5.5 MĚŘENÍ VOZIDLA ŠKODA KAROQ

Během měření tohoto vozidla byly k postupnému zatěžování použity dva figuranti a devět pytlů s cementem. Na místě řidiče seděl figurant o hmotnosti 60 kg a na místě spolujezdce figurant o hmotnosti 90 kg. Na zadní sedadla bylo postupně umísťováno až osm pytlů s cementem (hmotnost jednoho pytle je 25 kg), za účelem nasimulovat zatížení dvou dospělých osob a jednoho dítěte. Při měření zatížení třemi osobami byly umístěny za spolujezdce tři pytle s cementem o celkové hmotnosti 75 kg. Při zatížení čtyřmi osobami byly přidány za řidiče tři pytle s cementem o hmotnosti 75 kg. V poslední variantě, při měření zatížení pěti osobami, byly na prostřední sedadlo umístěny dva pytle s cementem o hmotnosti 50 kg. V posledním případě byl do zavazadlového prostoru rovněž umístěn jeden pytel s cementem, vážící 25 kg.

Měření vozidla Škoda Karoq vykazuje velké výkyvy naměřených hodnot a je bohužel chybné, pravděpodobně z důvodu špatně kalibrovaných vah. Proto je nezbytné brát tuto skutečnost na vědomí při vyhodnocování výsledků.

Tabulka 51 Rozměrové parametry vozidla Škoda Karoq [vlastní]

Rozměrové parametry vozidla Škoda Karoq [mm]	
Délka vozidla	4382
Šířka vozidla	1841
Výška vozidla	1607
Rozvor vozidla (l)	2630
Rozchod vozidla na přední nápravě (B1)	1550

Rozměrové parametry vozidla Škoda Karoq [mm]	
Rozchod vozidla na zadní nápravě (B2)	1560
Statický poloměr (rstat)	332

Tabulka 52 Hmotnost vozidla Škoda Karoq ve vodorovné poloze při různém zatížení [vlastní]

Zatížení	m₁ (LP)	m₂ (PP)	m₃ (LZ)	m₄ (PZ)	m_p	m_c
Zatížení řidičem	402 kg	386 kg	299,5 kg	267 kg	788 kg	1355 kg
Zatížení řidičem a spolujezdcem	414,5 kg	425 kg	311,5 kg	300,5 kg	839,5 kg	1452 kg
Zatížení třemi osobami	411 kg	442,5 kg	327 kg	338,5 kg	853,5 kg	1519 kg
Zatížení čtyřmi osobami	427,5 kg	434 kg	355 kg	360 kg	861,5 kg	1577 kg
Zatížení pěti osobami	427 kg	440 kg	385 kg	392,5 kg	867 kg	1645 kg

Kde z pohledu řidiče:

- LP znamená levé přední kolo,
- PP znamená pravé přední kolo,
- LZ znamená levé zadní kolo,
- PZ znamená pravé zadní kolo,
- m_p je hmotnost přední nápravy ve vodorovné poloze,
- m_c je hmotnost obou náprav.

5.5.1 Zatížení řidičem

Tabulka 53 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Škoda Karoq při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené řidičem [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
772	809,5	21,5	0,307
722	807,5	19,5	0,285
672	804,5	16,5	0,264
622	802	14	0,243
572	798,5	10,5	0,223
522	795,5	7,5	0,203

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 54 Souřadnice těžiště vozidla Škoda Karoq, zatíženého řidičem [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého řidičem v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1100
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1530
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	791
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	825
Výšková poloha těžiště (h_2)	264
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	596

Po dosažení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Škoda Karoq, zatíženého řidičem, je 264 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat výšku těžiště 596 mm od země.

5.5.2 Zatížení řidičem a spolujezdcem

Tabulka 55 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Škoda Karoq při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené řidičem a spolujezdcem [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
752	861	21,5	0,298
702	848	8,5	0,277
652	842,5	3	0,256
602	838	-1,5	0,235
552	847	7,5	0,215
502	844,5	5	0,194

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 56 Souřadnice těžiště vozidla Škoda Karoq, zatíženého řidičem a spolujezdcem [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého řidičem a spolujezdcem v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1109
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1521
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	765

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého řidičem a spolujezdcem v [mm]	
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	794
Výšková poloha těžiště (h_2)	227
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	559

Po dosažení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Škoda Karoq, zatíženého řidičem a spolujezdcem, je 227 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat výšku těžiště 559 mm od země.

5.5.3 Zatížení třemi osobami

Tabulka 57 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Škoda Karoq při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené třemi osobami [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
737	875	21,5	0,292
687	860	6,5	0,271
637	870	16,5	0,250
587	863	9,5	0,229
537	860	6,5	0,209
487	856	2,5	0,188

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 58 Souřadnice těžiště vozidla Škoda Karoq, zatíženého třemi osobami [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého třemi osobami v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1152
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1478
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	746
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	767
Výšková poloha těžiště (h_2)	244
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	576

Po dosažení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Škoda Karoq, zatíženého třemi osobami, je 244 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat výšku těžiště 576 mm od země.

5.5.4 Zatížení čtyřmi osobami

Tabulka 59 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Škoda Karoq při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené čtyřmi osobami [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
727	893,5	32	0,288
677	890	28,5	0,266
627	884	22,5	0,245
577	878	16,5	0,225
527	874,5	13	0,205
477	870	8,5	0,184

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 60 Souřadnice těžiště vozidla Škoda Karoq, zatíženého čtyřmi osobami [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého čtyřmi osobami v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1193
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1437
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	769
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	775
Výšková poloha těžiště (h_2)	393
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	725

Po dosažení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Škoda Karoq, zatíženého čtyřmi osobami, je 393 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat výšku těžiště 725 mm od země.

5.5.5 Zatížení pěti osobami

Tabulka 61 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Škoda Karoq při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené pěti osobami [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
722	894,5	27,5	0,285
672	891	24	0,264
622	888	21	0,243
572	884,5	17,5	0,223
522	881	14	0,203
472	876	9	0,182

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 62 Souřadnice těžiště vozidla Škoda Karoq, zatíženého pěti osobami [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého pěti osobami v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1243
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1387
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	763
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	772
Výšková poloha těžiště (h_2)	279
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	611

Po dosažení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Škoda Karoq, zatíženého pěti osobami, je 279 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat výšku těžiště 611 mm od země.

5.6 MĚŘENÍ VOZIDLA JEEP COMPASS

Během měření tohoto vozidla byly k postupnému zatěžování použity dva figuranti a devět pytlů s cementem. Na místě řidiče seděl figurant o hmotnosti 90 kg a na místě spolujezdce figurant o hmotnosti 55 kg. Na zadní sedadla bylo postupně umísťováno až osm pytlů s cementem (hmotnost jednoho pytle je 25 kg), za účelem nasimulovat zatížení dvou dospělých osob a jednoho

dítěte. Při měření zatížení třemi osobami byly umístěny za spolujezdce tři pytle s cementem o celkové hmotnosti 75 kg. Při zatížení čtyřmi osobami byly přidány za řidiče tři pytle s cementem o hmotnosti 75 kg. V poslední variantě, při měření zatížení pěti osobami, byly na prostřední sedadlo umístěny dva pytle s cementem o hmotnosti 50 kg. V posledním případě byl do zavazadlového prostoru rovněž umístěn jeden pytel s cementem, vážící 25 kg.

Tabulka 63 Rozměrové parametry vozidla Jeep Compass [vlastní]

Rozměrové parametry vozidla Jeep Compass [mm]	
Délka vozidla	4394
Šířka vozidla	1819
Výška vozidla	1629
Rozvor vozidla (l)	2635
Rozchod vozidla na přední nápravě (B1)	1570
Rozchod vozidla na zadní nápravě (B2)	1560
Statický poloměr (rstat)	352

Tabulka 64 Hmotnost vozidla Jeep Compass ve vodorovné poloze při různém zatížení [vlastní]

Zatížení	m₁ (LP)	m₂ (PP)	m₃ (LZ)	m₄ (PZ)	m_p	m_c
Zatížení řidičem	467,5 kg	445 kg	338 kg	293 kg	912,5 kg	1544 kg
Zatížení řidičem a spolujezdcem	476,5 kg	465,5 kg	338,5 kg	311 kg	942 kg	1592 kg
Zatížení třemi osobami	473 kg	481 kg	348,5 kg	347 kg	954 kg	1650 kg
Zatížení čtyřmi osobami	493 kg	472,5 kg	399,5 kg	374,5 kg	965,5 kg	1740 kg
Zatížení pěti osobami	497 kg	473 kg	436,5 kg	409,5 kg	970 kg	1816 kg

Kde z pohledu řidiče:

- LP znamená levé přední kolo,
- PP znamená pravé přední kolo,
- LZ znamená levé zadní kolo,
- PZ znamená pravé zadní kolo,
- m_p je hmotnost přední nápravy ve vodorovné poloze,
- m_c je hmotnost obou náprav.

5.6.1 Zatížení řidičem

Tabulka 65 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Jeep Compass při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené řidičem [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
772	940	27,5	0,306
722	936	23,5	0,285
672	931,5	19	0,264
622	928,5	16	0,243
572	924	11,5	0,222
522	920,5	8	0,202

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 66 Souřadnice těžiště vozidla Jeep Compass, zatíženého řidičem [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého řidičem v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1077
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1558
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	804
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	836
Výšková poloha těžiště (h_2)	319
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	672

Po dosažení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Jeep Compass, zatíženého řidičem, je 319 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat výšku těžiště 672 mm od země.

5.6.2 Zatížení řidičem a spolujezdcem

Tabulka 67 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Jeep Compass při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené řidičem a spolujezdcem [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
772	971,5	29,5	0,306

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
722	967,5	25,5	0,285
672	963,5	21,5	0,264
622	959,5	17,5	0,243
572	955	13	0,222
522	951	9	0,202

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 68 Souřadnice těžiště vozidla Jeep Compass, zatíženého řidičem a spolujezdcem [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého řidičem a spolujezdcem v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1075
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1560
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	794
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	813
Výšková poloha těžiště (h_2)	327
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	679

Po dosazení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Jeep Compass, zatíženého řidičem a spolujezdcem, je 327 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat výšku těžiště 679 mm od země.

5.6.3 Zatížení třemi osobami

Tabulka 69 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Jeep Compass při naklápění na přední nápravu - vozidlo zatížené třemi osobami [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
757	984,5	30,5	0,300
707	980,5	26,5	0,279
657	975,5	21,5	0,257
607	971,5	17,5	0,237
557	968	14	0,216
507	963	9	0,196

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 70 Souřadnice těžiště vozidla Jeep Compass, zatíženého třemi osobami [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého třemi osobami v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1111
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1524
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	778
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	782
Výšková poloha těžiště (h_2)	327
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	680

Po dosažení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Jeep Compass, zatíženého třemi osobami, je 327 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat výšku těžiště 680 mm od země.

5.6.4 Zatížení čtyřmi osobami

Tabulka 71 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Jeep Compass při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené čtyřmi osobami [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
752	998,5	33	0,298
702	994	28,5	0,276
652	990	24,5	0,255
602	985	19,5	0,235
552	980	14,5	0,214
502	975	9,5	0,194

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 72 Souřadnice těžiště vozidla Jeep Compass, zatíženého čtyřmi osobami [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého čtyřmi osobami v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1172
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1463
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	802
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	805
Výšková poloha těžiště (h_2)	343
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	696

Po dosazení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Jeep Compass, zatíženého čtyřmi osobami, je 343 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat výšku těžiště 696 mm od země.

5.6.5 Zatížení pěti osobami

Tabulka 73 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Jeep Compass při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené pěti osobami [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
742	1005	35	0,293
692	1000	30	0,272
642	996	26	0,251
592	991	21	0,231
542	986	16	0,210
492	980,5	10,5	0,190

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 74 Souřadnice těžiště vozidla Jeep Compass, zatíženého pěti osobami [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého pěti osobami v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1228
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1407
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	804

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého pěti osobami v [mm]	
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	805
Výšková poloha těžiště (h_2)	340
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	692

Po dosažení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Jeep Compass, zatíženého pěti osobami, je 340 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat výšku těžiště 692 mm od země.

5.7 MĚŘENÍ VOZIDLA LANDROVER DEFENDER

Vozidlo Landrover Defender má kapacitu pro devět osob. Během měření tohoto vozidla bylo k postupnému zatěžování použito pět figurantů a devět pytlů s cementem (každý o hmotnosti 25 kg). Na místě řidiče seděl řidič o hmotnosti 95 kg a na místě spolujezdce figurant, vážící 55 kg. Na zadních sedadlech seděli figuranti o hmotnostech (zleva) 85, 95 a 70 kg. Při zatížení vozidla šesti osobami byly umístěny do zadní části vozidla, kde se nachází čtyřmístná lavice, tři pytle s cementem do pravé části vozidla blíž k přední části vozidla. Při zatížení sedmi osobami byly přidány tři pytle s cementem do levé části vozidla blíž k přední části vozidla. Při zatížení osmi osobami byly opět přidány tři pytle s cementem do pravé části vozidla blíž k zadní části vozidla. V poslední variantě seděl v levé zadní části vozidla figurant o hmotnosti 90 kg.

Tabulka 75 Rozměrové parametry vozidla Landrover Defender [vlastní]

Rozměrové parametry vozidla Landrover Defender [mm]	
Délka vozidla	4639
Šířka vozidla	1790
Výška vozidla	2021
Rozvor vozidla (l)	2770
Rozchod vozidla na přední nápravě (B_1)	1485
Rozchod vozidla na zadní nápravě (B_2)	1505
Statický poloměr (r_{stat})	375

Tabulka 76 Hmotnost vozidla Landrover Defender ve vodorovné poloze při různém zatížení [vlastní]

Zatížení	m_1 (LP)	m_2 (PP)	m_3 (LZ)	m_4 (PZ)	m_p	m_c
Zatížení řidičem	543,5 kg	496,5 kg	581 kg	538,5 kg	1040 kg	2160 kg
Zatížení řidičem a spolujezdcem	549 kg	519,5 kg	583 kg	561 kg	1068,5 kg	2213 kg
Zatížení třemi osobami	551 kg	531 kg	605,5 kg	582 kg	1082 kg	2270 kg
Zatížení čtyřmi osobami	571,5 kg	533 kg	655 kg	610 kg	1104,5 kg	2370 kg

Zatížení	m_1 (LP)	m_2 (PP)	m_3 (LZ)	m_4 (PZ)	m_p	m_c
Zatížení pěti osobami	578,5 kg	547,5 kg	684 kg	650 kg	1126 kg	2460 kg
Zatížení šesti osobami	563 kg	558,5 kg	709 kg	692 kg	1121,5 kg	2523 kg
Zatížení sedmi osobami	574 kg	545,5 kg	754,5 kg	706 kg	1119,5 kg	2580 kg
Zatížení osmi osobami	580,5 kg	526 kg	815 kg	760,5 kg	1106 kg	2682 kg
Zatížení devíti osobami	556,5 kg	529 kg	860 kg	833,5 kg	1085,5 kg	2779 kg

Kde z pohledu řidiče:

- LP znamená levé přední kolo,
- PP znamená pravé přední kolo,
- LZ znamená levé zadní kolo,
- PZ znamená pravé zadní kolo,
- m_p je hmotnost přední nápravy ve vodorovné poloze,
- m_c je hmotnost obou náprav.

5.7.1 Zatížení řidičem

Tabulka 77 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Landrover Defender při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené řidičem [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
900	1081	41	0,344
850	1073	33	0,322
800	1077	37	0,302
750	1069,5	29,5	0,281
700	1059	19	0,261
650	1054	14	0,241

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 78 Souřadnice těžiště vozidla Landrover Defender, zatíženého řidičem [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého řidičem v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1436

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého řidičem v [mm]	
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1334
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	776
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	781
Výšková poloha těžiště (h_2)	330
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	705

Po dosažení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Landrover Defender, zatíženého řidičem, je 330 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat výšku těžiště 705 mm od země.

5.7.2 Zatížení řidičem a spolujezdcem

Tabulka 79 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Landrover Defender při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené řidičem a spolujezdcem [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
900	1112,5	44	0,344
850	1107	38,5	0,322
800	1101	32,5	0,302
750	1095,5	27	0,281
700	1089	20,5	0,261
650	1082,5	14	0,241

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 80 Souřadnice těžiště vozidla Landrover Defender, zatíženého řidičem a spolujezdcem [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého řidičem a spolujezdcem v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1432
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1338
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	763
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	767
Výšková poloha těžiště (h_2)	367
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	742

Po dosazení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Landrover Defender, zatíženého řidičem a spolujezdcem, je 367 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat výšku těžiště 742 mm od země.

5.7.3 Zatížení třemi osobami

Tabulka 81 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Landrover Defender při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené třemi osobami [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
890	1129	47	0,339
840	1123	41	0,318
790	1116,5	34,5	0,298
740	1110	28	0,277
690	1102,5	20,5	0,257
640	1096	14	0,237

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 82 Souřadnice těžiště vozidla Landrover Defender, zatíženého třemi osobami [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého třemi osobami v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1449
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1321
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	756
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	767
Výšková poloha těžiště (h_2)	399
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	774

Po dosazení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Landrover Defender, zatíženého třemi osobami, je 399 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat výšku těžiště 774 mm od země.

5.7.4 Zatížení čtyřmi osobami

Tabulka 83 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Landrover Defender při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené čtyřmi osobami [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
895	1156	51,5	0,341
845	1150	45,5	0,320
795	1142	37,5	0,300
745	1134,5	30	0,279
695	1127	22,5	0,259
645	1120	15,5	0,239

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 84 Souřadnice těžiště vozidla Landrover Defender, zatíženého čtyřmi osobami [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého čtyřmi osobami v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1479
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1291
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	768
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	779
Výšková poloha těžiště (h_2)	420
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	795

Po dosažení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Landrover Defender, zatíženého čtyřmi osobami, je 420 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat výšku těžiště 795 mm od země.

5.7.5 Zatížení pěti osobami

Tabulka 85 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Landrover Defender při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené pěti osobami [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
890	1180	54	0,339

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
840	1173	47	0,318
790	1165,5	39,5	0,298
740	1157	31	0,277
690	1151	25	0,257
640	1140	14	0,237

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 86 Souřadnice těžiště vozidla Landrover Defender, zatíženého pěti osobami [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého pěti osobami v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1502
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1268
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	763
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	772
Výšková poloha těžiště (h_2)	434
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	809

Po dosažení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Landrover Defender, zatíženého pěti osobami, je 434 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat výšku těžiště 809 mm od země.

5.7.6 Zatížení šesti osobami

Tabulka 87 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Landrover Defender při naklápění na přední nápravu - vozidlo zatížené šesti osobami [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
880	1179,5	58	0,335
830	1173	51,5	0,314
780	1164	42,5	0,293
730	1157,5	36	0,273
680	1149,5	28	0,253
630	1140	18,5	0,234

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 88 Souřadnice těžiště vozidla Landrover Defender, zatíženého šesti osobami [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého šesti osobami v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1538
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1232
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	745
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	762
Výšková poloha těžiště (h_2)	424
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	799

Po dosažení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Landrover Defender, zatíženého šesti osobami, je 424 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat výšku těžiště 799 mm od země.

5.7.7 Zatížení sedmi osobami

Tabulka 89 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Landrover Defender při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené sedmi osobami [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
885	1179	60	0,337
835	1172,5	53	0,316
785	1162,5	43	0,296
735	1154	35	0,275
685	1145,5	26	0,255
635	1137	18	0,236

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 90 Souřadnice těžiště vozidla Landrover Defender, zatíženého sedmi osobami [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého sedmi osobami v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1568
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1202
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	761
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	777
Výšková poloha těžiště (h_2)	452
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	827

Po dosažení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Landrover Defender, zatíženého sedmi osobami, je 452 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat výšku těžiště 827 mm od země.

5.7.8 Zatížení osmi osobami

Tabulka 91 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Landrover Defender při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené osmi osobami [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
885	1170	64	0,337
835	1159,5	53	0,316
785	1150,5	44	0,296
735	1141,5	35	0,275
685	1135	29	0,255
635	1125	19	0,236

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 92 Souřadnice těžiště vozidla Landrover Defender, zatíženého osmi osobami [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého osmi osobami v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1627
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1143
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	779

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého osmi osobami v [mm]	
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	779
Výšková poloha těžiště (h_2)	447
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	822

Po dosažení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Landrover Defender, zatíženého osmi osobami, je 447 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat výšku těžiště 822 mm od země.

5.7.9 Zatížení devíti osobami

Tabulka 93 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Landrover Defender při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené devíti osobami [vlastní]

Výška h_1 [mm]	m_{p1} [kg]	Δm_{p1} [kg]	$\tan \theta$ [-]
870	1150	65	0,331
820	1145,5	60	0,310
770	1133,5	48	0,289
720	1124	39	0,269
670	1112	27	0,249
620	1101	16	0,230

Kde:

- h_1 je výška zdvižení zadní nápravy,
- m_{p1} je hmotnost připadající na přední nápravu při zdvižení zadní nápravy,
- Δm_{p1} je přírůstek hmotnosti na přední nápravě při zdvižení zadní nápravy,
- $\tan \theta$ je tangens úhlu naklápění vozidla na přední nápravu.

Tabulka 94 Souřadnice těžiště vozidla Landrover Defender, zatíženého devíti osobami [vlastní]

Souřadnice těžiště vozidla zatíženého devíti osobami v [mm]	
Vzdálenost těžiště od přední nápravy	1688
Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	1082
Příčná vzdálenost těžiště od PP kola	761
Příčná vzdálenost těžiště od PZ kola	764
Výšková poloha těžiště (h_2)	499
Celková výšková poloha těžiště (h_T)	874

Po dosazení do **rovnice (38), (39)** je vypočtena výška těžiště h_2 . Výsledná výšková poloha těžiště vozidla Landrover Defender, zatíženého devíti osobami, je 499 mm od spojnice roviny středů kol. Následně po připočtení r_{stat} lze získat výšku těžiště 874 mm od země.

6 DISKUZE / ANALÝZA VÝSLEDKŮ ŘEŠENÍ

V této kapitole jsou porovnány výsledky měření jednotlivých vozidel. V následující **tabulce 94** jsou zobrazeny výsledné výškové polohy těžiště všech vozidel pro každé zatížení. V každém sloupci je vyznačena nejnižší naměřená hodnota pro dané vozidlo (zeleně zvýrazněné pole) a zároveň také nejvyšší naměřená hodnota (červeně zvýrazněné pole). Zatížení šesti až devíti osobami bylo možné pouze u vozidla Landrover Defender. Toto vozidlo má od ostatních obecně rozdílné parametry. Z toho důvodu byly tyto hodnoty zaznamenány do samostatné **tabulky 95**.

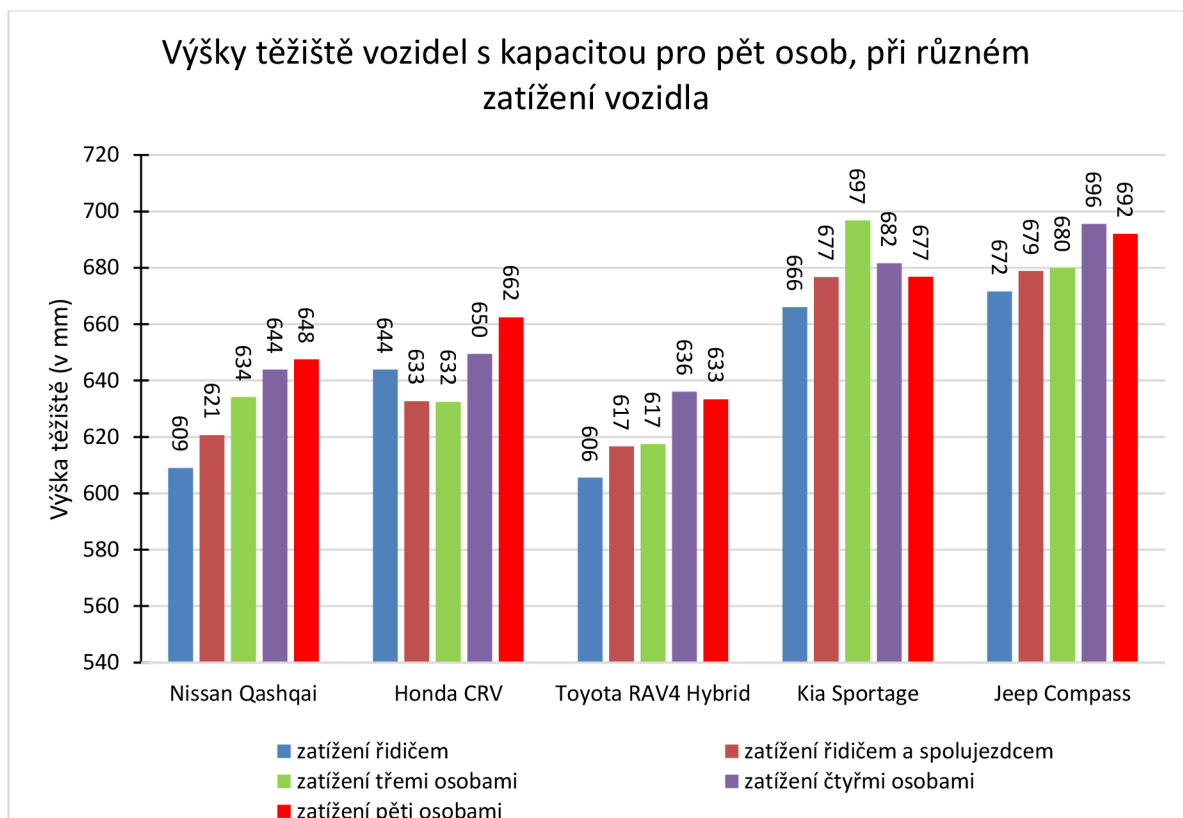
Během měření vozidla Škoda Karoq došlo k chybě, která zkreslila výsledné hodnoty. Chyba vznikla v důsledku špatné kalibrace nápravové váhy. Přestože u vozidla Škoda Karoq vyšla nejmenší hodnota výšky těžiště 559,07 mm, hodnoty tohoto vozidla nebudeme uvažovat.

Tabulka 95 Výsledné výškové polohy těžiště (v mm) všech vozidel, s kapacitou pro pět osob, při různém zatížení [vlastní]

Zatížení vozidla	Nissan Qashqai	Honda CRV	Toyota RAV4 Hybrid	Kia Sportage	Jeep Compass	Škoda Karoq
Zatížení řidičem	609	644	606	666	672	596
Zatížení řidičem a spolujezdcem	621	633	617	677	679	559
Zatížení třemi osobami	634	632	617	697	680	576
Zatížení čtyřmi osobami	644	650	636	682	696	725
Zatížení pěti osobami	648	662	633	677	692	611
Rozsah hodnot	39	30	30	31	24	149

Kde:

- Zeleně zvýrazněné pole značí nejnižší naměřenou hodnotu výšky těžiště vozidla,
- červeně zvýrazněné pole značí nejvyšší naměřenou hodnotu výšky těžiště vozidla,
- šedě zvýrazněný sloupec značí chybné měření.



Graf 1 Výšky těžiště vozidel s kapacitou pro pět osob (bez vozidla Škoda Karoq), při různém zatížení vozidla [vlastní]

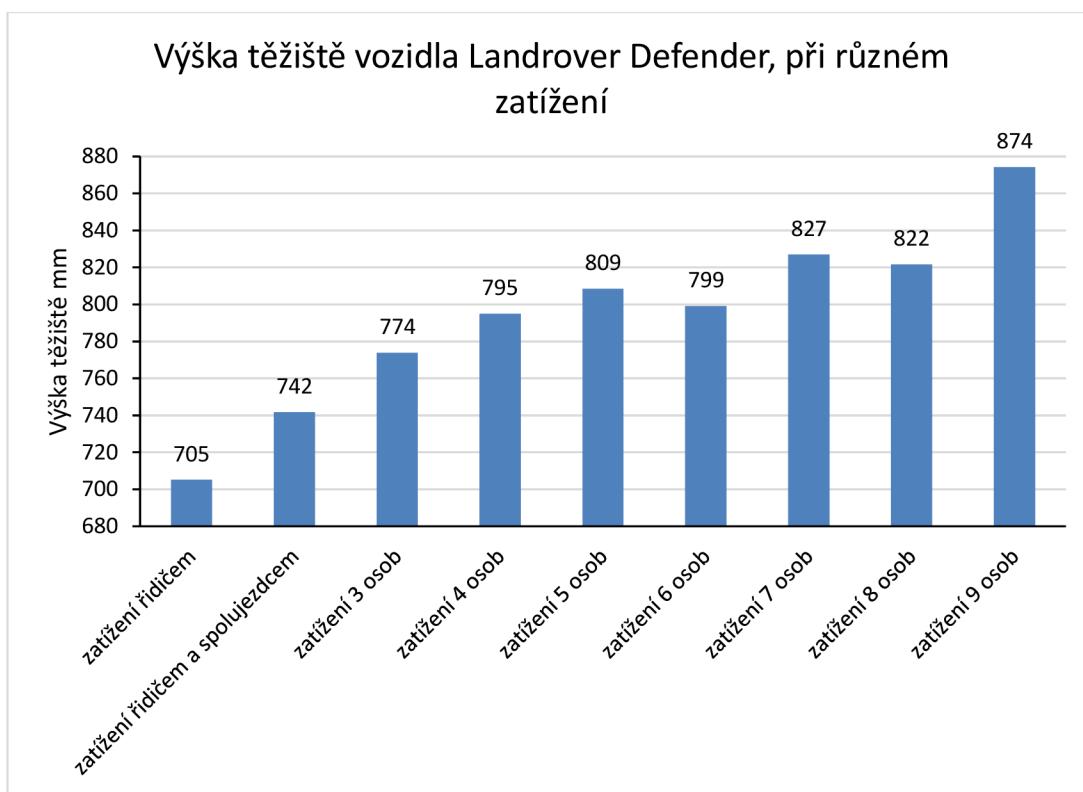
Tabulka 96 Výsledné výškové polohy těžiště (v mm) vozidla Landrover Defender při různém zatížení [vlastní]

Zatížení	Landrover Defender
Zatížení řidičem	705
Zatížení řidičem a spolujezdcem	742
Zatížení třemi osobami	774
Zatížení čtyřmi osobami	795
Zatížení pěti osobami	809
Zatížení šesti osobami	799
Zatížení sedmi osobami	827
Zatížení osmi osobami	822
Zatížení devíti osobami	874
Rozsah hodnot	169

Kde:

- Zeleně zvýrazněné pole značí nejnižší naměřenou hodnotu výšky těžiště,

- červeně zvýrazněné pole značí nejvyšší naměřenou hodnotu výšky těžiště.



Graf 2 Výška těžiště vozidla Landrover Defender, při různém zatížení [vlastní]

Výšková poloha těžiště u měřených vozidel s kapacitou pro pět osob se pohybuje v rozmezí od 606 mm do 697 mm, přičemž nejnižší hodnota byla naměřena u vozidla Toyota RAV4 Hybrid, při zatížení řidičem, a nejvyšší hodnota u vozidla Kia Sportage, při zatížení třemi osobami. U vozidla Landrover byla zjištěna nejnižší naměřená hodnota výšky těžiště 705 mm při zatížení řidičem a nejvyšší poloha těžiště 874 mm při zatížení devíti osobami. Tato hodnota je také nejvyšší ze všech provedených měření.

Z **tabulky 94** taktéž vyplývá, že výšková poloha těžiště měřených vozidel s kapacitou pro pět osob, při zatížení řidičem se pohybuje v rozmezí 606–672 mm, přičemž nejnižší hodnota byla zjištěna u vozidla Toyota RAV4 Hybrid a nejvyšší hodnota u vozidla Jeep Compass. Měření vozidel, zatížených řidičem a spolujezdcem dosahovalo hodnot 617–679 mm, přičemž nejmenší hodnota byla zjištěna u vozidla Toyota RAV4 Hybrid a nejvyšší hodnota u vozidla Jeep Compass. Při zatížení třemi osobami byly zjištěny hodnoty 617–697 mm, nejnižší hodnota připadá vozidlu Toyota RAV4 Hybrid a nejvyšší vozidlu Kia Sportage. Měření vozidel, zatížených čtyřmi osobami byla zjištěna výšková poloha těžiště v rozmezí 636–696 mm. Hodnota 636 mm byla naměřena u vozidla Toyota RAV4 Hybrid, hodnota 696 mm u vozidla Jeep Compass. Při zatížení pěti osobami je výška u měřených vozidel od 633 mm do 692 mm, přičemž nejnižší hodnota byla zjištěna u vozidla Toyota

RAV4 Hybrid a nejvyšší u vozidla Jeep Compass. Jednotlivé hodnoty výšky těžiště vozidla Landrover Defender při různém zatížení jsou v **tabulce 95**.

Rovněž lze z **tabulek 94 a 95** pozorovat závislost změny výšky těžiště na zatížení vozidel kde pouze u vozidla Nissan Qashqai platí, že s přírůstkem zatížení roste také výšková poloha těžiště vozidla. Podobný trend pozorujeme u vozidel Toyota RAV4 Hybrid, Jeep Compass a Landrover Defender. U vozidel Honda CRV a Kia Sportage se tato závislost nepotvrdila. To je pravděpodobně způsobeno tím, že nedošlo k aretaci pružení vozidel. Dalším vysvětlením by mohl být pohyb figurantů během měření, což reálně způsobuje výkyvy naměřených hodnot.

Z **tabulky 94** je také zřejmé, že vozidlo Toyota RAV4 Hybrid má ze všech vozidel, při všech různých zatíženích, vždy nejnižší polohu výšky těžiště. Tato skutečnost se dá vysvětlit následovně. Poněvadž se jedná o plug-in hybrid je zde ve spodní části vozidla umístěna soustava dobíjecích článků. Tím pádem je zde oproti ostatním zkoumaným vozidlům další konstrukční prvek, který přispívá k zatížení automobilu v jeho spodní části.

Tabulka 94 rovněž zachycuje rozdíl nejvyšší a nejmenší hodnoty výšky těžiště u každého vozidla. Tento rozdíl je pro všechna vozidla s kapacitou pro pět osob v rozmezí od 24 mm – 39 mm, přičemž nejmenší rozdíl byl naměřen u vozidla Jeep Compass a nejvyšší rozdíl u vozidla Nissan Qashqai. U vozidla Landrover Defender jsou tyto hodnoty zaznamenány v **tabulce 95** a tento rozdíl je zde 169 mm.

6.1 VÝPOČET FAKTORU STATICKÉ STABILITY (SSF) VOZIDEL

V této kapitole je proveden výpočet koeficientu SSF (viz **kapitola 2.1.1**) pro všechna vozidla, při každém zatížení. Výpočet je proveden dle **vztahu (1)**. Výsledné hodnoty jsou zaznamenány v **tabulce 96**. V této lze pozorovat, jak se při různém zatížení mění stabilita vozidel. Čím menší hodnota, tím je vozidlo méně stabilní. Dle NHTSA vozidla SUV dosahují hodnot 0,8 – 1,20, přičemž od hodnoty 1,20 a méně podle výzkumů této společnosti při nehodách prudce stoupá pravděpodobnost převrácení těchto vozidel.

Tabulka 97 Hodnoty SSF všech vozidel při různém zatížení [vlastní]

Hodnoty SSF všech vozidel při různém zatížení						
Zatížení vozidla	Nissan Qashqai	Honda CRV	Toyota RAV4 Hybrid	Kia Sportage	Jeep Compass	Landrover Defender
zatížení řidičem	1,273	1,227	1,338	1,220	1,165	1,064
zatížení spolujezdcem	1,249	1,249	1,314	1,201	1,153	1,011
zatížení třemi osobami	1,222	1,249	1,312	1,166	1,151	0,969
zatížení čtyřmi osobami	1,204	1,216	1,273	1,192	1,125	0,943
zatížení pěti osobami	1,197	1,193	1,279	1,201	1,131	0,928
zatížení šesti osobami	–	–	–	–	–	0,938
zatížení sedmi osobami	–	–	–	–	–	0,907
zatížení osmi osobami	–	–	–	–	–	0,913
zatížení devíti osobami	–	–	–	–	–	0,858

Z **tabulky 96** vyplývá, že za nejstabilnější vozidlo lze považovat Toyotu RAV4 Hybrid, které dosahuje hodnot 1,273–1,338. Naopak nejméně stabilním vozidlem se jeví být Landrover Defender, u kterého byly zjištěny hodnoty 0,858–1,064. Nejméně stabilním vozidlem s kapacitou pro pět osob je Jeep Compass, dosahující hodnot 1,125–1,165. Rovněž zde lze konstatovat, že pouze u vozidla Nissan Qashqai platí, že s přírůstkem zatížení postupně klesá také koeficient SSF. Podobný trend se objevil u vozidel Toyota RAV4 Hybrid, Jeep Compass a Landrover Defender. U ostatní vozidel se tato závislost nepotvrdila. Možné vysvětlení tohoto jevu je popsáno v **kapitole 6**.

7 ZÁVĚR

Z experimentálního měření bylo zjištěno, že zkoumaná vozidla s kapacitou pro pět osob dosahovala hodnot výšky těžiště od 606 do 697 mm. Nejnižší hodnota těžiště (606 mm) byla zjištěna u vozidla Toyota RAV4 Hybrid při zatížení řidičem a nejvyšší hodnota (697 mm) u vozidla Kia Sportage při zatížení třemi osobami. Vozidlu Landrover Defender, které má kapacitu pro devět osob, byla zjištěna výška těžiště od 705 do 874 mm. Nejnižší hodnota výšky těžiště tohoto vozidla (705 mm) byla naměřena při zatížení řidičem. Nejvyšší hodnota výškové polohy těžiště (874 mm) u tohoto automobilu byla zjištěna při zatížení devíti osobami.

Pouze u vozidla Nissan Qashqai se potvrdila rostoucí závislost mezi přírůstkem zatížení a výškovou polohou těžiště vozidla. Podobný trend byl zjištěn u vozidel Toyota RAV4 Hybrid, Jeep Compass a Landrover Defender. U vozidel Honda CRV a Kia Sportage se tato závislost nepotvrdila. To je pravděpodobně způsobeno tím, že nedošlo k aretaci pružení vozidel. Dalším vysvětlením by mohl být případný pohyb figurantů během měření, což reálně způsobuje výkyvy naměřených hodnot.

Z provedeného měření a následných výpočtů vyplývá, že za nejstabilnější vozidlo lze považovat Toyotu RAV4 Hybrid, které dosahuje hodnot 1,273–1,338 SSF. Výšková poloha těžiště tohoto vozidla leží v rozmezí 606–636 mm. To je pravděpodobně zapříčiněno tím, že ve spodní části vozidla je kromě běžných konstrukčních prvků umístěna také soustava dobíjecích článků, což přispívá k zatížení vozidla v jeho spodní části. Za nejméně stabilní vozidlo lze považovat Landrover Defender, které dosahuje hodnot SSF 0,858–1,064. Výška těžiště tohoto vozidla leží v rozmezí 705–874 mm. Je však potřeba zmínit, že vozidlo Landrover Defender má kapacitu pro devět osob. Na základě dosažených výsledků je nejméně stabilním vozidlem s kapacitou pro pět osob Jeep Compass, dosahující hodnot 1,125–1,165 SSF. Výška těžiště tohoto vozidla leží v rozmezí 672–696 mm.

Dle výzkumů NHTSA, která za hraniční hodnotu SSF zvyšující riziko převrácení vozidla považuje 1,20, lze shrnout, že kromě vozidel Jeep Compass a Landrover Defender jsou při zatížení pouze řidičem a spolujezdcem hodnoty SSF nad 1,20 a lze tak i tato SUV hodnotit jako relativně málo náchylná k převrácení. U těchto vozidel i při plném obsazení osobami hodnota SSF neklesá výrazně pod 1,20, tudíž i v těchto případech měřená vozidla nejsou výrazně rizikovější.

Zjištěné hodnoty mohou být použity znalci při analýzách dopravních nehod vozidel SUV. Stejně tak mohou být použity při realizaci simulací nehod v pomocném softwaru. Rovněž mohou být hodnoty použity pro další výzkumnou činnost. Vhodné by bylo navázat na diplomovou práci

a provést měření stejných, či obdobných vozidel s podobným zatížením s provedením aretace pružení. Dále by bylo příhodné rozšířit měření o další zatížení, například zatížení střešním nosičem, nebo nosičem kol na tažné zařízení.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] VALÁŠEK, Michael, Vladimír STEJSKAL a Jiří BŘEZINA. *Mechanika A*. Vydání první. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 978-80-01-02890-2.
- [2] VLK, F. *Diagnostika motorových vozidel*. 1. Brno: Vlk, 2000. ISBN 80-238-5274-6.
- [3] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel*. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-239-0024-2.
- [4] SCOTTI, Tony. *International Security Driver Association: Vehicle Static Stability Factor* [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://isdacenter.org/vehicle-static-stability-factor/>
- [5] RENSKI, Andrzej. *Investigation of the influence of the center of gravity position on the course of vehicle rollover* [online]. , 13 [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/279449206>
- [6] STOLE, Cody a Ronald K. FALLER. *Evaluation and Update of MASH Test Vehicles: FINAL REPORT*. University of Nebraska at Lincoln, 2021. Dostupné z: doi:10.13140/RG.2.2.18912.71683
- [7] PENNY, Desmond N. Rollover of Sport Utility Vehicles. *The Physics Teacher* [online]. 2004, 42(2), 86-91 [cit. 2021-03-16]. ISSN 0031-921X. Dostupné z: doi:10.1119/1.1646483
- [8] JÍLEK, Petr, Jan POKORNÝ a Ivo ŠEFČÍK. *URČENÍ SOUŘADNICE TĚŽIŠTĚ AUTOMOBILU NA SKLOPNÉ PLOŠINĚ: DETERMINING THE COORDINATES OF THE CAR'S CENTRE OF GRAVITY*. 2014, 9().
- [9] SKRÚCANÝ, Tomáš, František SYNÁK, Stefánia SEMANOVÁ, Ján ONDRÚŠ a Vladimír RIEVAJ. Detection of Road Vehicle's Centre of Gravity. *IEEE Xplore*. 2018, . ISSN 978-1-5386-4578-9. Dostupné z: doi:10.1109/AUTOSAFE.2018.8373334

- [10] FEDRA, T. *Měření výškové polohy těžiště vozidla*. Brno: VUT-FSI, 2010, , 19-24.
- [11] KUNOVSKÝ, M. *Vliv polohy těžiště vozidla na jeho postřetový pohyb*. 2012. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství. Vedoucí práce Doc. Ing. Bc. Marek Semela Ph.D.
- [12] SKOPALÍK, A. *Zjišťování polohy těžišť osobních motorových vozidel*. Brno, 2004. Dostupné také z: http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2004texty/pdf/07_Soudni%20inzenyrstvi/7_01_Soudni%20inzenyrstvi/Skopalik_Adam.pdf. VUT, FSI.
- [13] NASA: *NASA Takes the Family Car Out for a Spin* [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2003/0212suv.html>
- [14] *Hepnar Vážící systémy: Nápravová váha DINI ARGEO WWSB* [online]. [cit. 2021-06-26]. Dostupné z: <https://www.hepnar.cz/npravova-vaha-dini-argeo-wwsb-6t-sestava-2-ks-p130>
- [15] *Auto lift production: EASYLift1500* [online]. [cit. 2021-06-26]. Dostupné z: <https://www.autoliftproduction.com/cs-cz/>

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Příklady hodnot SSF [5].....	15
Tabulka 2 Systém hodnocení bezpečnosti vozidel dle SSF [6]	15
Tabulka 2 Rozměrové parametry vozidla Nissan Qashqai [vlastní]	41
Tabulka 3 Hmotnost vozidla Nissan Qashqai ve vodorovné poloze při různém zatížení [vlastní]..	41
Tabulka 4 Hmotnostní a jiné parametry vozidla Nissan Qashqai při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené řidičem [vlastní]	42
Tabulka 5 Souřadnice těžiště vozidla Nissan Qashqai zatíženého řidičem [vlastní].....	42
Tabulka 6 Hmotnostní a jiné parametry vozidla Nissan Qashqai při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené řidičem a spolujezdcem [vlastní].....	43

Tabulka 7 Souřadnice těžiště vozidla Nissan Qashqai zatíženého řidičem a spolujezdcem [vlastní]	43
Tabulka 8 Hmotnostní a jiné parametry vozidla Nissan Qashqai při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené třemi osobami [vlastní].....	43
Tabulka 9 Souřadnice těžiště vozidla Nissan Qashqai zatíženého třemi osobami [vlastní]	44
Tabulka 10 Hmotnostní a jiné parametry vozidla Nissan Qashqai při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené čtyřmi osobami [vlastní]	44
Tabulka 11 Souřadnice těžiště vozidla Nissan Qashqai zatíženého čtyřmi osobami [vlastní].....	45
Tabulka 12 Hmotnostní a jiné parametry vozidla Nissan Qashqai při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené pěti osobami [vlastní].....	45
Tabulka 13 Souřadnice těžiště vozidla Nissan Qashqai, zatíženého pěti osobami [vlastní]	46
Tabulka 14 Rozměrové parametry vozidla Honda CRV [vlastní].....	46
Tabulka 15 Hmotnost vozidla Honda CRV ve vodorovné poloze, při různém zatížení [vlastní]	47
Tabulka 16 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Honda CRV při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené řidičem [vlastní].....	47
Tabulka 17 Souřadnice těžiště vozidla Honda CRV, zatíženého řidičem [vlastní].....	48
Tabulka 18 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Honda CRV při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené řidičem a spolujezdcem [vlastní]	48
Tabulka 19 Souřadnice těžiště vozidla Honda CRV, zatíženého řidičem a spolujezdcem [vlastní] .	48
Tabulka 20 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Honda CRV při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené třemi osobami [vlastní]	49
Tabulka 21 Souřadnice těžiště vozidla Honda CRV, zatíženého třemi osobami [vlastní]	49
Tabulka 22 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Honda CRV při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené čtyřmi osobami [vlastní].....	50
Tabulka 23 Souřadnice těžiště vozidla Honda CRV, zatíženého čtyřmi osobami [vlastní]	50
Tabulka 24 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Honda CRV při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené pěti osobami [vlastní].....	51
Tabulka 25 Souřadnice těžiště vozidla Honda CRV, zatíženého pěti osobami [vlastní].....	51
Tabulka 26 Rozměrové parametry vozidla Toyota RAV4 Hybrid [vlastní].....	52
Tabulka 27 Hmotnost vozidla Toyota RAV4 Hybrid ve vodorovné poloze při různém zatížení [vlastní]	52
Tabulka 28 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Toyota RAV4 Hybrid při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené řidičem [vlastní]	52
Tabulka 29 Souřadnice těžiště vozidla Toyota RAV4 Hybrid, zatíženého řidičem [vlastní]	53
Tabulka 30 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Toyota RAV4 Hybrid při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené řidičem a spolujezdcem [vlastní].....	53
Tabulka 31 Souřadnice těžiště vozidla Toyota RAV4 Hybrid, zatíženého řidičem a spolujezdcem [vlastní]	54
Tabulka 32 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Toyota RAV4 Hybrid při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené třemi osobami [vlastní].....	54

Tabulka 33 Souřadnice těžiště vozidla Toyota RAV4 Hybrid, zatíženého třemi osobami [vlastní] ..	55
Tabulka 34 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Toyota RAV4 Hybrid při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené čtyřmi osobami [vlastní]	55
Tabulka 35 Souřadnice těžiště vozidla Toyota RAV4 Hybrid, zatíženého čtyřmi osobami [vlastní]	55
Tabulka 36 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Toyota RAV4 Hybrid při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené pěti osobami [vlastní].....	56
Tabulka 37 Souřadnice těžiště vozidla Toyota RAV4 Hybrid, zatíženého pěti osobami [vlastní].....	56
Tabulka 38 Rozměrové parametry vozidla Kia Sportage [vlastní]	57
Tabulka 39 Hmotnost vozidla Kia Sportage ve vodorovné poloze při různém zatížení [vlastní].....	57
Tabulka 40 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Kia Sportage při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené řidičem [vlastní]	58
Tabulka 41 Výsledné souřadnice těžiště vozidla Kia Sportage, zatíženého řidičem [vlastní].....	58
Tabulka 42 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Kia Sportage při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené řidičem a spolujezdcem [vlastní]	59
Tabulka 43 Souřadnice těžiště vozidla Kia Sportage, zatíženého řidičem a spolujezdcem [vlastní]	59
Tabulka 44 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Kia Sportage při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené třemi osobami [vlastní].....	59
Tabulka 45 Souřadnice těžiště vozidla Kia Sportage, zatíženého třemi osobami [vlastní].....	60
Tabulka 46 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Kia Sportage při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené čtyřmi osobami [vlastní]	60
Tabulka 47 Souřadnice těžiště vozidla Kia Sportage, zatíženého čtyřmi osobami [vlastní]	61
Tabulka 48 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Kia Sportage při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené pěti osobami [vlastní]	61
Tabulka 49 Souřadnice těžiště vozidla Kia Sportage, zatíženého pěti osobami [vlastní]	62
Tabulka 50 Rozměrové parametry vozidla Škoda Karoq [vlastní]	62
Tabulka 51 Hmotnost vozidla Škoda Karoq ve vodorovné poloze při různém zatížení [vlastní]	63
Tabulka 52 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Škoda Karoq při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené řidičem [vlastní]	63
Tabulka 53 Souřadnice těžiště vozidla Škoda Karoq, zatíženého řidičem [vlastní]	64
Tabulka 54 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Škoda Karoq při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené řidičem a spolujezdcem [vlastní]	64
Tabulka 55 Souřadnice těžiště vozidla Škoda Karoq, zatíženého řidičem a spolujezdcem [vlastní]	64
Tabulka 56 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Škoda Karoq při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené třemi osobami [vlastní].....	65
Tabulka 57 Souřadnice těžiště vozidla Škoda Karoq, zatíženého třemi osobami [vlastní]	65
Tabulka 58 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Škoda Karoq při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené čtyřmi osobami [vlastní]	66

Tabulka 59 Souřadnice těžiště vozidla Škoda Karoq, zatíženého čtyřmi osobami [vlastní]	66
Tabulka 60 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Škoda Karoq při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené pěti osobami [vlastní]	67
Tabulka 61 Souřadnice těžiště vozidla Škoda Karoq, zatíženého pěti osobami [vlastní]	67
Tabulka 62 Rozměrové parametry vozidla Jeep Compass [vlastní].....	68
Tabulka 63 Hmotnost vozidla Jeep Compass ve vodorovné poloze při různém zatížení [vlastní] ..	68
Tabulka 64 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Jeep Compass při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené řidičem [vlastní]	69
Tabulka 65 Souřadnice těžiště vozidla Jeep Compass, zatíženého řidičem [vlastní].....	69
Tabulka 66 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Jeep Compass při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené řidičem a spolujezdcem [vlastní]	69
Tabulka 67 Souřadnice těžiště vozidla Jeep Compass, zatíženého řidičem a spolujezdcem [vlastní]	70
Tabulka 68 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Jeep Compass při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené třemi osobami [vlastní].....	70
Tabulka 69 Souřadnice těžiště vozidla Jeep Compass, zatíženého třemi osobami [vlastní]	71
Tabulka 70 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Jeep Compass při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené čtyřmi osobami [vlastní]	71
Tabulka 71 Souřadnice těžiště vozidla Jeep Compass, zatíženého čtyřmi osobami [vlastní]	72
Tabulka 72 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Jeep Compass při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené pěti osobami [vlastní]	72
Tabulka 73 Souřadnice těžiště vozidla Jeep Compass, zatíženého pěti osobami [vlastní].....	72
Tabulka 74 Rozměrové parametry vozidla Landrover Defender [vlastní].....	73
Tabulka 75 Hmotnost vozidla Landrover Defender ve vodorovné poloze při různém zatížení [vlastní]	73
Tabulka 76 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Landrover Defender při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené řidičem [vlastní]	74
Tabulka 77 Souřadnice těžiště vozidla Landrover Defender, zatíženého řidičem [vlastní].....	74
Tabulka 78 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Landrover Defender při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené řidičem a spolujezdcem [vlastní]	75
Tabulka 79 Souřadnice těžiště vozidla Landrover Defender, zatíženého řidičem a spolujezdcem [vlastní]	75
Tabulka 80 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Landrover Defender při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené třemi osobami [vlastní]	76
Tabulka 81 Souřadnice těžiště vozidla Landrover Defender, zatíženého třemi osobami [vlastní] ..	76
Tabulka 82 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Landrover Defender při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené čtyřmi osobami [vlastní]	77
Tabulka 83 Souřadnice těžiště vozidla Landrover Defender, zatíženého čtyřmi osobami [vlastní]	77
Tabulka 84 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Landrover Defender při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené pěti osobami [vlastní].....	77

Tabulka 85 Souřadnice těžiště vozidla Landrover Defender, zatíženého pěti osobami [vlastní]	78
Tabulka 86 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Landrover Defender při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené šesti osobami [vlastní]	78
Tabulka 87 Souřadnice těžiště vozidla Landrover Defender, zatíženého šesti osobami [vlastní]...	79
Tabulka 88 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Landrover Defender při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené sedmi osobami [vlastní].....	79
Tabulka 89 Souřadnice těžiště vozidla Landrover Defender, zatíženého sedmi osobami [vlastní]	80
Tabulka 90 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Landrover Defender při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené osmi osobami [vlastní].....	80
Tabulka 91 Souřadnice těžiště vozidla Landrover Defender, zatíženého osmi osobami [vlastní] ..	80
Tabulka 92 Hmotnostní a jiné hodnoty vozidla Landrover Defender při naklápění na přední nápravu – vozidlo zatížené devíti osobami [vlastní].....	81
Tabulka 93 Souřadnice těžiště vozidla Landrover Defender, zatíženého devíti osobami [vlastní] .	81
Tabulka 94 Výsledné výškové polohy těžiště (v mm) všech vozidel, s kapacitou pro pět osob, při různém zatížení [vlastní]	83
Tabulka 95 Výsledné výškové polohy těžiště (v mm) vozidla Landrover Defender při různém zatížení [vlastní]	84
Tabulka 96 Hodnoty SSF všech vozidel při různém zatížení [vlastní].....	87

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Závislost faktoru SSF (Rollover Threshold) na převrácení vozidel [7].....	16
Obrázek 2 Síly působící na vozidlo při průjezdu zatáčkou [5]	18
Obrázek 3 Rozměry vozidla a značení radiálních reakcí [8]	19
Obrázek 4 Příčná poloha těžiště vozidla v ose přední nápravy [8]	20
Obrázek 5 Příčná poloha těžiště v ose zadní nápravy [8]	21
Obrázek 6 Určení příčné polohy těžiště v místě podélné souřadnice těžiště [8].....	22
Obrázek 7 Měření výškové polohy těžiště vozidla metodou naklápění na nápravu [11].....	23
Obrázek 8 Pomocný graf určený k minimalizaci chyb měření při zjišťování výškové polohy těžiště [2].....	25
Obrázek 9 Sklopná plošina [8]	27
Obrázek 10 Ztráta kontaktu kol se sklopnou plošinou [8].....	27
Obrázek 11 Měření těžiště na sklopné plošině [11]	28
Obrázek 12 Měření výškové polohy těžiště zjištěním úhlu překlopení [11].....	30
Obrázek 13 Měření výškové polohy těžiště metodou zavěšení vozidla [11]	31
Obrázek 14 Umístění vozidla na platformu centrifugy pomocí jeřábu [13]	33
Obrázek 15 Nápravová váha značky Dino Argeo [vlastní]	36
Obrázek 16 Zvedák Easy-lift 1500 [vlastní]	37

Obrázek 17 Ukázka měření – příprava vážení vozidla ve vodorovné poloze [vlastní]	38
Obrázek 18 Zjišťování výšky orientačního bodu na karoserii vozidla [vlastní]	39
Obrázek 19 Měření hmotnosti vozidla naklápěného na přední nápravu [vlastní]	40

SEZNAM ZKRATEK

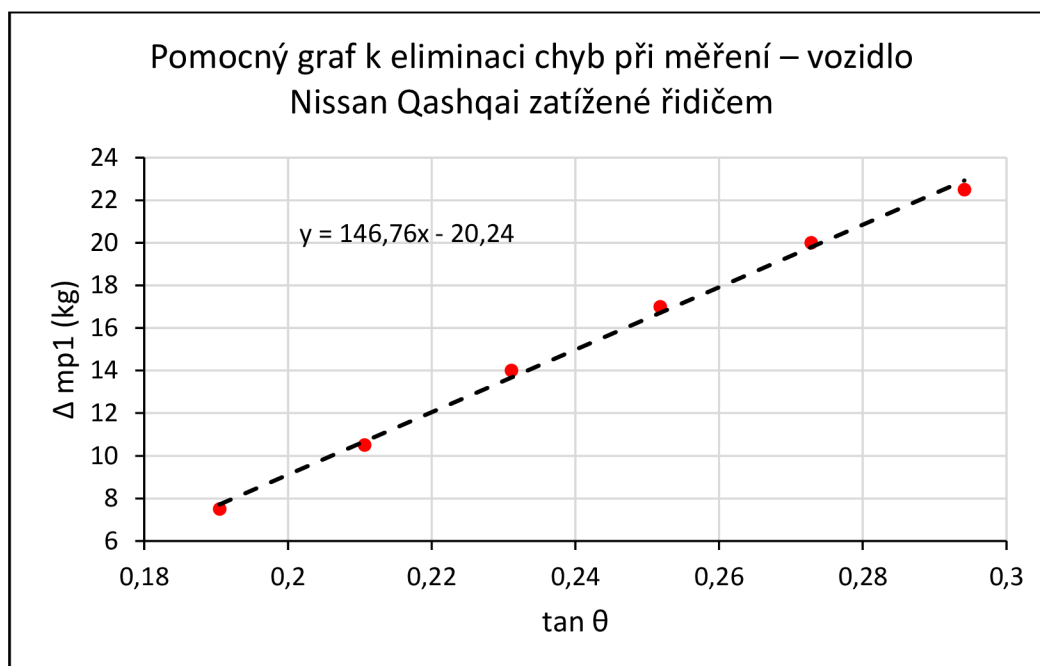
Δm_{p1}	Přírůstek hmotnosti na zatížené nápravě
a	Poloha těžiště od zadní nápravy
A´	Kontakt pravého předního kola s vozovkou
b	Poloha těžiště od pravého předního kola
B ₁	Rozchod přední nápravy vozidla
B ₂	Rozchod zadní nápravy vozidla
C	Poloha těžiště od pravého zadního kola
d	Dílčí příčná souřadnice těžiště vozidla
g	Tíhové zrychlení
h ₂	Kolmá výšková vzdálenost těžiště od roviny procházející středem předních a zadních pneumatik
h _T	Výška těžiště vozidla
l	Rozvor náprav vozidla
l _z	Kolmá vzdálenost těžiště od osy zadní nápravy vozidla
m _c	Celková hmotnost vozidla
m _{odl}	Součet hmotností připadajících na pravou přední a pravou zadní pneumatiku vozidla naklopeného o úhel θ , tedy součet hmotností na odlehčené straně vozidla naklopeného o úhel θ
m _{odl-0}	Součet hmotností připadajících na pravou přední a pravou zadní pneumatiku
m _{p1}	Hmotnost připadající na zatíženou nápravu
T	Těžiště
t _{p,z}	Rozchod kol přední a zadní nápravy (za předpokladu, že je shodný)
T _x	Délková souřadnice těžiště
Z _i	Radiální reakce kol
Z _y	Skutečná příčná poloha těžiště vozidla
θ	Úhel
r _{stat}	Statický poloměr
e	Vzdálenost příčné polohy těžiště od podélné osy vozidla
p	Velikost příčné deformace pneumatiky vlivem naklápění vozidla,
t _L	Příčná vzdálenost těžiště vozidla od ohnisek středů pneumatik levé části vozidla,
t _p	Rozchod kol přední nápravy

t_z Rozchod kol zadní nápravy
 t_{PR} Příčná vzdálenost těžiště vozidla od ohnisek středů pneumatik pravé části vozidla
 h_A Vzdálenost upevňovacího zařízení při zavěšení vozidla (bod A) k přídatnému závaží m_1
 l_A Vzdálenost od bodu zavěšení A k přídatnému závaží m_1
A..... Bod zavěšení vozidla
 m_1 Přídatné závaží
SSF Static Stability Factor (faktor statické stability)
Y Třecí síla
 F_Y Boční síla, působící na vozidlo
 m Hmotnost vozidla
 v Rychlost vozidla
R Poloměr zatáčení
SUV Sport Utility Vehicle
LP Levé přední kolo
PP Právě přední kolo
LZ Levé zadní kolo
PZ Právě zadní kolo

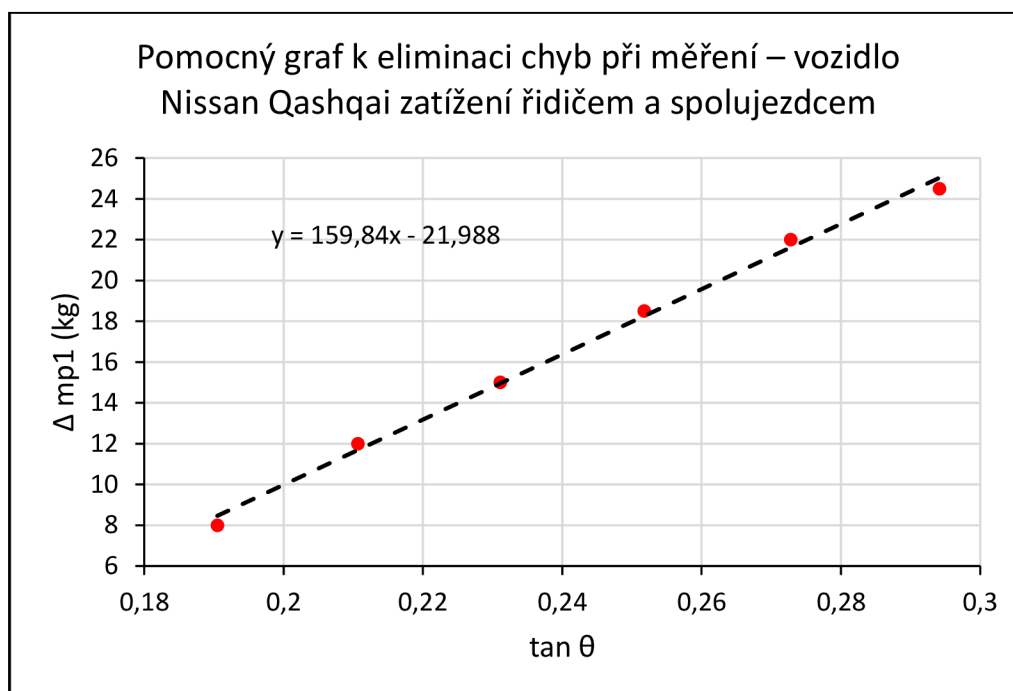
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Pomocné grafy určené k eliminaci chyb při měření

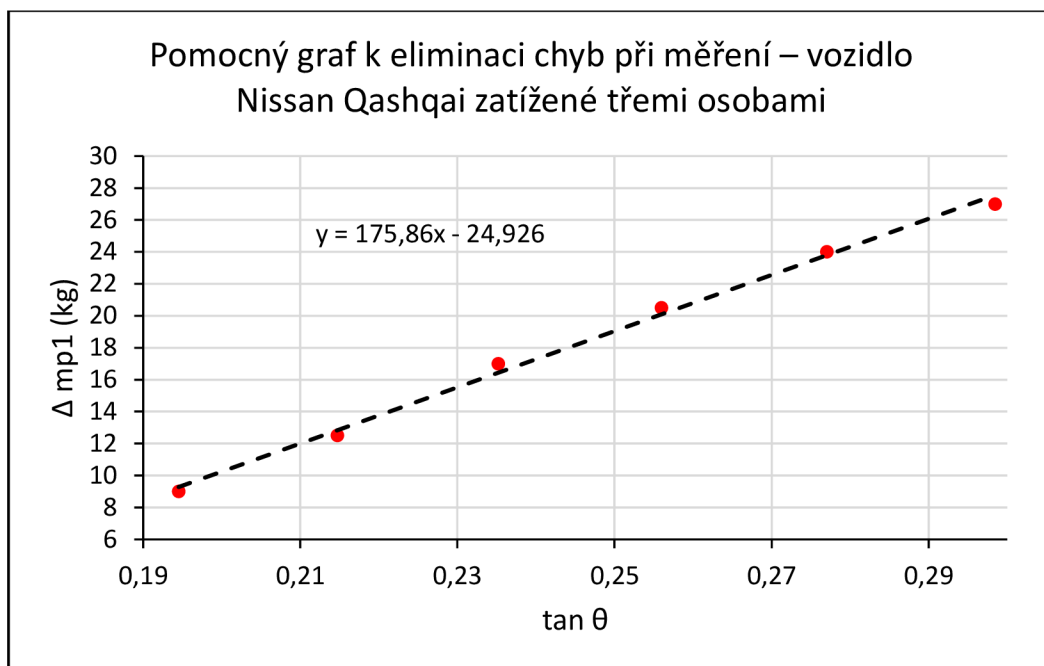
PŘÍLOHA 1 POMOCNÉ GRAFY URČENÉ K ELIMINACI CHYB PŘI MĚŘENÍ



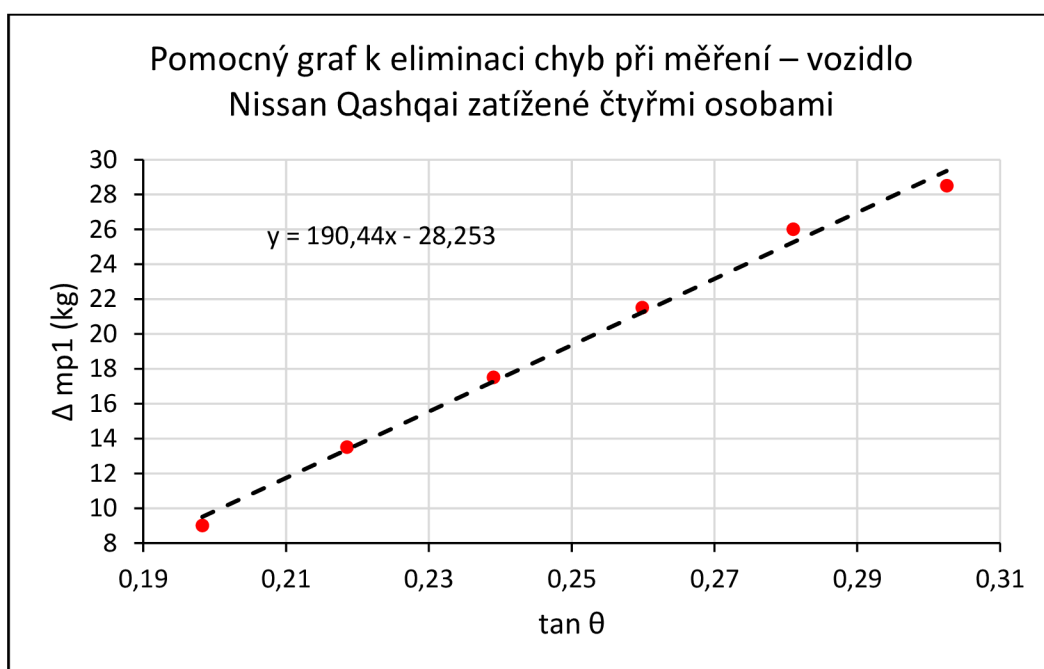
Graf 3 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Nissan Qashqai zatížené řidičem [vlastní]



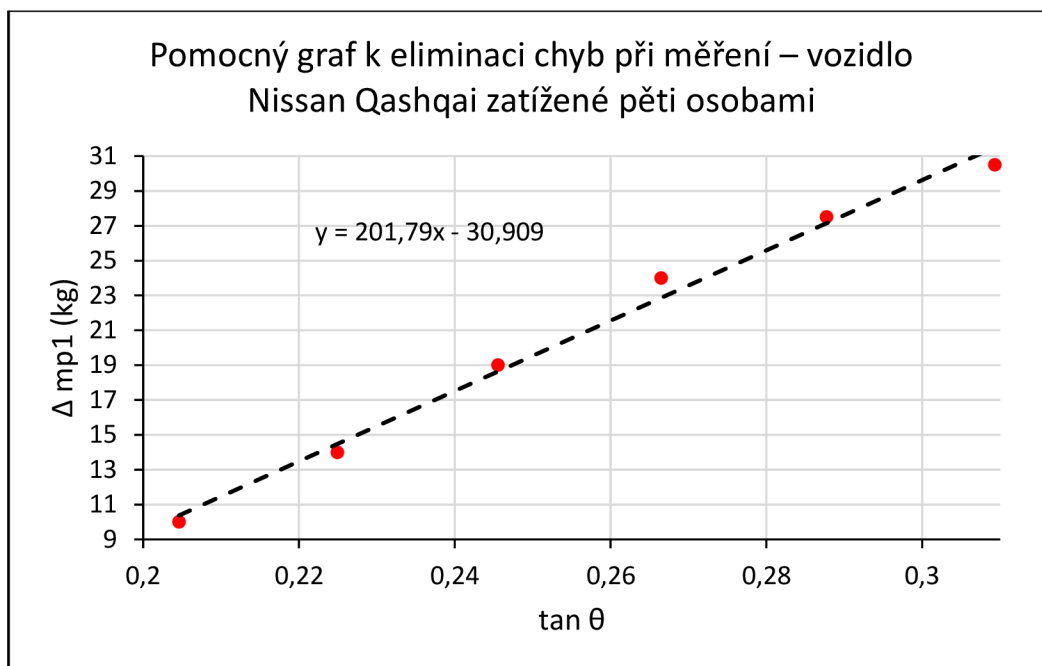
Graf 4 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Nissan Qashqai zatížené řidičem a spolujezdcem [vlastní]



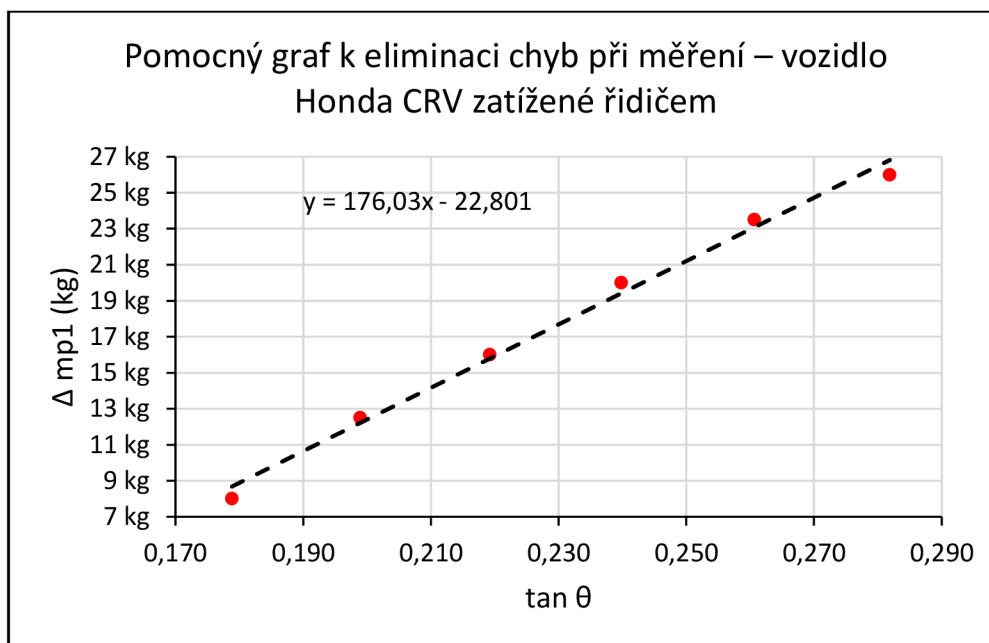
Graf 5 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Nissan Qashqai zatížené třemi osobami
[vlastní]



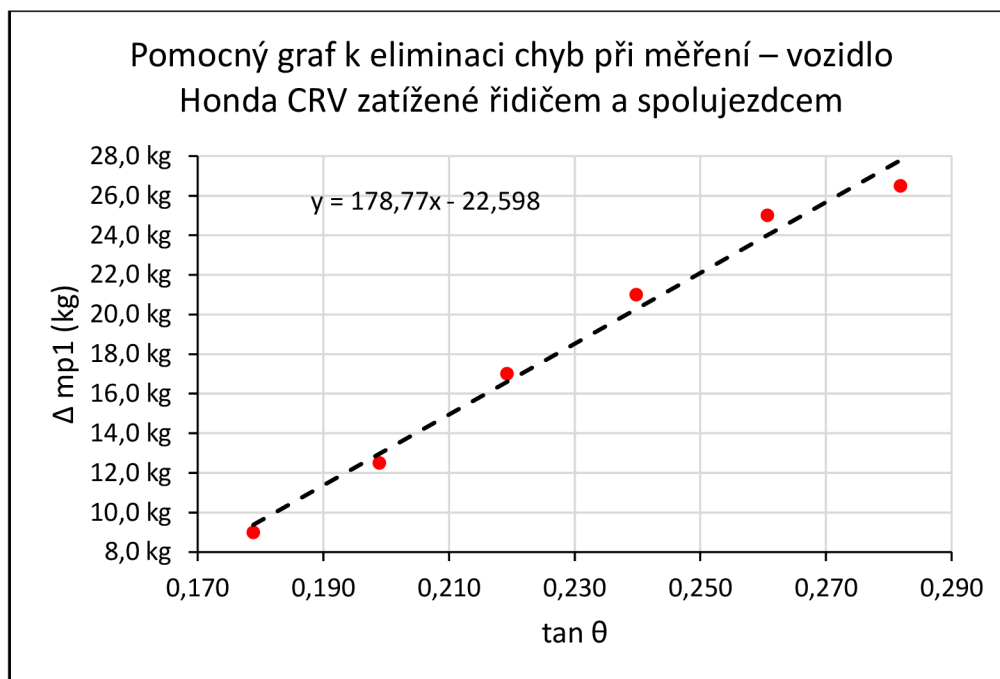
Graf 6 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Nissan Qashqai zatížené čtyřmi osobami
[vlastní]



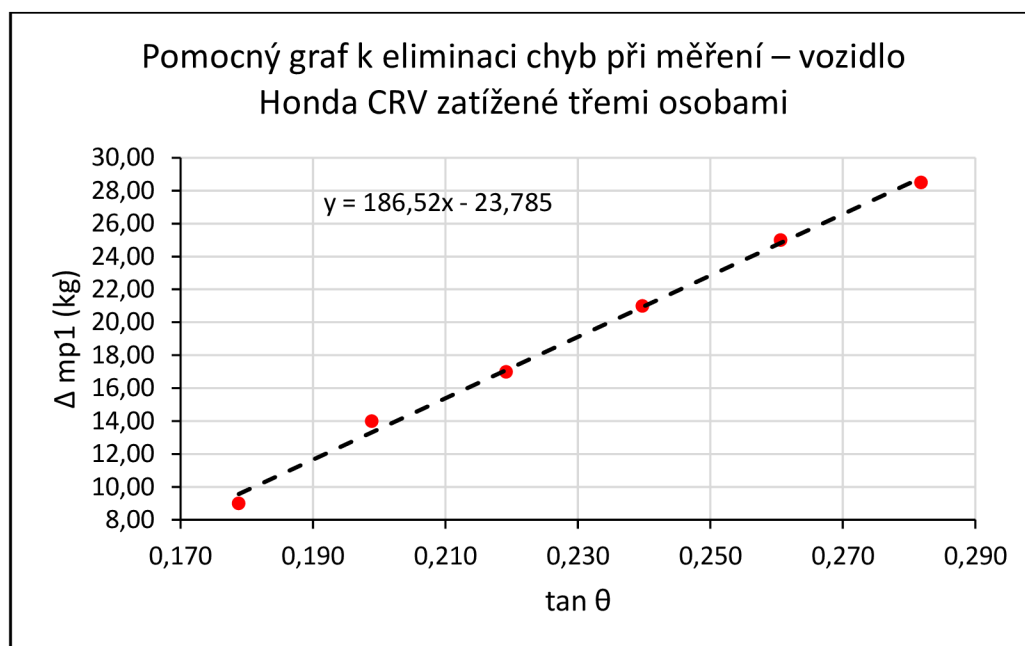
Graf 7 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Nissan Qashqai zatížené pěti osobami [vlastní]



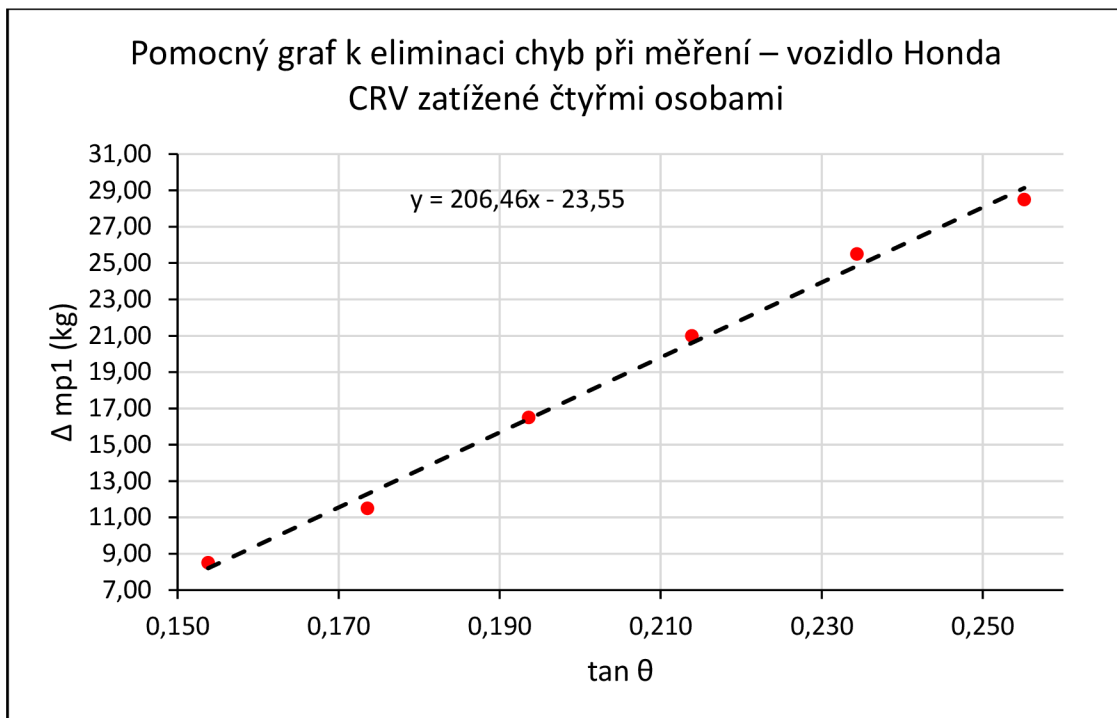
Graf 8 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Honda CRV zatížené řidičem [vlastní]



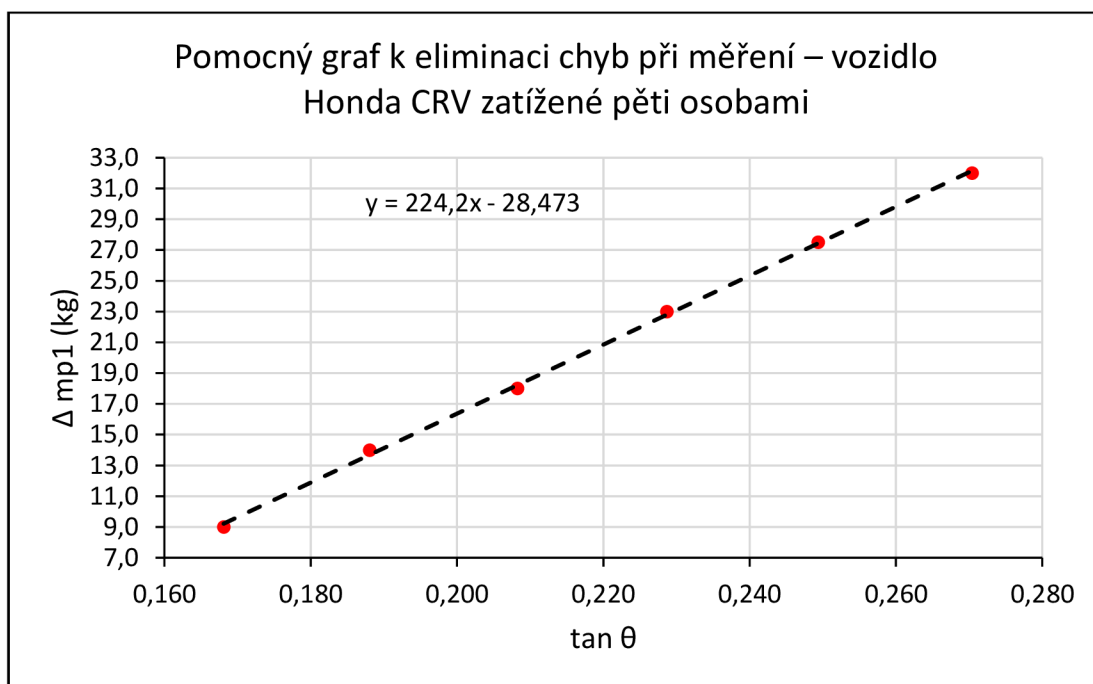
Graf 9 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Honda CRV zatížené řidičem a spolujezdcem [vlastní]



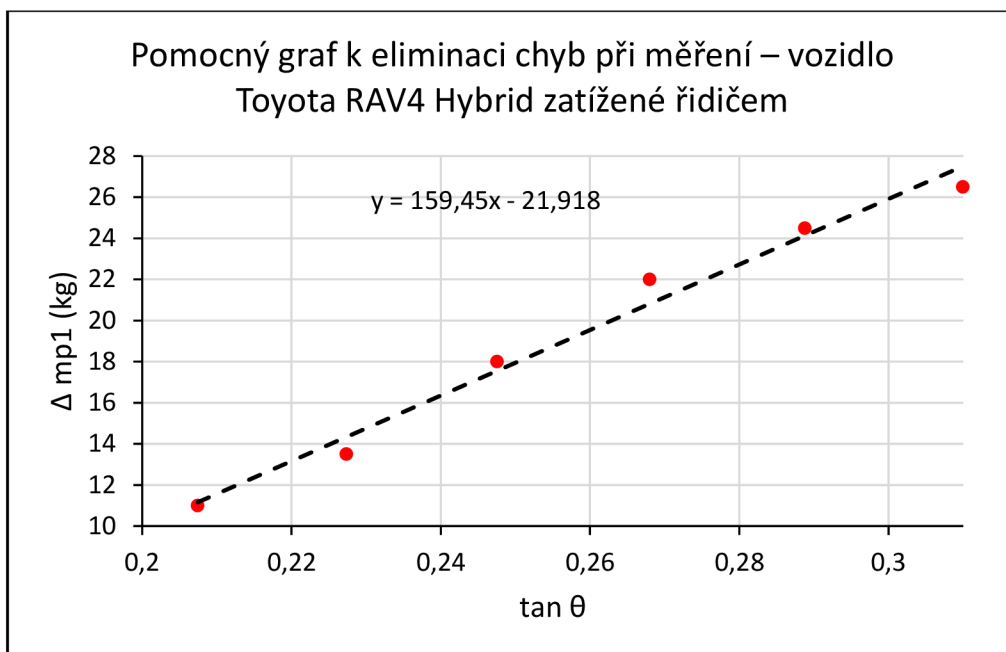
Graf 10 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Honda CRV zatížené třemi osobami [vlastní]



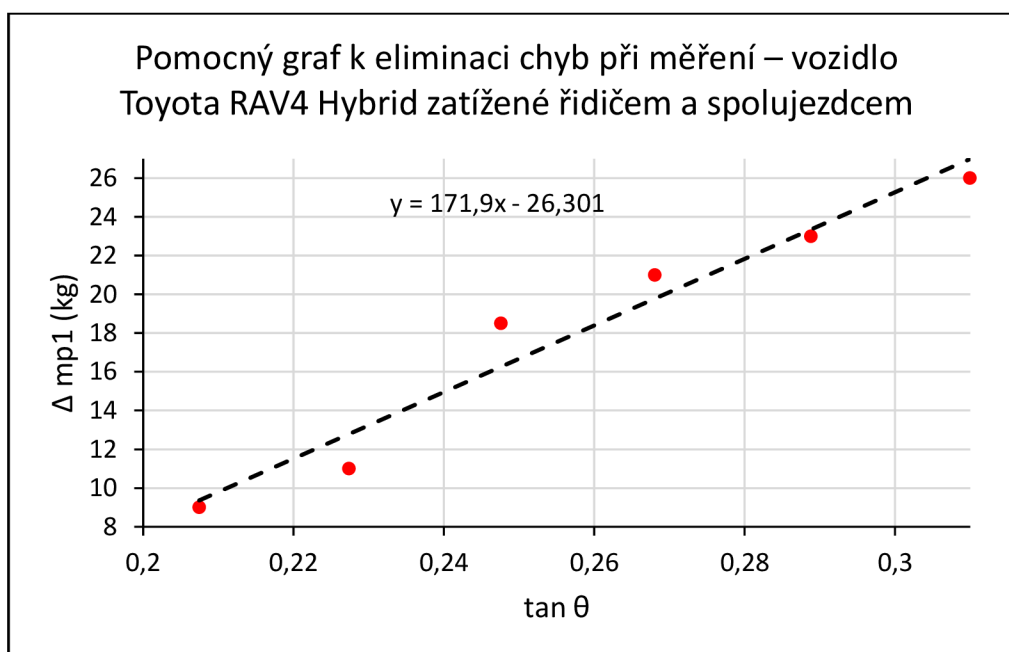
Graf 11 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Honda CRV zatížené čtyřmi osobami [vlastní]



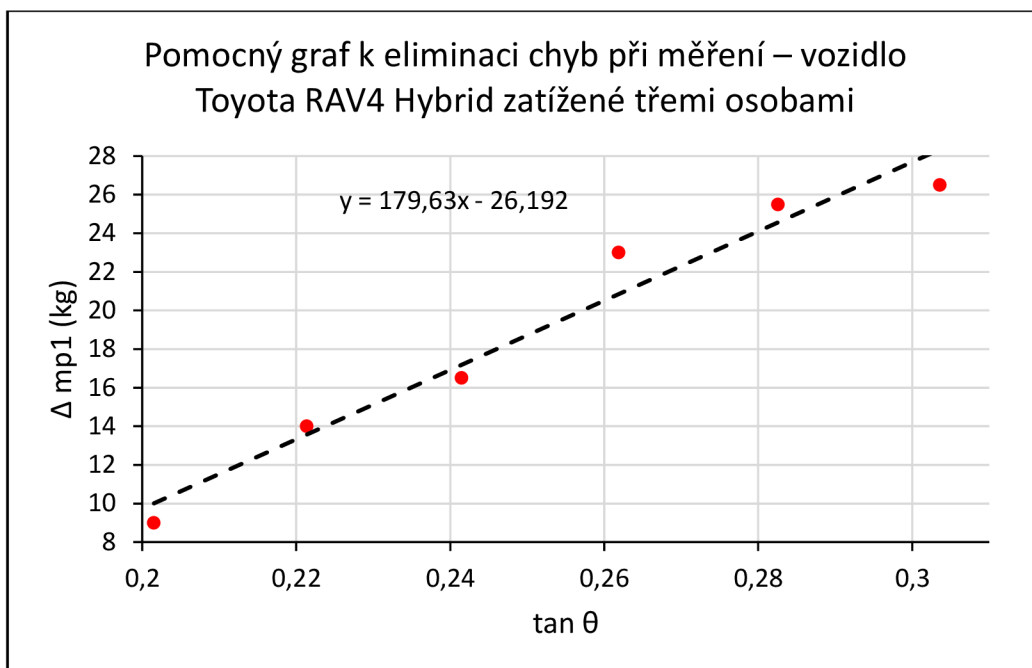
Graf 12 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Honda CRV zatížené pěti osobami [vlastní]



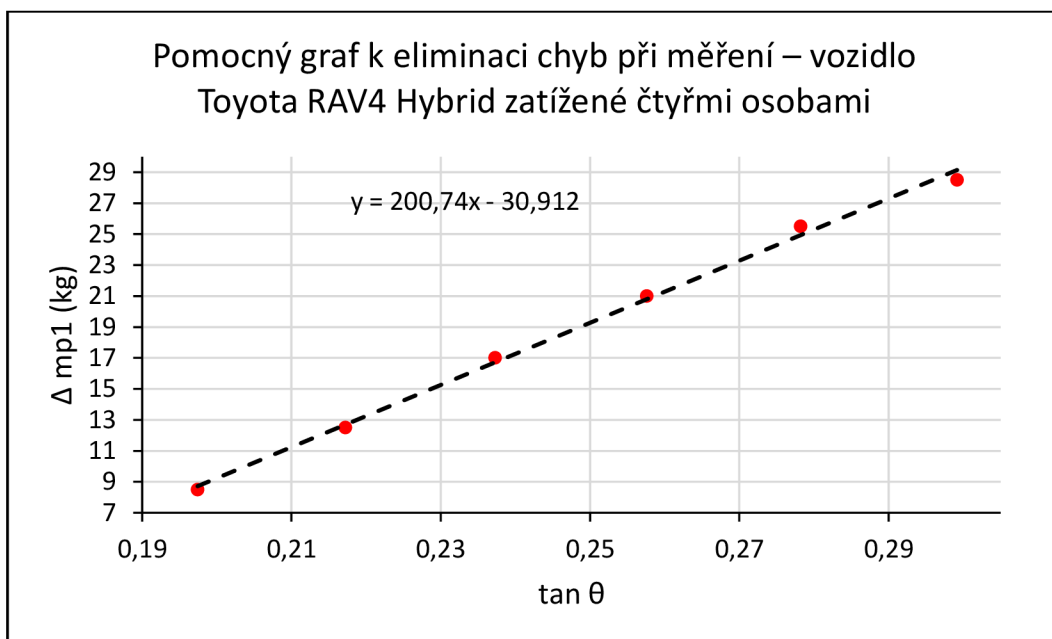
Graf 13 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Toyota RAV4 Hybrid zatížené řidičem [vlastní]



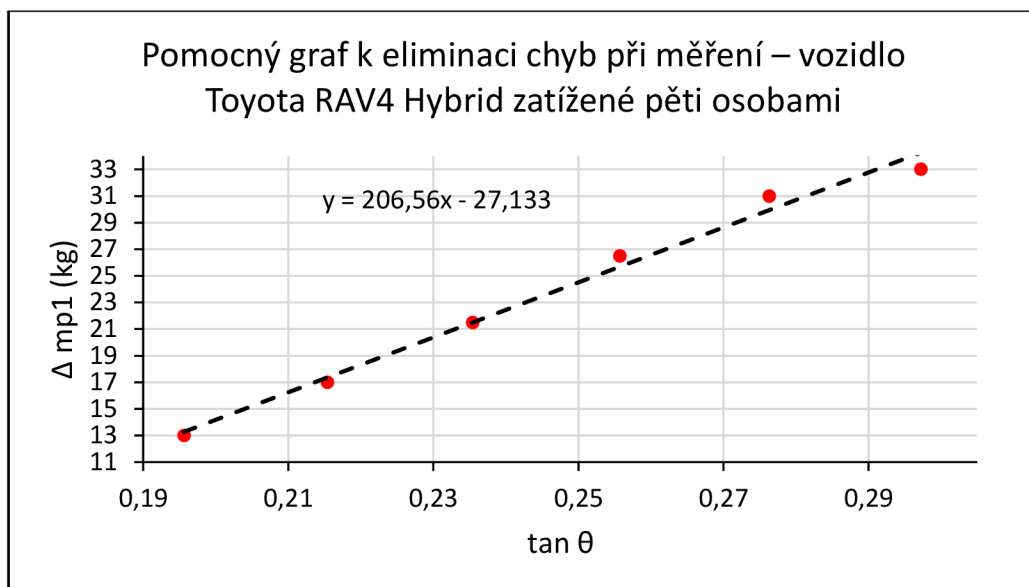
Graf 14 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Toyota RAV4 Hybrid zatížené řidičem a spolujezdcem [vlastní]



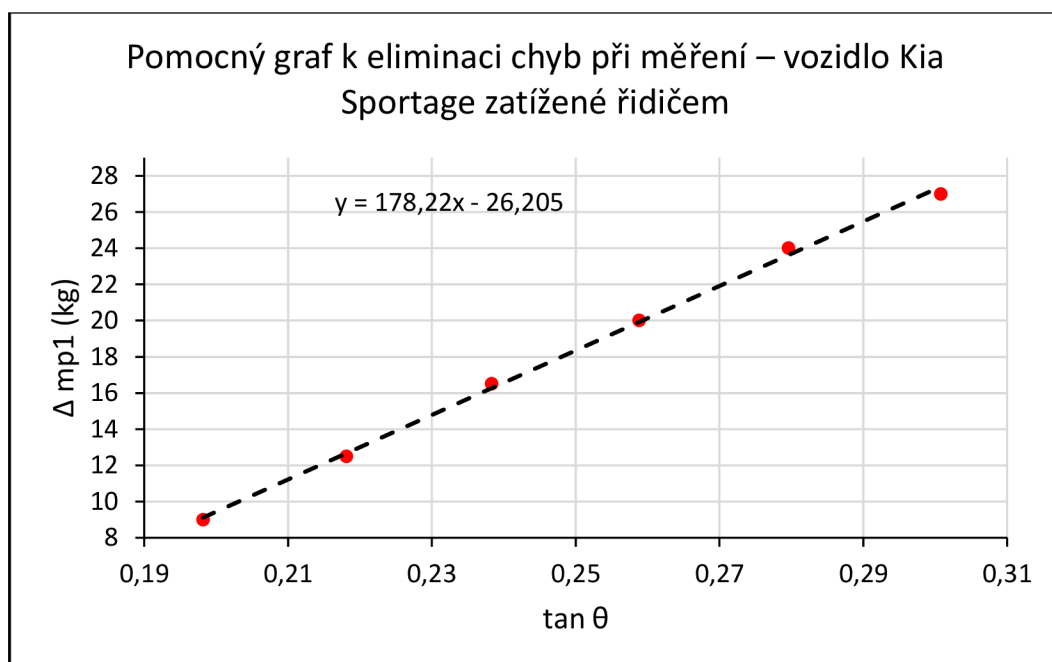
Graf 15 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Toyota RAV4 Hybrid zatížené třemi osobami [vlastní]



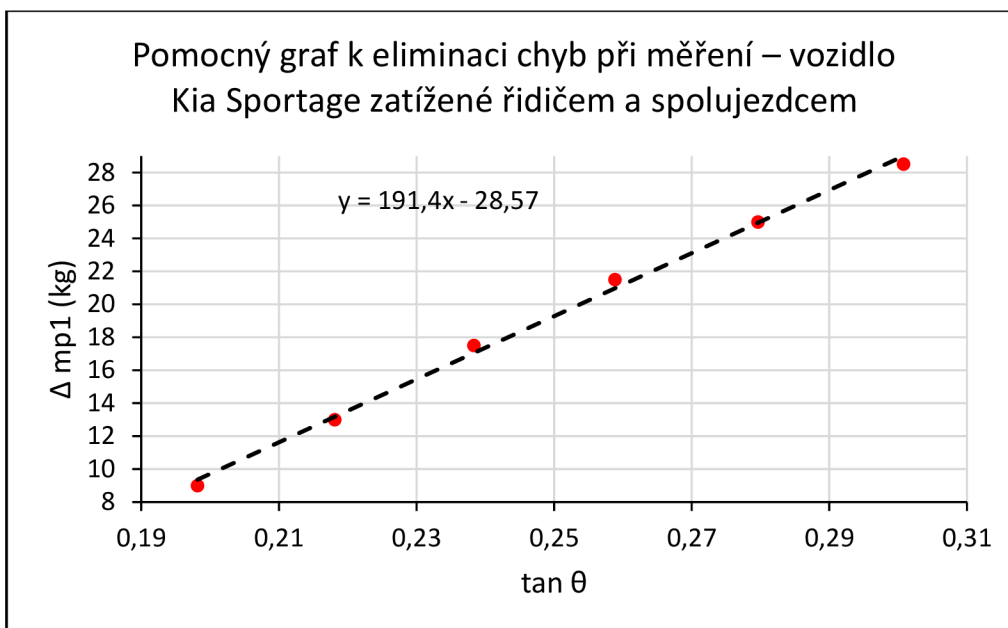
Graf 16 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Toyota RAV4 Hybrid zatížené čtyřmi osobami [vlastní]



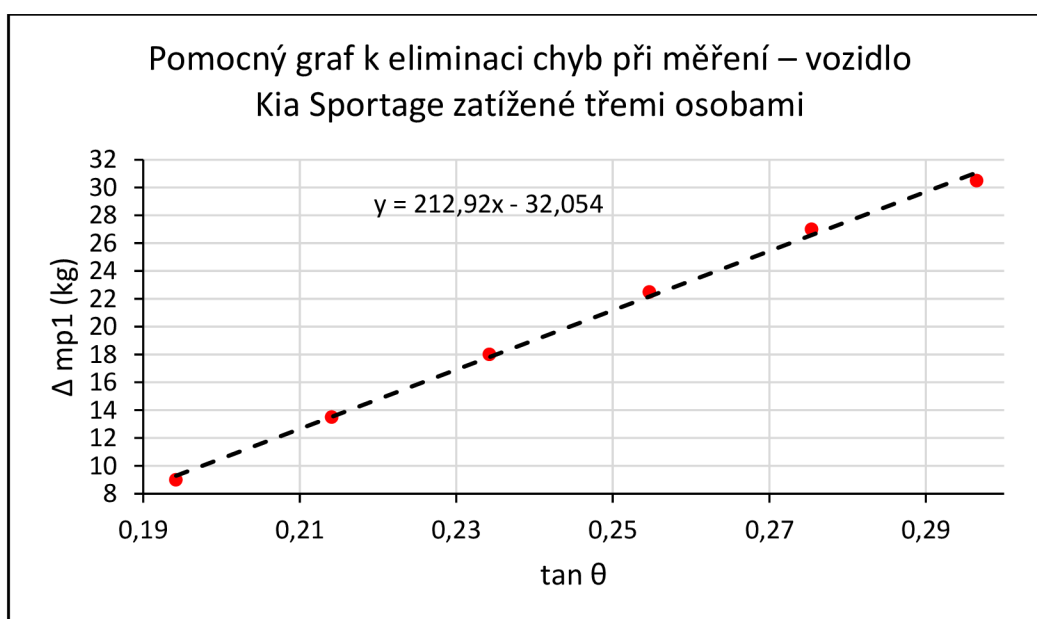
Graf 17 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Toyota RAV4 Hybrid zatížené pěti osobami [vlastní]



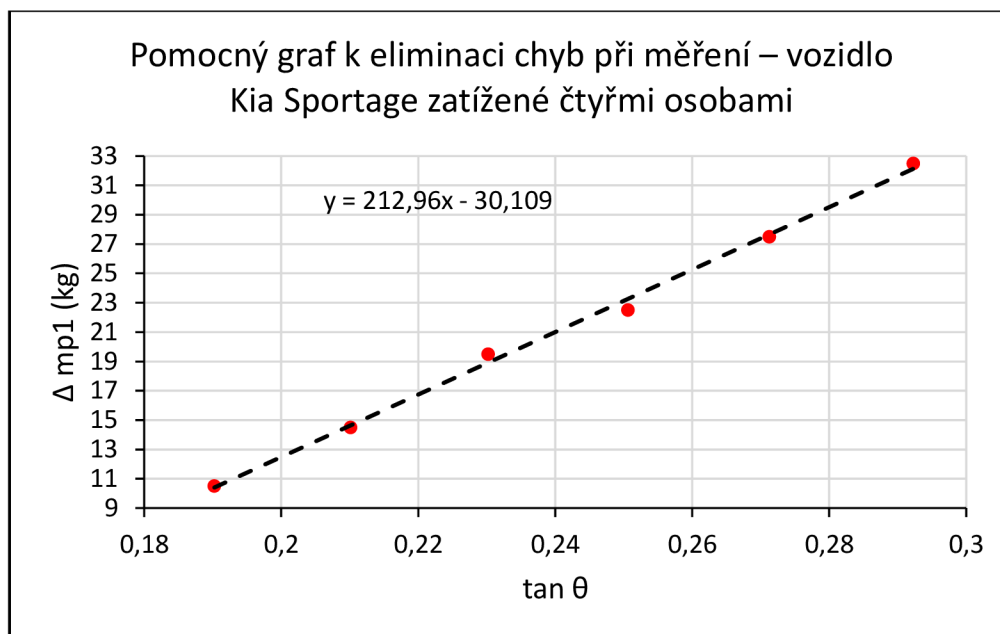
Graf 18 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Kia Sportage zatížené řidičem [vlastní]



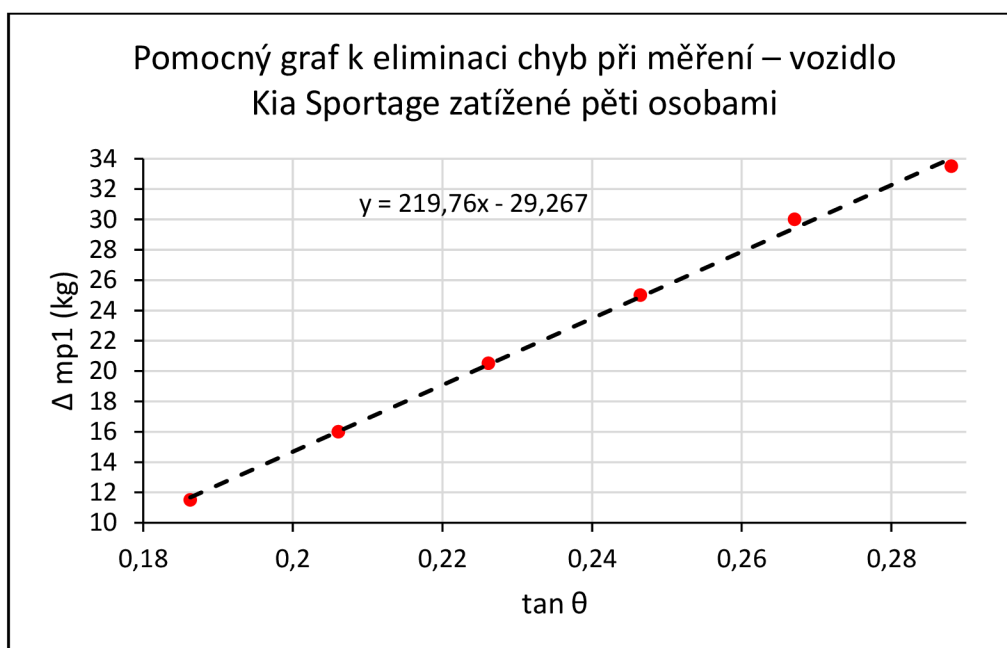
Graf 19 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Kia Sportage zatížené řidičem a spolujezdcem [vlastní]



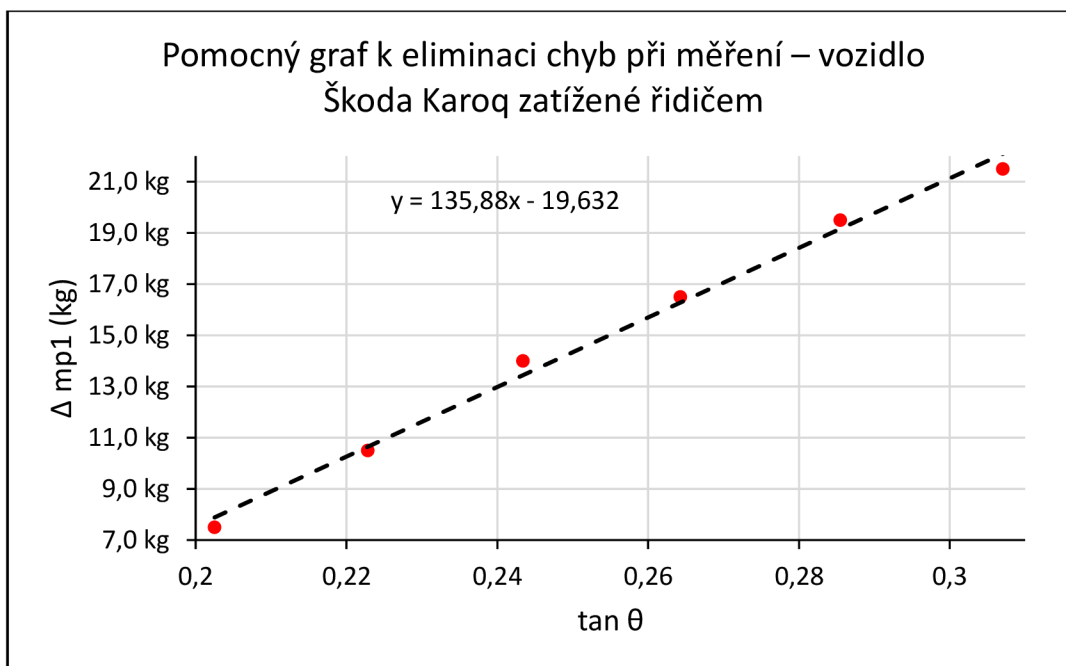
Graf 20 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Kia Sportage zatížené třemi osobami [vlastní]



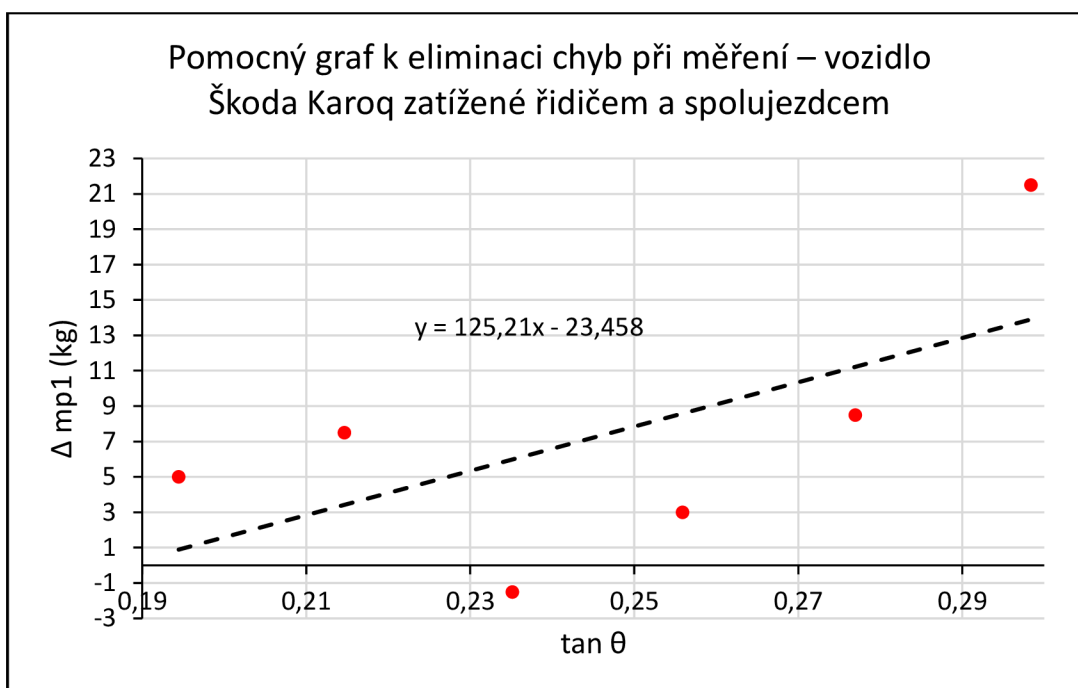
Graf 21 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Kia Sportage zatížené čtyřmi osobami [vlastní]



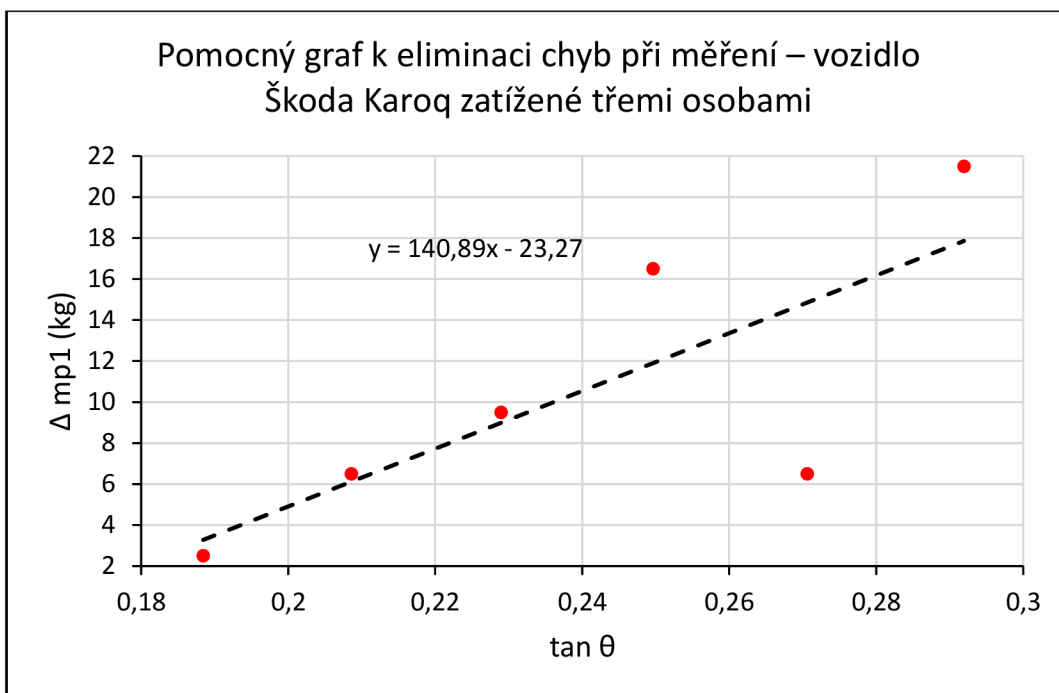
Graf 22 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Kia Sportage zatížené pěti osobami [vlastní]



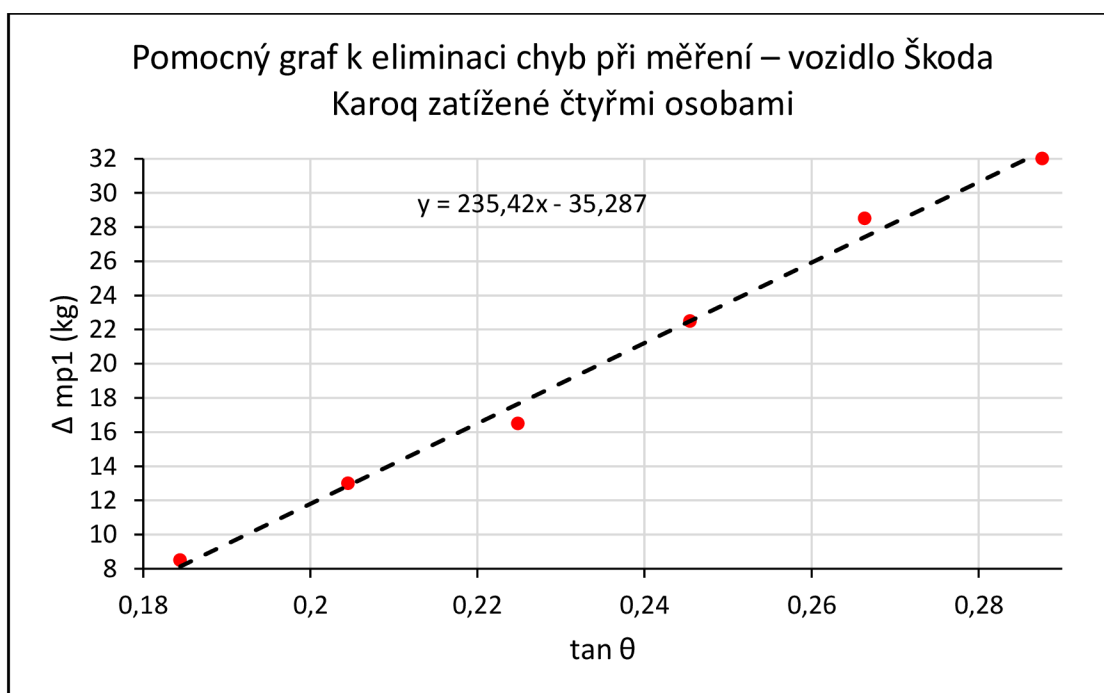
Graf 23 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Škoda Karoq zatížené řidičem [vlastní]



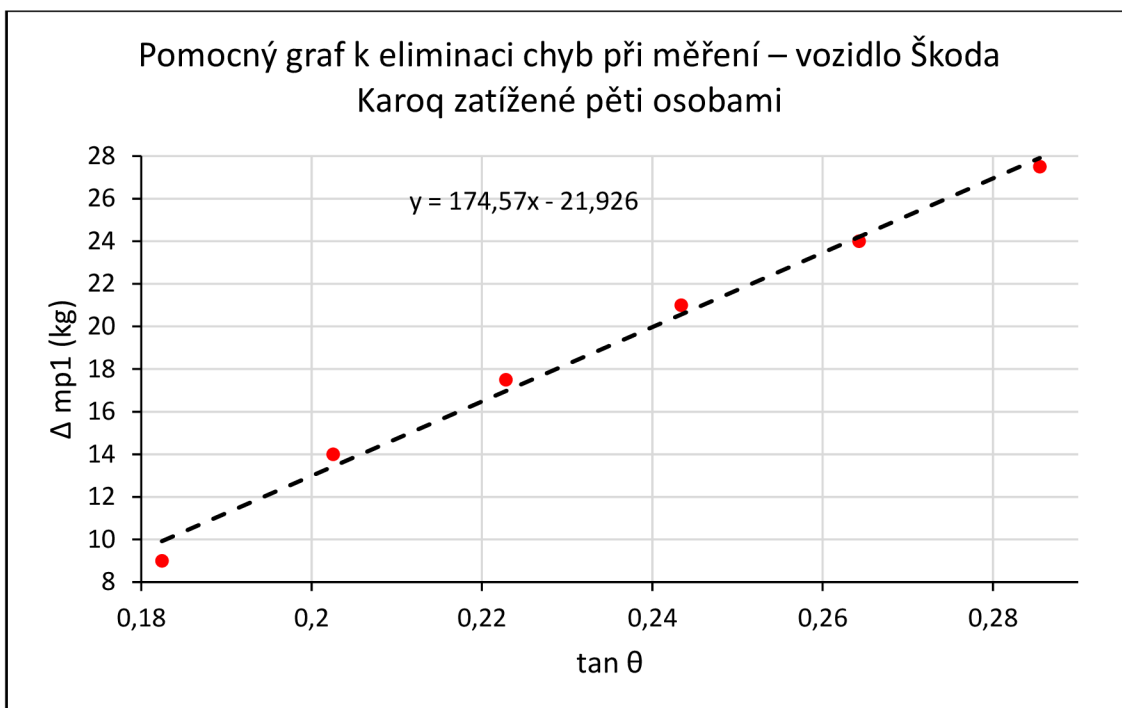
Graf 24 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Škoda Karoq zatížené řidičem a spolujezdcem [vlastní]



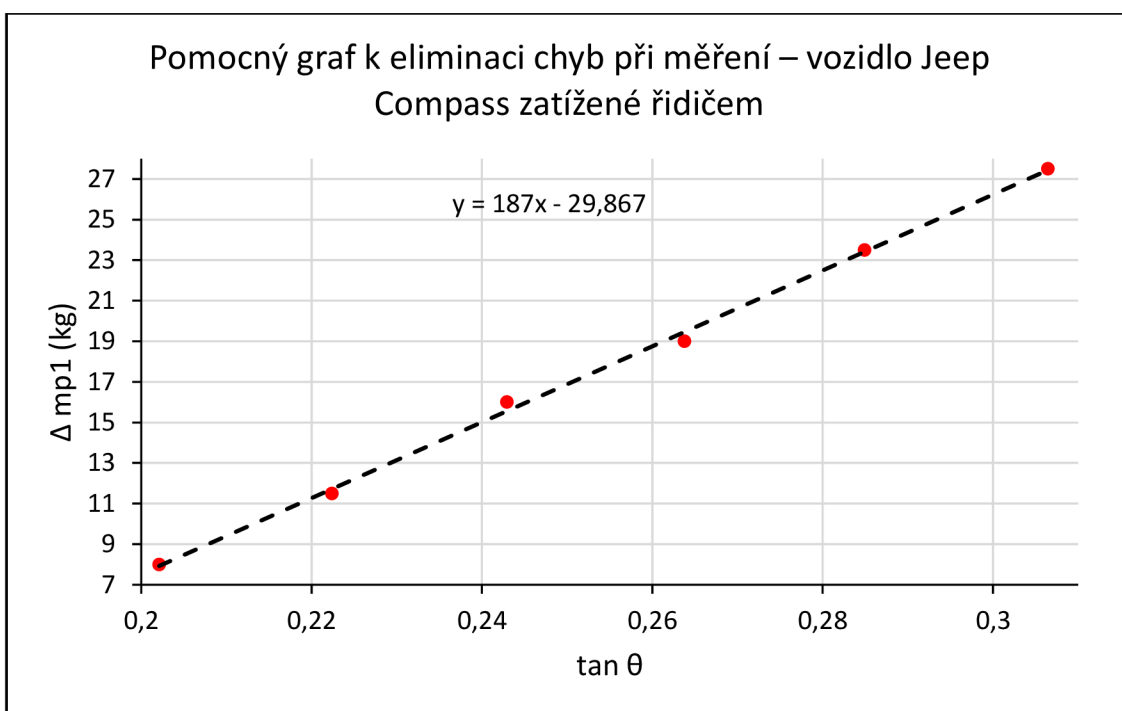
Graf 25 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Škoda Karoq zatížené třemi osobami [vlastní]



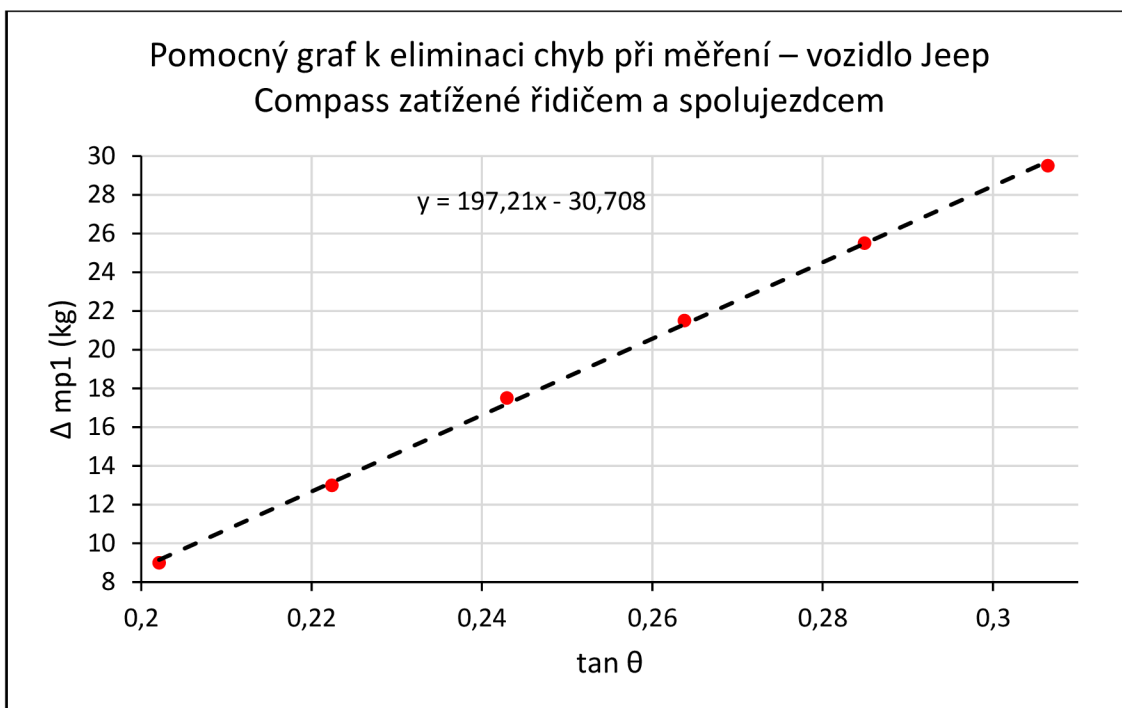
Graf 26 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Škoda Karoq zatížené čtyřmi osobami [vlastní]



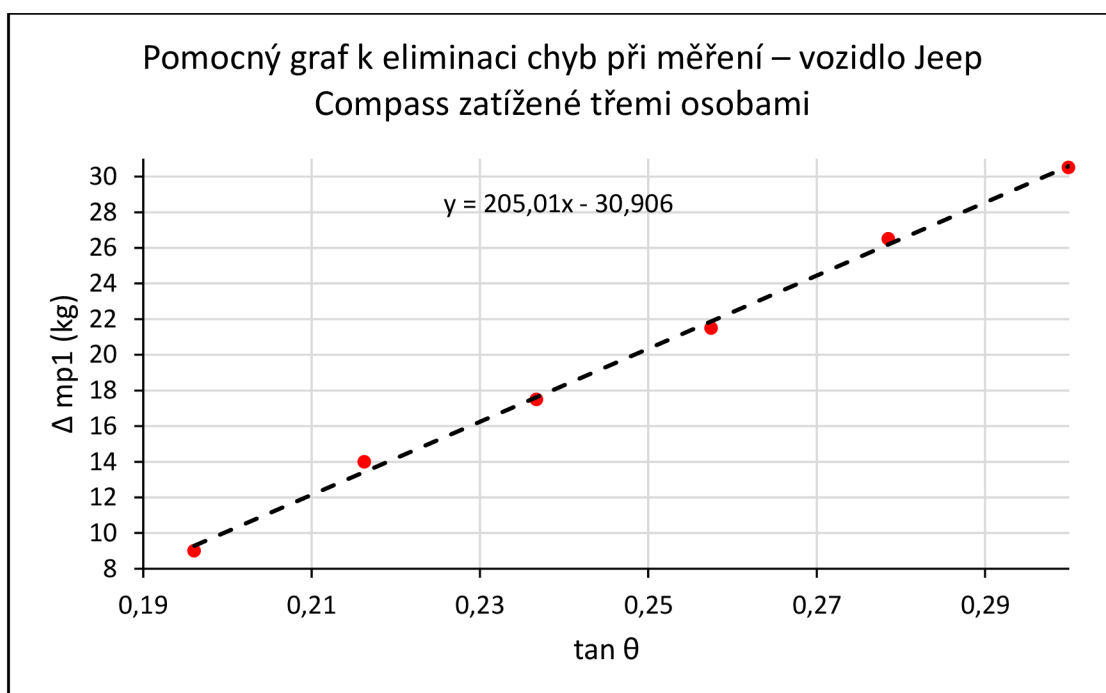
Graf 27 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Škoda Karoq zatížené pěti osobami [vlastní]



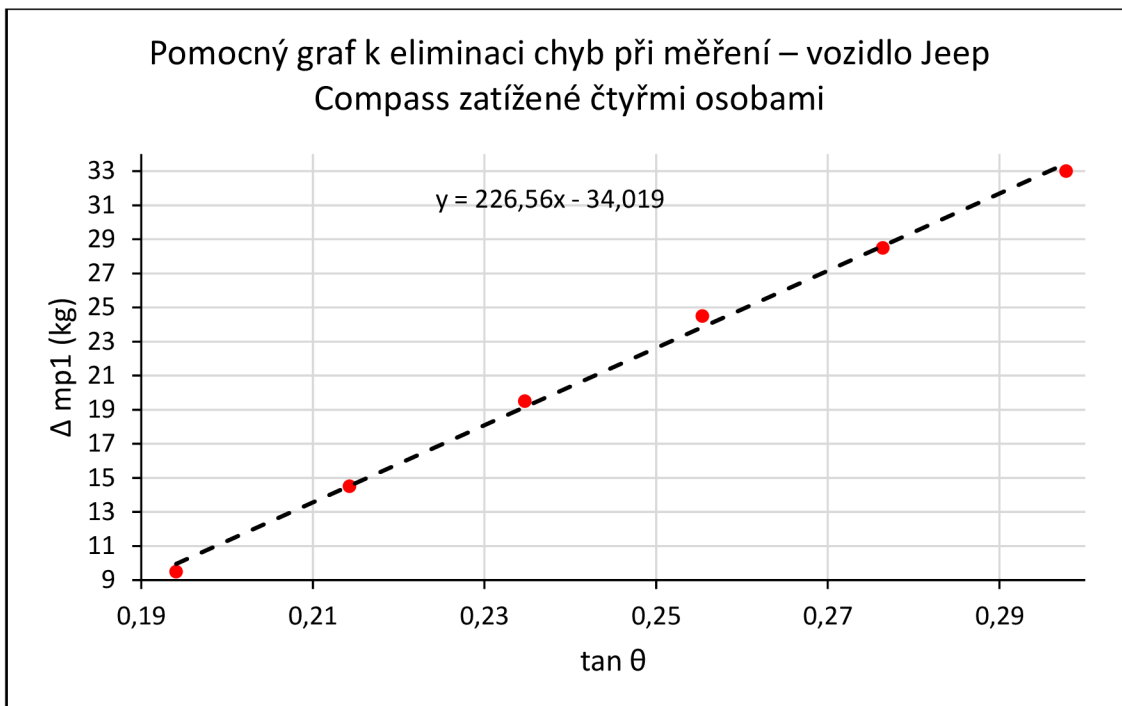
Graf 28 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Jeep Compass zatížené řidičem [vlastní]



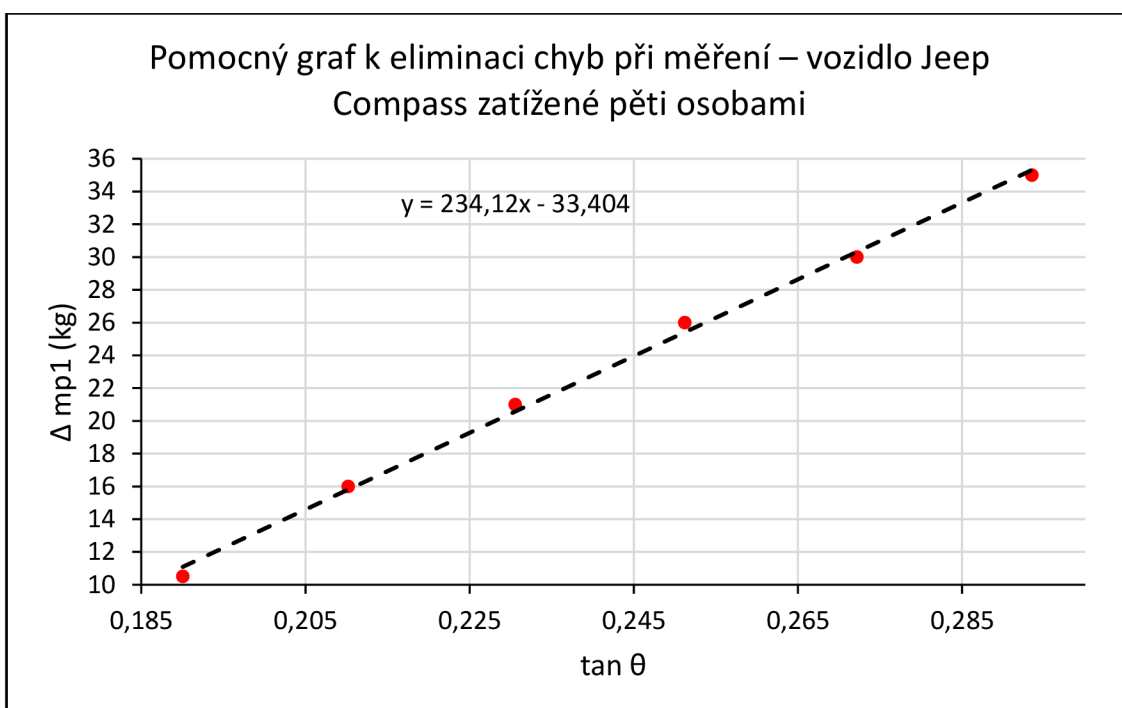
Graf 29 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Jeep Compass zatížené řidičem a spolujezdcem [vlastní]



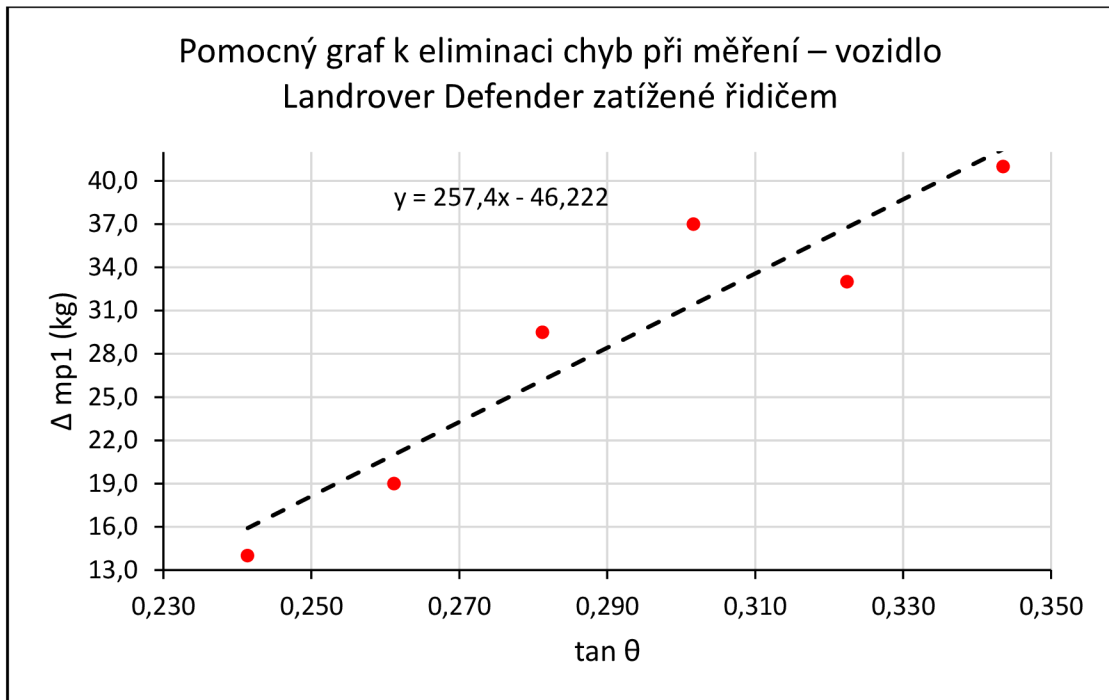
Graf 30 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Jeep Compass zatížené třemi osobami [vlastní]



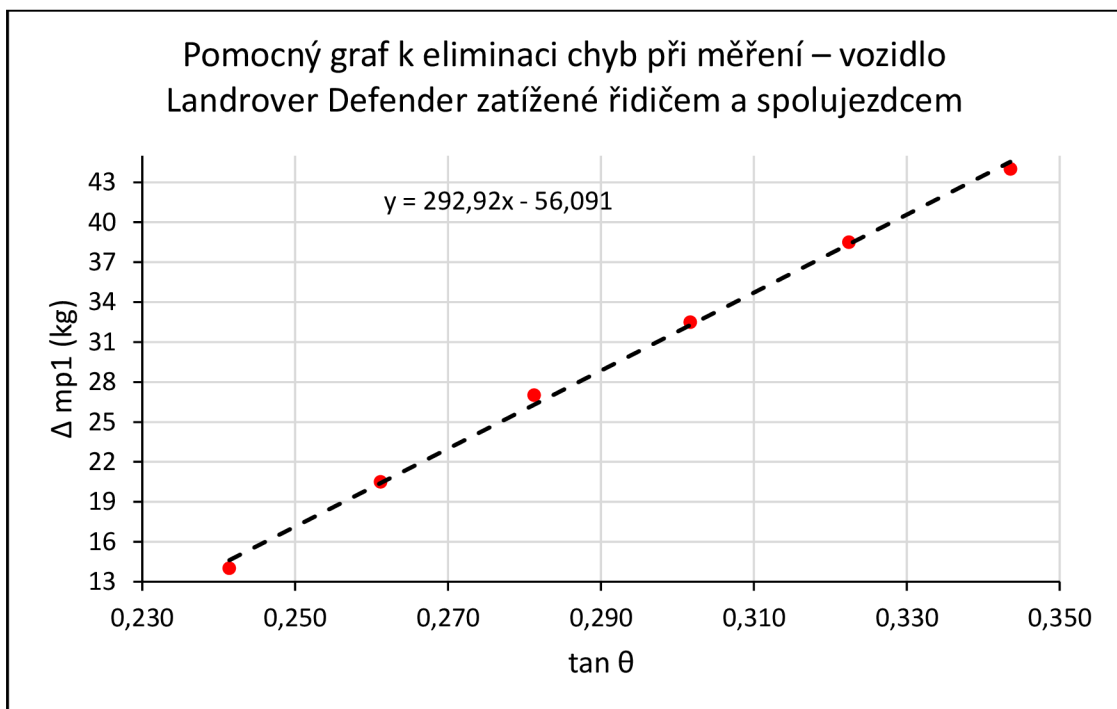
Graf 31 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Jeep Compass zatížené čtyřmi osobami [vlastní]



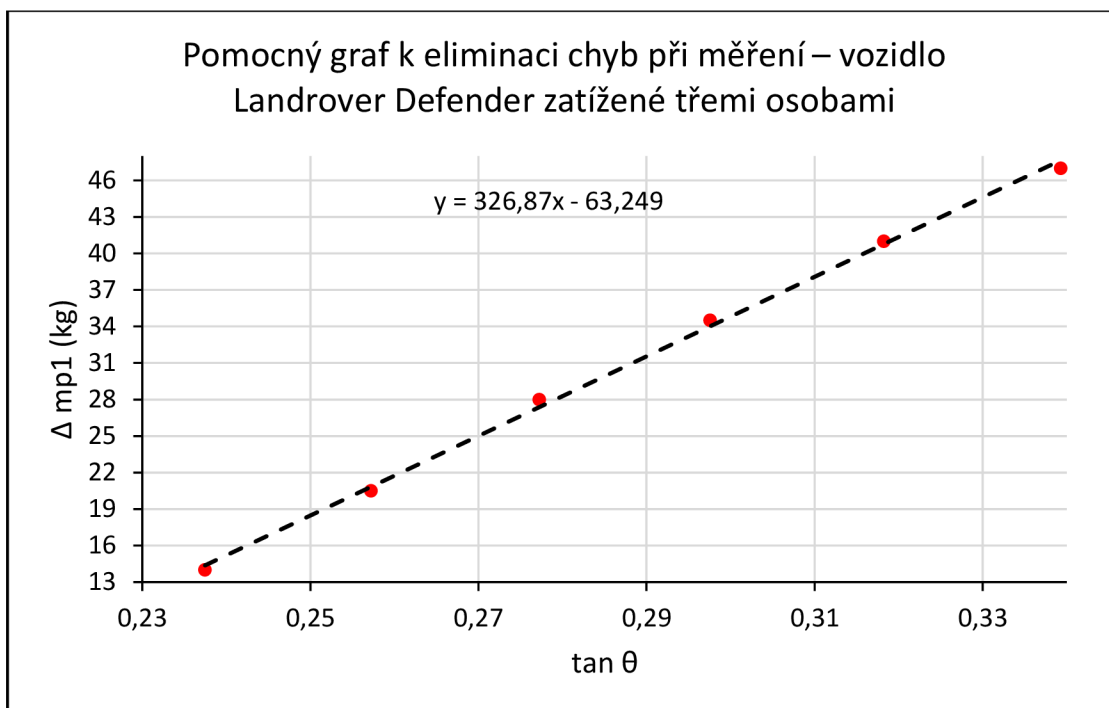
Graf 32 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Jeep Compass zatížené pěti osobami [vlastní]



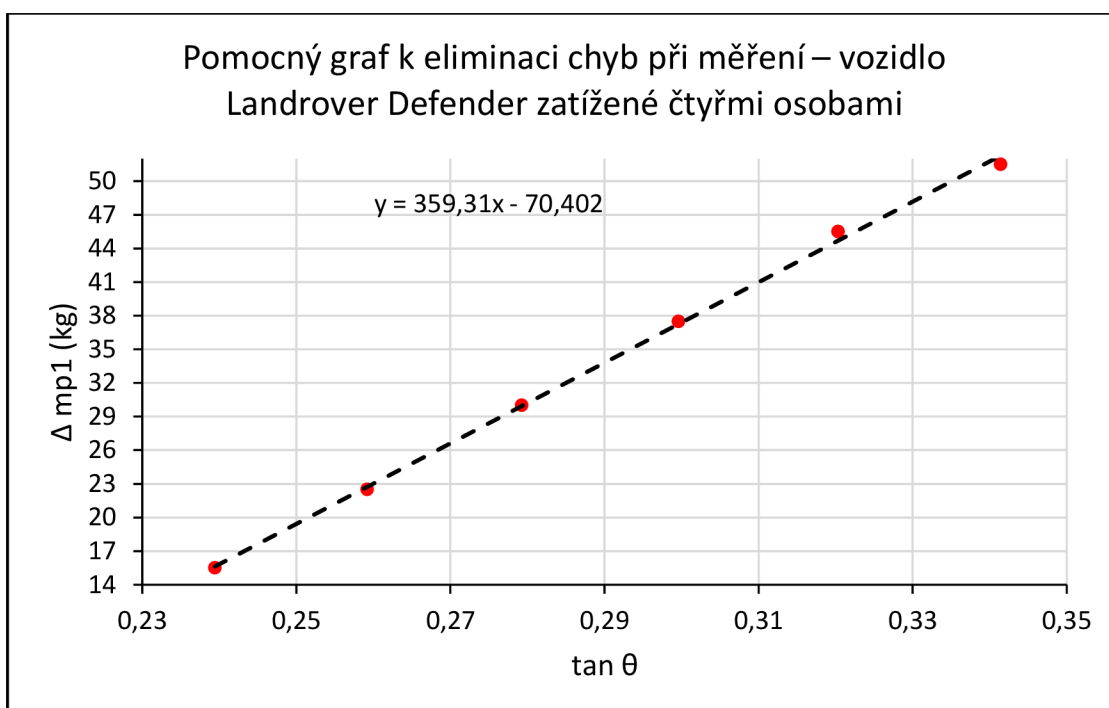
Graf 33 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Landrover Defender zatížené řidičem [vlastní]



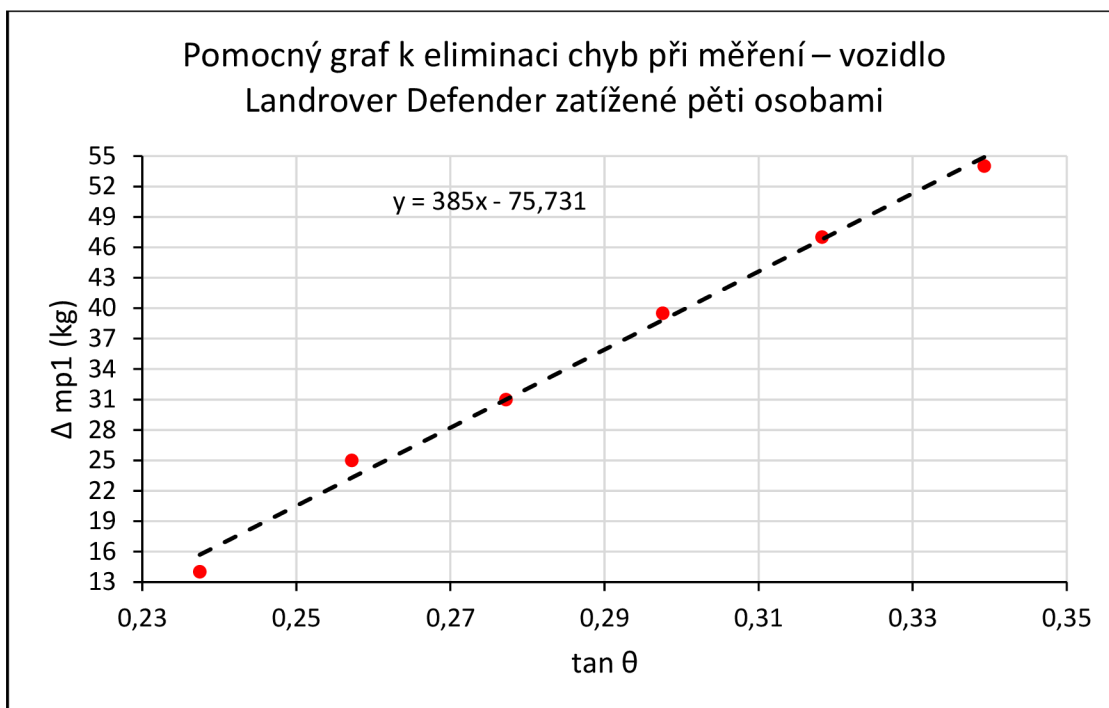
Graf 34 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Landrover Defender zatížené řidičem a spolujezdcem [vlastní]



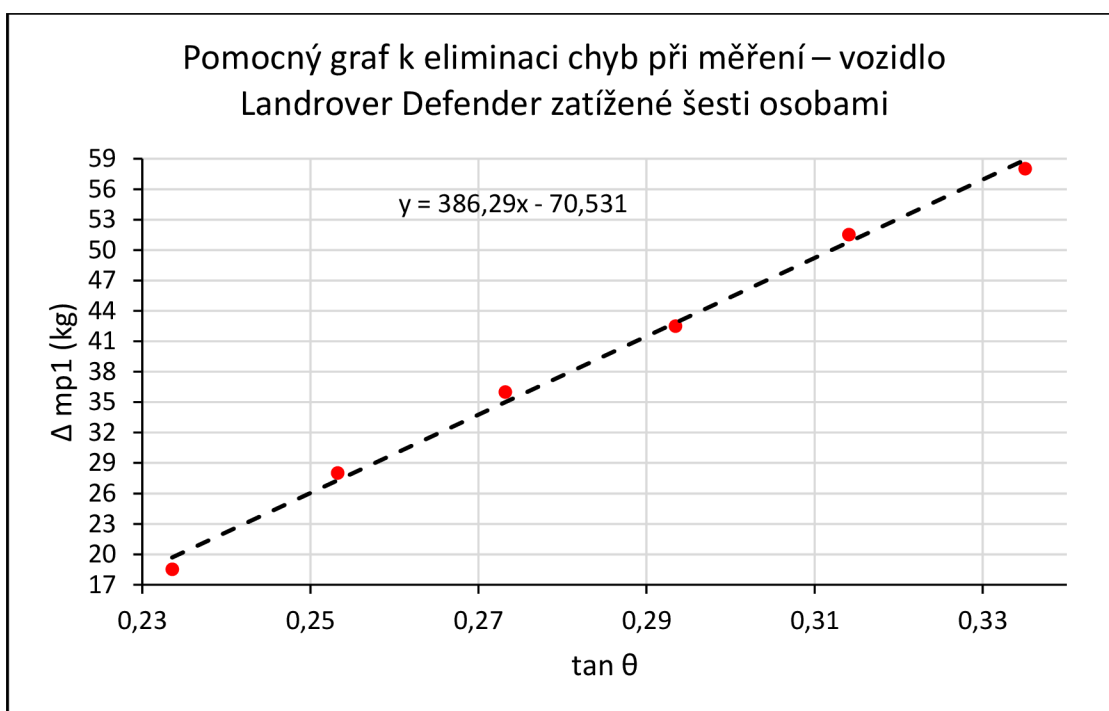
Graf 35 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Landrover Defender zatížené třemi osobami [vlastní]



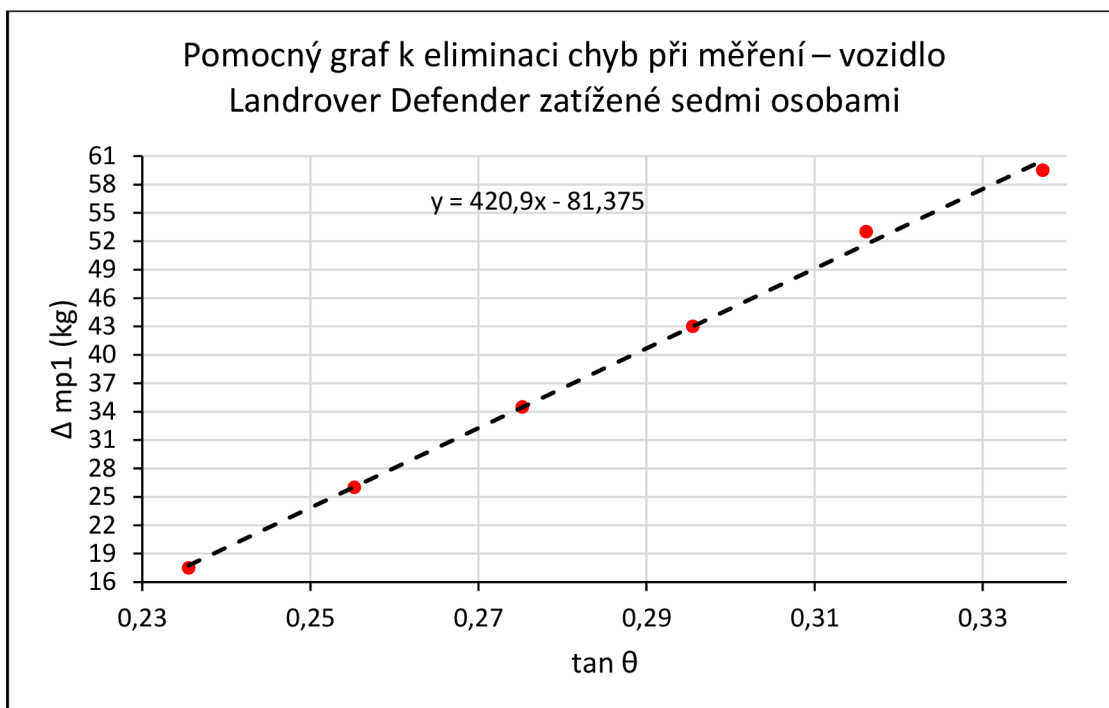
Graf 36 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Landrover Defender zatížené čtyřmi osobami [vlastní]



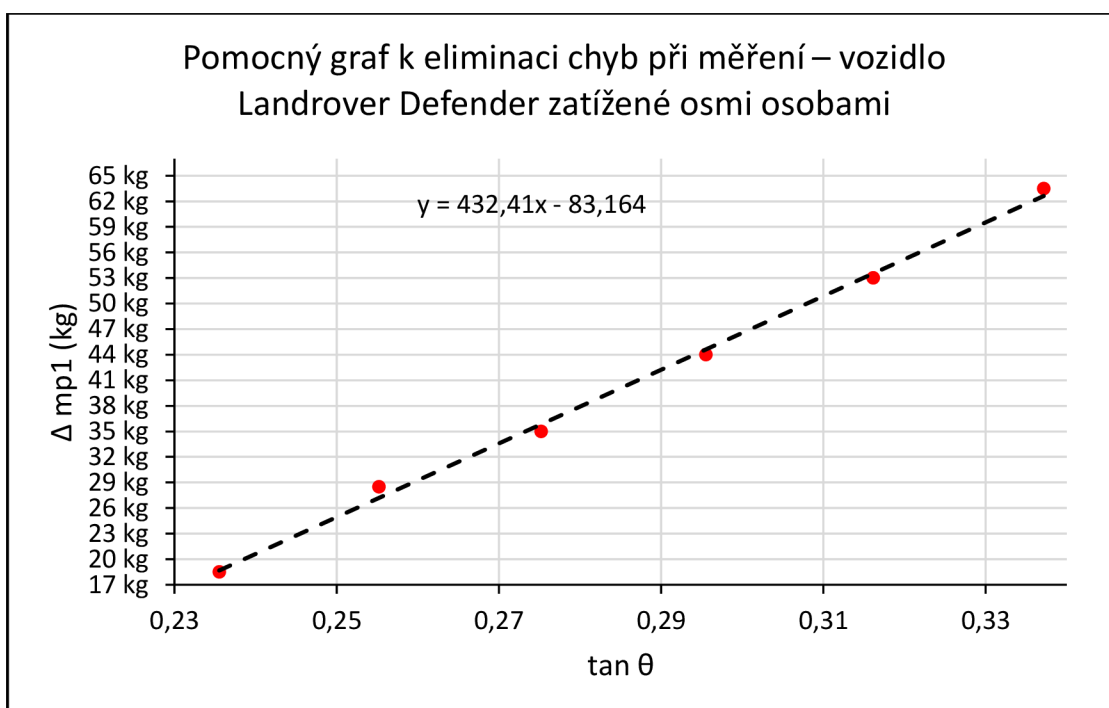
Graf 37 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Landrover Defender zatížené pěti osobami [vlastní]



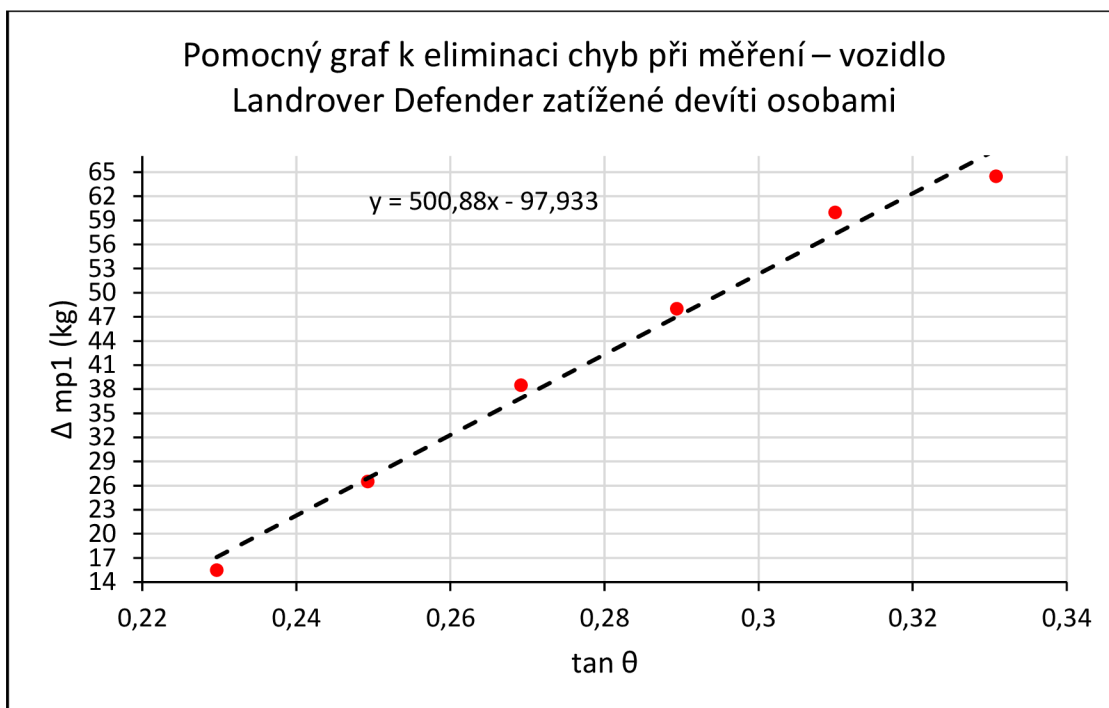
Graf 38 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Landrover Defender zatížené šesti osobami [vlastní]



Graf 39 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Landrover Defender zatížené sedmi osobami [vlastní]



Graf 40 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Landrover Defender zatížené osmi osobami [vlastní]



Graf 41 Pomocný graf k eliminaci chyb při měření – vozidlo Landrover Defender zatížené devíti osobami [vlastní]