



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

DYNAMICKÉ PARAMETRY SPORTOVNÍHO A KONVENČNÍHO VOZIDLA

DYNAMIC PARAMETERS OF SPORTS AND CONVENTIONAL VEHICLES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Michal Tesař

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav soudního inženýrství
Student:	Bc. Michal Tesař
Studijní program:	Soudní inženýrství
Studijní obor:	Expertní inženýrství v dopravě
Vedoucí práce:	doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.
Akademický rok:	2017/18

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

Dynamické parametry sportovního a konvenčního vozidla

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úvod, rešerše, popis dynamických parametrů vozidla, sportovního a konvenčního, popis metodiky měření vybraných dynamických parametrů, rozbor a porovnání naměřených veličin, vyhodnocení pro praktické využití při analýze silničních nehod

Cíle diplomové práce:

Analyzovat dynamické parametry sportovního a konvenčního vozidla, provést rozbor a porovnání dosažitelných dynamických parametrů pro praktické využití při analýze silničních nehod

Seznam doporučené literatury:

- [1] BRADÁČ, A. a kol.: Soudní inženýrství, Akademické nakladatelství CERM, Brno 1999
- [2] BRADÁČ, A.: Analytika silničních nehod II, Dům techniky ČSVTS Ostrava 1985
- [3] VUT V BRNĚ ÚSI: Znalecký standard č. III a IV, Ministerstvo spravedlnosti ČR 1991
- [4] SEMELA, M.: Analýza silničních nehod I, II, Ústav soudního inženýrství VUT v Brně 2014
- [5] PANÁČEK, V.: Zkoušení vozidel, Ústav soudního inženýrství VUT v Brně 2014

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.
ředitel

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na vybrané dynamické parametry sportovního vozidla, které je reprezentováno studentskou formulí Dragon 7 a komparaci těchto parametrů s konvenčními vozidly, zastoupenými dvěma verzemi modelu Škoda Superb III. Ke komparaci byly použity jízdní zkoušky, které simulují reálné jízdní situace z provozu na pozemních komunikacích, aby získané výsledky měření mohli být případně použity pro účely analýzy silničních dopravních nehod. Veškerá měření byla realizována za snížených adhezních podmínek, která mohou v budoucnu napomoci řešení silničních dopravních nehod právě za těchto podmínek. V práci jsou také popsány systémy a prvky používané ve vozidlech, které mají vliv na jízdní dynamiku vozidel.

Abstract

This master's thesis is focused on chosen dynamic parameters of a sport vehicle represented by student formula Dragon 7 and comparison of these parameters with conventional vehicles represented by two exemplars of ŠKODA Superb III. Driving tests used for the comparison are simulating the real driving situations from the roads in order to possibly use those for the road accident analysis in the future. All the measurements were taken under lower adhesion conditions which might help solving of the road accidents under such conditions in the future. There is also a description of vehicle driving systems and components which have an influence on the vehicle's driving dynamics incorporated in the thesis.

Klíčová slova

Jízdní zkoušky, adheze, dynamické parametry, měření, podélné zrychlení, boční zrychlení, vozidlo

Keywords

Driving tests, adhesion, dynamic parameters, measurements, longitudinal acceleration, lateral acceleration, vehicle

Bibliografická citace

TESAŘ, M. *Dynamické parametry sportovního a konvenčního vozidla*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2018. 89 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne

.....

Podpis diplomanta

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu své diplomové práce panu doc. Ing. Aleši Vémolovi, Ph.D za jeho cenné rady, připomínky, ochotu a čas, který mi věnoval v průběhu zpracování této práce. Poděkování patří také všem členům týmu TU Brno Racing za realizaci měření s monopostem Dragon 7, a také týmu odborníků z Ústavu soudního inženýrství z Vysokého učení technického v Brně, kteří byli velmi ochotni pomoci při přípravě a samotné realizaci měření na polygonu v Koprivnici. V neposlední řadě bych chtěl velice poděkovat své rodině, která mě během celého studia bezmezně podporovala a vždy mi byla oporou, stejně jako moje přítelkyně.

Obsah

1	ÚVOD	9
2	REŠERŠNÍ STUDIE	10
2.1	Dynamika pohybu vozidla v oblouku	10
2.2	Zrychlení a zpomalení vozidla v přímém směru	15
2.3	Vliv lidského faktoru na dynamiku jízdy	17
2.4	Vliv asistenčních systémů na dynamiku jízdy	18
3	ADHEZE	19
3.1	Vliv textury povrchu vozovky na adhezi	20
3.2	Vliv teploty a ročního období na hodnoty na adheze	21
3.3	Diagnostické vozidlo TRT (Tatra runway tester).....	21
3.4	Pneumatiky	22
3.4.1	<i>Základní principy chování pneumatik při odvalování</i>	22
3.4.2	<i>Vývoj pneumatik</i>	25
3.4.3	<i>Formule Student</i>	28
3.5	Brzdy	29
3.6	Systémy Odpružení a tlumení	30
3.6.1	<i>Odpružení vozidel</i>	30
3.6.2	<i>Tlumení vozidel</i>	31
3.7	Aerodynamické prvky	32
4	ASISTENČNÍ SYSTÉMY	33
4.1.1	<i>Brzdové a stabilizační systémy</i>	34
4.1.2	<i>Snímače pro regulaci jízdní dynamiky</i>	36
4.1.3	<i>Snímač stáčivé rychlosti</i>	38
4.1.4	<i>Snímače úhlu natočení volantu</i>	38
4.1.5	<i>Snímač bočního zrychlení</i>	39
5	ZÁKLADY JÍZDNÍ DYNAMIKY	40
5.1	Jízdní odpory	40
5.1.1	<i>Odpor valivý</i>	40
5.1.2	<i>Odpor vzdušný</i>	41
6	JÍZDNÍ ZKOUŠKY	42
6.1	Normy k jízdním zkouškám	42
6.2	Vyhýbací manévr – Losí test.....	43
6.3	Ustálené zatačení	44

7	PROJEKT FORMULA STUDENT.....	46
7.1	Geneze monopostu Dragon.....	48
8	PRAKTICKÁ ČÁST	49
8.1	Objekty měření	49
8.1.1	<i>Dragon 7</i>	49
8.1.2	<i>Škoda Superb III</i>	51
8.2	Použitá měřicí zařízení.....	54
8.3	Metodika	57
8.3.1	<i>Vyhýbací manévr – Losí test</i>	58
8.3.2	<i>Akcelerace na 75 m s následným brzděním</i>	59
8.3.3	<i>Kruhová zkouška</i>	60
8.4	Brněnské výstaviště	61
8.4.1	<i>Vyhýbací manévr – Losí test</i>	62
8.4.2	<i>Akcelerace s následným brzděním</i>	64
8.4.3	<i>Kruhová zkouška</i>	66
8.5	Polygon Kopřivnice	68
8.5.1	<i>Vyhýbací manévr – Losí test</i>	69
8.5.2	<i>Akcelerace na 75 m s následným brzděním</i>	71
8.5.3	<i>Kruhová zkouška</i>	73
9	VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ	75
10	ZÁVĚR	78
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	79
	SEZNAM OBRÁZKŮ	85
	SEZNAM TABULEK	87
	SEZNAM GRAFŮ	88
	SEZNAM PŘÍLOH	89

1 ÚVOD

Svaz Dvozců Automobilů ve svých statistikách [1] uvádí, že meziroční nárůst počtu osobních automobilů, pravidelně od roku 2015, převyšuje hodnotu 210 000 nově registrovaných vozidel. Na konci roku 2017 bylo v ČR registrováno celkem 5 592 738 osobních automobilů, což v přepočtu odpovídá 0,53 osobního automobilu na každého obyvatele ČR. Pokud by byly započteny všechny kategorie vozidel, tak k 31. 12. 2017 připadalo na každého obyvatele ČR 0,72 vozidla. Vzhledem ke zvyšujícímu se počtu vozidel v provozu dochází k nárůstu hustoty dopravy a roste i množství rizikových situací.

V rámci provozu na pozemních komunikacích se setkáváme s problematikou silničních dopravních nehod, kterých bylo v roce 2017 nahlášeno 103 821. Během těchto nehod bylo usmrceno 502 lidí a dalších 48 342 osob bylo při těchto nehodách zraněno. Mezi hlavní příčiny dopravních nehod patří nesprávný způsob jízdy, nedání přednosti v jízdě, nepřiměřená rychlost a nesprávné předjíždění [2].

Na základě výše uvedeného se autor rozhodl zaměřit diplomovou práci na porovnání dynamických parametrů sportovního vozidla s parametry vozidel konvenčních pomocí vybraných jízdních zkoušek, které simulují situace z reálného provozu s odkazem na nejčastější příčiny silničních dopravních nehod.

Zrealizovaná měření a výstupy této práce by měly napomoci při řešení sporných případů v oblasti soudního inženýrství. Naměřené hodnoty na vozidle Dragon 7 reprezentují sportovní vozidla a závodní speciály, které se ale mohou v běžném provozu také objevit, přestože jsou primárně určeny k provozu na uzavřených tratích. Porovnání s konvenčním vozidlem má pak za cíl porovnat rozdíly v dynamických parametrech těchto vozidel, na které jsou při konstrukci kladeny značně odlišné nároky.

2 REŠERŠNÍ STUDIE

Na základě vymezené problematiky jsou v této kapitole rozebrány čtyři oblasti, kterým jsou věnovány jednotlivé podkapitoly. V rámci první podkapitoly je popsán současný stav poznání v oblasti jízdy a brzdění vozidla v oblouku a druhá podkapitola obsahuje již zrealizovaná měření zrychlení a zpomalení v přímém směru. Ve třetí podkapitole jsou pak uvedeny studie vlivu lidského faktoru na dynamiku jízdy. Čtvrtá podkapitola je zaměřena na asistenční systémy ovlivňující jízdní dynamiku dnešních moderních vozidel.

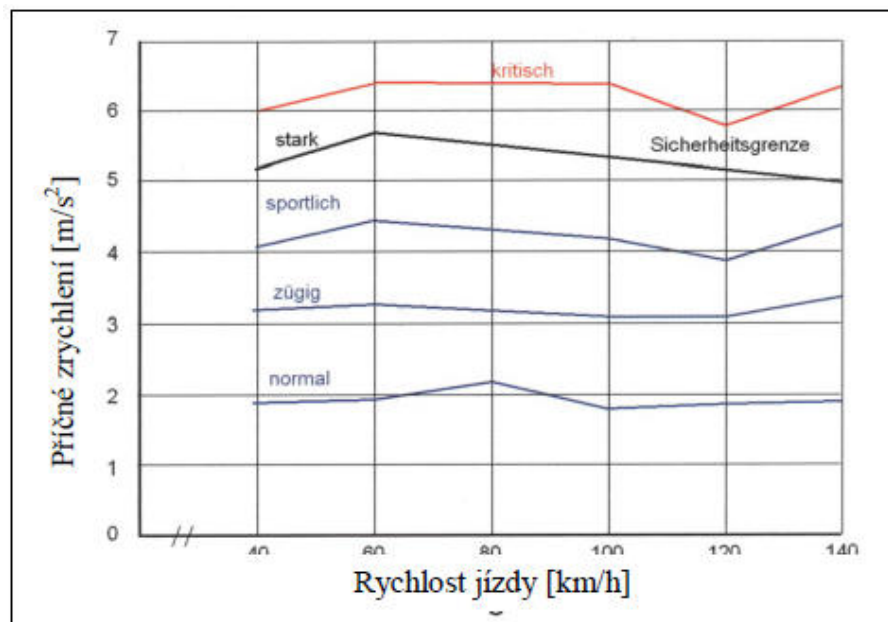
Rešeršní studie je zpracována na základě studia tuzemských i zahraničních zdrojů. V rámci různých zdrojů a prací, se však vyskytuje pojmová nesrovnalost pro boční a příčné zrychlení. Ve zdrojích už však není uvedeno, zda docházelo k přepočtům z bočního zrychlení na příčné nebo se jedná o nejednotnost v názvosloví, proto bylo zachováno původní znění. Bohužel ani v normě ČSN 30 0556, která definuje průběhy jízdních zkoušek, není vymezen rozdíl mezi těmito pojmy ani způsoby měření zrychlení. Zmíněná norma uvádí pouze způsoby měření rychlosti a času.

2.1 DYNAMIKA POHYBU VOZIDLA V OBLOUKU

Problematikou mezní rychlosti ve směrovém oblouku se zabývají zahraniční autoři v publikaci [3], ve které je kromě jiného zpracován graf zachycující závislost rychlosti jízdy vozidla na poloměru směrového oblouku. Pomocí sedmi přímk je vykresleno dostředivé zrychlení od 1 m/s^2 do 7 m/s^2 . Pokud jsou známy hodnoty poloměru směrového oblouku a dostředivého zrychlení, lze pak odečíst hodnotu mezní rychlosti vozidla ve směrovém oblouku neboli rovinné zatáčce, která je považována za speciální případ obecného prostorového oblouku.

Velmi zajímavé informace o závislosti příčného zrychlení na rychlosti vozidla, při různé dynamice pohybu vozidla, jsou uvedeny v zahraniční literatuře [4]. Konkrétně se jedná o rozdělení do pěti definovaných jízdních režimů (dynamických stavů), viz obr 1, pro které jsou uvedeny hodnoty příčného zrychlení. Jako první je uveden režim normální jízdy, při kterém se využívané příčné zrychlení pohybovalo v rozmezí hodnot cca $2\text{--}3,1 \text{ m/s}^2$. Při režimu rychlé jízdy se pak hodnoty příčného zrychlení pohybovaly v rozmezí cca $3,1\text{--}4,4 \text{ m/s}^2$.

Během režimu sportovní jízdy v rozmezí cca 4,0–5,7 m/s², a při razantním průjezdu bylo příčné zrychlení v rozmezí cca 5,0–5,7 m/s². Hranici bezpečné jízdy pak představuje zvýrazněná černá křivka, která reprezentuje hodnoty v rozmezí 5,8–6,4 m/s², jedná se o kritickou jízdní situaci.



Obr. 1 Závislost příčného zrychlení na rychlosti jízdy vozidla [4]

Dále je v práci [4] zpracována tabulka zaměřena na součinitel adheze v příčném směru v závislosti na pohybu vozidla. Autoři uvádějí, že kritická hodnota součinitele adheze je pro příčný směr 0,6. Za bezpečnou hranici součinitele adheze pak označují hodnoty kolem 0,55.

Tabulka 1 Závislost součinitel adheze v přímém směru na pohybu vozidla [5]

Jízdní stav (pohyb vozidla)	Součinitel adheze v příčném směru
Sportovní jízda	0,40 - 0,45
Rychlá jízda	0,30 - 0,35
Normální jízda	0,10 - 0,20

Součinitelům adheze a poloměru oblouku v závislosti na dopravním proudu, numerickému a analytickému modelování dopravního proudu je věnována práce [5], jejíž autoři popsali pohyb vozidel v oblouku. Pomocí kontrolních teorií byla stanovena podmínka stability. K ověření pak byly použity simulace, ve kterých koeficient adheze nabýval hodnot 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, a poloměry oblouku byly uvažovány 30, 60, 90 a 120 m. Celková délka testovací dráhy byla 800 m, kterou v rámci této simulace absolvovalo 200 vozidel. V práci autoři uvádějí, že v případě konstantního poloměru oblouku se bezpečná rychlost jízdy zvyšuje

stejně jako součinitel adheze, což vede k tomu, že tok vozidel se také zvyšuje. V případě, že je konstantní součinitel adheze, tak proud vozidel je větší na silnicích s větším poloměrem oblouku. V závěru je uvedeno, že dosažitelná rychlost v oblouku je přímo úměrná poloměru oblouku a součiniteli adheze.

V publikaci [6] jsou uvedeny změny délky brzdné dráhy v závislosti na přítomnosti vody na vozovce. Byla realizována měření, v rámci kterých, brzdila vozidla z rychlosti 80 km/h za různých adhezních podmínek. Na suché vozovce vozidlo dokázalo zastavit na 28 m při adhezi 0,9. Na vlhké vozovce pak zastavilo na 42 m s adhezí 0,6. U mokrého povrchu, pak došlo k dvojnásobnému nárůstu brzdné dráhy na 84 m, při adhezi 0,3.

Problematice příčného zrychlení při přímé jízdě bylo věnováno hned několik prací. Jednou z nich je publikace indických autorů [7], v rámci které, byla prováděna měření u dvoustopých vozidel. Hodnoty příčného zrychlení během těchto měření nepřekročily ani při vyšších rychlostech $0,5 \text{ m/s}^2$, což bylo způsobeno korekcí volantu. Měření probíhala také na motorové tříkolce, u které byly hodnoty příčného zrychlení 1 m/s^2 . Závěry práce prokázaly inverzní vztah mezi příčným zrychlením a rychlostí při jízdě v přímém směru. Dále také poukázaly na to, že příčné zrychlení je vyšší u rychlostí cca do 5 m/s.

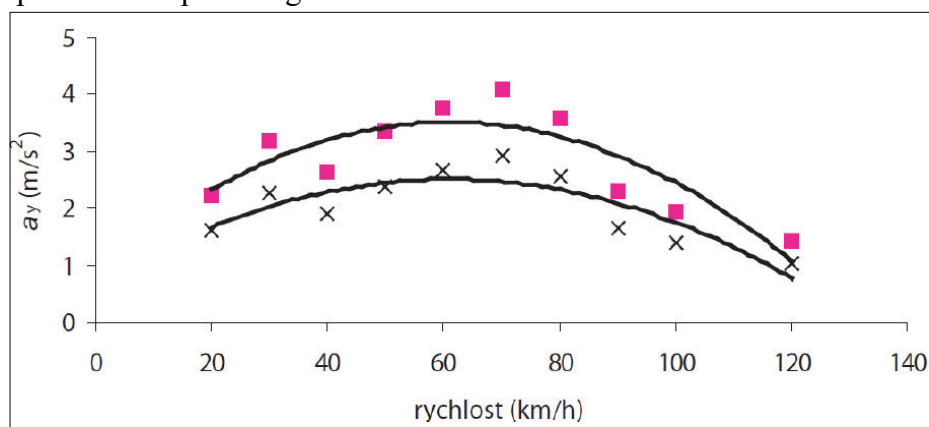
Měření zaměřena rychlost a příčné zrychlení při kontrolované jízdě v noci byla realizována v roce 2008 a zpracována v práci [8]. Závěrem uvedené práce bylo zjištěno, že nejvyšší vliv na změnu polohy vozidla má směr oblouku a horizontální poloměr oblouku.

Měření průjezdu směrovým obloukem o poloměru 14 m byla realizována v rámci práce [9]. V průběhu měření bylo dosahováno rychlosti cca 10 m/s a příčné zrychlení se pohybovalo v rozmezí $7,5\text{--}9 \text{ m/s}^2$. Kromě experimentů jízdy ve směrovém oblouku byly také měřeny jízdní slalomy, při kterých se příčné zrychlení pohybovalo v rozmezí hodnot $8\text{--}10 \text{ m/s}^2$.

Mezní rychlostí se mj. zabývá práce [10], která uvádí také vztahy pro její výpočet, avšak odvození těchto vztahů nezahrnuje. Dále uvádí využívaný součinitel adheze při bezpečné jízdě obloukem a zohlednění psychologických aspektů. Při dobrých adhezních podmínkách a rychlostech 50–60 km/h uvádí autor hodnotu využívané adheze 0,4 a za zhoršených adhezních podmínek pak 0,3.

Jízdními manévry vozidel se zabývá autor v práci [11], ve které se primárně zaměřuje na simulaci vyhýbacích manévřů. Celkem bylo provedeno 13 vyhýbacích manévřů s vozidlem Škoda Octavia I 1,9 TDI ve výbavě Ambiente, které jsou v práci podrobně analyzovány. Během experimentů se příčné přemístění pohybovalo v rozmezí 2,6–3,8 m, při rychlostech 31–102 km/h. Příčného zrychlení při těchto měřeních bylo dosahováno v rozmezí hodnot 2,5–7,5 m/s². Na základě detailní analýzy provedených měření byla prokázána použitelnost tzv. Kovařikova vzorce v praxi.

Detailní pohled na problematiku analýzy příčného přemístění vozidel při posuzování ve znalecké praxi přináší práce [12]. V rámci práce byla realizována měření jízdy v běžném provozu, ale také měření extrémních manévřů. Výsledek pak byl prezentován pomocí grafu č. 1.



Graf 1 Závislost využitelného příčného zrychlení na rychlosti vozidla [12]

Problematicke podélného zpomalení a příčného zrychlení za snížených adhezních podmínek je věnována práce [13]. Pomocí realizovaných měření na dvou osobních vozidlech Mazda 323 F a Škoda Octavia I. Pro měření byly zvoleny jízdy v obloucích o poloměrech 30 a 40 m. Jednalo se o směrové oblouky na asfaltovém povrchu bez příčného i podélného sklonu. Měření byla realizována jak za snížených adhezních podmínek, tak na suchém povrchu pro snadnou komparaci. Při měření na suchém povrchu a poloměru 30 m bylo dosaženo příčného zrychlení v rozmezí 2,4–5,9 m/s² při rychlostech vozidel 30–50 km/h.

U poloměru 40 m a rychlostí 40–60 km/h byly naměřeny hodnoty příčného zrychlení 2,5–5,8 m/s². Zvyšování rychlosti nad 60 km/h bylo podle autora vzhledem k okolním podmínkám nebezpečné, proto se s naměřenými hodnotami nedostal až na hranici adheze. Při měření za snížených adhezních podmínek byly zjištěny hodnoty příčného zrychlení 2,9–6,8 m/s² na oblouku

o poloměru 30 m. V oblouku o poloměru 40 m pak bylo, při rychlostech 40–60 km/h, naměřeno příčné zrychlení v rozmezí 4,6–7,5 m/s². Při měření v rychlosti 60 km/h už byla vozidla špatně říditelná a docházelo ke smyku [13].

Tématem pohybu vozidla v prostorovém oblouku se také zabývá práce [14]. Měření k uvedené práci byla realizována při rychlostech cca do 50 km/h. V závěru je uvedeno, že mezi bočním zrychlením a součinitelem adheze platí úměra, avšak pouze do hodnot rychlosti jízdy 50 km/h a součinitele adheze 0,45. Hodnota dosažitelného bočního zrychlení při mezní rychlosti a součiniteli adheze 0,6 a 0,7 byla nižší, než by odpovídalo stoprocentnímu využití v přímém směru. Mezní rychlost při poloměru směřového oblouku 53 m byla naměřena v intervalu 64–69 km/h, což odpovídá střední hodnotě mezní rychlosti 66,5 km/h ± 2,5 km/h.

Příčné přemístění v oblouku zahrnuje také práce [15], kde autor popisuje experimentální měření příčného přemístění dvěma oblouky provedené s vozidlem Škoda Superbem II. Za hodnotu dosažitelnou na hranici stability, pro příčné přemístění dvěma oblouky, považuje autor příčné zrychlení 9 m/s². Během měření byla i pomocí brzdných zkoušek zjištěna hodnota adheze 0,9 pro podélný i příčný směr. Bylo tedy potvrzeno, že využitelná adheze pro podélný směr je stejná jako pro příčný směr, což poukazuje na přeměnu tzv. adhezní elipsy na adhezní kružnici. Kromě příčného přemístění mezi dvěma oblouky je v práci popsána problematika pohybu vozidla v obecném prostorovém oblouku. Měření proběhla na vozidle Škoda Octavia II, které projíždělo po definovaném oblouku o průměru 51 m rychlostmi nad 50 km/h. Při měření bylo dosahováno adheze v rozmezí 0,70–0,81, těmito hodnotám tedy odpovídá mezní rychlost 67–75 km/h. Během samotného měření bylo dosaženo hodnot 68–74 km/h, kdy během měření byly zaznamenány zásahy stabilizačního systému ESP.

2.2 ZRYCHLENÍ A ZPOMALENÍ VOZIDLA V PŘÍMÉM SMĚRU

V literatuře [16] jsou uvedeny měření akcelerace s následným brzděním na mokřém povrchu s vozidlem Opel Astra, které akcelerovalo na rychlost 108 km/h, a následně prudce brzdilo až do zastavení na 103,4 m, za dobu 6,2 s. Při této zkoušce bylo naměřeno střední plné brzdné zpomalení 5,68 m/s². Ve zmíněné literatuře jsou také velmi přehledně shrnuty měření, zrealizovaná v práci [17].

Tabulka 2 Hodnoty zrychlení osobních vozidel podle rychlosti [17]

Zrychlení vozů z 0 na 60 km/h					
Třída vozu	Zrychlení [a] = m/s ²				
	Rozmezí zrychlení	hodnot	Medián	Pozitivní extrém	Negativní extrém
Minivozy	2,2–2,9		2,8	3,3 (C2)	2,2 (Smart)
Malé vozy	2,8–3,9		3,3	6,0 (Clio)	2,3 (Saxo 1.5D)
Nižší střední třída	3,0–5,2		3,7	5,6 (Golf R32)	2,8 (Golf 1.4)
Střední třída	3,3–6,4		3,9	7,3 (M3 CLS)	2,8 (Octavia TDI)
Vyšší střední třída	3,6–7,0		4,5	8,3 (RS6 Plus)	3,4 (E 200 K)
Luxusní vozy	4,1–6,7		5,6	7,3 (S 600)	4,0 (A8 TDI)
Sportovní vozy	3,6–8,0		6,3	8,3 (Carrera GT)	3,4 (Prelude 2.2)
Terénní vozy	3,1–5,8		3,7	6,2 (Cayenne Turbo)	3,0 (XC 90 D5)

V práci [17] jsou uvedeny také hodnoty pro zpomalení vozidel, napříč jednotlivými třídami vozidel, které se pohybuje cca v intervalu 9–10 m/s². Jednalo se o měření, při kterých byla vozidla zatížená pouze řidičem, a zároveň měření nepředcházelo zahřívání brzd. Nejvyšších hodnot zpomalení bylo v rámci měření uvedených v práci dosaženo s vozidlem Mercedes-Benz CLK DTM AMG, a to 11,4 m/s². Práce také poskytuje porovnání zpomalení při různém zatížení a teplotě brzd. Z uvedených hodnot je pozorovatelné nižší dosažitelné zpomalení u plně zatížených vozidel.

V literatuře [18] autoři definují konkrétní hodnoty zpomalení pro případ náhlého snížení rychlosti jízdy. Za náhlé snížení rychlosti jízdy je označováno takové snížení rychlosti, při kterém je vyžadováno prudké brzdění, nikoliv pouze sejmutí nohy z akceleračního pedálu nebo drobné přibrzdění. Při definování

náhlého brzdění je potřeba však zvážit aktuální adhezní podmínky. Za přijatelné zpomalení se považuje nejmenší hodnota z následujících kritérií: poloviční předepsané zpomalení, polovina adhezně dosažitelného zpomalení a u vozidel se stojícími osobami zpomalení 2 m/s^2 .

Disertační práce [19] uvádí hranici mezi náhlou a nenáhlou změnou rychlosti jízdy v intervalu $3,7\text{--}4 \text{ m/s}^2$, tento interval už je uveden po zaokrouhlení. Dále uvádí výraznou změnu vnímání nebezpečí podle zkušenosti řidičů, která se odvíjí od počtu ujetých kilometrů.

V zahraniční literatuře [20] je byly analyzovány pojmy nenáhle a náhle, kde jsou popsány jako změna stavu mezi bezpečím a nebezpečím. Za bezpečné zrychlení a zpomalení byla pak stanovena hodnota maximálně 3 m/s^2 . Za nebezpečné zpomalení byly považovány hodnoty cca 6 m/s^2 . Dále jsou v práci uvedeny hodnoty pro bezpečnou změnu jízdních pruhů, které nepřesahují boční zrychlení 2 m/s^2 . Naopak za nebezpečné jsou označovány jízdní manévry, při kterých boční zrychlení dosahovalo hodnot cca 5 m/s^2 . Tato měření byla však realizována pomocí aplikace v chytrém telefonu, proto mohou být naměřené hodnoty považovány pouze za orientační.

2.3 VLIV LIDSKÉHO FAKTORU NA DYNAMIKU JÍZDY

Vztah mezi podélnou složkou rychlosti a příčným zrychlením při jízdě v oblouku při normální jízdě je zpracován v publikaci [21]. V rámci práce je zpracován výzkum, kterého se zúčastnilo 50 řidičů ve 227 různých směrových obloucích. Bylo zjištěno, že příčné zrychlení bylo inverzní funkcí rychlosti v oblouku. Autoři práce také zjistili diverzitu chování závislou na pohlaví řidičů. Muži během měření projížděli směrovými oblouky vyšší rychlostí než ženy a ve větší míře využívali zrychlení.

Vliv míry zkušenosti řidičů na stylech průjezdu směrovým obloukem je rozebrán v článku [22]. V rámci měření byl kladen důraz zejména na sledování pohybu očí a trajektorie vozidla, aby bylo možné získat informace o tom, jak se řidiči chovají a co sledují během průjezdu obloukem. Celkem bylo do měření zapojeno 18 řidičů, kteří absolvovali jízdu vytyčenou tratí v reálném provozu, kdy trať obsahovala šest různých směrových oblouků. Každý z řidičů musel definovanou trať projet čtyřikrát, a to v obou směrech. Ukázalo se, že zkušení řidiči věnují méně času sledování silnice před vozem, ale více pozornosti věnují pohledu přes směrový oblouk, aby lépe mohli plánovat průjezd obloukem.

Chováním řidičů při jízdě v oblouku se také věnovali autoři článku [23], ve kterém je popsán významný vliv vodorovného značení na volbu trajektorie při průjezdu směrovým obloukem.

Měření jízdní dynamiky se zabýval také autor v práci [24], kde je uvedeno, že běžný řidič, při jízdě ve směrovém oblouku, využívá pouze 60 % z mezní rychlosti, kterou by se dal daný směrový oblouk projet. Dále je uvedeno, že zkušený řidič zvládne projet stejným směrovým obloukem 80 % mezní rychlosti, a to bez opuštění svého jízdního pruhu.

2.4 VLIV ASISTENČNÍCH SYSTÉMŮ NA DYNAMIKU JÍZDY

Výzkum [25] zabývající se chováním 2 000 řidičů, kdy polovina řídila vozidla vybavena stabilizačním systémem ESP, a druhá polovina řidičů měla vozidla bez tohoto systému. Výsledky ukázaly, že 62–65 % přiznalo změnu chování při vědomí přítomnosti asistenčního systému. Velmi zajímavé bylo zjištění, že 35 % respondentů se mylně domnívalo, že jejich vozidlo je tímto systémem vybaveno.

V rámci experimentálních měření k práci [15], proběhla měření, při kterých byl deaktivován systém ESP. Bylo však zjištěno, že v případě deaktivace ESP běžným uživatelským způsobem, dojde k automatické aktivaci systému v okamžiku, kdy se vozidlo dostane do kritické jízdní situace.

Podle autorů článku [26] byla prokázána závislost, která ukazuje na nárůst sebevědomí a chuti více riskovat při vědomí přítomnosti asistenčních systémů. Svoje chování obhajovali důvěrou v tyto systémy. Nejvíce se toto chování projevuje u mladých řidičů a mužů.

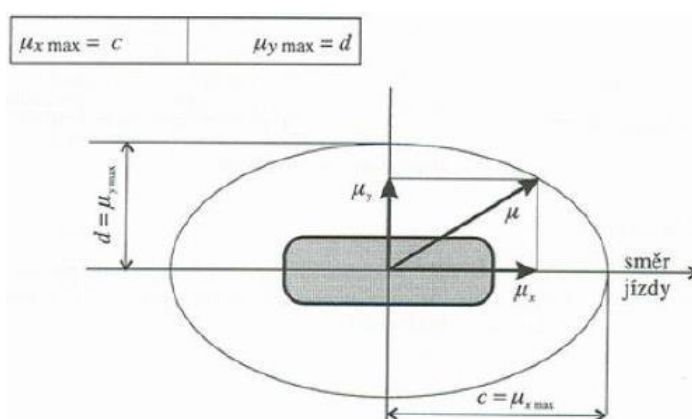
Empirickým výzkumem se zabývala studie [27] efektu stabilizačního systému na dopravní nehody. Studie poskytuje informace o tom, že díky využívání stabilizačního se snížil počet nehod s jedním účastníkem o 49 %. U střetů více vozidel došlo k celkovému poklesu o 32 %, z hlediska čelních střetů také došlo k poklesu, a to o 13 %. Zavedení povinnosti instalace stabilizačního systému do vozidel tedy velmi významně přispěla ke zvýšení bezpečnosti vozidel.

Studie [28] publikovaná v Journal of Safety Research pojednává o 70% snížení počtu nehod způsobených ztrátou stability u vozidel typu SUV vybavených stabilizačním systémem.

3 ADHEZE

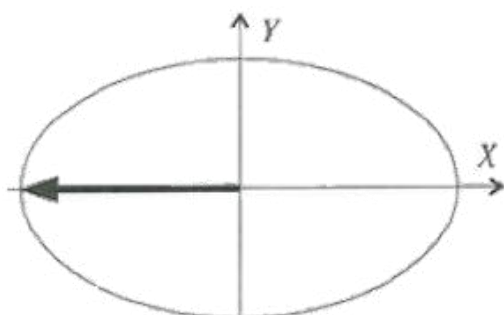
Adhezi lze definovat jako vlastnost odvalujícího se běhounu kola, která má za následek dočasné molekulové spojení mezi dvěma povrchy, což se projevuje přilnavostí k jiným materiálům [29].

Adhezi lze také popsat jako míru interakce mezi pneumatikou a vozovkou, kdy mezní hodnoty adheze jsou zobrazovány pomocí adhezní elipsy, které znázorňují velikost působících sil v podélném a příčném směru. Hodnotu adheze lze získat vektorovým součtem využitelné adheze v podélném a příčném směru [18].

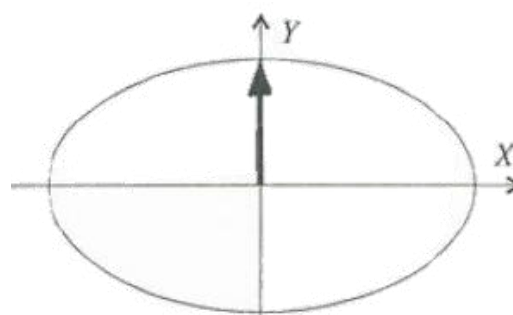


Obr. 2 Adhezní elipsa [18]

Pro stabilitu vozidla je důležité, aby hodnota vektorové součtu nepřesáhla mezní hodnoty adheze, což by vedlo ke ztrátě adheze. Např. v případě kritického brzdění, kdy je veškerá adheze využita pro zpomalení, už nezůstává příčná adheze pro vedení kola. Druhým příkladem je jízda mezní rychlostí v oblouku, kdy už nezůstává adheze pro brzdění [18].



Obr. 4 Brzdění na mezi adheze [18]

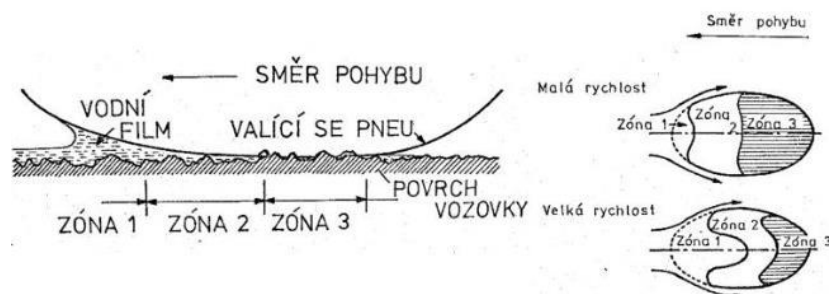


Obr. 3 Jízda mezní rychlostí v oblouku [18]

3.1 VLIV TEXTURY POVRCHU VOZOVKY NA ADHEZI

Adhezní vlastnosti vozovek závisí na stavu mikro a makrotextury povrchu. Mikrostruktura je dána velikostí a tvarem výstupků zrn použitého kameniva. Makrotexturu pak tvoří různé frakce použitého kameniva, u kterého je klíčová drsnost povrchu. Význam makrostruktury roste se zvyšující se rychlostí. Avšak dobrá makrotextura není klíčovým parametrem, podle kterého by bylo možné hodnotit protismykové vlastnosti vozovek. Může totiž nastat situace, kdy u vozovky s dobrou makrotexturou dojde, vlivem provozu na komunikaci, k ohlazení kameniva, a tedy ke ztrátě mikrotextury. Obecně jsou vozovky s malou makrotexturou považovány za nevyhovující, avšak existují i kameniva s příznivou mikrotexturou a nízkou ohladitelností. Velkou měrou stav mikro a makrotextury ovlivňuje provoz na komunikaci a údržba komunikace, která by měla být pečlivě plánována s ohledem na zvýšení životnosti obrusných vrstev vozovek.

Při jízdě po mokré vozovce dojde při kontaktu běhounu pneumatiky s vozovkou k vytlačování vody ze styčných ploch. Na základě toho vznikají tři zóny interakce, které se označují: spojitý vodní film, přerušovaný vodní film kvazisuchý kontakt. Důsledkem zvyšující se rychlosti je zvětšování zóny 1 – spojitého vodního filmu, naopak zóny 2 a 3 se vlivem vyšší rychlosti zmenšují, jak je znázorněno na Obr. 5. V případě, dojde ke zvýšení rychlosti na takovou hodnotu, tak zanikají zóny 2 a 3, a nastává jev zvaný aquaplaning. Jedná se o stav, kdy pneumatika již není schopna odvádět vodu pomocí dezénových drážek. Vytvoří se mezi vozovkou a pneumatikou vodní klín, a dojde tak ke ztrátě adheze. Kromě rychlosti vozidla mají na vznik aquaplaningu také vliv makrotextury vozovky a hloubka dezénu pneumatik.



Obr. 5 Vliv rychlosti na protismykové vlastnosti povrchu vozovky [30]

3.2 VLIV TEPLoty A ROČNÍHO OBDOBÍ NA HODNOTY NA ADHEZE

V literatuře [31] je uvedena změna adhezních podmínek během ročních období. Na základě série výzkumů byla potvrzena závislost rozdílných adhezních vlastností vozovek na povětrnostních podmínkách. K poklesu součinitele adheze např. dochází za mokra při zvýšení teploty od 0 °C do 20 °C. Naopak při poklesu teploty pod bod mrazu dochází ke zvyšování součinitele adheze, za mokra však dochází k jeho snižování. V zimních měsících, kdy se teplota pohybuje pod bodem mrazu dochází ke křehnutí k obrušování obrusné vrstvy vozovky. K regeneraci drsnosti vozovek tedy přispívá právě zimní období. Naopak v letních měsících jsou obroušené částičky, které zvyšují drsnost vozovek, zatlačovány do povrchu změkklého vlivem vyšších teplot (zejména u živičných vozovek). Působením vody pak dochází také k vymývání těchto částiček. K největším změnám součinitele adheze tedy dochází za mokra v letních měsících, kdy lze systematicky považovat protismykové vlastnosti za nejhorší.

3.3 DIAGNOSTICKÉ VOZIDLO TRT (TATRA RUNWAY TESTER)

Jedná se o speciálně vyvinuté diagnostické vozidlo, které je určeno k měření adhezních vlastností. Primárně bylo využíváno k diagnostice adhezních vlastností přistávacích drah za mokra, ale v dnešní době je využíván převážně pro diagnostiku pozemních komunikací. Od roku 2005 je TRT vedeno jako referenční zařízení pro zjišťování protismykových vlastností vozovek [1].



Obr. 6 Diagnostické vozidlo TRT [32]

Samotné měření je realizováno pomocí přídatného kola osazeného pneumatikou bez dezénu. Prokluz kola je variabilní podle potřeb měření,

čímž je toto zařízení také unikátní. Nejčastěji se používá 25% prokluz, při měření na pozemních komunikacích a 13% se používá při měření vzletových a přistávacích drah na letištích. Proměnlivého skluzu je také dosahováno za pomoci skrápěcí trysky, která neustále skrápí komunikaci vodou ze zásobníku. Metodika měření pomocí tohoto vozidla je definována v normě ČSN 73 6177. TRT dokáže měřit parametr součinitele podélného tření v souladu s TP 87 [32].

Měřením adhezních podmínek na různých typech povrchů v laboratorních podmínkách, se zabývá také centrum AdMaS. Jedná se o výzkumné centrum Fakulty stavební VUT v Brně, které provádí měření na vzorcích z reálných vozovek, a dále vytvářejí a následně testují nové struktury vozovek aplikovatelné v praxi. V rámci testování je toto výzkumné centrum schopno nasimulovat zatížení vozovky v řádech desítek let, což značně posunuje výzkum a poznání chování vozovek po letech užívání. Kromě jiného se také zabývají vývojem adhezních vlastností v průběhu životního cyklu různých typů vozovek.

3.4 PNEUMATIKY

Úkolem pneumatik je přenášet hnací, brzdné, boční vodící síly, hmotnost vozidla, tlumit rázy od vozovky, disponovat malým valivým odporem, produkovat nízké emise hluku. Dále je také požadováno, aby měly pneumatiky dostatečnou životnost a zaručovaly hospodárnost provozu vozidla [33].

Hlavním úkolem pneumatik je zaručit bezpečnost provozu na pozemních komunikacích a zajistit komfort pro řidiče a posádku vozidla [34].

3.4.1 Základní principy chování pneumatik při odvalování

Pro zajištění správné funkce asistenčních systémů a brzdového systému je potřeba vybavit vozidlo pneumatikami, které jsou schopny účinně přenášet na vozovku brzdné síly, trakční síly a zásahy brzdných asistentů, aby bylo možné podpořit řidiče v kritických situacích. Velmi důležitá je tedy spolupráce výrobců automobilů s výrobcí pneumatik už během samotného vývoje vozů. Při testování jízdních vlastností podvozků a všech brzdových asistentů, jsou zkoušeny funkce v extrémních povětrnostních a jízdních podmínkách. Snahou výrobců vozidel je vybrat vhodné typy pneumatik, na kterých budou vlastnosti vozů předvídatelné a brzdové asistenty tak budou moci lépe predikovat chování vozu v kritických situacích, ve kterých přispějí k vyšší míře bezpečnosti [35].

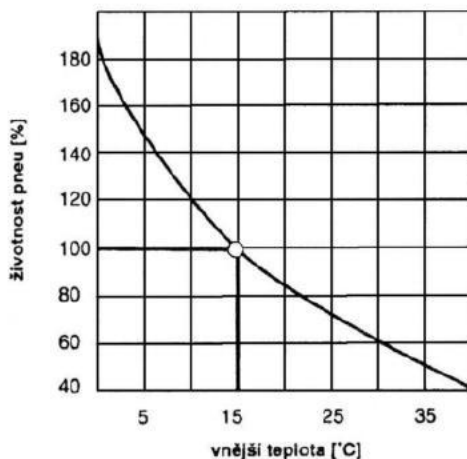
Vliv huštění pneumatik na součinitel adheze

Problematickou vlivu huštění pneumatiky na součinitel adheze se zabývá práce [36]. V rámci zmiňované práce byla provedena experimentální měření s pneumatikami nahuštěnými na různé tlaky a různých povětrnostních podmínkách. Při vyhodnocení se autor zabýval změnami hodnot zpomalení a brzdné dráhy. Z výsledků měření na pneumatikách Goodyear vyplynulo, že přehuštěné pneumatiky mají na suchém povrchu nejnižší zpomalení a nejdélší brzdovou dráhu. Při nahuštění na hodnotu předepsanou výrobcem byl pozorován rychlejší nástup brzdného účinku, kratší brzdná dráha, avšak hodnota zpomalení nebyla nejvyšší z naměřených hodnot. Při měření na mokré vozovce bylo pozorováno odlišné chování pneumatik. Nejvyššího zpomalení dosahovaly pneumatiky přehuštěné, u kterých byl zaznamenán i nejrychlejší nástup brzdného účinku, avšak po prudkém nárůstu zpomalení docházelo i k jeho prudkému poklesu. U podhuštěných pneumatik byly naměřeny nejnižší hodnoty zpomalení.

Velikost styčné plochy mezi vozovkou a pneumatikou, která je označována stopou, ovlivňuje nahuštění pneumatiky, respektive hustota vzduchu v pneumatice. Pokud není pneumatika nahuštěna na správný tlak, který udává výrobce vozidel, tak styčná plocha pneumatiky s vozovkou je menší, a tím pádem i adhezní vlastnosti pneumatiky jsou horší. Dále také dochází k nerovnoměrnému opotřebení pneumatik. Vozidlo s nesprávně nahuštěnými pneumatikami může mít sklony k přetáčivosti nebo naopak k nedotáčivosti, může docházet k horším akceleračním a deceleračním schopnostem, a dále se může vozidlo s nesprávně nahuštěnými pneumatikami projevat prodlouženým vratným momentem při zatáčení [34].

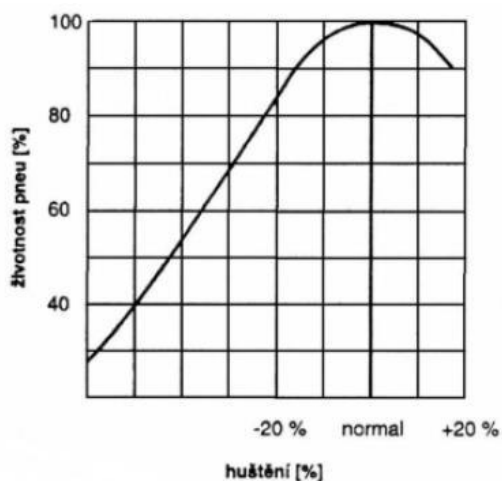
Faktory ovlivňující životnost pneumatik

Životnost pneumatik, respektive jejich opotřebení závisí primárně na podmínkách, ve kterých jsou používány. Velký vliv na opotřebení pneumatik má kvalita povrchu vozovky, teplota okolí, vozovky, pneumatik, síly působící ve stopě, rychlost a dynamika jízdy [37].



Graf 2 Vliv vnější teploty na životnost pneumatik [34]

Opotřebení pneumatik může výrazně urychlit právě jízda s nesprávným tlakem vzduchu v pneumatikách, které je zachyceno na grafu č. 3.



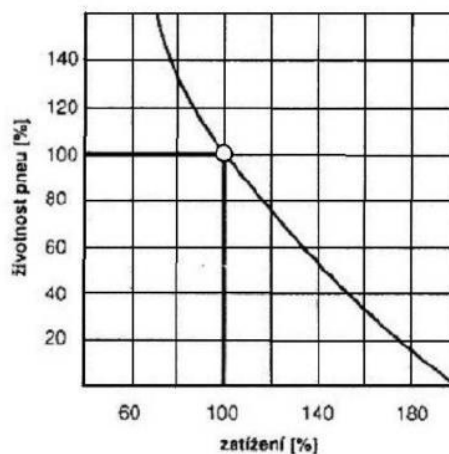
Graf 3 Vliv huštění na životnost pneumatik [34]



Obr. 7 Opotřebení pneumatik při nesprávném huštění [38]

Další příčinou zrychleného opotřebení pneumatik mohou být chyby v geometrii nápravy, které se projevují např. nesprávnou sbíhavostí, odklony kol, špatnými tlumiči.

Kromě výše uvedeného ovlivňuje životnost pneumatik také zatížení vozidla, respektive pneumatik.



Graf 4 Vliv zatížení vozidla na životnosti pneumatik [34]

3.4.2 Vývoj pneumatik

Požadavky na pneumatiky od výrobců vozidel a řidičů se neustále zvyšují, proto je nutné se intenzivně zabývat vývojem pneumatik. V rámci vývoje se snaží výrobci pneumatik dosahovat lepších jízdních vlastností, zvyšovat komfort jízdy, bezpečnost a životnost, a také snižovat odpor valení z důvodu snížení spotřeby vozidel, respektive produkce CO₂. V rámci této podkapitoly jsou uvedeny aktuální trendy ve vývoji a výrobě pneumatik, které se zaměřují zejména na bezpečnost řidičů a posádky vozidla při vzniku defektu. V rámci vývoje se zaměřili výrobci na pneumatiky, které nevyžadují okamžitou výměnu při úniku tlaku z pneumatiky. Těmito vlastnostmi disponují např. pneumatiky s označením Run On Flat (ROF).

Jedná se o samonosný typ pneumatik, které mají vyztuženou bočnici speciální směsí, a díky tomu je řidič schopný za snížené rychlosti (max. 80 km/h) vyhledat místo, kde by mohl kolo bezpečně vyměnit. S touto koncepcí poprvé přišel výrobce pneumatik Goodyear. Ze zkušeností řidičů vyplývá, že v některých případech není rozpoznatelné z chování vozidla, že k defektu pneumatiky došlo.



Obr. 8 Porovnání konstrukce pneumatik [39]

U nových vozidel by však měl být defekt detekován pomocí senzorů tlaku v pneumatikách, jehož přítomnost na každém kole je uzákoněna. Při použití tohoto typu pneumatik odpadá pro řidiče povinnost mít ve vozidle rezervní kolo, což umožňuje zvětšit prostor zavazadelníku, snížit hmotnost vozidla, a tím také snížit spotřebu paliva. V současné době již tento typ pneumatik nabízí velké množství výrobců [39].

Tabulka 3 Přehled výrobců a obchodního označení pneumatik typu Run On Flat [39]

Výrobce	Obchodní označení
Bridgestone	RFT
Continental	SSR, CSR
Dunlop	DSST, ROF
GoodYear	EMT, ROF
Hankook	RunFlat
Michelin	ZP
Nokian	RunFlat
Pirelli	R/F, RUNFLAT
Vredestein	VRFC
Yokohama	Run Flat

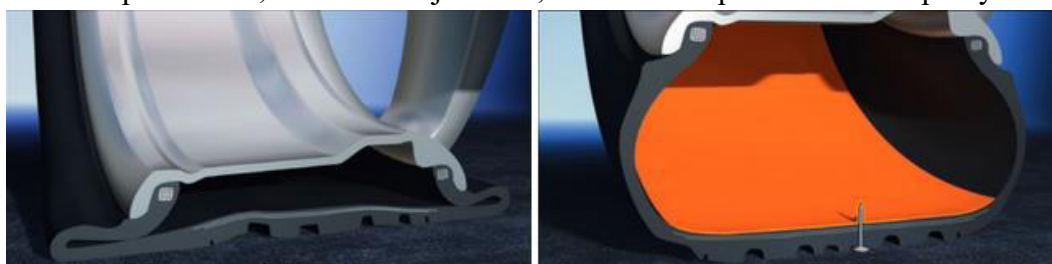
Dalším typem pneumatik, se kterým lze po defektu krátkodobě pokračovat v jízdě, jsou pneumatiky s označením PAX system. Použití těchto pneumatik je však omezené pouze na několik typů vozidel, pro které jsou homologovány. Tyto pneumatiky lze použít např. na vozidlech Audi A4, Renault Scenic, Bugatti Veyron, Rolls Royce Phantom. Jedná se o pneumatiky, které vyvinula společnost Michelin. Tento typ pneumatik je založen na použití pomocného prstence, na kterém jsou uchyceny patky pláště k ráčku kola, díky tomuto řešení je téměř



Obr. 9 Pax systém od Michelinu [40]

nemožné, aby došlo k vyzutí pneumatiky z disku kola, a to ani při úplné ztrátě tlaku v pneumatice. Toto řešení minimalizuje přechodovou zónu mezi patkou a boky pláště. Jízda po defektu je výrobcem doporučena na maximální vzdálenost 200 km, při maximální rychlosti 90 km/h [41].

Vývojem dojezdových pneumatik se také zabývala společnost Continental, která nazvala tuto technologii ContiSeal. Jedná se o pneumatiky, které se díky speciálnímu nátěru na vnitřní straně pláště dokáží po defektu sami zacelit. Výrobce pneumatik deklaruje tuto schopnost zacelení pro poškození o maximálním průměru 5 mm. Tato technologie je výjimečná tím, že není nutné po defektu navštívit pneuservis, ale zacelení je trvalé, a není nutné provádět další opravy.



Obr. 10 Ukázka defektu u pneumatiky běžné konstrukce a pneumatiky ContiSeal [42]

V současné době se výrobci pneumatik také zaměřili na vývoj a výrobu tzv. celoročních pneumatik, které tedy není během roku potřeba měnit a měly by být schopny plnit svoji funkci za jakýchkoliv povětrnostních podmínek během celého roku. Tento typ pneumatik se na trhu objevuje pod různými obchodními označeními.

Tabulka 4 Obchodní označení celoročních pneumatik u jednotlivých výrobců [43]

Continental	AllSeasonContact
Michelin	CrossClimate +
Goodyear	Vector 4 SeasonGen 2
Pirelli	Cinturato AllSeason
Bridgestone	All Weather A001
Nokian	Weatherproof
Hankook	Kinergy 4S
Kleber	Quadraxer 2
Nexen	Nblue 4Season

3.4.3 Formule Student

V průběhu měření dynamických parametrů na sportovním vozidle Dragon 7, byly použity speciální pneumatiky Continental C 17 205/470 R13. Tyto pneumatiky jsou výsledkem vývoje, na kterém se podílely týmy působící v soutěži Formula Student se společností Continental. Tyto pneumatiky jsou vyráběny ve dvou variantách. Jedná se o variantu určenou pro použití na suchém povrchu typu slick, tedy pneumatiky bez dezénových drážek na běhounu.

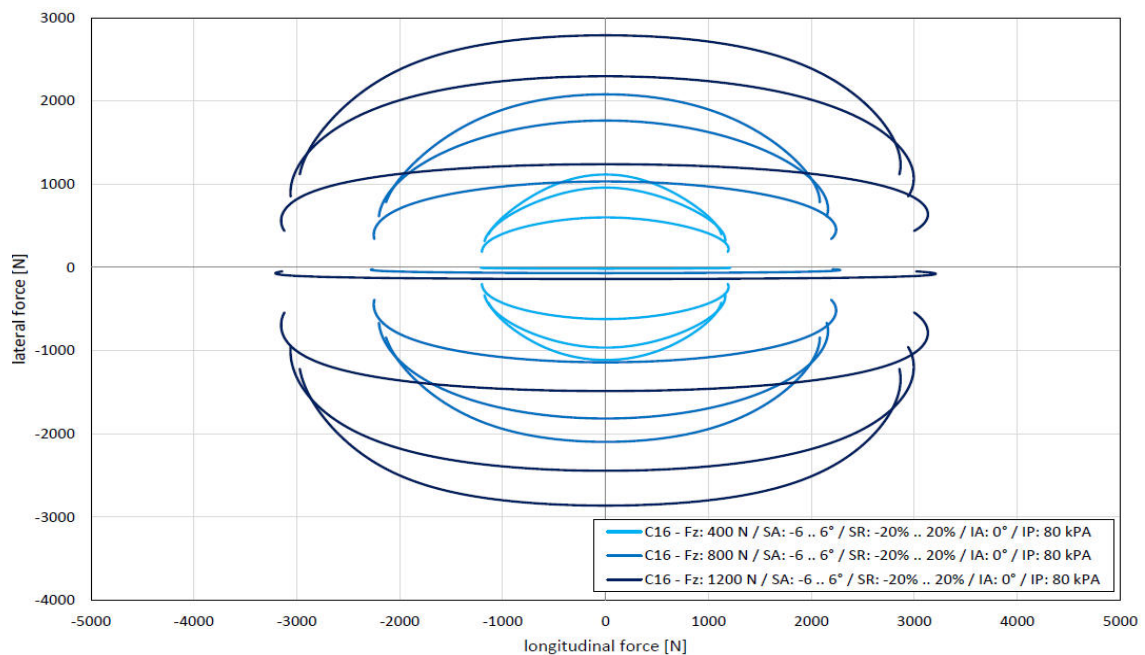


Obr. 12 Pneumatika na suchý povrch [Vlastní zdroj]



Obr. 11 Pneumatika na mokrý povrch [Vlastní zdroj]

Díky absenci vzorku je maximalizována styčná plocha mezi pneumatikou a vozovkou, která způsobuje lepší trakční vlastnosti. Pneumatiky tohoto typu bývají vyrobeny z měkkých směsí s větší přilnavostí. Tento typ pneumatik je však nevhodný pro použití na mokrém povrchu, jelikož nemá žádné dezénové drážky pro odvod vody, a jsou tedy velice náchylné k aquaplaningu. Druhým typem pneumatik jsou pneumatiky na mokrý povrch, které již mají dezénové drážky na běhounu. Výška dezénu činí u nových pneumatik 4,4 mm. Znovu se jedná o pneumatiky vyrobené z měkké směsi. Životnost těchto typů pneumatik závisí na stylu jízdy, ale v průměru se při pohybuje kolem 80–100 km.



Graf 5 Závislost adhezních vlastností pneumatik Continental C 17 205/470 R13 na zatížení [44]

3.5 BRZDY

Brzdová soustava vozidel slouží ke zpomalení nebo udržení vozidel v klidu. Velmi důležitou vlastností brzdového systému je souměrnost brzdného účinku na jednotlivých nápravách, která má velký vliv na stabilitu vozidel. Při samotném brzdění dochází k přeměně kinetické energie převážně na teplo. Brzdová soustava patří z hlediska bezpečnosti k nejdůležitějším, proto jsou minimální také parametry brzd legislativně ošetřeny. Veškeré brzdové soustavy, které jsou instalovány do vozidel, které jsou prodávány na evropském trhu, musí splňovat legislativní požadavky předpisu EHK č. 13, a zároveň musí být v souladu s aktuálně platnými nařízeními Rady ES. Na národní úrovni jsou pak parametry brzdových systémů upraveny vyhláškou č. 341/2002 Sb., o schvalování technické způsobilosti,

a o technických podmínkách provozu silničních vozidel na pozemních komunikacích [45].

Samotný brzdňý manévř je velice složitým procesem, který ovlivňuje hned několik faktorů. Před nástupem brzdňého účinku se hovořĩ o tzv. fázi prodlevy brzd, jedná se o časový úsek mezi reakcí lidského faktoru a počátku vykonání určité činnosti strojem. Následuje náběh brzdňého účinku, kdy již dochází ke zvyšování brzdňého tlaku, a tím i k nárůstu brzdňého účinku až na maximální dosažitelnou, případně požadovanou hodnotu. Pro účely analýzy silničních nehod jsou uvažovány hodnoty náběhu brzdňého účinku 0,2–0,4 s pro osobní vozidla. Jedná se o dosažení poloviční hodnoty maximálního brzdňého účinku. Další fází je fáze plného brzdňého zpomalení [16].

3.6 SYSTÉMY ODPRUŽENÍ A TLUMENÍ

Vzhledem k tomu, že odpružení a tlumení vozidel má velký vliv na dynamické vlastnosti, tak byla do práce zahrnuta tato kapitola, která stručně shrnuje funkce a vlastnosti odpružení a tlumení vozidel.

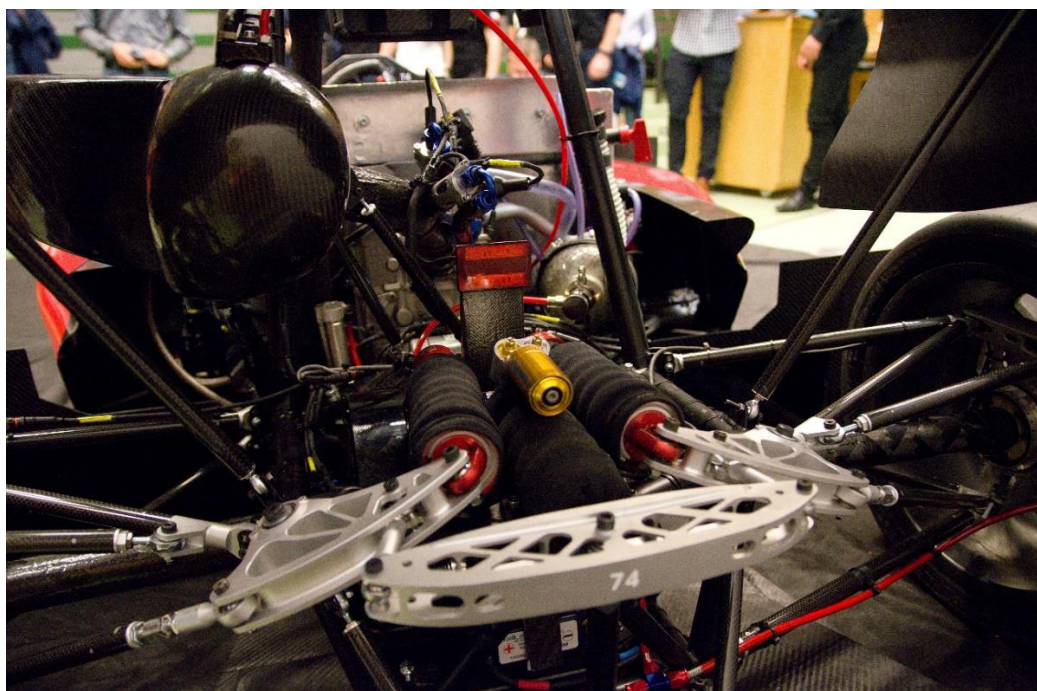
3.6.1 Odpružení vozidel

Jedná se o soubor prvků, které vytvářejĩ pružné spojení mezi nápravou a rámem karoserie. Mezi hlavní funkce odpružení patří izolace posádky a nákladu od nežádoucích otřesů, zajištění stálého styku mezi pneumatikou a vozovkou. Odpružení má tedy velký vliv na bezpečnost a jízdní vlastnosti. Odpružení vozidel pracuje na principu pružné deformace materiálu a kvalita odpružení se odvíjí od frekvence vlastních kmitů, která je závislá na tuhosti pružin a mění se v závislosti na zatížení vozidla. Při konstrukci vozidla je tedy důležité zajistit, aby byla frekvence kmitání byla v přijatelných mezích, jak u prázdného vozidla, tak i při plném zatížení, proto je důležitá progresivita průběhu odpružení. Kvalitu odpružení značně ovlivňuje poměr odpružené a neodpružené hmoty. Za neodpruženou hmotnost se považuje hmotnost součástí, které jsou umístěny po odpružení např. kola, uložení kol, části zavěšení, řízení, brzd. Naopak za odpruženou hmotu je označováno vše nad pružinami [37].

3.6.2 Tlumení vozidel

Z důvodu zamezení kmitání karoserie jsou na vozidlech používány tlumiče, které mají eliminovat kmitání po přejezdu nerovností. Samotné pružiny totiž mají pouze malý samo tlumící efekt, proto je nutné doplnit odpružení vozidel o tlumiče. Hlavním úkolem tlumičů je přeměna mechanické energie v jinou formu energie např. pomocí viskózního tření [37].

Úkolem tlumičů je také redukovat klopení a klonění vozidla, které má velký vliv na stabilitu vozidla v obloucích a při brzdění. U monopostu Dragon 7 se v průběhu sezóny několikrát projevil negativní vliv klonění na ovladatelnost vozu, kdy vlivem klonění došlo při brzdění ke ztrátě stability vlivem ztráty přítláčné síly. Vzájemná součinnost podvozkových dílů a aerodynamických prvků u sportovních vozidel jsou klíčové pro dynamické vlastnosti vozidla. Právě pro eliminaci klonění byly u nástupce monopostu Dragon 7 použity tři tlumiče na každé nápravě, které ve spolupráci s nově navrženou aerodynamikou mají pomoci k ještě lepším dynamickým vlastnostem nového monopostu Dragon 8.



Obr. 13 Tlumičový systém monopostu Dragon 8 [Vlastní zdroj]

3.7 AERODYNAMICKÉ PRVKY

Snahou konstruktérů je z jedné strany snižovat aerodynamický odpor vozidel, proti tomu však jde vždycky snaha o zvýšení přítláčné síly vozidla, která umožňuje řidiči využít vyšší adhezní síly, což vede k rychlejšímu průjezdu směrými oblouky. U moderních sportovních vozidel je tato problematika ošetřena aerodynamickými prvky s proměnlivou geometrií. Pro realizaci tohoto řešení jsou použity různé varianty. Základní řešení je založeno na manuálním nastavování úhlu natočení jednotlivých elementů, a na jejich následné fixaci.



Obr. 14 Detail konstrukce zadního elementu s možností měnit jeho nastavení [46]

Dále je možné využít funkci tzv. aktivních prvků např. servomotorů pro automatizaci a přesné nastavení polohy, které si může řidič sám ovládat. Nejsofistikovanějším způsobem je 100% automatizace změny geometrie natočení elementů, které na základě dat z řídicí jednotky vyhodnocuje situaci a upravuje polohu elementů. Tento systém je velice náročný na software a použité snímače, které musí predikovat chování řidiče a vozu. V případě špatného nastavení může dojít k náhlé ztrátě přítlaku a následné ztrátě adheze, která často vede ke kolizi.

Nástupce Dragonu 7, který byl oficiálně představen 4. 5. 2018, již využívá systému DRS (Drag Raduction System), který je známý u vozidel Formule 1. Funkcí tohoto systému je snižování vzdušného odporu na přímých úsecích závodních tratí, a díky tomu je možné dosahovat i vyšších rychlostí.



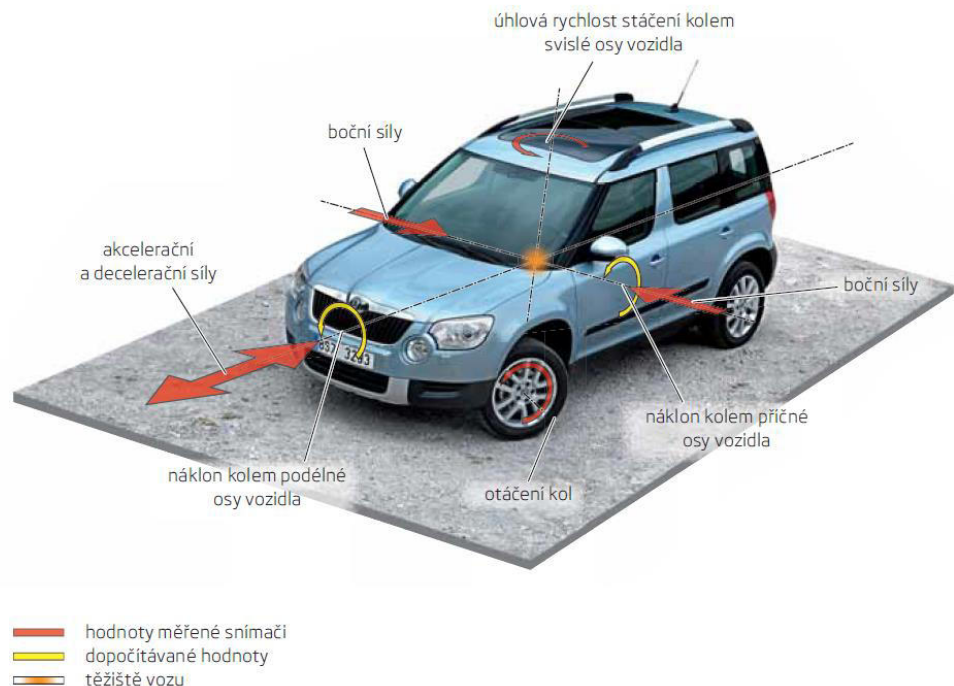
Obr. 15 Aerodynamický paket Dragonu 7 [46]

Kromě předního a zadního přitlačného křídla je velice důležitá i samotná podlaha vozidel. Velmi často se však na tuto skutečnost zapomíná při konstrukci konvenčních vozidel. Zajímavostí je, že pouze zlomek aerodynamických tunelů na světě dokáže simulovat proudění vzduchu právě pod podlahou vozidla a v oblasti odvalujících se kol.

4 ASISTENČNÍ SYSTÉMY

Úkolem asistenčních systémů je napomáhat řidiči i vozidlu při jízdě. Fungování asistenčních systémů je založeno na sběru a vyhodnocování velké spousty dat ze snímačů a řídicích jednotek. Současným trendem je neustálé zvyšování počtu senzorů a samotných asistenčních systémů, kdy již existují autonomní vozidla, jejichž provoz je primárně založen na vyhodnocování získaných dat o provozu, samotném vozidle, a následné reakci akčních členů [35].

Na základě informací ze snímačů je různými funkcemi systémů regulace prokluzu a asistenčních systémů vyhodnoceno, kterým směrem vozidlo akceleruje nebo zpomaluje, a zda se otáčí kolem své svislé osy. Regulační systémy mohou z těchto dat vyhodnotit skutečný směr pohybu vozidla, resp. síly které na vozidlo působí, a případně směr pohybu do jisté míry ovlivňovat. Jelikož tyto snímače reagují velmi citlivě, lze jejich pomocí identifikovat kritické jízdní situace již na samém počátku a provést tak příslušná opatření [35].



Obr. 16 Snímače asistenčních systémů [35]

Pro systém ABS jsou klíčové informace ze snímačů otáček a rychlostí kol. U systému ESP jsou dále využívány snímače zrychlení a úhlové rychlosti stáčení vozidla, pomocí kterých systém vyhodnocuje směr pohybu vozidla na základě působících setrvačných sil.

4.1.1 Brzdové a stabilizační systémy

Brzdové a stabilizační systémy, dále jen asistenční systémy, přispívají významnou měrou k vyšší bezpečnosti vozu. Tyto konstrukční části přímo ovlivňují funkci vozidla a jeho ovládání v silničním provozu. Jedná se jak o prvky hardwaru, tak stále se rozvíjejícího softwaru. Vzhledem k množství používaných asistenčních systémů je obtížné provést jejich přehledné rozčlenění, protože řada systémů je hierarchicky propojených, jiné pak tvoří různé stupně vývoje, případně jsou po stránce hardwaru a softwaru vzájemnými nástavbami, které představují doplnění existujících funkcí.

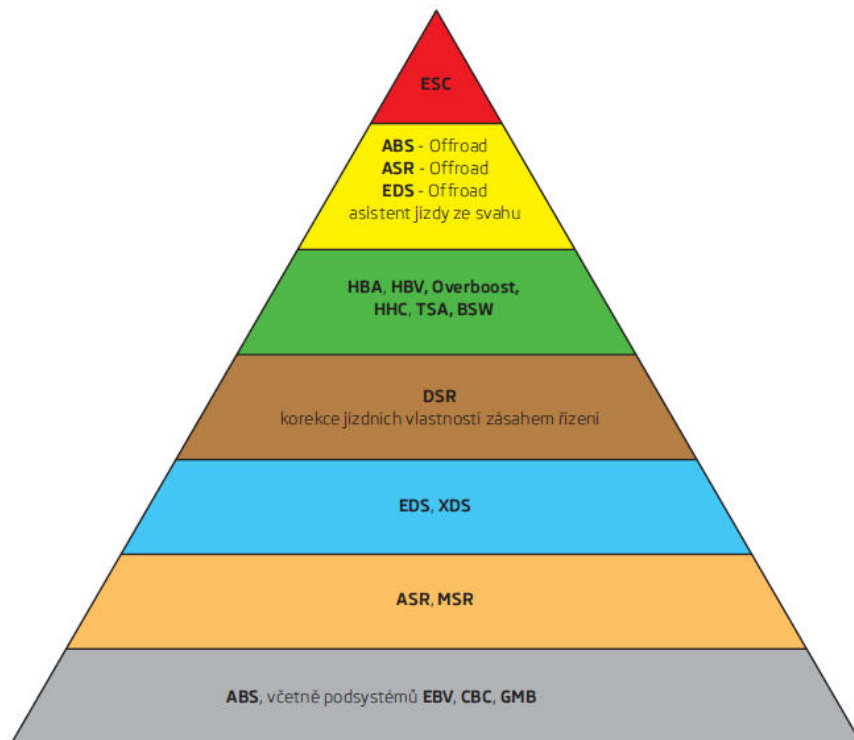
Tabulka 5 Rozdělení asistenčních systémů podle využití při jízdě [35]

ROZJEZD	JÍZDA	BRZDĚNÍ
EDS	XDS (RS)	ABS
ASR	ASR	- EBV
HHC	MSR	- CBC
	ESP	- GMB
	DSR	ESC
	TSA	HBA
	BSW	OVERBOOST
		HBV

Tabulka 6 Přehled brzdových a stabilizačních asistentů [35]

Rozdělení systémů			
Bezpečnostní systémy brzdové		Bezpečnostní systémy stabilizační	
ABS	Antiblokovací systém	ESC	Elektronická kontrola stability
EBV	Elektronické rozdělování brzdné síly na zadní nápravu	TSA	Stabilizace přivěsu
CBC	Rozšířená stabilizace při brzdění v zatáčce	S-ESC	Sensitivní stabilizační regulace
GMB	Rozšířená stabilizace při stáčení vozidla během brzdění	DSR	Korekce řízení při brzdění nebo přetáčení vozidla
MSR	Regulace brzdného momentu motoru		
HBA	Hydraulický brzdový asistent		
HBV	Hydraulické posílení brzdění		
FBS	(Overboost) Kompenzace brzdného účinku při vadnutí brzd		
Bezpečnostní systémy trakční		Pomocné	
ASR	Regulace prokluzu kol	HHC	Asistent rozjezdu do svahu
EDS	Elektronická uzávěrka diferenciálu	BSW	Systém vysušování brzdových kotoučů
XDS	Elektronicky řízená svornost diferenciálu	TPM	kontrola tlaku v pneumatikách
Offroad funkce			
Asistent pro sjíždění svahů			
ABS-OFFROAD	Antiblokovací systém pro brzdění		
ASR-OFFROAD	Regulace prokluzu pro jízdu		
EDS-OFFROAD	Elektronická uzávěrka diferenciálu		

Asistenční systémy lze rozčlenit např. podle užití v jednotlivých jízdních režimech, a to na rozjezd, jízdu a brzdění viz Tabulka 5. Mezi hlavní funkce asistenčních systémů patří zajištění říditelnosti, zvýšení stability, vylepšení trakce, zvýšení bezpečnosti a jízdního komfortu vozidel.



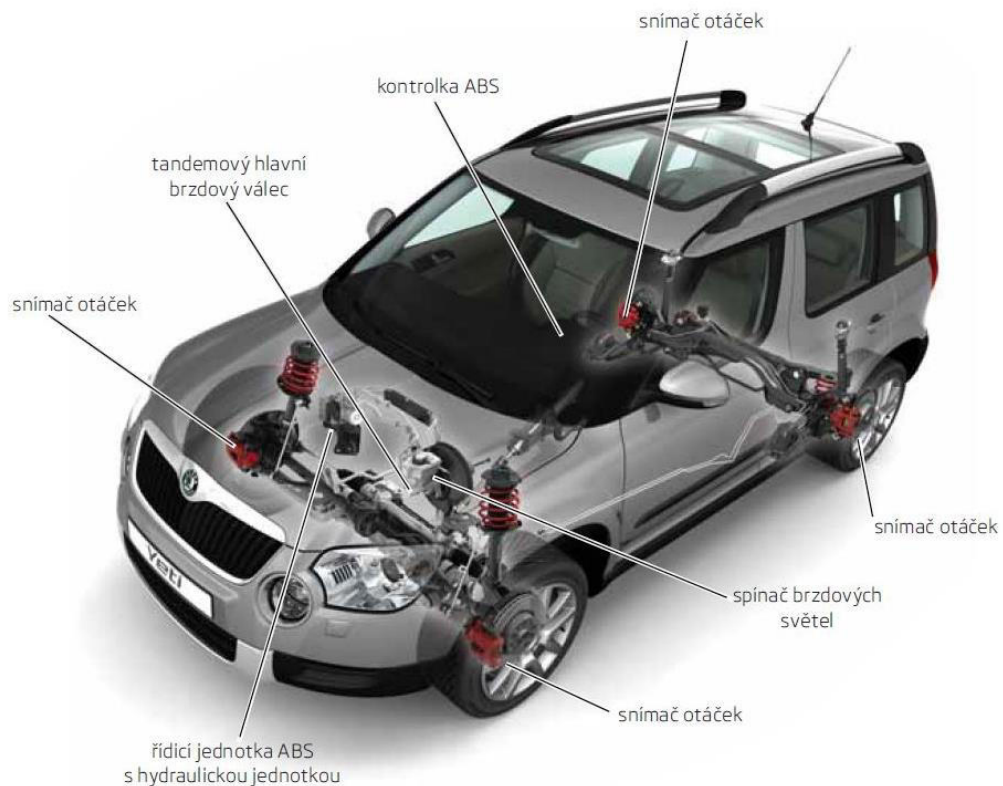
Obr. 17 Hierarchie asistenčních systémů [35]

- Systém ESC – zastřešuje všechny systémy regulace prokluzu a asistenční systémy
- Režim Offroad - podpůrné systémy pro jízdu po nebezpečném povrchu
- Podpůrné systémy zvyšující bezpečnost jízdy
- Systém pro korekci jízdních vlastností se zásahem do řízení
- Systémy s výhradním zásahem brzd (vyžadující systém ESC)
- Systémy s výhradním zásahem systému řízení motoru
- Systémy s výhradním zásahem brzd

4.1.2 Snímače pro regulaci jízdní dynamiky

Aby asistenční systémy mohly správně pracovat, a snižovat tak riziko kritických jízdních situací, příp. předcházet jejich vzniku, musejí mít k dispozici snímače, pomocí kterých mohou jízdní situace zaznamenávat. Jedná se zejména o snímače otáček kol, zrychlení, úhlové rychlosti stačení vozidla a úhlu natočení volantu, jež registrují skutečnou pozici vozidla na vozovce. Pro správné vyhodnocení kritických situací je nutné, aby byly systému dostupné ucelené informace o vozidle, proto jsou na vozech instalovány např. i snímače tlaku brzdové kapaliny v hlavním brzdovém válci, snímače polohy brzdového pedálu atd. Hlavním rozdílem mezi smysly člověka a snímači elektronických systémů je zrak. Ten člověku dává schopnost předvídat. U moderních vozidel je snaha tento

nedostatek elektronických systémů kompenzovat pomocí kamer a radarů. Většina elektronických systémů však reaguje pouze na aktuální, již vzniklý stav vozidla a snaží se snížit riziko kritické situace způsobené špatným úsudkem řidiče.



Obr. 18 Prvky asistenčního systému ABS [35]

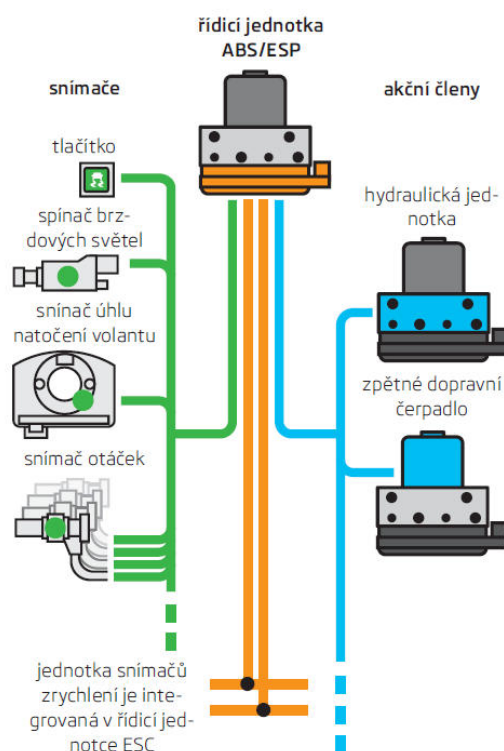
Snímače zpravidla převádějí fyzikální veličiny na elektrické veličiny. Pro bezvadnou souhru snímačů řídicí jednotky a ovladačů jsou určující následující předpoklady:

- Stálé a oboustranně zajišťující monitorování (redundantní)
- Necitlivost na okolní vlivy a provozem podmíněné účinky
- Trvalá funkční bezpečnost po dlouhou dobu

Právě při regulaci jízdní dynamiky (ESP) závisí bezpečnost posádky vozidla a jiných účastníků silniční dopravy na spolehlivosti snímačů. Proto byla vyhodnocena data obsáhlých jízdních zkoušek a jízdních simulací a z toho určeny požadavky pro snímače ESP. Přenášené veličiny musejí být spolehlivě snímány a přiváděny do řídicí jednotky během celé životnosti snímače. Jejich rychlé vyhodnocení a přesné reagování musí být možné v každé jízdní a provozní situaci s vysokou bezpečností [47].

4.1.3 Snímač stáčívé rychlosti

Snímač stáčívé rychlosti snímá stáčívý pohyb vozidla kolem jeho svislé osy, např. při běžném zatáčení, ale také při vybočování nebo smyku. Přístroje k měření stáčívé rychlosti se označují jako gyroskopy [47]



Obr. 19 Ukázka hierarchie snímačů asistenčních systémů [35]

4.1.4 Snímače úhlu natočení volantu

Znalost úhlu řízení umožňuje napřed vypočítat požadovaný směr jízdy vozidla. Snímače pro měření úhlů patří ke skupině pozičních snímačů. Podle úlohy měří pomocí kluzných kontaktů (např. potenciometr) nebo bezkontaktně (např. Hallův integrovaný obvod). Pro regulaci jízdní dynamiky existuje alternativně několik typů snímačů, které zjišťují úhel natočení volantu k zadání požadovaných hodnot. Se signálem těchto snímačů se nechají kalibrovat ostatní snímače. Snímač úhlu natočení volantu má pracovní oblast $\pm 720^\circ$. Toleranční oblast musí být během celkové životnosti menší než odchylka $\pm 5^\circ$. Snímač úhlu natočení volantu Bosch LWS1 pracuje se 14 Hallovými integrovanými obvody. IC měří krokově pomocí kódu absolutní úhel natočení volantu včetně počtu otáček. Princip měření integrovaného Hallova snímače je založeno na změně magnetického pole

permanentního magnetu. Rotující, magneticky měkkým kotoučem s výřezy, které odpovídají určitému číslicovému kódu, se mohou změřené hodnoty úhlu přímo předávat do číslicové jednotky jako digitální signál [47].

Snímač úhlu natočení volantu Bosch LWS3 využívá různé fyzikální vlastnosti krystalu, který má v rozdílných směrech magnetické tenké vrstvy (AMR – elementy, Anisotrop Magneto Resistiv = anizotropní magnetický odpor). Dvaimoduly AMR snímají otáčivé pohyby dvou ozubených kol, na kterých jsou umístěny magnety. Ozubená kola jsou poháněna vloženým kolem a ozubeným věncem, který je umístěn na hřídeli volantu, a který se otáčí při natáčení volantu. Výstupní signály ozubených kol jsou přijímány s velmi vysokým rozlišením. Ozubená kola pod AMR-elementy mají rozdílné počty zubů, a tímto rozdílem počtu zubů je také dáno měřítko pro úhel otáčení volantu. Toto provedení umožňuje, aby se zachoval absolutní úhel řízení (tedy počet otáček volantu), bezprostředně potom, co byl snímač napájen proudem. Tím není nutná registrace klidového stavu snímače. Protože oba AMR – elementy poskytují měřítko pro úhel natočení volantu, je snímač redundantní, tzn. samočinně se sledující. Funkční bezpečnost snímače LWS 3 je srovnatelná s LWS 1 [47].

4.1.5 Snímač bočního zrychlení

Pro měření zrychlení se využívá fyzikální efekt, že na zrychlované těleso působí setrvačná síla. Pokud tato tělesa nejsou upevněna tuhou vazbou, ale elasticky, potom se při účinku síly posunují. Výchylka je měřítkem pro zrychlení. Snímače zrychlení tedy fungují na několika principech. Prvním způsobem je měření pomocí Hallova snímače zrychlení, které funguje na principu výkyvného systému pružina hmoty. Při vychýlení dochází ke změně magnetického pole, které má vliv na hodnotu Hallova napětí. Dále existují mikromechanické křemíkové snímače, u kterých je výkyvný systém vyleptán do křemíkové destičky. Při působení zrychlení dochází k vychýlení z klidové polohy následně je měřena změna kapacity systému, která je úměrná právě zrychlení. Dalším způsobem pro měření zrychlení jsou piezoelektrické snímače, jsou tvořeny piezoelektrickým ohybovým prvkem. Vlivem působícího zrychlení dochází k ohybu, kdy na piezoelektrické vrstvě dochází k vzniku napětí, které je opět úměrné zrychlení [48].

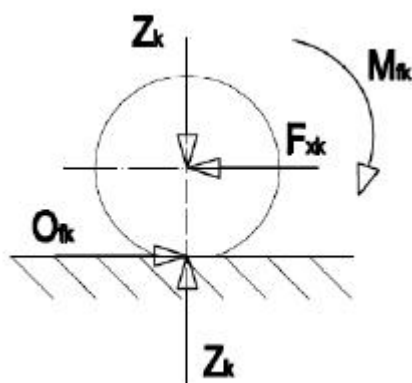
5 ZÁKLADY JÍZDNÍ DYNAMIKY

5.1 JÍZDNÍ ODPORY

Vzhledem k tomu, že dynamika vozidla je ovlivňována silami, které působí proti pohybu vozidla, tak je nutné se těmito silami zabývat, dále jsou tyto síly označovány jako jízdní odpory. V této kapitole jsou však uvedeny pouze odpory, které mohou ovlivnit průběh realizovaných jízdních zkoušek.

5.1.1 Odpor valivý

Vznik tohoto odporu má původ v deformaci pneumatiky a vozovky. V případě, že se vozidlo nachází na tuhé vozovce, pak dochází pouze k deformaci pneumatiky. Při valení pneumatiky dochází k elastické deformaci obvodu pneumatiky do roviny vozovky, a to v přední části pneumatiky ve směru valení. Následně v zadní části pneumatiky dochází k navrácení do původního kruhového tvaru pneumatiky. Vzhledem ke ztrátám v pneumatice způsobené přeměnou na teplo, je velikost síly působící při stlačování pneumatiky, větší než síly, kterými působí pneumatika na vozovku při navrácení do původního tvaru. Jedná se o jev, který se nazývá hystereze. Vlivem vyšších měrných tlaků v přední části pneumatiky je radiální reakce vozovky Z_k posunuta o hodnotu e před svislou osu kola.



Obr. 20 Silové poměry ve valícím se kole [47]

Pro hodnotu součinitele valivého odporu f_k je klíčovým faktorem povrch vozovky. Dále je ji ovlivňují deformace a rychlost kola. Při vysokých rychlostech dochází ke zvyšování valivého odporu vlivem rostoucích ztrát. Naopak u osobních vozidel při rychlostech do 80 km/h a nákladních vozidel do 50 km/h lze součinitel valivého odporu považovat za nezávislý na rychlosti jízdy [47].

Tabulka 7 Hodnoty součinitele odporu valení pro různé povrchy vozovek [47]

Povrch	f_k	Povrch	f_k
Asfalt	0,01 – 0,02	Travnatý terén	0,08 – 0,15
Beton	0,015 – 0,025	Hluboký písek	0,15 – 0,30
Dlažba	0,02 – 0,03	Čerstvý sníh	0,20 – 0,30
Makadam	0,03 – 0,04	Bahnitá půda	0,20 – 0,40
Polní cesta – suchá	0,04 – 0,15	Náledí	0,01 – 0,025
Polní cesta – mokrá	0,08 – 0,20		

5.1.2 Odpor vzdušný

Během jízd dochází k obtékání proudu vzduchu kolem vozidla. Proud vzduchu obtéká kolem horní části karosérie, avšak musí také být protlačen motorovým prostorem a mezi spodní částí vozidla a povrchem vozovky. Vlivem změny laminárního proudění na proudění turbulentní, které se projevuje víření proudu vzduchu za vozidlem.



Obr. 21 Simulace proudění vzduchu okolo vozidla [60]

Vlivem rozdílných tlaků nad a pod vozidlem dochází ke vzniku víření v příčné rovině vozidla. Celkový vzdušný odpor zahrnuje také odpory vznikající při průchodu chladicím zařízením, větracím systémem, a dále jsou uvažovány také odpory, které jsou způsobeny vířením a třením proudícího vzduchu o kola vozidla. Velikost vzdušného odporu závisí na hustotě vzduchu, součiniteli aerodynamického odporu, čelní ploše vozidla a druhé mocnině rychlosti. Vzhledem k tomu, že velký součinitel vzdušného odporu má za následek zvýšenou spotřebu paliva, tak při návrhu a vývoji je snahou konstruktérů snižovat tuto hodnotu. Velký vliv na celkový vzdušný odpor má tvar přídě a zádě vozidla. Často se však při návrhu zapomíná na proudění vzduchu mezi podvozkovými částmi vozu a samotnou vozovkou, avšak tato oblast má velký vliv na hodnotu zmiňovaného součinitele [47].

6 JÍZDNÍ ZKOUŠKY

Jízdní zkoušky jsou nedílnou součástí vývoje vozidel. Během jízdních zkoušek dochází k validaci dat získaných pomocí počítačových modelů a simulací, které jsou dnes nepostradatelnou součástí vývoje. Použití modelačních a simulačních softwarů totiž velmi zrychluje a zpřesňuje samotný proces vývoje. Hlavní výhodou je také ekonomické hledisko. Při jízdních zkouškách je důležité dodržovat zvolenou metodiku, aby byla měření objektivní a opakovatelná. Dodržováním metodiky lze také zajistit porovnatelnost jednotlivých modelů vůči sobě. Pokud by neexistovaly žádné metodiky pro měření, tak by bylo možné úmyslně ovlivňovat výsledky měření, které by pak nepřinášely skutečné informace o dynamických parametrech vozidel.

6.1 NORMY K JÍZDNÍM ZKOUŠKÁM

Metodiky pro realizace jízdních zkoušek jsou nejčastěji v normách, které mají za úkol zajistit opakovatelnost jednotlivých zkoušek. V rámci českých norem lze najít zmínku o problematice jízdních zkoušek v silniční dopravě u norem skupiny 30, oddíl 05 (ČSN 30 05xx). V normách jsou pak uvedeny požadavky na vozidla i samotné testovací tratě. Na problematiku měření zrychlení je např. zaměřena norma ČSN 30 05 56 z roku 1992. Tato norma udává, že je možné zrychlení měřit hned několika způsoby. V této normě jsou uvedena měření zrychlení pomocí maximální rychlosti, rozjezdu s řazením převodových stupňů, doby rozjezdu na zadané dráze, doby rozjezdu na zadanou rychlost. Udává také přípustné hodnoty pro povětrnostní podmínky, které výrazně nezkreslují výsledky měření. Nadefinovány jsou také podmínky pro sklony testovací tratě, který nesmí překročit 0,5 % v podélném a 3 % v příčném směru vozovky. V normě ČSN 30 05 56 je dále např. uvedena metodika pro dojezdové zkoušky silničních motorových vozidel.

Kromě národních norem se na dynamické vlastnosti vozidel zaměřují i normy mezinárodní. Např. metodika pro měření vyhybacího manévru je vymezena normou ISO 3888. Test ustálené jízda po kruhové dráze je upraven mezinárodní normou ISO 4138:2012. Brzdění v přímém směru s použitím ABS upravuje norma ISO 21944. Dále pak byly vydány směrnice a nařízení EHK, které se zaměřují na emise hluku při akceleraci, EHK 51. Nebo také nařízení EHK 89, které ošetřuje

měření rychlosti a zrychlení u vozidel s omezovačem rychlosti a uvádí způsoby, kterými lze zkoušky zrealizovat.

6.2 VYHÝBACÍ MANÉVR – LOSÍ TEST

Jedná se o test jízdní dynamiky ověřující boční stabilitu při vyhýbacím manévru. Tento test pocházející ze Švédska, kde se používá při testování vozidel již desítky let. Primárně se jimi zabývaly značky Volvo a Saab, které simulovaly srážky s různými druhy divoké zvěře. U menších druhů se potvrdilo, že pro řidiče je bezpečnější neuhýbat. Avšak při srážce s losem, který může mít hmotnost kolem 300 kg, dochází i u těchto značek, které jsou považovány za špičku, co se týká bezpečnosti, k deformacím střech a čelního skla. Při srážce totiž dochází k podražení nohou losa, který následným pádem na vozidlo značně ohrožuje bezpečnost posádky. Z těchto důvodů začaly automobilky realizovat losí testy, které simulují výhybný manévr proti střetu s losem [49].

Testy však nesimulují jen střet s losem, ale jakoukoliv náhle vzniklou překážku v jízdě. Popularita tohoto testu vzrostla po roce 1997, kdy novinář Robert Collin z automagazínu Teknikens Värld pomocí tohoto testu odhalil špatné jízdní vlastnosti Mercedesu třídy A. Během testování totiž došlo k převrácení tohoto modelu na střechnu při rychlosti 60 km/h. Po zveřejnění článků a videí musela automobilka Mercedes-Benz rychle zareagovat, aby odstranila nedostatky v konstrukci u nově uvedené třídy A. Jednalo se totiž o celosvětovou senzaci a pro Mercedes-Benz bylo velmi důležité si zachovat pověst prémiové značky. Automobilka musela zrealizovat svolávací akci pro 130 000 vozidel, u kterých aplikovala nápravná opatření. Ta spočívala ve snížení těžiště sériovým použitím 15“ kol, a především v instalaci stabilizačního systému ESP. Od roku 2014 je stabilizační systém ESP povinnou součástí všech nových osobních automobilů prodávaných v Evropě, avšak v 90. letech se jednalo o nákladný prvek luxusní výbavy. Lze tedy konstatovat, že losí test tak přispěl k rychlejšímu rozšíření tohoto prvku aktivní bezpečnosti [49].



Obr. 22 Mercedes-Benz třídy A po absolvování losího testu [50]

Losí test se provádí na suché vozovce s plně zatíženým vozidlem. Dopravní kužely nahrazují překážku a jsou uspořádány do koridoru. Testovací řidič musí provést rychlý vyhýbací manévr, objet první řadu kuželů a zařadit se zpět do původního jízdního pruhu. Zkouška se opakuje stále se zvyšující rychlostí, dokud automobil neshodí krajní kužely nebo nedostane smyk [49].

6.3 USTÁLENÉ ZATÁČENÍ

Tato zkouška patří mezi nejstarší metody zkoušení ovladatelnosti vozidel, jedná se jízdu konstantní rychlostí po kruhové dráze. V rámci měření se měří čas potřebný k projetí kruhu o stálém poloměru. U této zkoušky lze bez vysokých nároků na měřicí techniku změřit maximální boční zrychlení (meze smyku nebo překlopení) na určitém povrchu vozovky. Vedle maximálně dosažitelného bočního zrychlení je také zajímavé, jak se jednotlivé pohybové veličiny mění až k dosažení maximální hodnoty tzn. jejich průběh v závislosti na bočním zrychlení. Statickou říditelnost charakterizuje úhel natočení volantu, úhel směrového úchylky těžiště vozidla a úhly směrových úchylek přední a zadní nápravy [47].

Na základě průběhu závislosti úhlu natočení volantu na bočním zrychlení lze posoudit statickou říditelnost vozidla (nedotáčivost, přetáčivost). Vzhledem k nehomogenosti povrchu vozovky, nerovnostem a malým řídicím korekturám k dodržení kruhové dráhy vzniká rozptyl naměřených hodnot úhlu natočení volantu. Při průjezdu vozidla po kruhové dráze s konstantním natočením volantu dojde ke zmenšení kopírovaného poloměru vozidlem vlivem přerušování pohonu náprav, a to pomocí uvolnění akceleračního pedálu. Při provedení tohoto úkonu je přitížena

přední náprava, a naopak odlehčena náprava přední. Díky tomu vzroste boční vedení kol na přední nápravě vzhledem ke kolům zadní nápravy, což se projeví natočením vozidla směrem do zatáčky.

Další příčinnou zatáčení vozidla na menším poloměru je skutečnost, že při poklesu hnací síly vozidla se zmenší boční zrychlení, tzn., že při konstantním úhlu natočení volantu vzniká efekt přetáčivosti. Ubrání plynu má za následek pokles obvodových sil na hnacích kolech, čímž vzroste směrová tuhost této nápravy a dojde ke zmenšení směrové úchylky. U vozidel s předním pohonem pokles obvodové síly na řízených kolech může vést ke zmenšení vjíždění do zatáčky.

Jízdní manévr změna hnací síly při zatáčení simuluje situaci, kdy řidič při průjezdu směrovým obloukem náhle uvolní akcelerační pedál. Směrová odchylka vozidla při pohybu po kružnici na počátečním (ustáleném) bočním zrychlení, s jakým se vozidlo pohybovalo před změnou hnací síly. Zkouška se provádí tím způsobem, že vozidlo se pohybuje konstantní rychlostí s konstantním bočním zrychlením a postupně se zvyšuje až do maximální hodnoty. Reakce vozidla na změnu hnací síly se vyjadřuje rozdílem stáčivé rychlosti, který vyjadřuje rozdíl mezi stáčivou rychlostí zkoušeného vozidla a tzv. referenčním vozidlem v době 1 s po začátku působení poruchy. Referenční vozidlo je takové, které se při změně hnací síly pohybuje přesně po původní kruhové dráze [47].

7 PROJEKT FORMULA STUDENT

Jedná se o globální studentskou soutěž, která má původ v Anglii, kde byla založena v roce 1998. Tato soutěž je inspirována americkou soutěží Formula SAE, která vznikla v 80. letech. Myšlenkou tohoto projektu je komplexní vzdělávání, které spočívá v propojení teoretických znalostí s praktickými dovednostmi, které jsou často ve výuce na vysokých školách opomíjeny. Tento projekt poskytuje unikátní prostor pro sebevzdělávání, rozvoj inženýrských dovedností, získání zkušeností s moderními materiály, organizací výroby prototypových dílů, obchodními a vyjednávacími schopnosti, práci v mezinárodním prostředí, plánování a spolupráci v pracovním týmu. Do projektu je zapojeno 700 týmů z celého světa, které soutěží ve 3 kategoriích. Tradičními kategoriemi jsou spalovací a elektrické vozy a od roku 2017 nově vznikla kategorie vozidel bez řidiče. Během celého roku se koná po světě přibližně 18 oficiálních závodů, které jsou započítávány do světového hodnocení týmů. Umístění v soutěži se odvíjí od počtu získaných bodů během konání závodu. V rámci soutěže mohou týmy získat maximálně 1 000 bodů, které jsou rozděleny mezi jednotlivé disciplíny. Bodové rozdělení dílčích disciplín je uvedeno v tabulce 5 uvedené níže.

Tabulka 8 Bodové hodnocení jednotlivých disciplín [51]

	Disciplína	Maximální počet bodů
Statické disciplíny	Design prezentace	150
	Cost prezentace	100
	Business plan	75
Dynamické disciplíny	Akcelerace	75
	Skidpad	75
	Autokros	100
	Vytrvalostní závod	325
	Spotřeba paliva	100

Hlavním závodem sezóny je závod v Německu, kde se každoročně setkává na závodní trati cca 115 týmů, které se snaží prosadit ve velmi silné světové konkurenci. Tato soutěž je považována za neoficiální mistrovství světa. Probojovat se na tuto soutěž je snem každého týmu a členům týmu TU Brno Racing se daří této soutěže účastnit pravidelně. Vzhledem ke skvělému umístění v roce 2017 si tým zajistil účast i v dalším ročníku této unikátní soutěže.



Obr. 23 *Formula Student Germany* [52]

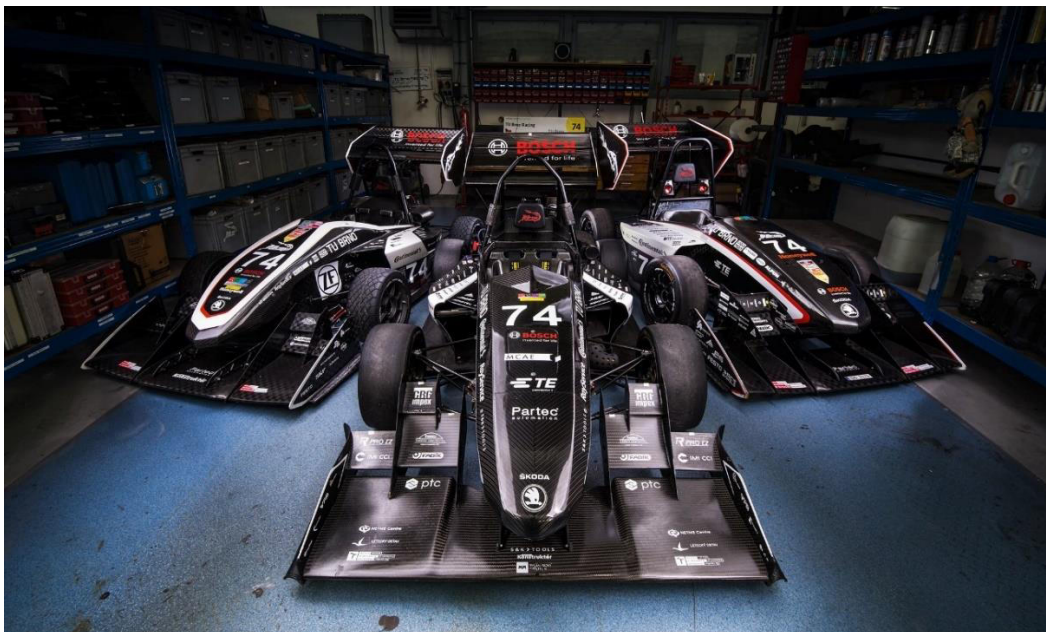
Úkolem každého týmu je vyrobit prototyp vozu formulového typu, který musí splňovat velmi přísná kritéria stanovená pravidly soutěže. Převážná většina pravidel se týká bezpečnosti řidiče, protože se jedná o výukový projekt. Vývoj a stavba vozu je značně limitována, jelikož musí proběhnout během cca 6 měsíců, aby tým měl k dispozici dostatečný čas pro testování vozu a hledání optimálního nastavení pro samotné závody. Na samotné závody pak týmy dále zpracovávají analýzy a studie, aby podložily svá konstrukční řešení na voze. Soutěž je totiž rozdělena na statické a dynamické disciplíny, které jsou bodově hodnoceny. Týmy tedy musí postavit rychlý a skvěle ovladatelný vůz, o kterém musí znát details návrhu dané sekce. Celou soutěž hodnotí inženýři z předních automobilových značek, závodních týmů, např. z Formule 1. Vzhledem k velmi krátké době na vývoj a výrobu je nezbytné, aby se v rámci týmu uchovávalo know-how, jelikož každoročně se týmy značně obměňují. Důležitou podmínkou pro účast na projektu Formula Student je studium bakalářského nebo magisterského stupně vysokoškolského studia, nikdo jiný nemůže být v rámci týmu angažován.

7.1 GENEZE MONOPOSTU DRAGON

Do projektu Formula Student se Vysoké učení technické v Brně zapojilo poprvé v roce 2010 pod názvem TU Brno Racing. Vývoj na monopostu, který byl podle brněnské legendy pojmenován Dragon, však probíhal už od roku 2000. Každý rok byla na monopostu provedena výrazná změna oproti předchozí generaci, kdy na prvních čtyřech generacích probíhaly změny hlavně na motoru, převodovce a podvozkových dílech. U páté generace vozu byl velkou změnou přechod z atmosférického jednoválce na turbodmychadlem přepíňovaný jednoválec.



Obr. 24 Geneze monopostu, zprava Dragon 1-5 [53]



Obr. 25 Monoposty Dragon 5-7 [53]

8 PRAKTICKÁ ČÁST

8.1 OBJEKTY MĚŘENÍ

Pro účely měření bylo vybráno vozidlo Dragon 7, která zastupuje segment sportovních vozidel a speciálů, které se mohou v provozu vyskytnout. Jako referenční vozidla byla zvolena velmi rozšířená vozidla Škoda, konkrétně se jednalo o model Superb III ve verzi sedan i kombi. Tato modelová řada je u řidičů velmi oblíbená a dlouhodobě patří mezi 4 nejprodávanější modely v ČR. Z tohoto důvodu existuje také velká pravděpodobnost, že právě tento model bude přítomen hned u řady dopravních nehod. Níže jsou uvedena bližší specifikace testovaných vozidel.

8.1.1 Dragon 7

Jedná se o speciál navržený pro účely soutěže Formula Student v sezóně 2016/2017, který se díky absolutnímu vítězství na závodě Formula Student Czech, výborným výsledkům na závodech v Maďarsku a Německu, stal nejúspěšnějším vozem v historii týmu TU Brno Racing. Celkově se týmu podařilo vypracovat s tímto vozem až na 5. místo ve světovém žebříčku. Na základě dynamických parametrů, kterými tento vůz disponuje, byl vybrán pro účely měření při vybraných jízdách situacích

Monopost Dragon 7 je poháněný jednoválcovým motorem, který vychází ze sériového motoru Husqvarna FE 501. Velkou konkurenční výhodou tohoto motoru je přeplňování pomocí turbodmyhadla, které bylo vyvinuto přímo pro tento vůz ve spolupráci se společností Honeywell. Hmotnost jednoválcového motoru s turbodmyhadlem dává vozu skvělý poměr hmotnosti a výkonu.

Generace Dragon 7 je specifická použitím odlišného typu rámu. kdy místo klasického rámu trubkového byl použit hybridní rám tvořený karbonovým monokokem, který je dnes používán např. u vozidel soutěže Formule 1 nebo LeMans, a zadního trubkového rámu. Tato změna měla napomoci ke snížení hmotnosti celého vozu, což je nejjednodušší způsob, jak vůz zrychlit. Dále velkou změnou prošla také lichoběžníková náprava, kde původní chrom-molybdenová ramena zavěšení byla nahrazena uhlíkovými trubkami s vlepenými hliníkovými úchyty. Klíčovou změnou pro dynamické vlastnosti vozu byla úprava

aerodynamického paketu, u kterého při snížení jeho hmotnosti došlo ke zvýšení přítláčné síly na 1250 N při rychlosti 80 km/h. Jedná se o meziroční nárůst přítláčné síly při jízdě v přímém směru o 35 %.



Obr. 26 Monopost Dragon 7 [53]

Technické parametry vozu:

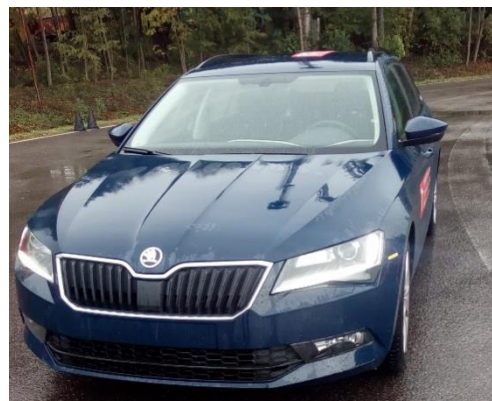
Motor:	Husquarna FE 510, přeplňovaný
Objem motoru:	510 ccm ³
Výkon motoru:	62 kW/10 500 min ⁻¹
Točivý moment:	72 Nm/4 500 min ⁻¹
Celková hmotnost:	186 kg
Maximální rychlost:	115 km/h
Rám:	Hybridní (mokonok z uhlíkových vláken + trubkový rám)
Převodovka:	Třístupňová
Diferenciál:	Drexler FSAE 2010
Tlumiče:	ZF FS 02
Kola:	OZ Formula Student Magnesium
Pneumatiky:	Continental C 17 205/470 R13
Palivo:	E85
Kapacita nádrže:	5,9 l
Spotřeba paliva:	25 l/100 km

8.1.2 Škoda Superb III

Pro účely referenčního měření byla použita vozidla Superb v provedení sedan a kombi, která byla zapůjčena od společnosti ŠKODA AUTO Česká republika. Vozidla byla vybavena zážehovým motorem 1,4 TSI o výkonu 110 kW, v provedení kombi motor spolupracoval s automatickou sedmistupňovou převodovkou, naopak vozidlo v provedení sedan bylo osazeno převodovkou manuální šestistupňovou.



Obr. 28 Verze sedan [Vlastní zdroj]



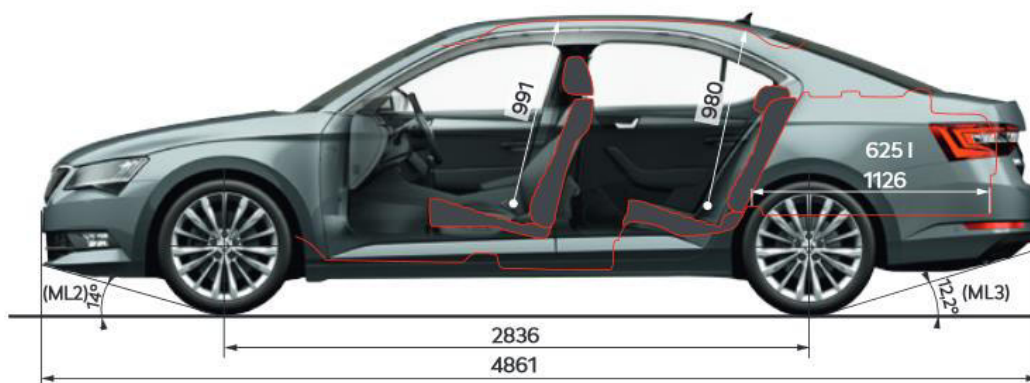
Obr. 27 Verze kombi [Vlastní zdroj]

Technické parametry verze sedan:

Motor:	TSI ACT
Objem motoru:	1 395 ccm ³
Výkon motoru:	110 kW/5 000–6 000 min ⁻¹
Točivý moment:	250 Nm/1 500–3 500 min ⁻¹
Celková hmotnost:	1988 kg
Maximální rychlost:	220 km/h
Palivo:	benzin, oktanové č. min. 95
Kombinovaná spotřeba paliva:	5,2 l/100 km



Obr. 29 Šířkové a výškové parametry Škody Superb III verze sedan [54]



Obr. 30 Délkové a úhlové parametry Škody Superb III verze sedan [54]

Technické parametry verze kombi:

Motor:	TSI ACT
Objem motoru:	1 395 ccm ³
Výkon motoru:	110 kW/5 000–6 000 min ⁻¹
Točivý moment:	250 Nm/1 500–3 500 min ⁻¹
Celková hmotnost:	2031 kg
Maximální rychlost:	218 km/h
Palivo:	benzin, oktanové č. min. 95
Kombinovaná spotřeba paliva:	5,2 l/100 km



Obr. 31 Šířkové a výškové parametry Škody Superb III verze kombi [54]



Obr. 32 Délkové a úhlové parametry Škody Superb III verze kombi [54]

Podvozek u vozidel Superb III:

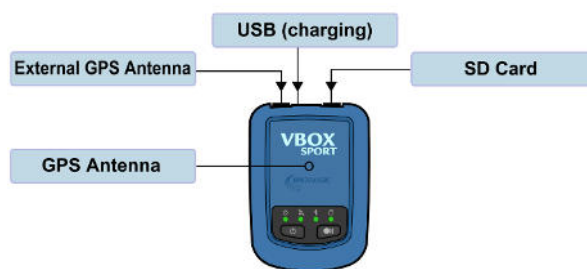
Přední náprava	typu McPherson se spodními trojúhelníkovými rameny a příčným zkrutným stabilizátorem
Zadní náprava	víceprvkové zavěšení s podélnými a příčnými rameny s příčným zkrutným stabilizátorem
Brzdy	kapalinové dvoukruhové, diagonálně propojené s podtlakovým posilovačem Dual Rate
- Přední	kotoučové s vnitřním chlazením kotoučů a jednopístovými třmeny
- Zadní	kotoučové [54].

Na obou vozidlech byly použity zimní pneumatiky Continental s produktovým označením ContiWinterContact. Verze sedan měla nazutou variantu TS 850 P o rozměrech 215/55 R17 94 H, a u provedení kombi byla použita varianta TS 830 P o rozměrech 234/45 R18 98 V. Naměřené hodnoty tlaku v pneumatikách a hloubky dezénu jsou uvedeny v tabulce č. 6.

8.2 POUŽITÁ MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ

Pro účely měření dynamických parametrů při vybraných jízdách byl zvolen VBOX Sport od společnosti Racelogic, který vzhledem ke svým rozměrům a rozmanitým možnostem uchycení na vozidla nejvíce vyhovoval potřebám měření. Při měření sportovního vozidla byla data o vozidle získávána v reálném, a to pomocí informací z řídicí jednotky vozu, která získávala záznamy z akcelerometru a gyroskopu umístěných ve vozidle. Záznam těchto dat probíhal s frekvencí 100 Hz, které byly následně zpracovány pomocí softwaru Life View.

Input	+5Volts only
Power	2.5W max (charging)
Operating temperature	-20°C to +55°C - 0°C to +45°C (whilst charging battery – charger will shut down outside this range)
IP rating	IP65 (with connector bungs fitted)
Size	104.5 x 72.8 x 25.1 mm
Weight	130g
Storage temperatur	-20°C to +60°C (max limits)



Obr. 33 Parametry zařízení VBOX Sport [55]

Toto zařízení funguje na základě získávání dat pomocí GPS systému, který snímá data s frekvencí 20 Hz s přesností 0,1 km/h a 0,5% G. Data jsou nahrávána na SD kartu, ze které lze data následně přesunout do PC, kde probíhá jejich zpracování pomocí softwaru VBOX Tools. Toto zařízení je napájeno pomocí vlastních baterií. Upevnění na formuli bylo realizováno pomocí speciálního suchého zipu, který byl přilepen k monopostu a samotnému zařízení.



Obr. 34 Vysílač telemetrie a VBOX Sport umístěný na formuli [Vlastní zdroj]

Ve vozidlech Superb bylo zařízení VBOX umístěno na předním skle pomocí přísavky, tak aby nedocházelo k rušení nebo stínění GPS signálu, na jehož základě zařízení funguje. Dalším důvodem pro umístění zařízení VBOX nad těžiště vozidla byla snaha eliminovat zkreslení samotných měření vlivem klopení vozu, ke kterému by však nemělo docházet díky měřicímu zařízení založeném na vyhodnocování dat z GPS signálu, kdy v průběhu měření bylo zařízení spojeno s 8–10 družicemi.



Obr. 35 Umístění zařízení VBOX Sport ve vozidle [59]

Tratě pro jízdni zkoušky byly vyznačeny kužely, jejichž poloha byla určena pomocí měřicího kolečka. Poloha jednotlivých kuželů byla také zanesena do GPS souřadnic, aby mohla být trať rychle opravena v případě významného poškození značení tratě. Průběh měření byl zaznamenáván na statickou kameru Panasonic HC-V700 umístěnou na stativu.



Obr. 36 Měřicí kolečko + kužely [Vlastní zdroj]

Data z vozidla Dragon 7 byla získávána na základě informací z řídicí jednotky, které byly ukládány do dataloggeru a posílány telemetrií zajištěné přes router. Aktuální data o voze bylo tedy možné sledovat na připojeném notebooku. Tato sledování dat se běžně používají během testování sportovních vozidel pro hledání optimálního nastavení vozu, komparaci řidičů a hledání ideálního řídicího stylu pro jednotlivé disciplíny a tratě.



Obr. 37 Řídicí jednotka + router [Vlastní zdroj]

8.3 METODIKA

Měření dynamických parametrů sportovního a konvenčního vozidla proběhla na dvou různých testovacích tratích, které však byly z hlediska povrchových vlastností srovnatelné. Měření byla realizována na volných vodorovných plochách, což umožňovalo řidičům dostávat se na limitní hodnoty, a současně byla zajištěna bezpečnost řidičů. Obě měření také proběhla za identických povětrnostních podmínek, kdy tratě byly mokré a samotná měření provázely dešťové přeháňky.

Každému měření předcházela kontrola trati a její očistění od listí a dalších nečistot, které by mohly zkreslit výsledky měření nebo také ohrozit bezpečnost řidiče, případně dalších účastníků měření. Následně byly postupně připravovány jednotlivé tratě pro realizaci měření. K vymezení tratí bylo použito měřicí kolečko, pomocí kterého byly naměřeny hlavní body tratě a následně byly testovací tratě vyznačeny pomocí kuželů. Pozice kuželů byly vyznačeny barevným sprejem na samotný povrch tratě, aby v případě kontaktu vozu s kuzelem byla zajištěna rychlá opravitelnost tratě, a také aby byla zajištěna snadná detekce vzájemného kontaktu vozidla s kuzelem.

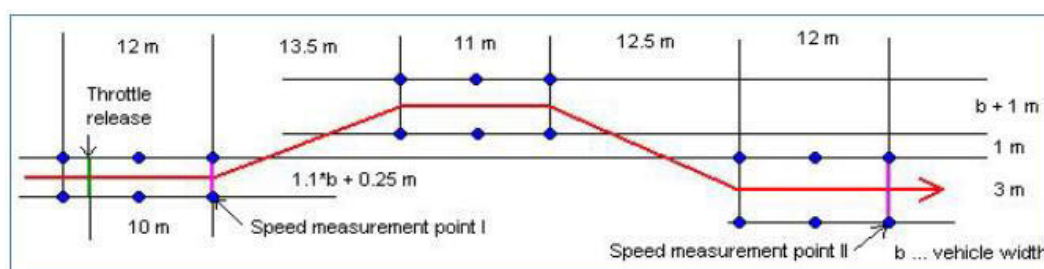
Pro účely měření s Dragonem 7 byli vybráni zkušení závodní řidiči, kteří byli speciálně vycvičeni pro jízdu s tímto monopostem, se kterým už měli absolvovanou velmi úspěšnou sezónu v rámci globální soutěže Formula Student. Řidiči formule Dragon 7 byly vybaveni speciálním nehořlavým prádlem, botami, rukavice a závodní helmou, které úspěšně prošly homologačními zkouškami. Pro vyšší bezpečnost řidičů je vozidlo vybaveno šestibodovými pásy, a dále museli řidiči opakovaně prokázat, že jsou schopni vůz opustit do pěti sekund, přesně jak to ukládají pravidla soutěže Formula Student. Řidiči konvenčních vozidel, pak byli zkušení experti z Ústavu soudního inženýrství z Vysokého učení technického v Brně, kteří měli již četné zkušenosti z provádění zkoušek jízdní dynamiky silničních vozidel. Vzhledem k využití zkušených řidičů bylo možné se přiblížit až k limitním hodnotám měřených vozidel. Zahájení každého pokusu v rámci jednotlivých měření záviselo pouze na volbě řidiče, aby nebyla měření zatížena chybou způsobenou pozdní reakcí řidiče na startovací signál.

Během měření na polygonu v Kopřivnici a v Brně na výstavišti bylo nashromážděno přibližně 70 Gb dat, která musela být nejprve roztríděna podle jednotlivých testů a vozidel. Následovalo třídění dat podle platných pokusů, které splňovaly nastavené podmínky pro úspěšné absolvování pomocí pořízených videozáznamů. Poté následovalo vyhodnocování a zpracování dat. Při vyhodnocování pomocí softwaru VBOX Tools bylo možné zobrazit absolvovanou trať v rámci jednotlivých měření. V rámci grafů, vyhotovených pomocí tohoto softwaru, lze pozorovat vývoj rychlosti, bočního a podélného zrychlení. Červená křivka v grafech reprezentuje rychlost v km/h, zelená boční zrychlení v m/s^2 a modrá křivka pak zrychlení podélné v m/s^2 .

V průběhu vyhodnocování dat z měřicího zařízení VBOX Sport bylo objeveno několik záznamů měření, které obsahovaly nerelevantní data, kdy např. došlo ke skokovému zvýšení rychlosti vozidla z 80 km/h na 300 km/h.

8.3.1 Vyhýbací manévr – Losí test

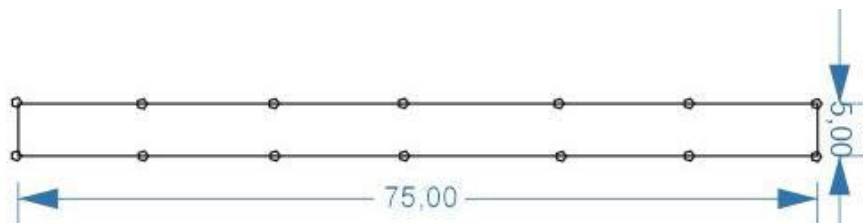
Měření akcelerace vycházelo z normovaného testu podle ISO 3888-2. Jedinou odlišností byla realizace testu na mokré vozovce, tedy za snížených adhezních podmínek. Vozidlo vjíždělo na trať konstantní rychlostí, která byla po úspěšném absolvování postupně navyšována až na hranici, kdy řidič nebyl schopen zrealizovat vyhýbný manévr bez kontaktu s kužely, kterými byla trať vyznačena. Jakýkoliv kontakt s kuželem nebo vyjetí z vyznačené dráhy znamenalo neplatný pokus. V průběhu měření vyhýbacích manévru byly sledovány hodnoty bočního zrychlení a maximální rychlost, kterou bylo možné s jednotlivými vozidly projet vyznačenou trať. Samotná šířka tratě byla u měření s vozidly Superb rozdílná od měření s monopostem Dragon 7, kdy se šířka tratě odvíjí od samotné šířky vozidla. Samotné rozměry a vztahy pro výpočet šířky tratě jsou uvedeny na obrázku č. 38. V uvedených vztazích pak písmeno b reprezentuje šířku vozidla.



Obr. 38 Trať pro měření vyhýbacího manévru [56]

8.3.2 Akcelerace na 75 m s následným brzděním

Pro měření akcelerace byla použita metodika z oficiálních pravidel soutěže Formula Student. Jedná se o akceleraci v přímém směru na trati o délce 75 m a šířce 5 m, která je vyznačena kužely. Před každým startem byla provedena vizuální kontrola stavu vozidla a dále byl 100% stav vozidla ověřen pomocí dat získaných pomocí telemetrie. Tato jízdní zkouška byla navíc rozšířena o prudké brzdění na konci 75 m tratě.

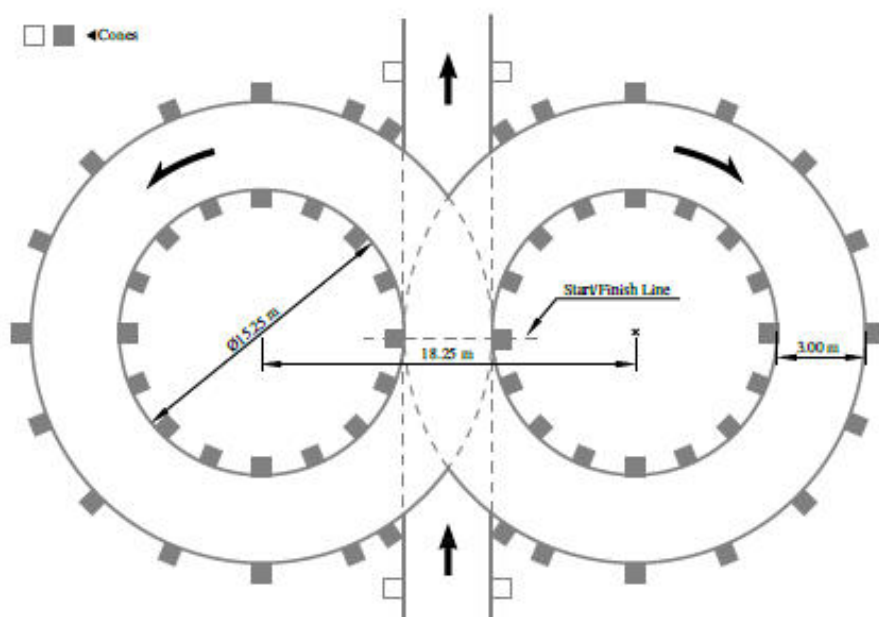


Obr. 39 *Trat' akcelerace [Vlastní zdroj]*

Před každým měřením byla z bezpečnostních důvodů znovu provedena prohlídka trati. Kolem které byli přítomni členové testovacího týmu, kteří byli vybaveni žlutými vlajkami, kterými by v případě vzniklého problému na trati informovali řidiče a další členy týmu pomocí zdvižení této vlajky. Kromě vlajek byli také členové týmu vybaveni hasicími přístroji, pro případ, že by došlo k poruše vozu, která by byla spojena se vznikem požáru. Do samotného měření bylo tedy zapojeno 7 lidí, kteří dohlíželi na bezpečnost, obsluhovali záznamová zařízení, prováděli kontrolu stavu vozidla a správný průběh měření akcelerace. Po confirmaci připravenosti všech členů týmu byla zapnuta měřicí a záznamová technika. Následně dostal řidič pokyn, že je vše v pořádku a mohl tak zahájit akceleraci. Během akcelerace bylo měřeno podélné zrychlení vozidla, čas potřebný na projetí stanovené tratě, maximální brzdné zpomalení a maximální dosažená rychlost.

8.3.3 Kruhová zkouška

Pro účely měření kruhové zkoušky byla upravena metodika z oficiálních pravidel soutěže Formula Student pro disciplínu Skidpad. Snahou této jízdní zkoušky je najít maximální rychlost a boční zrychlení, kterého lze dosáhnout na kruhové trati, a to bez opuštění vytyčené tratě. Pro účely měření kruhové zkoušky s monopostem Dragon byla zachována trať o průměr vnitřního kruhu 15,25 m. Testovací trať o šířce 3 m byla po obvodu celé dráhy vytyčena kužely. Do měření bylo zahrnuto pouze měření jízdy na jednom kruhu, aby byla zajištěna porovnatelnost se zkouškami zrealizovanými na konvenčních vozidlech. V rámci měření na osobních vozidlech byla zrealizována měření na kruhové dráze s vnitřním průměrem 20 m a 40 m. Šířka zkušební dráhy byla 3,5 m, kdy kužely byly pravidelně rozmístěny pouze po vnitřním obvodu. V rámci měření byly sledovány hodnoty příčného a podélného zrychlení, a také rychlosti jakých bylo možné v rámci těchto měření dosáhnout.



Obr. 40 Oficiální dráha pro disciplínu Skidpad [51]

8.4 BRNĚNSKÉ VÝSTAVIŠTĚ

Datum měření: 22. 10. 2017

Teplota vzduchu: 10,2 °C

Tlak vzduchu: 1015,8 hPa

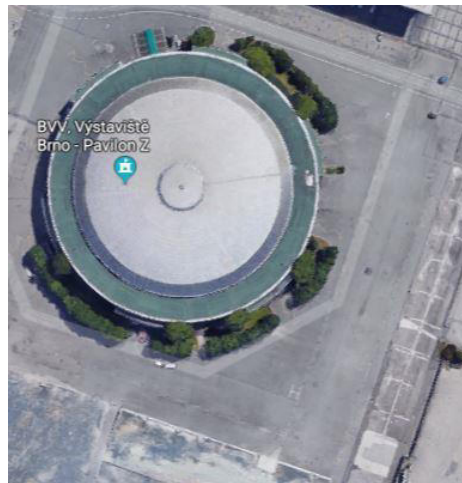
Tlak vzduchu v pneumatikách: 60 kPa

Řidiči: závodní jezdci

Povětrnostní podmínky: dešťové přeháňky, mokrá vozovka



Obr. 42 Povrch tratí na brněnském výstavišti [Vlastní zdroj]



Obr. 41 Plocha na brněnském výstavišti [57]

Ve spolupráci se společností Veletrhy Brno byla zrealizována měření s monopostem Dragon 7 na brněnském výstavišti. V rámci testovacích jízd proběhla série měření, která měla za úkol poskytnout data o bočním a podélném zrychlení vozidla, dosažitelné rychlosti na 75m úseku a dosažitelné zpomalení. Stěžejním měřením pak byla realizace losích testů. V řízení se střídali dva závodní jezdci, kteří byli na jízdu s tímto vozem speciálně proškoleni. Měření asistovali členové týmu TU Brno Racing, kteří zajišťovali nastavení vozu a kontrolovali bezpečnost celého průběhu měření. Jednotlivé tratě byly postaveny u pavilonu Z, kde byl prostor pro realizaci měření. Na vozidle byly použity pneumatiky na mokrý povrch s výškou dezénu 3,9 mm, po uskutečnění měření byla naměřena výška dezénu 3,5 mm. Pneumatiky byly nahuštěny na výrobcem předepsaný tlak 60 kPa.

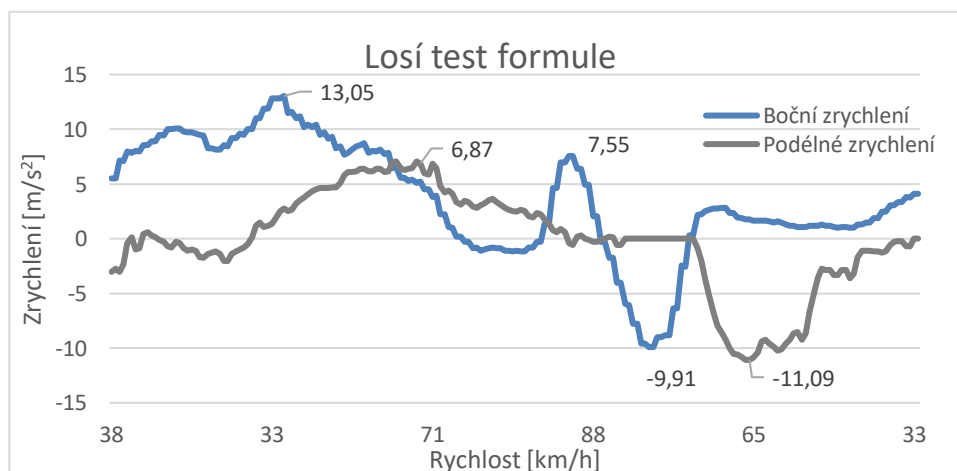
8.4.1 Vyhýbací manévr – Losí test

Měření vyhýbacího manévru bylo realizováno na dráze zobrazené na obrázku níže, na kterém je zachycena také pozice statické kamery. Úkolem řidiče bylo snažit se udržet konstantní rychlost při realizaci vyhýbacích manévrů, nejdůležitější však byla rychlost nájezdová. První měření začínalo na rychlosti 70 km/h, a následně byla rychlost postupně zvyšována až na hodnotu 90 km/h.



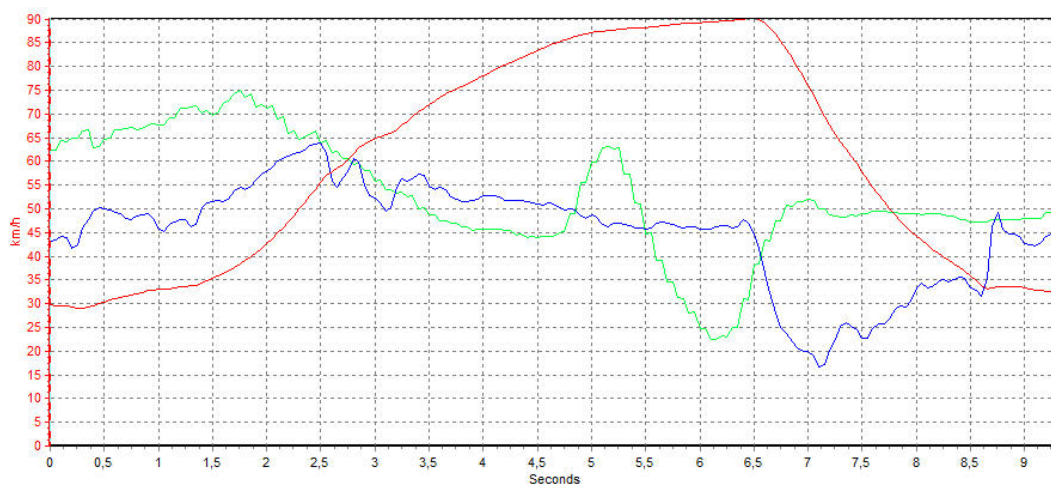
Obr. 43 Dráha na losí test + pozice kamery [Vlastní zdroj]

V rámci měření bylo zrealizováno 10 zkušebních jízd, které byly zaznamenány na videokameru, a následně proběhly analýzy realizovaných jízd, aby byla ověřena platnost jednotlivých pokusů. V rámci měření se podařilo s Dragonem7 úspěšně absolvovat trať při maximální rychlosti 88 km/h.



Graf 6 Vývoj zrychlení a zpomalení při losím testu formule [Vlastní zdroj]

V průběhu měření vyhýbacího manévru bylo dosaženo při prvním vyhýbacím manévru bočního zrychlení $7,55 \text{ m/s}^2$, a následně pak $9,91 \text{ m/s}^2$ při druhém vyhýbacím manévru. Na vozidle nebyly znát žádné problémy se stabilitou, k neúspěšným pokusům docházelo pouze vlivem sražení kužele. Pokud by byl dán řidičům dostatečný čas pro trénink této tratě, tak by bylo možné se s tímto vozidlem dostat přes maximální hranici 90 km/h .



Graf 7 Losí test formule při hraničním pokusu [Vlastní zdroj]

Pro přehlednost byl zařazen graf zachycující vývoj zrychlení a zpomalení v čase, a také vývoj rychlosti v průběhu celého testu.



Obr. 44 Dragon 7 před druhým vyhýbacím manévrem [Vlastní zdroj]

8.4.2 Akcelerace s následným brzděním

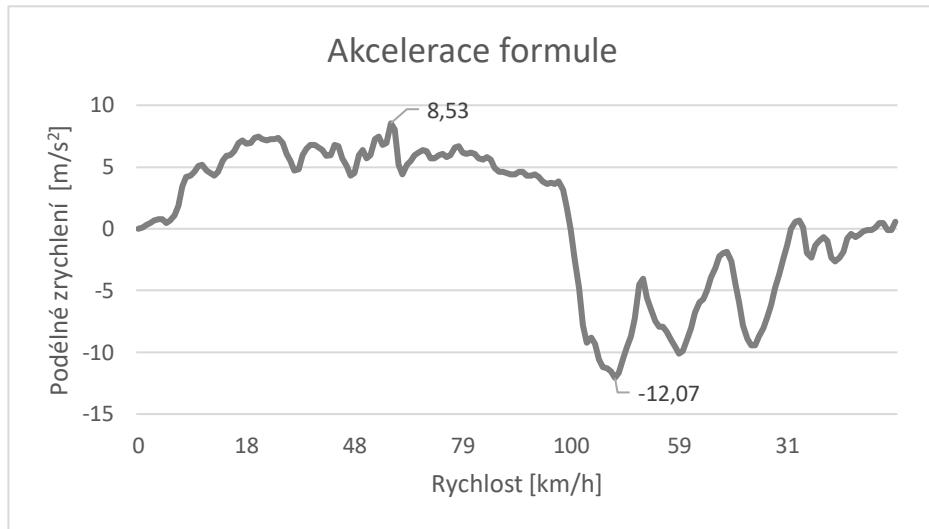
Pro účely měření byla vyznačena trať za pavilon Z, kde proběhla všechna měření akcelerace s následným brzděním s monopostem Dragon 7. S ohledem na bezpečnost řidičů bylo realizováno měření dosažitelného brzdného zpomalení při krizové brzděním pouze do rychlosti cca 20 km/h, kdy následně řidič uvolnil brzdový pedál a byl nucen prostorovými podmínkami zatočit vozidlo. Z měření lze tedy zjistit dosažené maximální brzdné zpomalení, hodnotu adheze, podélné zrychlení a maximální rychlost dosaženou 75m úseku.



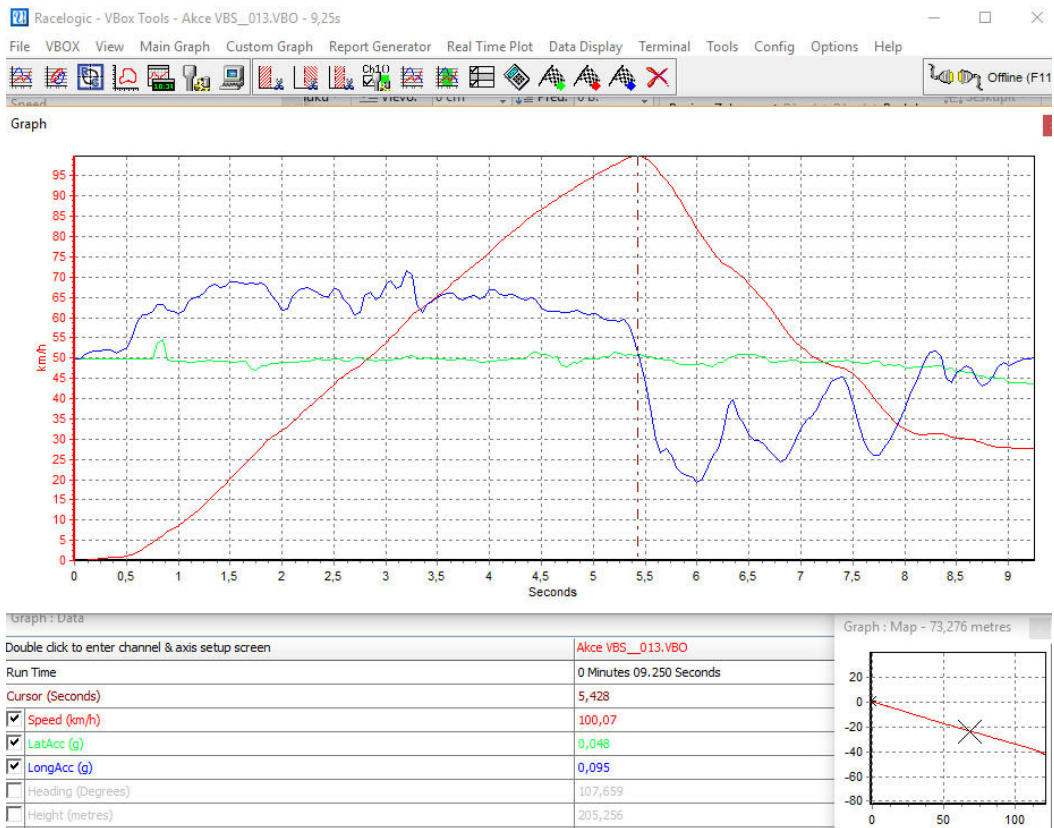
Obr. 45 *Dráha připravená pro realizaci akceleračních testů [Vlastní zdroj]*

Během vyhodnocování bylo zjištěno, že vozidlo nejprve vlivem vysokého točivého momentu a snížených adhezních podmínek, docházelo cca 0,2 s k prokluzu kol. Rozdíl mezi měření 1 a 2 vznikl z důvodu příčného

pohybu v okamžiku, kdy se kola dostala do záběru. Jinak v průběhu dalších měření již k tomuto nedocházelo a hodnota příčného zrychlení byla téměř nulová.



Graf 8 Vývoj podélného zrychlení při akceleraci formule [Vlastní zdroj]



Graf 9 Akcelerace formule při dosažení maximální rychlosti [Vlastní zdroj]

Pomocí použitého softwaru VBOX Tools bylo možné při analýze dat synchronizovat data s polohou na trati. K analýze byly dále použity pořízené videozáznamy.

V rámci měření č.2 došlo při brzdění k blokování kol, kdy došlo také ke ztrátě adheze, která byla způsobena zatočením volantu pro odvrácení vjetí do nahromaděné vody na konci tratě pro měření akcelerace. Hranice adheze je pohybovala kolem hodnoty 1,39, při prudkém brzdění se tedy řidič Dragonu 7 pohyboval na hranici dosažitelné adheze. Rozdíly v celkových časech jsou dány zejména mírou prokluzu na počátku akcelerace.

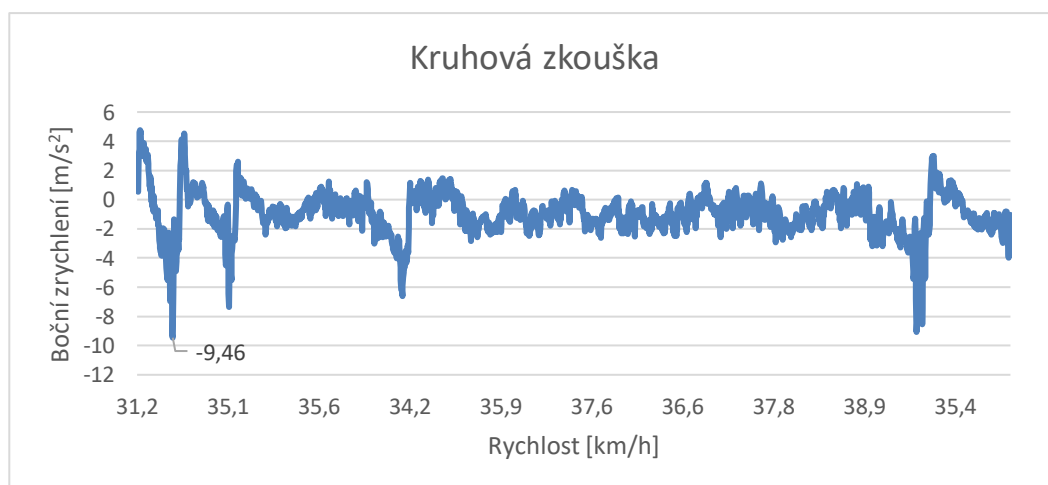
Tabulka 9 Výsledky měření akcelerace Dragonu 7 [Vlastní zdroj]

Měření	Čas [s]	Maximální rychlost [km/h]	Podélné zrychlení [m/s ²]	Maximální brzdné zpomalení [m/s ²]
1	5,9	91,3	6,87	13,73
2	5,8	96,3	6,87	13,73
3	5,5	100,5	8,53	11,77
4	5,8	95,2	7,26	11,18

Na brněnském výstavišti byly celkem zrealizovány 4 měření akceleračního testu s následným prudkým brzděním.

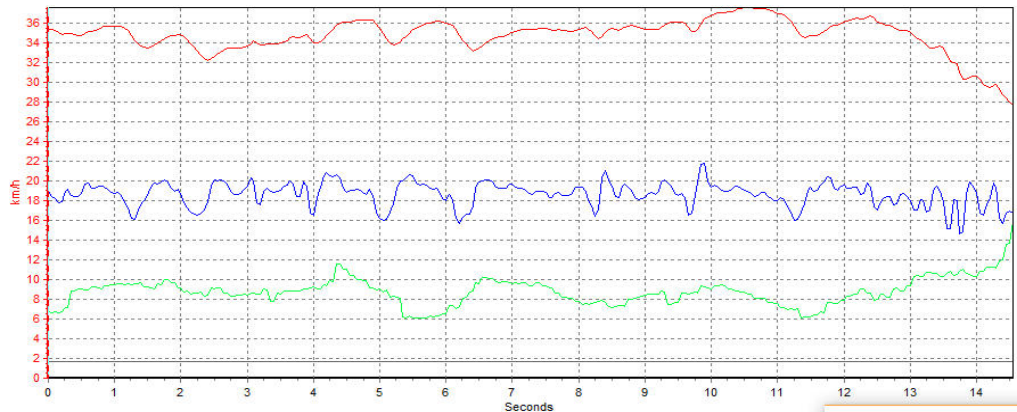
8.4.3 Kruhová zkouška

Kruhová zkouška byla realizována na kruhové dráze o vnitřním průměru 15,25 m, jak udávají oficiální pravidla soutěže Formula Student. Z bezpečnostních důvodů, a také s ohledem na prostorového omezení testovací trati, nebylo možné provádět kruhovou zkoušku na větším poloměru. Vzhledem k tomu, že je tato zkouška je jednou z disciplín soutěže, pro kterou je vůz konstruován, tak se očekávalo, že naměřené hodnoty budou výrazně lepší než u konvenčních vozidel.



Graf 10 Vývoj příčného zrychlení při kruhové zkoušce formule [Vlastní zdroj]

Při kruhových zkouškách bylo dosahováno maximálních hodnot adheze 1,34 a 1,35. V průběhu třetího kola bylo dosažena maximální rychlosti 38,9 km/h na kruhové trati o průměru 15,25 m. Průměrná rychlost při kruhové zkoušce byla 36,4 km/h.



Graf 11 Kruhové zkoušky zachycené v softwaru VBOX Tools [Vlastní zdroj]

Kromě výše uvedených testů jízdní dynamiky bylo v rámci měření na výstavišti v Brně provedeno také měření teplot pneumatik během jízdy na celé jejich šířce. Pro účely tohoto měření byly vyrobeny speciální přípravky, ve kterých byly nainstalovány snímače teploty. Z výsledků měření však bylo patrné, že na mokré vozovce se pneumatiky ochlazují takovým způsobem, že nebylo možné zaznamenat žádné relevantní hodnoty ohledně zahřívání pneumatik z tohoto měření.

8.5 POLYGON KOPŘIVNICE

Datum měření: 10. 10. 2017

Teplota vzduchu: 13 °C

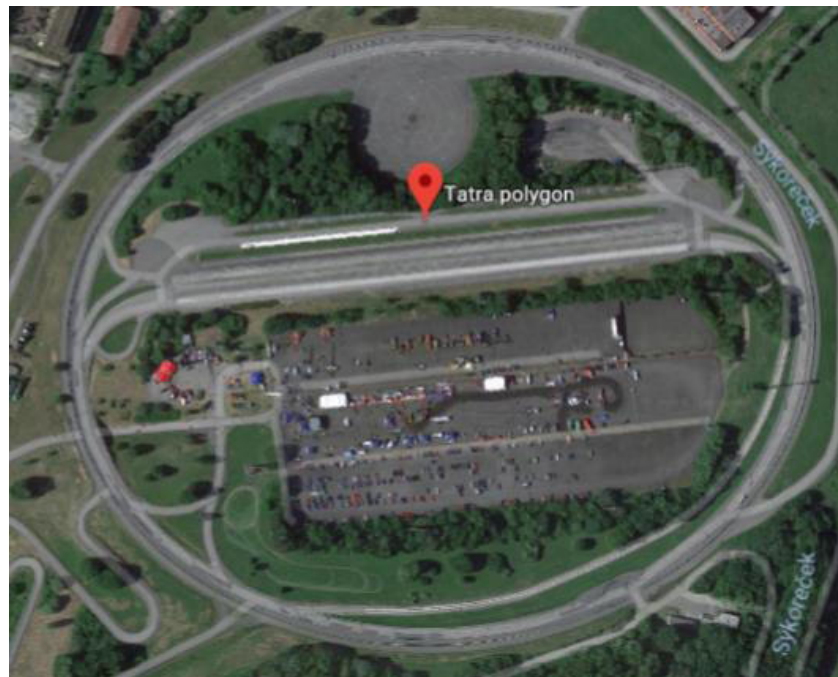
Řidiči: zkušební řidiči

Povětrnostní podmínky: dešťové přeháňky, mokrá vozovka



Obr. 46 Povrch zkušební tratě v Kopřivnici [Vlastní zdroj]

Měření na polygonu v Kopřivnici proběhlo v rámci spolupráce se společností TATRA TRUCKS a.s., která propůjčila testovací plochy pro realizaci měření. Měření probíhala na vozech Škoda Superb III, a to jak verze sedan, tak i kombi. Samotná měření zastřešoval tým odborníků z Ústavu soudního inženýrství VUT v Brně. Podmínky měření byly identické s podmínkami při měření dynamických parametrů, které proběhlo následně na výstavišti v Brně.



Obr. 47 Polygon v Kopřivnici [58]

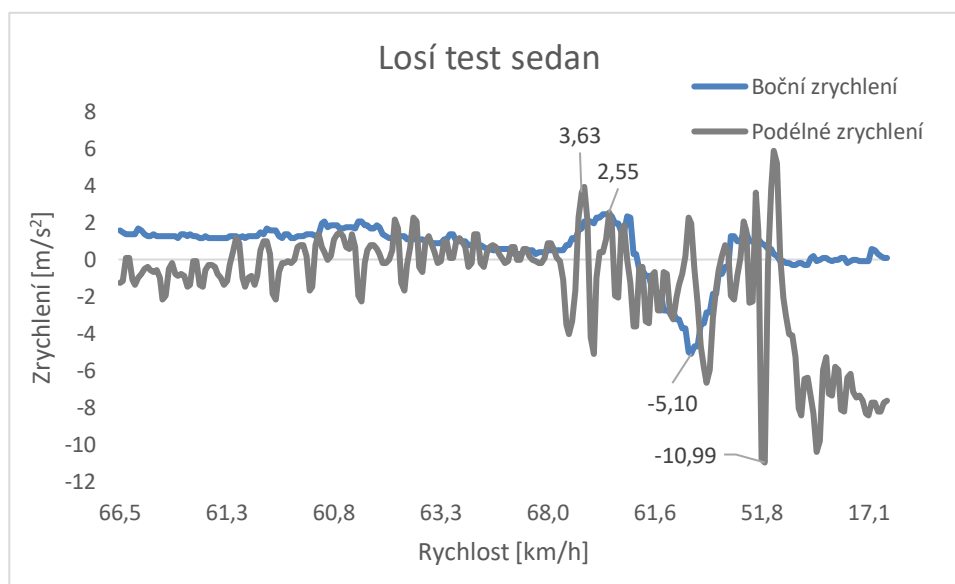
Tabulka 10 Tlak v pneumatikách a hloubka dezénu pneumatik vozidel Superb[59]

Vozidlo	LP		PP		LZ		PZ	
	Tlak [kPa]	Dezén [mm]	Tlak [kPa]	Dezén [mm]	Tlak [kPa]	Dezén [mm]	Tlak [kPa]	Dezén [mm]
Sedan	215	8,0	210	8,1	210	8,5	210	8,5
Kombi	185	7,9	180	7,9	185	7,2	185	7,3

8.5.1 Vyhýbací manévr – Losí test

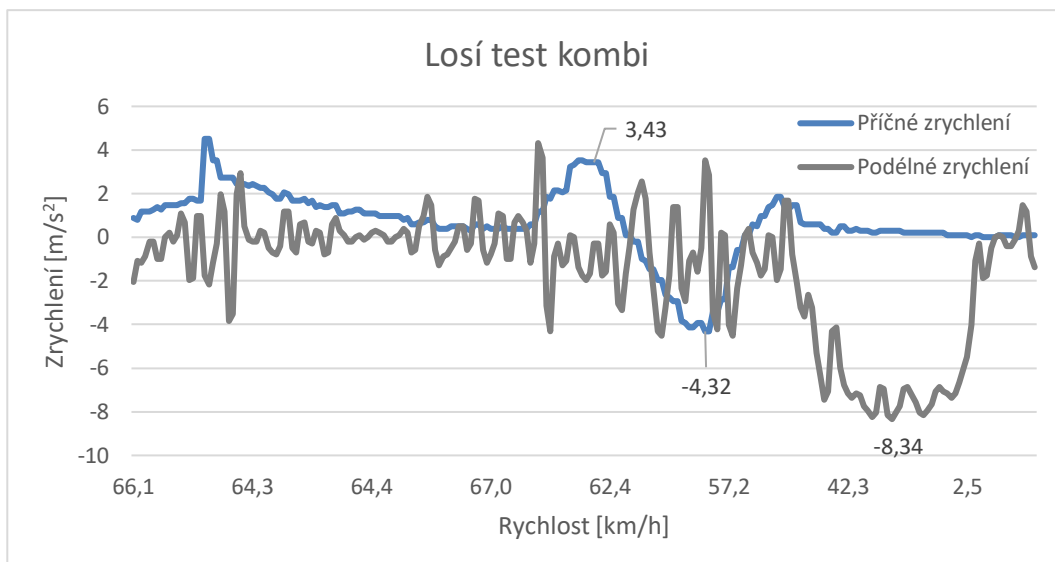
Měření vyhýbacích manévrů bylo věnováno velké množství měření, během kterých byla zjišťována hranice, na která lze vytyčenou trať úspěšně projet. V průběhu měření byly realizovány i experimenty s vypínáním systému ESP pomocí odstranění pojistek, které podle návodu k obsluze zajišťují právě tuto funkci.

V rámci měření vyhýbacích manévrů byla zvolena základní rychlost 50 km/h a následně byla rychlost postupně navyšována. Tento test bylo možné s variantou sedan při maximální rychlosti 68 km/h.



Graf 12 Vývoj zrychlení při losím testu s verzí sedan [Vlastní zdroj]

V průběhu vyhýbacího manévru s variantou sedan bylo dosaženo maximálního bočního zrychlení $2,55 \text{ m/s}^2$, při prvním vyhýbacím manévru a $5,10 \text{ m/s}^2$ při manévru druhém. Při vyšších rychlostech už docházelo ke srážení kuželek nebo k vychýlení vozu z vyznačené tratě.



Graf 13 Vývoj zrychlení během hraničního pokusu Superbu ve verzi kombi [Vlastní zdroj]

Během měření vyhýbacích manévřů s vozidlem Superb ve verzi kombi, se podařilo dosáhnout na hranici 67 km/h , kdy byl řidič schopen projet vymezenou tratí bez sražení kuželky nebo vyjetí z dráhy.



Obr. 48 Superb III ve verzi kombi při vyhýbacím manévru [59]

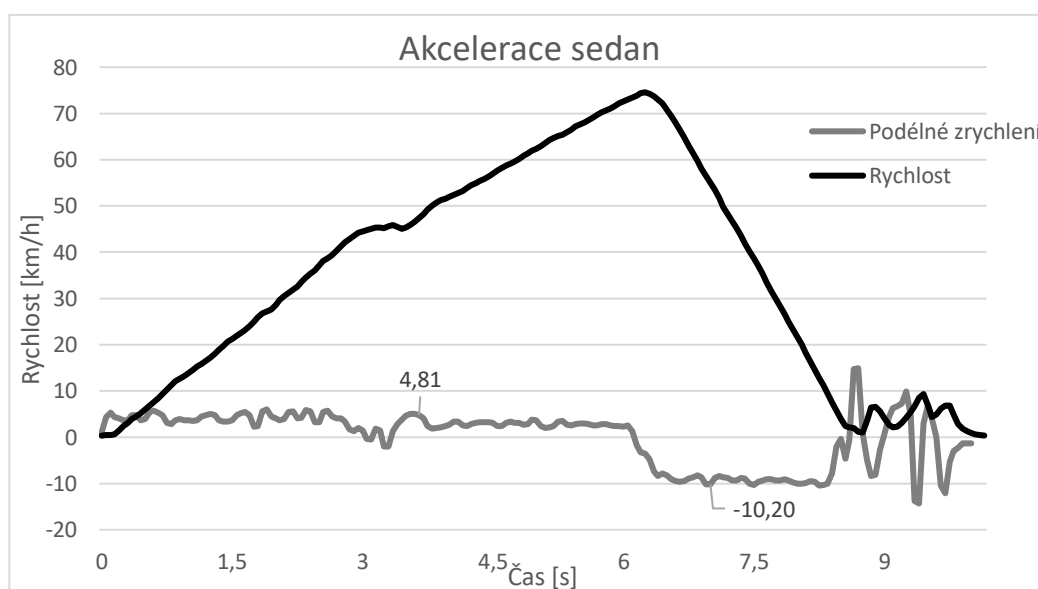
8.5.2 Akcelerace na 75 m s následným brzděním

V rámci akcelerace s následným brzděním bylo provedeno celkem 7 měření, která byla následně analyzována.

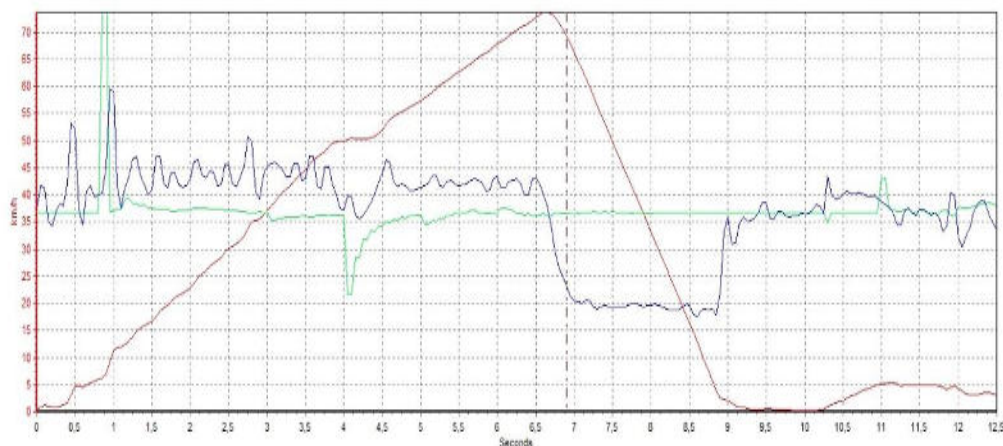
Tabulka 11 Výsledky měření akcelerace modelu Superb, verze sedan [Vlastní zdroj]

Měření	Čas [s]	Maximální rychlost [km/h]	Podélné zrychlení [m/s ²]	Maximální brzdné zpomalení [m/s ²]	Brzdná dráha [m]	Doba brzdění [s]
1	6,4	74,8	6,57	10,20	22,3	2,3
2	6,8	73,7	7,45	9,32	21,8	2,6
3	6,6	75,7	7,06	9,22	25,7	2,7
4	6,3	74,6	7,26	8,63	22,0	2,3

V rámci testů realizovaných s vozidlem Škoda Superb, ve verzi sedan s manuální převodovkou, byla provedena 4 měření, v rámci kterých, se podařilo dosáhnout maximální rychlosti 75,7 km/h na vzdálenosti 75 m. Řidič byl schopen zabrzdit z této rychlosti za 2,7 s, a to na dráze 25,7 m, kdy maximální dosažená hodnota zpomalení byla 8,63 m/s². Při akceleraci bylo dosaženo maximálního zrychlení 7,45 m/s².

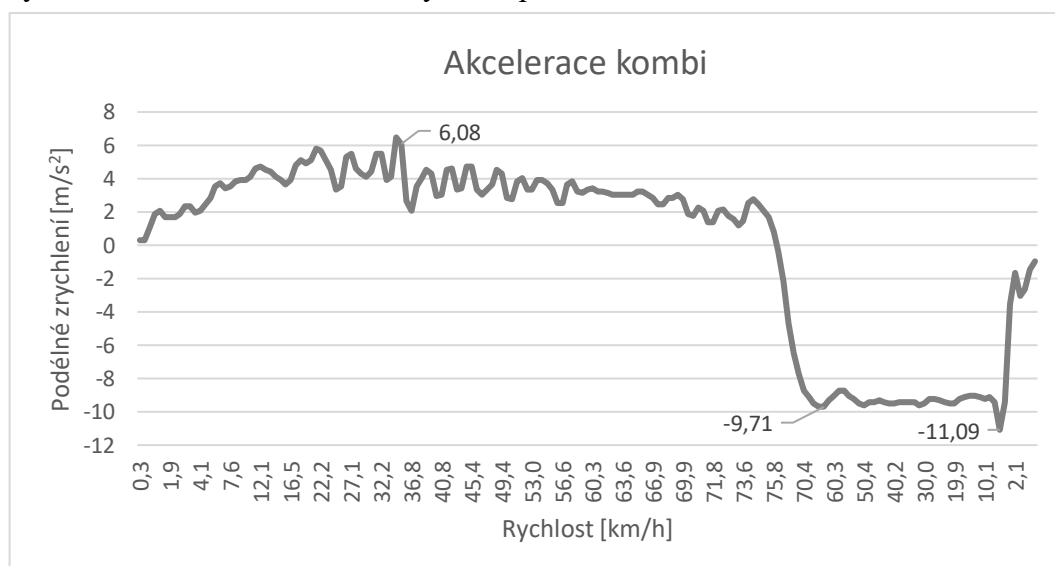


Graf 14 Vývoj zrychlení, zpomalení a rychlosti u verze sedan [Vlastní zdroj]



Graf 15 Průběh měření akcelerace s následným brzděním verze sedan [Vlastní zdroj]

Při měření akcelerace u verze kombi byla naměřena maximální rychlost 76,12 km/h, ze které byl schopen zastavit za 2,55 s, na dráze 22,68 m.



Graf 16 Vývoj podélného zrychlení a zpomalení u akcelerace verze kombi [Vlastní zdroj]

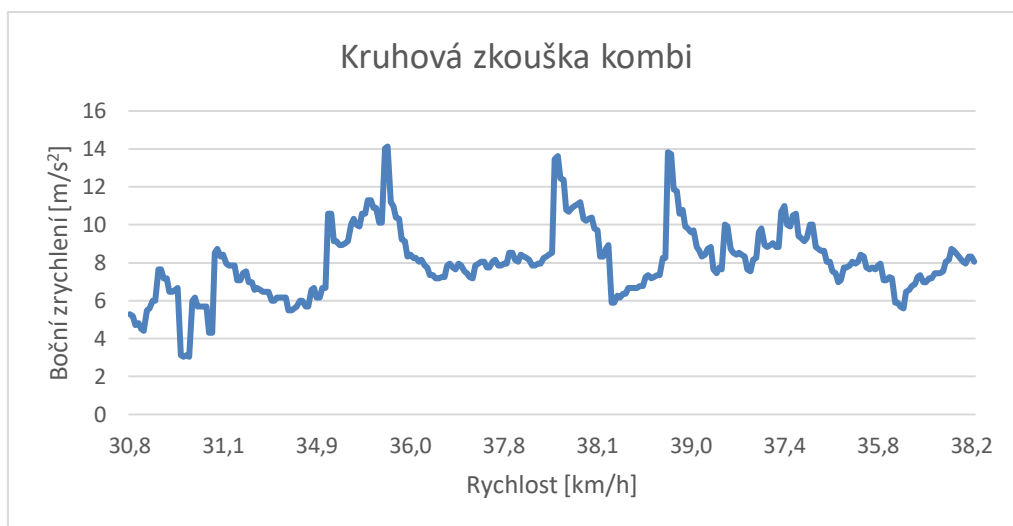
Dosažení vyšších hodnot rychlosti u verze kombi, bylo zřejmě zapříčiněno přítomností DSG převodovky u tohoto vozidla. Změna rychlostních stupňů proběhla rychleji a bez výrazného způsobení klonění vozu, které bylo pozorovatelné u verze sedan s manuální převodovkou.

Tabulka 12 Výsledky měření akcelerace modelu Superb, verze kombi [Vlastní zdroj]

Měření	Čas [s]	Maximální rychlost [km/h]	Podélné zrychlení [m/s ²]	Maximální brzdné zpomalení [m/s ²]	Brzdná dráha [m]	Doba brzdění [s]
1	6,40	75,9	5,98	9,91	23,3	2,50
2	6,70	75,5	5,79	9,52	21,7	2,65
3	6,35	76,12	7,55	9,32	22,68	2,55

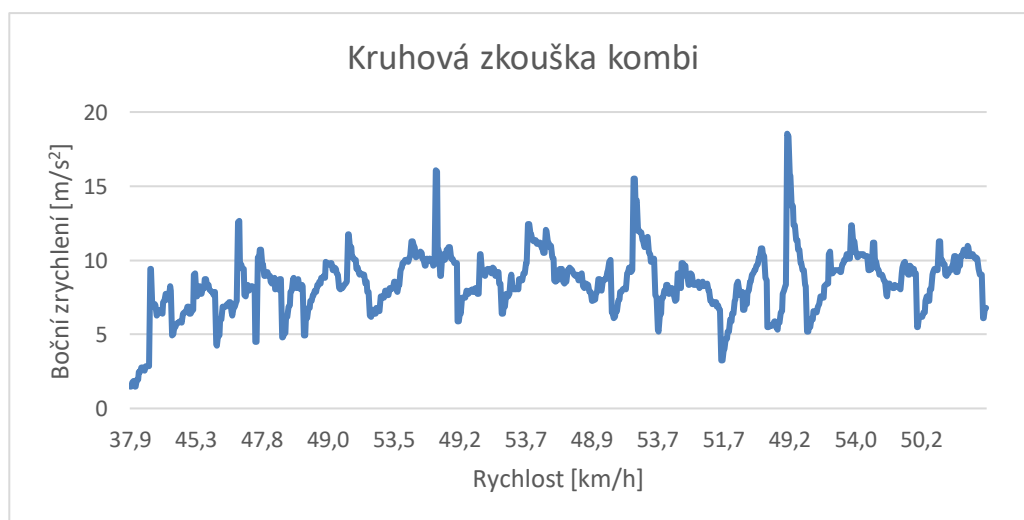
8.5.3 Kruhová zkouška

V průběhu měření docházelo k pozorovatelnému klopení vozidla vlivem působící setrvačné síly na vozidlo, která způsobovala odlehčení předního kola hnací nápravy. Řidič uvedl, že bylo pozorováno zkreslení hodnot rychlosti na tachometru, který ukazoval výrazně vyšší hodnoty, než kterými se vozidlo reálně pohybovalo, což bylo způsobeno prokluzem předního hnacího kola.



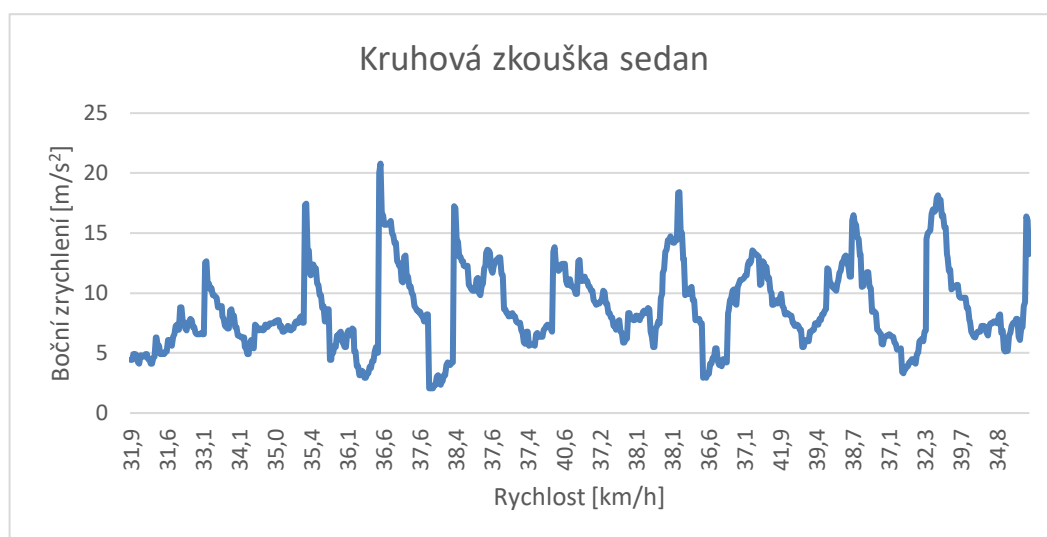
Graf 17 Vývoj bočního zrychlení u verze kombi na průměru 20 m [Vlastní zdroj]

Při měření u verze kombi na kruhu s vnitřním průměrem 20 m, bylo dosahováno průměrné rychlosti 38 km/h. Střední hodnota bočního zrychlení se při zkouškách pohybovala v rozmezí 7,7–8 m/s².



Graf 18 Vývoj bočního zrychlení u verze kombi na průměru 40 m [Vlastní zdroj]

Následně na kruhové dráze o průměru 40 m byly naměřeny střední hodnoty bočního zrychlení v rozmezí 8,5–8,8 m/s². Průměrná rychlost byla 51 km/h. Maximální hodnota bočního zrychlení byla naměřena 19,3 m/s². Měření na kruhové dráze o průměru 20 m proběhlo také s vozidlem ve verzi sedan. V rámci toho měření byla naměřena střední hodnota bočního zrychlení 7,8 m/s² a průměrná rychlost 37,6 km/h.



Graf 19 Vývoj bočního zrychlení u verze sedan na průměru 20 m [Vlastní zdroj]

Při měřeních s verzí sedan bylo dosahováno na kruhové dráze o průměru 40 m rychlosti 51,3 km/h. Při těchto měřeních se střední bočního zrychlení pohybovala v rozmezí 8,3–8,5 m/s².



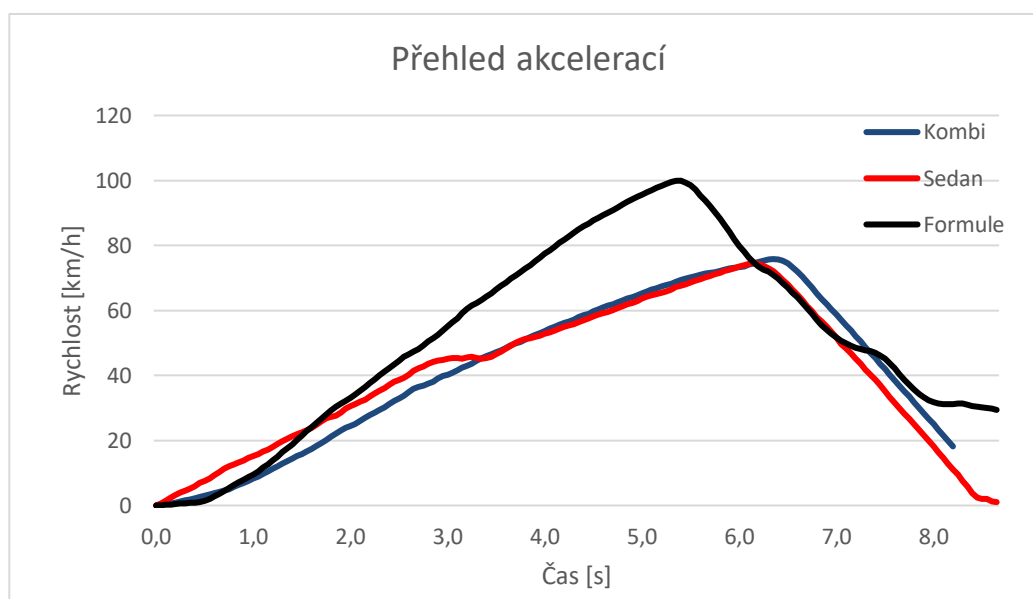
Graf 20 Vývoj bočního zrychlení u verze sedan na průměru 40 m [Vlastní zdroj]

9 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

V průběhu analýzy naměřených dat se objevila otázka, zda hodnoty uváděné v odborných pracích jsou opravdu hodnoty příčného zrychlení nebo bylo měřeno boční zrychlení a vlivem nesjednoceného názvosloví byl použit nesprávný výraz pro toto zrychlení. V řadě odborných prací není totiž uvedeno, zda bylo měřeno boční zrychlení, které bylo následně přepočítáno, nebo zda bylo opravdu měřeno zrychlení příčné. Hodnoty bočního zrychlení totiž bývají zpravidla vyšší, což je způsobeno klopením vozidla při samotných jízdách manévrech. Za příčné zrychlení je obecně považováno takové zrychlení, které je měřeno v ose kola, nezahrnuje tedy klopení ani klonění vozidla a vztahuje se k rovině vozovky. Hodnota bočního zrychlení je pak zvýšena právě o klonění a klopení, a je určována od osy vozidla.

V rámci měření pak bylo dosaženo hned několika zajímavých hodnot. Se sportovním vozem se podařilo překonat nejlepší výsledky konvenčních vozidel dosažených v rámci losích testů měřených na suchém povrchu. Prvenství v této disciplíně drží Citroën Xantia Activa v6, se kterým byla při zkouškách v roce 1999 úspěšně absolvována při rychlosti 85 km/h. Řidič formule v rámci měření v Brně na výstavišti byl schopen absolvovat normovanou trať při rychlosti 88 km/h, navíc na mokřém povrchu. V průběhu prvního vyhýbacího manévru působilo na vozidlo boční zrychlení $7,55 \text{ m/s}^2$, a při navracení zpět do původního jízdního pruhu pak $9,91 \text{ m/s}^2$. U realizovaných vyhýbacích manévru s vozidly konvenčními se podařilo přiblížit k hodnotám zjištěným odborníky ze Švédska, kteří právě tuto zkoušku dostali do povědomí. Při realizaci losích testů s vozidlem Superb v letech 2014 a 2017 se podařilo dosáhnout hodnot 70 km/h na suchém povrchu. V rámci měření na polygonu v Kopřivnici se podařilo dostat se s těmito vozidly na hodnoty rychlosti 67 km/h ve verzi kombi a 68 v km/h ve verzi sedan, a to na mokřém povrchu. V rámci realizovaných testů s vypnutým ESP u vozidla ve verzi kombi pak bylo pozorováno, že nedocházelo k dosahování výrazně nižších hodnot rychlosti pro úspěšné absolvování vyhýbacího manévru.

Při akceleračních zkouškách bylo dosaženo formulí Dragon 7 maximální rychlosti 100,5 km/h na 75 m dlouhé trati s maximálním podélným zrychlením $8,53 \text{ m/s}^2$. Maximální brzdné zpomalení bylo při zmíněném měření bylo $13,73 \text{ m/s}^2$. S vozidly Superb bylo dosaženo hodnot maximální rychlosti v rozmezí 73,7–76,12 km/h. V rámci měření byla zjištěna vyšší maximální rychlost na vymezeném úseku u vozidla ve verzi kombi s automatickou převodovkou DSG, kdy právě změna rychlostních stupňů a prokluz na počátku akcelerace ovlivnily výsledky měření. Maximální podélné zrychlení bylo u verze sedan naměřeno $7,45 \text{ m/s}^2$ a $7,55 \text{ m/s}^2$ u verze kombi. Maximální brzdné zpomalení bylo dosaženo u konvenčních vozidel s verzí sedan, a to $10,2 \text{ m/s}^2$. I přes snížené adhezni podmínky se v rámci měření podařilo dosáhnout na adheze hodnoty 1 u konvenčních vozidel a 1,4 u vozidla sportovního, a to díky použití kvalitních pneumatik.



Graf 21 Komparace akceleračních zkoušek [Vlastní zdroj]

V rámci kruhových zkoušek bylo se sportovním vozem dosaženo maximální rychlosti 37,5 km/h na kruhové dráze o průměru 15,25 m. Při těchto měřeních působilo na vůz boční zrychlení až $9,46 \text{ m/s}^2$. V rámci měření na Polygonu v Kopřivnici proběhla měření na dvou kruhových tratích o průměru 20 a 40 m. Na trati o průměru 20 m bylo dosahováno průměrné rychlosti 38 km/h a bočního zrychlení v rozmezí $7,7\text{--}8 \text{ m/s}^2$. Na kruhové trati o poloměru 40 m bylo dosahováno průměrné rychlosti 51 km/h a hodnot bočního zrychlení $8,5\text{--}8,8 \text{ m/s}^2$.

Výrazně lepších výsledků se sportovním vozem Dragon 7 bylo dosaženo zejména díky nízké hmotnosti tohoto vozu, na který při jízdách zkouškách zákonitě působila nižší setrvačná síla. Další velkou výhodou sportovního vozidla byl mohutný aerodynamický paket, který již při 80 km/h generoval přítlačnou sílu o velikosti 1 250 N. Na voze byly použity prvotřídní technologie, díky kterým má vozidlo dynamické vlastnosti, které lze považovat za hranici, kam se lze s konvenčními osobními automobily přiblížit s dopomocí asistenčních systémů. Konstrukce tohoto vozu je přizpůsobená podmínkám soutěže Formula Student, která je společně se závody Formule 1 považována za nejinnovativnější soutěž v oblasti automobilového průmyslu. Samotná studentská formule neměla žádné stabilizační asistenty.

10 ZÁVĚR

V rámci měření byly zjišťovány dynamické parametry vozidel v průběhu vybraných zkoušek. Měření byla realizována na sportovním vozidle, které bylo zastoupeno speciálem Dragon 7 a vozidlech konvenčních, které reprezentoval model Superb III ve verzi sedan i kombi. Veškerá měření dynamických parametrů proběhla za snížených adhezních podmínek.

Přínosem pro znaleckou praxi mohou být naměřené dynamické parametry jako např. hodnoty rychlosti pro zvládnutí dvojitého vyhybacího manévru nebo kruhových zkoušek, které jsou však podmíněny určitými řídičskými zkušenostmi, jelikož, jak uvádí Burg ve své práci [4], jednalo se o kritické jízdní situace, při kterých hodnota bočního zrychlení přesahovala 6 m/s^2 . Během výše uvedených manévru s konvenčními vozidly se hodnota bočního zrychlení pohybovala např. u kruhových zkoušek v rozmezí $7,7\text{--}8,8 \text{ m/s}^2$, což je oblast, ve které už dochází k zásahům stabilizačního systému ESP, jak uvádí Panáček v práci [15]. V rámci měření se sportovním vozidlem bylo naměřeno maximální boční zrychlení $9,46 \text{ m/s}^2$ při kruhové zkoušce a $9,91 \text{ m/s}^2$ při druhém vyhybacím manévru v rámci tzv. losích testů. Během losích testů s vozidlem Dragon 7 bylo dosaženo o 23,73 % vyšší maximální hodnoty rychlosti pro úspěšné absolvování testu než u vozidla Škoda Superb III 1,4, verze sedan, a o 23,86 % vyšší hodnoty než u verze kombi, jak je blíže specifikováno v podkapitolách 8.4.1 a 8.5.1. Při akceleračních zkouškách bylo se sportovním vozidlem Dragon 7 dosaženo o 24,26 % vyšší maximální rychlosti než u verze kombi s automatickou převodovkou, a o 24,63 % vyšší maximální rychlosti než u verze sedan s převodovkou manuální. Detailně jsou pak akcelerační zkoušky rozebrány v podkapitolách 8.3.2 a 8.4.2.

Přínosem práce mohou být zejména data naměřená na sportovním vozu, kdy se může v praxi stát, že se v běžném provozu objeví sportovní vozidlo nebo závodní speciál konstrukčně podobný právě vozidlu Dragon 7, který bude účastníkem dopravní nehody. V tom případě bude možné vycházet z dat naměřených v rámci této práce. Z výsledků práce vyplývá, že se sportovním vozidlem bylo za snížených adhezních podmínek dosahováno o 20–25 % vyšších hodnot vybraných dynamických parametrů než u konvenčních vozidel zahrnutých do měření.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Statistiky registrovaných vozidel. *Svaz dovozců automobilů* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://portal.sda-cia.cz/stat.php?v#str=vpp>
- [2] Statistika nehodovosti: INFORMACE o nehodovosti na pozemních komunikacích v České republice v roce 2017. *POLICEJNÍ PREZIDIUM ČESKÉ REPUBLIKY* [online]. 2018 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.policie.cz/clanek/statistika-nehodovosti-900835.aspx?q=Y2hudW09Mg%3d%3d>.
- [3] BURG, Heinz, RAU, Hartmut. *Handbuch der Verkehrsunfall-Rekonstruktion*, Verlag INFORMATION Ambis GmbH, Kippenheim: 1981. ISBN 3 88550 020 5.
- [4] BURG, Heinz, MOSER, Andreas. *Handbuch Verkehrsunfall-rekonstruktion: Unfallaufnahme, Fahrdynamik, Simulation*. 2. vyd. Wiesbaden: Vieweg Teubner, 2009. 1032 s. ISBN 978-3-8348-0546-1.
- [5] WEN-XING ZHU, LI-DONG ZHANG. *Friction coefficient and radius of curvature effects upon traffic flow on a curved Road*. In *Physica A* 391, p.4597–4605. 2012.
- [6] BACKFISCH, Klaus Peter. *Das große Reifenbuch: Technik, Sicherheit, Fahrdynamik, Tuning: alles über Reifen und Räder*. Königswinter: Heel Verlag, 2006, 272 s. ISBN 978-3-89880-656-5.
- [7] MAHAPATRA, Geetimukta, MAURYA, Akhilesh, Kumar. *Study of vehicles lateral movement in non-lane discipline traffic stream on a straight road*. In *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. No.104, p. 352 – 359. 2013.
- [8] STODART, Brandon P., DONNELL, Eric T. *Speed and Lateral Vehicle Position Models from Controlled Nighttime Driving Experiment*. In *Journal of Transportation Engineering*. Vol. 134, No.11. 2008.
- [9] WESEMEIER, Daniel, ISERMANN, Rolf. *Identification of vehicle parameters using stationary driving maneuvers*. In *Control Engineering Practice*, p. 1426–1431. 17/2009.
- [10] BRADÁČ, Albert. *Analytika silničních nehod II*. Ostrava: Dům techniky ČSVTS. 1985.
- [11] KLEDUS, Robert. *Modelování pohybu vozidla při analýze silničních nehod – vyhybovací manévry, dizertační práce*. Brno: VUT v Brně, ÚSI. 2003.

- [12] BRADÁČ, Albert. *Příčné přemístění vozidel při analýze silniční nehody, dizertační práce*. Brno: VUT v Brně, ÚSI. 2003.
- [13] ŽIŽLAVSKÝ, Petr, JANIŠ, Radek, GAJA, Antonín. *Analýza podélného zpomalení a příčného zrychlení v oblouku na mokřém povrchu, závěrečná práce v kurzu CŽV*. Brno: VUT v Brně, ÚSI. 2000
- [14] VÉMOLA, Aleš. *Problematika znalecké analýzy jízdy a brzdění vozidla v obecném prostorovém oblouku, dizertační práce*. Brno: VUT v Brně, ÚSI. 2005.
- [15] PANÁČEK, Vladimír. *Problematika znalecké analýzy jízdy a brzdění vozidla v obecném prostorovém oblouku při rychlostech vyšších než 50 km/h*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2015. 187 s. textu, 152 s. příloh. Vedoucí dizertační práce doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.
- [16] SEMELA, Marek. *Analýza silničních nehod I. 2. přepracované*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2016. ISBN 978-80-214-5037-0.
- [17] BURG, Heinz. MOSER, Andreas. *Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion*. Wiesbaden: Vieweg, 2007. str. 952. 1. vydání. ISBN 978-3-8348-0172-2.
- [18] BRADÁČ, Albert a kol. *Soudní inženýrství*. Brno: CERM, 1999, 725 s. ISBN 80-720-4133-9.
- [19] LUKÁŠIK, Martin. *Vybrané specifika technického výkladu pravidel cestnej premávky při technickej analýze dopravných nehod*. Žilina, 2010. Dizertační práce. Žilinská univerzita v Žilině, Ústav súdneho inžinierstva. 123 s. Vedoucí práce doc. Ing. Peter Ivánek, CSc.
- [20] LANGLE, Lonnie, DANTU, Ram. Are you a Safe Driver. *International Conference on Computational Science and Engineering*. 2009, č. 5/09, s. 502-507. ISBN 978-0-7695-3823.
- [21] MALCOLM L. RITCHIE, WILLIAM K. MCCOY, AND WILLIAM L. WELDE. A. *Study of the Relation between Forward velocity and Lateral Acceleration in Curves during Normal Driving*. In The Journal of Human Factors and Ergonomics Society. 1968.
- [22] LEHTONEN, Esko, LAPPI Otto, KOIRIKIVI Iivo, SUMMALA, Heikki. *Effect of driving experience on anticipatory look-ahead fixations in real curve driving*. In Accident Analysis and Prevention, p. 195–208. 70/2014.

- [23] COUTTON-JEAN, Cécile MESTRE, Daniel R., GOULON, Cédric, BOOTSMA Reinoud J. *The role of edge lines in curve driving*. In *Transportation Research*, part F, p. 483–493. 12/2009.
- [24] CHOLASTA, Lukáš. *Měření a porovnání jízdních parametrů vozidel v různých jízdních režimech: diplomová práce*. Brno, VUT v Brně, ÚSI. 2010
- [25] VADEBY, Anna, WIKLUND, Mats, FORWARD, Sonja. *Car drivers' perceptions of electronic stability control (ESC) systems*. In *Accident Analysis and Prevention*, p. 706–713. 43/2011.
- [26] BROWN, Rudin, C.M., NOY, Y.I. *Investigation of behavioral adaptation to lane departure warnings*. In *Transportation Research Record* 1803, p. 30–37. 2002.
- [27] ERKE, Alena. *Effects of electronic stability control (ESC) on accidents: A review of empirical evidence*. In *Accident Analysis and Prevention*, p. 167–173. 40/2008.
- [28] GREEN, Paul E., WOODROOFFE, John. *The estimated reduction in the odds of loss-of-control type crashes for sport utility vehicles equipped with electronic stability control*. In *Journal of Safety Research*, p. 493–499. 37/2006.
- [29] HANEY, Paul. *The racing and high-performance tire: Using the tires to tune for grip and balance*. Springfield: TV MOTORSPORT, 286 s. 2003. ISBN 07-680-1241-4.
- [30] Vliv měřicí rychlosti na protismykové vlastnosti povrchu vozovky. *Silnice-Železnice* [online]. 2016, 12.5.2016 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/vliv-merici-rychlosti-na-protismykovye-vlastnosti-povrchu-vozovky/>
- [31] ŠACHL (st.), J., ŠACHL (ml.), J., *Adheze pneumatik v analýze silničních nehod*, Praha, ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, Ústav soudního znaleství v dopravě, 2008.
- [32] STRYK, Josef, Leoš, NEKULA. *Měřicí vozidlo osazené různými diagnostickými technikami pro měření parametrů vozovek a jejich blízkého okolí, měření za vysokých rychlostí* [online]. 2013 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: http://www.cesti.cz/technicke_listy/tl2013/2013_WP6_TL6_1_2.pdf

- [33] GSCHEIDLE, Rolf. *Příručka pro automechanika*. 3. Haam-Gruiten: Europa-Lehrmittel, 2015. ISBN 978-3-8085-2163-2.
- [34] VLK, František, *Podvozky motorových vozidel*. 3. přeprac., rozš., aktualiz. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc, 2006, 464 s. ISBN 80-239-6464-X.
- [35] *Technická příručka: Asistenční systémy*. 2010.
- [36] TOUFAR, P. *Vliv parametrů a vlastností pneumatik na jízdní dynamiku vozidel*. Brno, 2011. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Vladimír Panáček.
- [37] ŽDÁNSKÝ, Jan, Z., B., ČUPERA, J. *Automobily: Podvozky*. Brno: Nakladatelství Avid, 2009. ISBN 978-80-87143-11-7
- [38] SAJDL, Jan. *Dezén pneumatiky*. *Autolexikon.net* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.autolexikon.net/cs/articles/dezen-pneumatiky/>
- [39] SAJDL, Jan. *Pneumatiky Runflat*. *Autolexikon.net* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.autolexikon.net/cs/articles/pneumatiky-runflat/>
- [40] Pax system. *Familycar* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: www.familycar.com
- [41] *PAX system* [online]. 2013 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://audiklub.cz/techwiki/pax>
- [42] *ContiSeal: Nová technologie* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: www.conti-online.com
- [43] *Velký test celoročních pneumatik: Skutečně zvládnou obojí?* [online]. 8. 10. 2017 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/velky-test-celorocnich-pneumatik-skutecne-zvladnou-oboji-110399>.
- [44] *C17_Tire_Documentation: Formula Student*. Continental, 2016.

- [45] PANÁČEK, Vladimír. *Zkoušení vozidel*. 2. vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2014. ISBN 978-80-214-5036-3.
- [46] *Dragon 7 Design Book: Formula Student*. TU Brno Racing, 2017.
- [47] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel*. Brno: František Vlk, 2000. ISBN 80-238-5273-6.
- [48] BOSCH, Robert. *Snímače v motorových vozidlech*. 1. vyd. Robert Bosch GmbH, 2003. 148 str. ISBN 80-903132-5-6.
- [49] Losí test. *Autolexikon.net* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.autolexikon.net/cs/articles/losi-test>
- [50] *Teknikens Värld: Moose Test* [online]. 2018 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://teknikensvarld.se/kategori/test-provkorningar/test/>
- [51] FORMULA STUDENT RULES. *Formula Student Germany* [online]. 20. 10. 2017 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: https://www.formulastudent.de/uploads/media/FS-Rules_2018_V1.1.pdf
- [52] FSG 2017. *Formula Student Germany* [online]. 2017 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://media.formulastudent.de/2017/Hockenheim/20170809-Wednesday/i-tDjbpMT>
- [53] *Archiv TU Brno Racing: Formula Student team*. Brno.
- [54] *Katalog Škoda: Superb III* [online]. 2017 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://az749841.vo.msecnd.net/sitescsz/alv1/dc6d4bf5-a0e4-4e15-96b5-a56a14ee6244/superb-katalog.c675c86488bddccd49525cf18e908aa5.pdf>
- [55] VBOX: Racelogic. *VBOX motorsport* [online]. 2017 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://vboxmotorsport.co.uk/downloads/datasheets/VBOX%20Sport%20Datasheet.pdf>

- [56] *ISO 3888-2 Passenger cars - Test track for a severe lane-change manoeuvre*. 2nd ed. Geneva: ISO copyright office, c2011
- [57] *Mapy.cz: Brněnské výstaviště* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=16.5822644&y=49.1877686&z=17&source=firm&id=13060944&q=brn%C4%9Bnsk%C3%A9%20v%C3%BDstavi%C5%A1t%C4%9B>
- [58] *Google.com/maps: Polygon Kopřivnice* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps/place/Tatra+polygon/@49.5972446,18.1620117,545m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x4713f29a94ad86c1:0xd6824858e2c43d1e!8m2!3d49.5972446!4d18.1642004>
- [59] *Archiv Ústavu soudního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně*
- [60] *Sport Compact Car* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.importatlanta.com/forums/general-tech/334987-why-hood-risers-ricers-actually-hurt-performance-your-car.html>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Závislost příčného zrychlení na rychlosti jízdy vozidla [4]	11
Obr. 2 Adhezní elipsa [18].....	19
Obr. 4 Brzdění na mezi adheze [18].....	19
Obr. 3 Jízda mezní rychlostí v oblouku [18].....	19
Obr. 5 Vliv rychlosti na protismykové vlastnosti povrchu vozovky [30].....	20
Obr. 6 Diagnostické vozidlo TRT [32].....	21
Obr. 7 Opotřebenění pneumatik při nesprávném huštění [38]	25
Obr. 8 Porovnání konstrukce pneumatik [39].....	26
Obr. 9 Pax systém od Michelinu [40].....	27
Obr. 10 Ukázka defektu u pneumatiky běžné konstrukce a pneumatiky ContiSeal [42] .	27
Obr. 11 Pneumatika na mokrý povrch [Vlastní zdroj]	28
Obr. 12 Pneumatika na suchý povrch [Vlastní zdroj]	28
Obr. 13 Tlumičový systém monopostu Dragon 8 [Vlastní zdroj].....	31
Obr. 14 Detail konstrukce zadního elementu s možností měnit jeho nastavení [46]	32
Obr. 15 Aerodynamický paket Dragonu 7 [46]	33
Obr. 16 Snímače asistenčních systémů [35]	34
Obr. 17 Hierarchie asistenčních systémů [35]	36
Obr. 18 Prvky asistenčního systému ABS [35].....	37
Obr. 19 Ukázka hierarchie snímačů asistenčních systémů [35].....	38
Obr. 20 Silové poměry ve valícím se kole [47]	40
Obr. 21 Simulace proudění vzduchu okolo vozidla [60].....	41
Obr. 22 Mercedes-Benz třídy A po absolvování losího testu [50].....	44
Obr. 23 Formula Student Germany [52].....	47
Obr. 24 Geneze monopostu, zprava Dragon 1-5 [53].....	48
Obr. 25 Monoposty Dragon 5-7 [53].....	48
Obr. 26 Monopost Dragon 7 [53].....	50
Obr. 27 Verze kombi [Vlastní zdroj].....	51
Obr. 28 Verze sedan [Vlastní zdroj].....	51
Obr. 29 Šířkové a výškové parametry Škody Superb III verze sedan [54].....	52
Obr. 30 Délkové a úhlové parametry Škody Superb III verze sedan [54]	52
Obr. 31 Šířkové a výškové parametry Škody Superb III verze kombi [54].....	53
Obr. 32 Délkové a úhlové parametry Škody Superb III verze kombi [54]	53
Obr. 33 Parametry zařízení VBOX Sport [55].....	54
Obr. 34 Vysílač telemetrie a VBOX Sport umístěný na formuli [Vlastní zdroj]	55
Obr. 35 Umístění zařízení VBOX Sport ve vozidle [59].....	55
Obr. 36 Měřicí kolečko + kužely [Vlastní zdroj]	56

Obr. 37 Řídící jednotka + router [Vlastní zdroj].....	56
Obr. 38 Trať pro měření vyhýbacího manévru [56].....	58
Obr. 39 Trať akcelerace [Vlastní zdroj]	59
Obr. 40 Oficiální dráha pro disciplínu Skidpad [51].....	60
Obr. 41 Plocha na brněnském výstavišti [57]	61
Obr. 42 Povrch tratí na brněnském výstavišti [Vlastní zdroj].....	61
Obr. 43 Dráha na losí test + pozice kamery [Vlastní zdroj]	62
Obr. 44 Dragon 7 před druhým vyhýbacím manévrem [Vlastní zdroj]	63
Obr. 45 Dráha připravená pro realizaci akceleračních testů [Vlastní zdroj].....	64
Obr. 46 Povrch zkušební tratě v Kopřivnici [Vlastní zdroj]	68
Obr. 47 Polygon v Kopřivnici [58]	68
Obr. 48 Superb III ve verzi kombi při vyhýbacím manévru [59].....	70

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Závislost součinitel adheze v přímém směru na pohybu vozidla [5].....	11
Tabulka 2 Hodnoty zrychlení osobních vozidel podle rychlosti [17]	15
Tabulka 3 Přehled výrobců a obchodního označení pneumatik typu Run On Flat [39] ..	26
Tabulka 4 Obchodní označení celoročních pneumatik u jednotlivých výrobců [43]	28
Tabulka 5 Rozdělení asistenčních systémů podle využití při jízdě [35]	35
Tabulka 6 Přehled brzdových a stabilizačních asistentů [35].....	35
Tabulka 7 Hodnoty součinitele odporu valení pro různé povrchy vozovek [47].....	41
Tabulka 8 Bodové hodnocení jednotlivých disciplín [51]	46
Tabulka 9 Výsledky měření akcelerace Dragonu 7 [Vlastní zdroj]	66
Tabulka 10 Tlak v pneumatikách a hloubka dezénu pneumatik vozidel Superb[59]	69
Tabulka 11 Výsledky měření akcelerace modelu Superb, verze sedan [Vlastní zdroj] ...	71
Tabulka 12 Výsledky měření akcelerace modelu Superb, verze kombi [Vlastní zdroj] ..	72

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Závislost využitelného příčného zrychlení na rychlosti vozidla [12]	13
Graf 2 Vliv vnější teploty na životnost pneumatik [34]	24
Graf 3 Vliv huštění na životnost pneumatik [34]	24
Graf 4 Vliv zatížení vozidla na životnosti pneumatik [34]	25
Graf 5 Závislost adhezních vlastností pneumatik Continental C 17 205/470 R13 na zatížení [44]	29
Graf 6 Vývoj zrychlení a zpomalení při losím testu formule [Vlastní zdroj]	62
Graf 7 Losí test formule při hraničním pokusu [Vlastní zdroj]	63
Graf 8 Vývoj podélného zrychlení při akceleraci formule [Vlastní zdroj]	65
Graf 9 Akcelerace formule při dosažení maximální rychlosti [Vlastní zdroj]	65
Graf 11 Vývoj příčného zrychlení při kruhové zkoušce formule [Vlastní zdroj]	66
Graf 12 Kruhové zkoušky zachycené v softwaru VBOX Tools [Vlastní zdroj]	67
Graf 13 Vývoj zrychlení při losím testu s verzí sedan [Vlastní zdroj]	69
Graf 14 Vývoj zrychlení během hraničního pokusu Superbu ve verzi kombi [Vlastní zdroj]	70
Graf 15 Vývoj zrychlení, zpomalení a rychlosti u verze sedan [Vlastní zdroj]	71
Graf 16 Průběh měření akcelerace s následným brzděním verze sedan [Vlastní zdroj]	72
Graf 17 Vývoj podélného zrychlení a zpomalení u akcelerace verze kombi [Vlastní zdroj]	72
Graf 18 Vývoj bočního zrychlení u verze kombi na průměru 20 m [Vlastní zdroj]	73
Graf 19 Vývoj bočního zrychlení u verze kombi na průměru 40 m [Vlastní zdroj]	73
Graf 20 Vývoj bočního zrychlení u verze sedan na průměru 20 m [Vlastní zdroj]	74
Graf 21 Vývoj bočního zrychlení u verze sedan na průměru 40 m [Vlastní zdroj]	74
Graf 22 Komparace akceleračních zkoušek [Vlastní zdroj]	76

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 Ukázky z měření dynamických parametrů (přiloženo na CD)