

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Vliv tlaku huštění pneumatik na bezpečnost
silničního vozidla

Bc. Vojtěch Lichorobiec

Diplomová práce

2012

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Vojtěch Lichorobiec
Osobní číslo: D10724
Studijní program: N3708 Dopravní inženýrství a spoje
Studijní obor: Dopravní prostředky: Silniční vozidla
Název tématu: Vliv tlaku huštěných pneumatik na bezpečnost silničního vozidla.
Zadávající katedra: Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Zásady pro vypracování:

1. Popis pneumatik
2. Teoretický rozbor vlivu pneumatik na bezpečnost vozidla
3. Výběr vhodného jízdního manévru
4. Návrh zkušební metodiky
5. Realizace experimentu
6. Vyhodnocení experimentu
7. Závěr

Obsah grafických prací:

Obsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tisknutá**

Seznam odborné literatury:

VLK František. Diagnostika motorových vozidel. 1. vyd. Brno : Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2006. 444 s. ISBN 80-239-7064-X.

MARCÍN, J. Pneumatiky - výroba, použití, údržba. Redaktorka Jana Štěpánová. 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1976. 272 s.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Tomáš Zikmund, Ph.D.

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání diplomové práce: **24. února 2012**

Termín odevzdání diplomové práce: **23. května 2012**

prof. Ing. Bohumír Čížek, CSc.
děkan

L.S.

doc. Ing. Miroslav Trašl, CSc.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 24. února 2012

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 23. 5. 2012

Vojtěch Lichorobiec

Chtěl bych poděkovat všem, kteří mi pomohli s tvorbou této práce. Mé velké díky patří vedoucímu práce Ing. Tomáši Zikmundovi, Ph.D. za jeho ochotu, pomoc a rady. Rád bych také velmi poděkovat panu Jiřímu Paterovi a společnosti HCT.CZ, a.s. za poskytnutí cenných rad a materiálů a za zapůjčení testovacího vozidla. Mé poděkování patří také testovacímu jezdcí panu Davidovi Simonovi. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Jiřímu Čápovi, Ph.D., bez kterého by tato práce nevznikla. Mé velké díky patří rovněž Autoklubu Karosa Vysoké Mýto za poskytnutí testovacích ploch.

Dále bych chtěl poděkovat Ing. Janu Pokornému, Ing. Ivu Šefčíkovi, Ph.D. a Janu Duškovi za pomoc při realizaci experimentu. Chtěl bych také poděkovat doc. Ing Ivu Drahotskému, Ph.D. za cenné konzultace v počátcích tvorby této práce.

Mé velké díky patří také Soukromé psychologické ambulanci Orlová za poskytnutí sponzorského daru, který pokryl náklady na praktickou část této diplomové práce.

ANOTACE

Tato diplomová práce se zabývá posouzením vlivu tlaku huštění pneumatiky na bezpečnost silničního vozidla. V teoretické části práce je popsána pneumatika z hlediska konstrukce a složení a její vliv na bezpečnost vozidla. Jsou zde rovněž rozděleny zkušební manévry dle různých hledisek a proveden výběr vhodných manévru pro účely této práce. V experimentální části je vyhodnocen vliv tlaku huštění pneumatiky na bezpečnost vozidla při vyhýbacím manévru dle ISO 3888-2 a ustáleném zatáčení dle ISO 4138.

KLÍČOVÁ SLOVA

bezpečnost, pneumatika, tlak huštění, vyhýbací manévr, ustálené zatáčení

TITLE

Influence of tyre pressure on road vehicle safety.

ANNOTATION

This thesis evaluates the influence of tyre pressure on road vehicle safety. The theoretical part of this work describes the tyre design and composition and its effect on vehicle safety. In this part the test maneuvers are also classified by various aspects and choosing appropriate maneuvers for the purpose of this work. In the experimental section is evaluated the influence of tyre inflation pressure on the behavior of the vehicle during the obstacle avoidance maneuver according to ISO 3888-2 and steady state circular driving behavior according to ISO 4138.

KEYWORDS

safety, tyre, inflation pressure, obstacle avoidance, steady state circular driving behavior

Obsah

Úvod.....	9
1 Pneumatiky.....	10
1.1 Definice pneumatiky	10
1.2 Složení pneumatiky	11
1.3 Konstrukce pneumatiky.....	11
1.3.1 Vnitřní butylová vrstva.....	12
1.3.2 Kordová vrstva	12
1.3.3 Patka	16
1.3.4 Patkové (patní) lano	17
1.3.5 Bočnice.....	17
1.3.6 Nárazníky	18
1.3.7 Ochranná vrstva.....	18
1.3.8 Běhoun	19
2 Vliv pneumatik na bezpečnost vozidla.....	22
2.1 Složení běhounové směsi	24
2.1.1 Přílnavost pneumatiky.....	24
2.1.2 Směsi pro běžné použití	25
2.1.3 Směsi pro sportovní použití.....	29
2.2 Hloubka a tvar desénu	31
2.2.1 Tvar desénu	32
2.2.2 Hloubka desénu	34
2.2.3 Aquaplaning	36
2.3 Konstrukce pneumatiky.....	41
2.4 Tlak huštění pneumatiky	44
3 Výběr vhodného manévru	50
3.1 Zkoušky dané povely řízením	53
3.1.1 Skokové, impulsní a harmonické natáčení volantu	53
3.1.2 J-Turn Maneuver – „Zatáčka typu J“	54
3.1.3 Fishhook maneuver – „Manévr typu háček“	55
3.1.4 Sine with Dwell test – Sinové natočení volantu s prodlevou	58
3.1.5 Ustálené zatáčení.....	59
3.2 Zkoušky dané koridorem.....	60
3.2.1 Manévr dle ISO 3888-1 – „Dvojitá změna jízdního pruhu“	61
3.2.2 Manévr dle ISO 3888-2 – „Vyhýbací manévr“	62
3.3 Výběr manévru pro experiment.....	63

4	Návrh zkušební metodiky.....	65
4.1	Testovací trať	65
4.2	Testovací manévry	65
4.2.1	Vyhýbací manévr dle ISO 3888-2.....	66
4.2.2	Ustálené zatáčení dle ISO 4138	67
5	Realizace experimentu	69
5.1	Testovací vozidlo	69
5.2	Testovací trať	70
5.3	Testovací řidič.....	70
5.4	Pneumatiky.....	70
5.5	Úprava metodiky měření pro podmínky testování	71
5.6	Měřené veličiny a měřicí zařízení	71
5.7	Umístění měřicího zařízení	73
5.8	Atmosférické podmínky	74
5.9	Stanovení tlaku huštění	74
5.10	Realizace vyhýbacího manévru.....	75
5.11	Realizace ustáleného zatáčení	76
6	Vyhodnocení experimentu	78
6.1	Vyhýbací manévr	78
6.1.1	Vzorový průběh naměřených dat	80
6.1.2	Čistota průjezdu vozidla koridorem	83
6.1.3	Zhodnocení průběhu měřených veličin	84
6.1.4	Změna tlaku v pneumatikách	86
6.1.5	Subjektivní hodnocení testovacího řidiče.....	86
6.1.6	Doba průjezdu vozidla koridorem.....	87
6.1.7	Zpoždění reakcí vozidla	88
6.2	Vyhodnocení manévru ustálené zatáčení	89
7	Závěr	93
	Seznam použité literatury.....	96
	Seznam obrázků	101
	Seznam tabulek	104

Úvod

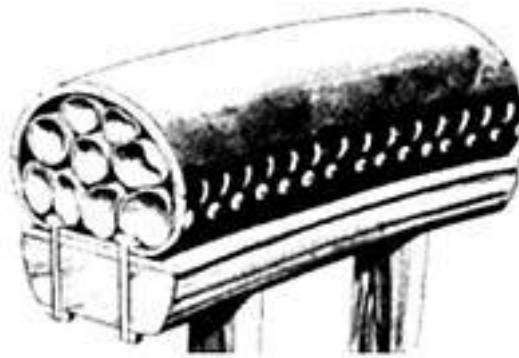
Mezi řidiči již existuje dobré povědomí o důležitosti použití správné směsi pneumatiky vzhledem k ročnímu období, která je podložena výsledky mnoha výzkumů. Z důvodu bezpečnosti silničního provozu je nutnost použití vhodné směsi natolik zásadní, že je v mnoha zemích, včetně ČR, povinnost použití zimních pneumatik v zimním období zakotvena v legislativě. Tlak huštění pneumatik však tolik diskutován není, spíše naopak je mezi řidiči velmi často opomíjen. Právě dodržováním předepsaného tlaku huštění pneumatik se ve svých studiích zabývá většina výrobců pneumatik. Relevantní závěry podává studie společnosti Bridgestone a automobilové federace FIA z roku 2009, kdy byly v rámci kampaně „Přemýšlej, než vyjedeš“ bezplatně zkontrolovány pneumatiky u 52 400 vozů. Analýza prokázala, že více než 80% řidičů jezdí na podhuštěných pneumatikách, přičemž každý čtvrtý řidič jezdí na středně podhuštěných pneumatikách (min. o 50 kPa baru pod hodnotu tlaku doporučenou výrobcem vozidla) a každý třináctý na velmi podhuštěných pneumatikách (min. o 75 kPa pod hodnotou tlaku doporučenou výrobcem). Zajímavým poznatkem byla nízká informovanost široké motoristické veřejnosti o přirozeném procesu v pneumatice vedoucímu k postupné ztrátě tlaku vzduchu a o důsledcích s ním spojených. Ve zmíněné studii byl vyzdvihnut především negativní vliv na ekonomičnost a ekologii provozu, ale o vlivu podhuštěných pneumatik na bezpečnost vozidla se zmiňuje pouze okrajově.

Je tedy otázkou, zda okrajový zájem o vliv tlaku huštění pneumatik na bezpečnost silničního vozidla a nedostatek informací o dané problematice pro širokou veřejnost nejsou způsobeny skutečností, že tlak huštění pneumatik bezpečnost silničního provozu výrazně neovlivňuje. Jako studentovi Dopravní fakulty je mi, ze zkušeností získaných během studia, zřejmé, že tlak huštění ovlivňuje charakteristiky pneumatiky, jako jsou její nosnost, tuhost a velikost kontaktní plochy. Není proto možné, aby se změna tlaku huštění pneumatik v praxi nijak neprojevila. Přikláním se k závěru, že nezáměr široké veřejnosti pramení spíše z nevědomosti.

Prostudování dalších pramenů mne utvrdilo v názoru, že existují teoretické souvislosti mezi tlakem huštění pneumatik a bezpečností silničního vozidla. Rozhodl jsem se tedy tyto souvislosti ověřit.

1 Pneumatiky

Základy pro výrobu moderní pneumatiky, byly položeny v roce 1839, kdy americký chemik Charles Goodyear objevil vulkanizaci kaučuku. Roku 1845 byl Robertu Williamu Thompsonovi udělen patent první pneumatiky – vzduchové hadice. Tato pneumatika (Obr. 1) se skládala z nahuštěných pryžových hadic v koženém obalu.



Obr. 1: Thomsonova pneumatika [1]

Další patent na moderní, vzduchem plněné pneumatiky získal John Boyd Dunlop v roce 1888. První odnímatelné pneumatiky vynalezli roku 1891 bratři Michelinové a roku 1948 vyvíjí firma Michelin první radiální pneumatiku. V roce 1972 firma Dunlop zavádí bezdušovou konstrukci pneumatiky.

1.1 Definice pneumatiky

Z geometrického hlediska tvoří pneumatika uzavřený prstenec tzv. toroid. Z hlediska mechaniky se jedná o tlakovou nádobu, jejíž stěny tvoří pružná membrána. Z pohledu chemika je pneumatika vyrobena především ze zesíťovaných a nezesíťovaných makromolekulárních materiálů a oceli. [2]

Dle ČSN 63 1001 je: [50]

Pneumatika – plášť, popřípadě s duší, vložkou, nebo s bezdušovým ventilem, namontovaný na ráfek a naplněný tlakovým médiem.

Dušová pneumatika – soustava pláště, duše, popř. vložka, které jsou namontovány na ráfek, a duše je nahuštěna na příslušný tlak.

Bezdušová pneumatika – plášť, který je na ráfku s ventilem nahuštěn na příslušný tlak, se speciální pryžovou vrstvou na vnitřním nebo vnějším povrchu, která přejímá funkci duše při nahuštění pneumatiky.

1.2 Složení pneumatiky

K hlavním surovinám, z nichž se vyrábějí pneumatiky, patří přírodní kaučuk, syntetický kaučuk, saze a olej. Podíl gumových směsí na celkové hmotnosti pneumatiky činí více než 80%. Zbytek tvoří řada různých zpevňovacích materiálů.

Zhruba u poloviny použitého gumového podílu se jedná o přírodní kaučuk, šestina podílu je syntetická pryž a zbylou třetinu gumové směsi tvoří plnidla. Nejdůležitějším plnidlem jsou saze, které dávají pneumatice její černou barvu. Dalším důležitým plnidlem je olej, který slouží ve směsi jako změkčovač. Kromě toho se pro výrobu gumové směsi používají vytvrzovací přísady případně vulkanizační látky a četné pomocné chemikálie a ochranné látky. [3]

1.3 Konstrukce pneumatiky

Pneumatika je tedy vláknou vyztužený pryžový kompozit. Na Obr. 2 je vyobrazen řez radiální pneumatikou.



Obr. 2: Řez radiální pneumatikou [4]

1.3.1 Vnitřní butylová vrstva

Tato vrstva v bezdušových pneumatikách nahrazuje funkci duše, tedy zabraňuje úniku vzduchu z vnitřku pláště. Je vyrobena ze vzduchotěsné vrstvy butylového kaučuku. Na Obr. 3 je vyobrazen detail této vrstvy.



Obr. 3: Vnitřní butylová vrstva [5]

1.3.2 Kordová vrstva

Kordová vrstva (kostra) pláště je část pláště tvořená kordovými vložkami z pogumovaného kordu, které jsou zakotvené (přehnuté) kolem patních lan. Tato vrstva určuje řadu důležitých vlastností pneumatiky, především nosnost pneumatiky, její tvar a jízdní vlastnosti. Vlastnosti kostry pláště závisí na druhu použitých kordů a na konstrukci, která byla pro plášť zvolena. [6]

Podle konstrukce kordové vrstvy rozlišujeme pneumatiky na radiální, diagonální a smíšené. Na Obr. 4 je vyobrazeno schéma kordové radiální vrstvy.



Obr. 4: Radiální kordová vrstva [5]

Radiální pneumatika

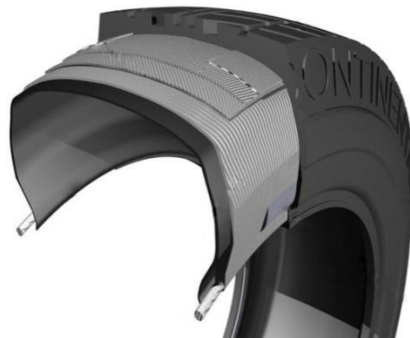
Vlákna kordové vrstvy nejsou zkřížena, ale svírají se střední podélnou rovinou symetrie úhel 90° , tj. jsou vedeny kolmo od patky k patce. Kordová vrstva pláště je slabší, proto musí být zesílený nárazník s vlákny kříženými pod malým úhlem (0 až 30°). Kordová vrstva zachycuje boční síly, podélné síly jsou přenášeny nárazníkem. [7]

U radiálních pneumatik jsou pevnostní vlastnosti závislé na kvalitě kordů, na počtu vložek v kostře pláště a na konstrukci nárazníku. [6]

V dnešní době rozeznáváme dvě základní skupiny radiálních pneumatik:

- **STEEL** – kordová kostra je z textilních nebo umělých vláken, nárazník je z ocelových vláken,
- **ALL STEEL** – kostra i nárazník jsou z ocelových vláken.

Na Obr. 5 je na řezu vyobrazena radiální kordová vrstva pneumatiky s nárazníky.



Obr. 5: Radiální kordová vrstva pneumatiky s nárazníky [9]

Diagonální pneumatika

Diagonální pneumatika má kordové vložky kladeny na sebe tak, že kordy vždy dvou na sobě ležících vložek se navzájem kříží pod úhlem 25 až 40° . Počet vložek je vždy sudý. Tímto je vytvořena pevná kostra pláště pneumatiky, schopná plnit základní funkce. Kordové vložky jsou opatřeny nánosem kaučukové směsi, která má dvojitý význam. Jednak spojuje kordové vložky a také vytváří pevný systém pryž – kord, který je základem elastických vlastností pneumatiky. Tyto pláště nemívají nárazník, protože zachycení

obvodových i příčných sil zajišťuje právě diagonální orientace kordových vláken v kostře.
[8] [6]

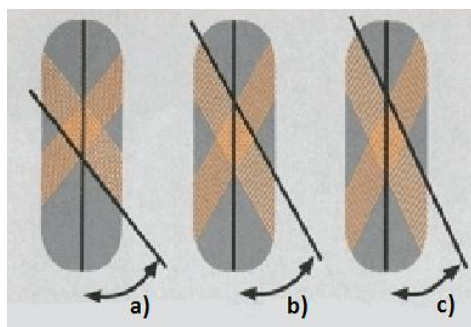
Na Obr. 6 je na řezu vyobrazena diagonální kordová vrstva pneumatiky.



Obr. 6: Diagonální kordová vrstva pneumatiky [9]

U diagonálních pneumatik rozhoduje o kvalitě kostry a především o její pevnosti pevnost použitých kordů, hustota dostavy kordové tkaniny, počet kordových vložek a úhel, který spolu svírají kordové nitě ve dvou sousedních vložkách, přičemž platí, že čím je úhel ostřejší, tím je pneumatika tužší. [6]

Na Obr. 7 jsou znázorněny typické úhly křížení pro jednotlivé druhy pneumatik (a) standardní pneumatika 38°- 40°, b) vysoce výkonná pneumatika 30°- 35°, c) závodní pneumatika 26°)



Obr. 7: Typické úhly křížení kordových vrstev [10]

(a) standardní pneumatika 38°- 40°, b) vysoce výkonná pneumatika 30°- 35°, c) závodní pneumatika 26°)

Semiradiální pneumatika (smíšená, bias-belted)

Semiradiální pneumatika je tvořena kříženými kordy s vlákny pod úhlem větším než 60° k obvodu. Kordová vrstva je opásána nárazníkem z málo pružných materiálů s vlákny kříženými pod malým úhlem k obvodu (do 25°). Tvoří přechod od diagonálních k radiálním plášťům. [7]

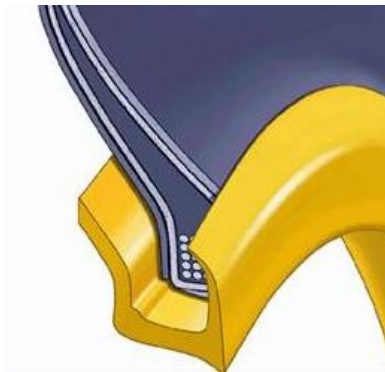
Diagonální a semiradiální pneumatiky se již dnes pro osobní automobily nepoužívají. Své uplatnění ale stále nacházejí v použití pro nákladní automobily, stavební a zemědělské stroje, nakladače atd.

Radiální pneumatiky mají oproti diagonálním výhody zejména ve:

- sníženém opotřebení a delší životnosti,
- zvýšené bezpečnosti jízdy – kratší brzdné dráze a větší stabilitě vozidla při zatáčení,
- sníženém valivém odporu – snížená spotřeba a zvýšená provozní rychlost,
- zlepšených adhezních vlastnostech,
- zmenšených hysterezních ztrátách pneumatiky – snížená teplota pneumatiky při provozu a v důsledku toho lepší odolnost kordových vláken a pryže proti únavě,
- zachování ideální styčné plochy při různém zatížení – při zvýšeném zatížení se kontaktní plocha mění pouze v podélném směru – se zatížením se šířka jízdní stopy nemění.

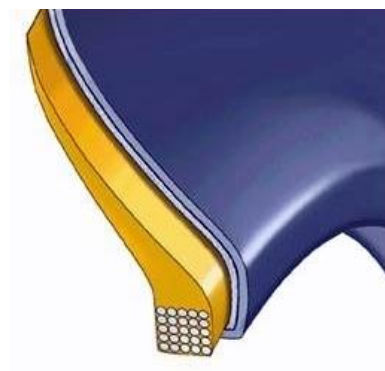
1.3.3 Patka

Patka pláště je zesílená část pláště, dosedající na ráfek. Vytváří se ohnutím kordových vložek okolo patního lana. Její úlohou je přenášet točivý moment motoru a brzdné síly z ráfku pneumatiky až na kontaktní plochu pneumatiky s vozovkou. Zároveň má za úkol přenášet všechny boční síly vznikající mezi ráfkem a pláštěm a nesmí dovolit únik vzduchu v oblasti opěrných ploch ráfku. Na Obr. 8 je vyobrazena patka pláště. [6] [8]



Obr. 8: Patka pláště [5]

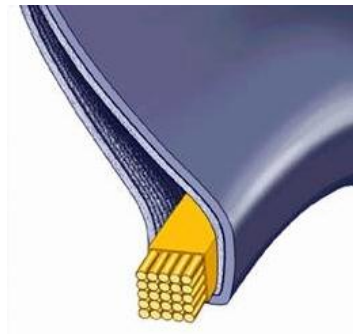
Pokud je to nutné, vyplňují se ještě části patky tzv. jádry. Jádro patky má za úkol zajišťovat postupný přechod z oblasti vysoce tuhé patky do elastické oblasti bočnic pneumatiky. Zabezpečuje velkou tuhost pláště, dokonalý přenos bočních sil a zabraňuje možnosti sesmeknutí pneumatiky z disku kola při působení bočních sil. Na Obr. 9 je vyobrazeno jádro patky. [8]



Obr. 9: Jádro patky [11]

1.3.4 Patkové (patní) lano

Je vyrobeno z pogumovaného svazku vysokopevných ocelových drátů. Patkové lano vyztužuje patku v obvodovém směru, čímž zaručuje správné a bezpečné usazení pláště na ráfku a těsnost jeho spojení s pneumatikou. Počet lan v patce není vždy stejný. Pláště pneumatik osobních automobilů mají v patce jedno lano, u plášťů pneumatik pro nákladní vozy se v patce používají až tři patkové lana. Na Obr. 10 je vyobrazeno patkové lano. [4] [6] [8].



Obr. 10: Patkové lano [5]

1.3.5 Bočnice

Bočnice pláště chrání boční část kostry pneumatiky před mechanickým poškozením a atmosférickými vlivy. Atmosférické vlivy, zejména ozón a UV záření, působí degenerativně na pryž bočnice a způsobují rozpad její chemické struktury, což vede ke zkrácení životnosti bočnice. Pro ochranu bočnic proti degradaci se přidávají do směsi antioxidanty a antiozonanty, popřípadě se volí vhodný druh pryže, např. EPDM, která je v důsledku své chemické struktury velmi odolná proti „ozónovému stárnutí“. Na Obr. 11 je vyobrazena bočnice. [4] [6] [8]



Obr. 11: Bočnice [5]

1.3.6 Nárazníky

Nárazník se používá jako přechodová vrstva mezi běhounem a kostrou pláště. Jeho hlavními úlohami je stabilizace běhounu pneumatiky v obvodovém směru, zvýšení ochrany pneumatiky proti průrazu a u radiální konstrukce pneumatiky také zachycení veškerých obvodových sil vznikajících v běhounové části. U pneumatiky pro osobní automobily se používají obvykle dvě až tři vrstvy pogumovaných ocelových kordů. Nárazník a jeho konstrukce také určuje valivý odpor, životnost a stabilitu pneumatiky. Na Obr. 12 je vyobrazen nárazník. [4] [6] [8]



Obr. 12: Nárazník [5]

1.3.7 Ochranná vrstva

Ochranná vrstva, často nazývaná jako nultý nebo překrývací nárazník, je umístěna mezi nárazníkem a běhounem. Je tvořena obvykle z jednoho až dvou pogumovaných nylonových nebo polyamidových kordů, které jsou uloženy pod úhlem 0° . Tato vrstva má několik funkcí, například snižuje zahřívání pneumatiky při tření, společně s nárazníkem snižuje valivý odpor pneumatiky a vyztužuje běhoun. Poslední zmiňovaná funkce se projeví při vysokých rychlostech, kdy brání obvodové deformaci pneumatiky a tím zlepšuje její stabilitu a jízdní komfort.

Na Obr. 13 je vyobrazena ochranná vrstva. [4] [6] [8]



Obr. 13: Ochranná vrstva [11]

1.3.8 Běhoun

Běhoun je svrchní vrstva pryže, opatřená desénem, která zajišťuje styk pneumatiky s vozovkou. Běhoun tedy zprostředkovává přenos sil a momentů z pneumatiky na vozovku, odvod vody ze styčné plochy a svým složením a tvarem desénu určuje adhezi k vozovce.

Teplo, které vzniká vlivem hysterezních ztrát v plášti pneumatiky, je jednotlivými vrstvami odváděno k povrchu pneumatiky, tedy k běhounu. Zároveň se vlivem tření a hystereze zahřívá samotný běhoun. Tloušťka běhounu tedy zásadně ovlivňuje zahřívání pneumatiky. Z tohoto důvodu by měla být co nejmenší.

Tloušťka běhounu je určována jako hloubka drážek desénu a potřebnou tloušťkou materiálu pod drážkou. Hloubka desénu ovlivňuje životnost pneumatiky. Množství materiálu pod drážkou určuje jeho odolnost proti praskání a stabilitu desénových figur. Obvykle se tloušťka běhounu volí v poměru (drážka/hmota) 60/40 až 80/20 procent. Na Obr. 14 je vyobrazen běhoun pneumatiky. [4] [6] [8]



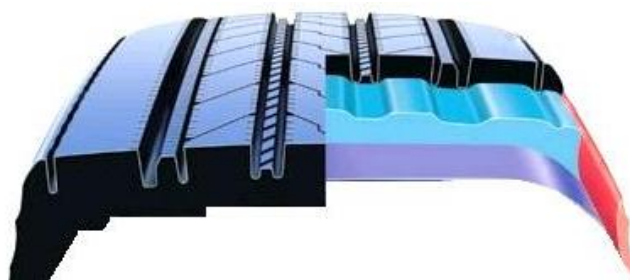
Obr. 14: Běhoun [11]

Klasifikace běhounů

Podle počtu vrstev můžeme běhoun rozdělit na jednovrstvé a dvouvrstvé.

Jednovrstvý běhoun – běhounová vrstva je z hlediska vlastností kompromisem mezi dobrou otěruvzdorností, přilnavostí a nízkými hysterezními ztrátami.

Dvouvrstvý běhoun – běhoun se dělí na vrchní a spodní běhounovou vrstvu. Vrchní běhoun má vysokou otěruvzdornost a dobrou přilnavost, spodní běhoun je z materiálu s velmi dobrými hysterezními vlastnostmi. Dvouvrstvý běhoun se používá zejména pro pneumatiky větších rozměrů, pneumatiky s vysokým rychlostním a hmotnostním indexem a zcela výlučně i pro pneumatiky nákladních automobilů a autobusů. Na Obr. 15 je vyobrazen dvouvrstvý běhoun.



Obr. 15: Dvouvrstvý běhoun [12]

Podle množství složek můžeme běhoun rozdělit na jednosložkový a vícesložkový.

Jednosložkový běhoun – běhoun je tvořen jedním druhem pryže.

Vícesložkový běhoun (Obr. 16) – běhoun je tvořen více druhy pryže, z nichž každá má jiné složení, fyzikální vlastnosti a účel.



Obr. 16: Vícesložkový běhoun – Dunlop Multi - tread technology [13]

2 Vliv pneumatik na bezpečnost vozidla

Z pohledu bezpečnosti má pneumatika jedinečnou a nezastupitelnou roli. Představuje totiž jediné spojení vozidla s vozovkou. Prostřednictvím pneumatik jsou přenášeny veškeré síly a momenty z vozidla na vozovku a naopak. Ačkoli je pro bezpečnost vozidla výběr vhodné a kvalitní pneumatiky klíčový, bývá její význam mezi motoristy často podceňován. Veškeré pneumatiky na trhu musí splňovat homologační předpisy, tyto předpisy se však nevyjadřují ke kvalitě pneumatiky a jejím vlastnostem. Jistým vodítkem mohou být pro motoristu kvalitativní porovnávání pneumatik, prováděná spotřebitelskými organizacemi nebo národními autokluby. Například německý autoklub ADAC každoročně testuje nejběžnější rozměry pneumatik předních výrobců a to jak zimních, tak letních.

Kvalitativní aspekty pneumatik se mohou popsat obecnými požadavky na komfort (tlumení nerovností vozovky, nízký vývin hluku), hospodárnost (odolnost proti opotřebením, valivý odpor – tedy na životnost a spotřebu paliva) a životní prostředí (hlučnost, možnost recyklace), které se do jisté míry prolínají. V popředí však stojí požadavky kladené na bezpečnost pneumatik.

Požadavky na pneumatiku z hlediska bezpečnosti jsou:

- **Odolnost proti průrazu**

Pneumatika musí být odolná vůči průrazu cizím tělesem, neboť průraz by způsobil náhlou ztrátu tlaku huštění. To by znamenalo ztrátu funkčnosti pneumatiky a vozidlo by bylo neovladatelné, což je nebezpečné zejména při jízdě vysokou rychlostí. Podmínky pro zkoušku odolnosti proti průrazu jsou stanoveny normou ČSN 63 1531. V této normě je prováděna zkouška pneumatiky protlačováním trnu. Vyhodnocuje se poruchová síla, dráha trnu a celková poruchová práce.

- **Dobrá adheze a přesné vedení vozidla na různých druzích povrchu**

Pneumatika musí bezpečně přenášet veškeré podélné i příčné síly, a to bez ohledu na stav, teplotu a druh vozovky. Zároveň by měla dostatečnou tuhostí a pevností desénového vzorku přispívat k přesné ovladatelnosti vozidla.

- **Rychlostní odolnost a stabilita při vysoké rychlosti**

Velikost odstředivé síly působící na pneumatiku roste s druhou mocninou rychlosti jízdy vozidla. Všechny části pneumatiky musí být dimenzovány tak, aby při dosažení konstrukční rychlosti pneumatiky nedošlo vlivem působení odstředivých sil k jejich odseparování s následnou destrukcí pneumatiky. Zároveň si musí pneumatika zachovat dostatečnou tuhost při vysokých rychlostech, aby při jízdě nedocházelo k jejímu nežádoucímu vlnění a ohrožení stability vozidla.

- **Nesení zátěže**

Pneumatika musí odolat jak statickému, tak i dynamickému zatížení. Zvláště pak při jízdě v zatáčce, nebo při brzdění, kdy dochází k přitěžování vnějších, respektive předních kol.

Bezpečnost pneumatiky závisí na následujících aspektech:

- složení běhounové směsi,
- hloubka a tvar desénu,
- konstrukce,
- tlak huštění.

2.1 Složení běhounové směsi

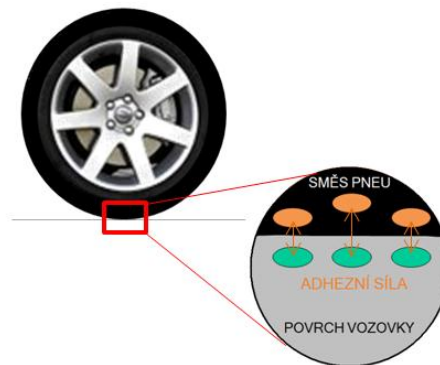
Složení běhounové směsi udává výsledné vlastnosti pneumatiky, především její přilnavost a trvanlivost. Celý sortiment směsí pneumatik lze rozdělit do dvou základních kategorií, a to pro běžné použití a pro motorsport.

2.1.1 Přilnavost pneumatiky

Přilnavost pneumatiky je dána spojením dvou principů, a to fyzikálního – adheze a mechanického - indentace neboli zařezávání. Přičemž pro přilnavost pneumatiky má zásadní vliv druhá složka, tedy indentace.

Fyzikální adheze pneumatiky – Adhezní síla pneumatiky je tvořena velkým počtem slabých van der Waalsových sil. Tyto molekulární síly působí mezi molekulami směsi pneumatiky a molekulami povrchu vozovky na vzdálenosti několik angströmů ($1\text{Å} = 1\cdot 10^{-10}\text{m}$). Adheze pneumatik je tedy způsobena mikroskopickou drsností. [15]

Na Obr. 17 je vyobrazen princip adhezního působení.

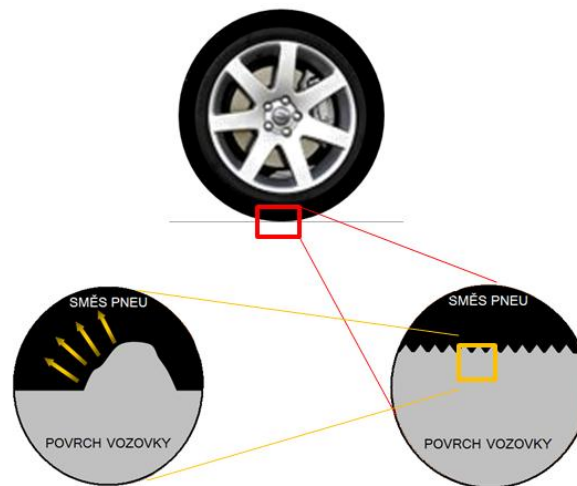


Obr. 17: Princip adhezního působení [15]

Indentace pneumatiky – jedná se o stlačení směsi běhounu tlakem nerovností povrchu vozovky. Pokud izolujeme jednu nerovnost (viz Obr. 18) a budeme zkoumat její kontakt se směsí, pozorujeme jejich vzájemnou interakci. Při nárazu pryže na nerovnost dojde k jejímu stlačení. Druhá strana pneumatiky, která je mimo kontakt s touto nerovností, se oddělí, protože chvíli trvá, než guma získá díky své elasticitě svůj původní tvar. To vyvolá sílu působící proti směru skluzu pneumatiky. Při jízdě se každý kousek běhounu chová jako pružina – při stlačení akumuluje energii a v okamžiku, kdy

ztratí kontakt s povrchem vozovky, uvolní část nashromážděné energie. Tato hysterzezní energie se neztrácí, ale mění se na tření ve styčné ploše mezi běhounem a povrchem vozovky. [15]

Tento mechanismus funguje pouze za předpokladu, že se podklad dostatečně zařezává do povrchu pneumatiky. Indentace je tedy způsobená makrodrsností povrchu.



Obr. 18: Princip indentace [15]

2.1.2 Směsi pro běžné použití

V běžné praxi se lze setkat pouze se dvěma základními typy směsí, a to se směsí pro letní a zimní pneumatiky.

Zimní směsi se od letních liší hlavně nahrazením sazí silikou (hydratovaný oxid křemičitý – $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), pryskyřicemi a oleji. Díky přidavku siliky se stává pneumatika přilnavější za nižších teplot a na mokré vozovce. Další výhodou siliky je její nízká měrná hmotnost, která tímto snižuje moment setrvačnosti pneumatiky. Dalším pozitivem je i snížení valivého odporu pneumatiky. [14]

Novinkou v oblasti „běžných“ pneumatik je použití dvojitého běhounu (např. pneumatika Goodyear Eagle F1 Assymetric na Obr. 19). Kombinace dvou druhů směsí (směs siliky s vysoce kvalitní trakcí na mokré vozovce na vnitřní straně a směs se zdokonalenou přilnavostí na suché vozovce na vnější straně pneumatiky) zaručuje mimořádnou ovladatelnost a stabilitu pneumatiky jak na suchém, tak i na mokřém

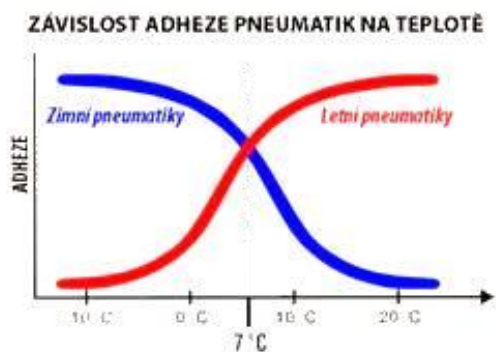
povrchu. Tato technologie byla převzata ze závodních pneumatik pro okruhové závody F1.



Obr. 19: Technologie dvojitého běhounu pneumatiky Goodyear Eagle f1 Assymmetric [35]

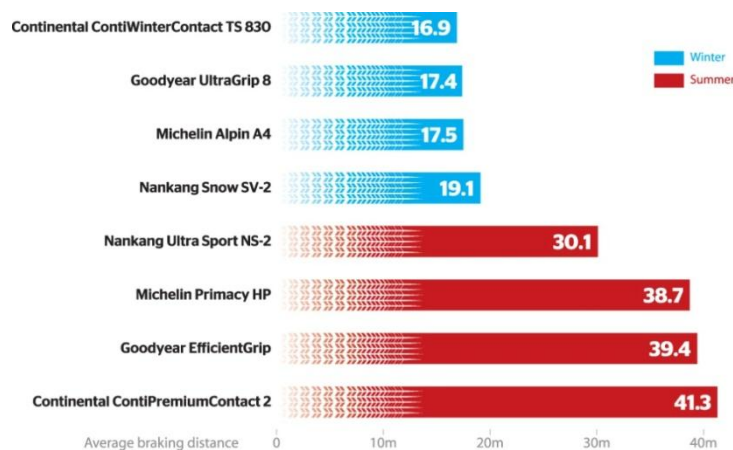
Posledním trendem je využití funkcionalizovaných polymerů a trakčních pryskyřic v zimních směsích. Tyto polymery lépe a pevněji propojují kaučuk se silikou, což zlepšuje přilnavost za mokra a zároveň snižuje valivý odpor. Této technologii v současnosti využívá firma Goodyear v pneumatice UltraGrip 8 a Dunlop v pneumatice SP WinterSport 4D.

Odborníky doporučenou teplotou pro výměnu letních pneumatik za zimní je 7°C (Obr. 20). Pod tuto teplotu směs letních pneumatik tvrdne a ztrácí přilnavost. Navíc, díky nízké teplotě vozovky a okolního vzduchu, se pneumatika nedokáže prohřát na požadovanou provozní teplotu. Naopak pneumatika se zimní směsí se při teplotách nad 20°C nadměrně zahřívá, nemá dostatečnou tvrdost – stává se plastičtější. Změkčením pneumatiky dochází ke zvýšení pružnosti v bočním směru – vozidlo má zhoršenou řiditelnost a směrovou stabilitu. Zároveň dochází ke snížení součinitele adheze mezi kolem a pneumatikou, což vede například k prodloužení brzdné dráhy vozidla.

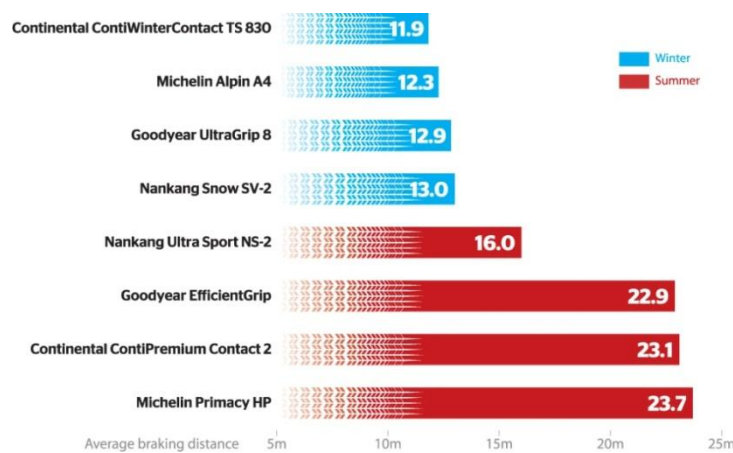


Obr. 20: Závislost přilnavosti pneumatik na teplotě [14]

Na Obr. 21 a Obr. 22 jsou porovnány brzdné dráhy letních a zimních pneumatik na sněhu a ledu. Jako testovací vozidlo byl použit VW Golf VI. generace. Brzdění probíhalo z rychlosti 25 mph na sněhu (cca 40 km/h) a z rychlosti 12 mph (cca 19,5 km/h) na ledu.



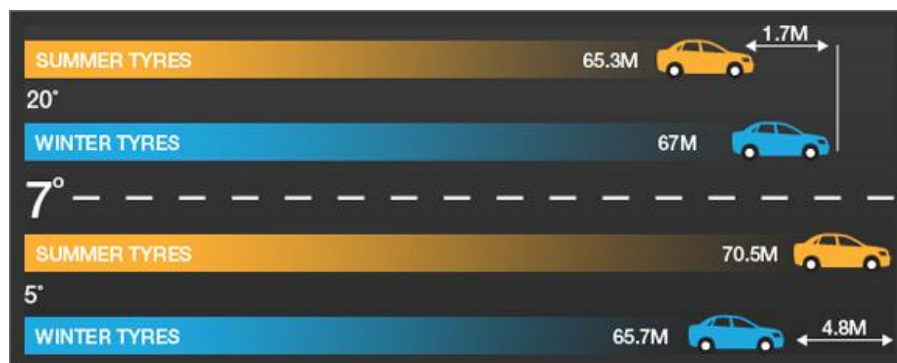
Obr. 21: Porovnání brzdných drah letních a zimních pneumatik na sněhu [28]



Obr. 22: Porovnání brzdných drah letních a zimních pneumatik na ledu [28]

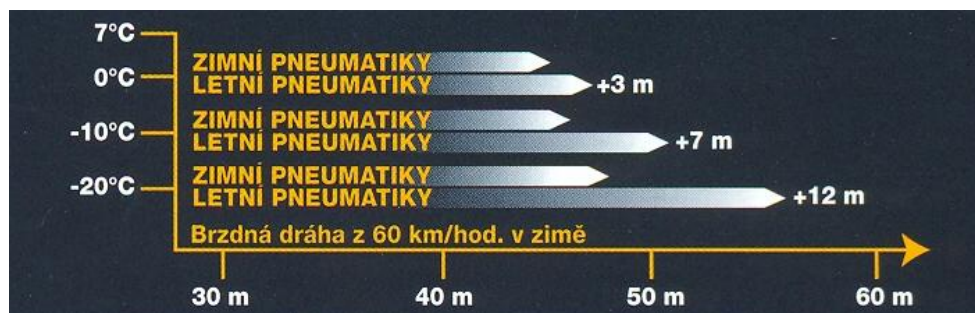
Z obrázků je jasně patrná zkrácená brzdná dráha zimních pneumatik, kdy i nejhorší neznačková zimní pneumatika Nangang Snow SV-2 měla o třetinu (sníh), respektive o polovinu (led) kratší brzdovou dráhu, než nejlepší z prémiových letních pneumatik.

Na Obr. 23 a Obr. 24 je zobrazen rozdíl délky brzdných drah automobilu při použití letních a zimních pneumatik při různých teplotách a druzích povrchu.



Obr. 23: Rozdíl brzdných drah automobilu při teplotách 5°C a 20°C z rychlosti 100 km/h na mokré vozovce[24]

Z Obr. 23 vyplývá, že z hlediska bezpečnosti je méně nebezpečné použití zimních pneumatik v létě, než letních pneumatik v zimě.



Obr. 24: Rozdíl brzdných drah automobilu při teplotách pod 0°C z rychlosti 60 km/h na suché vozovce[25]

2.1.3 Směsi pro sportovní použití

Popis rozdílů a složení jednotlivých druhů směsí je nad rámec této práce, proto budou v tomto odstavci popisovány směsi pro závodní užití pouze zevrubně.

Směsi pro použití v motoristickém sportu je nepřeberné množství. Jejich složení se mění v závislosti na jednotlivých disciplínách (rallye, okruhové závody, krosové závody atd.), površích (šotolina, asphalt, sníh atd.) i parametrech jednotlivých tratí (množství a charakter zatáček, teplota, profil tratě atd.).

Na Obr. 25 jsou zobrazeny směsi pneumatik Pirelli P Zero pro použití v okruhových závodech F1.

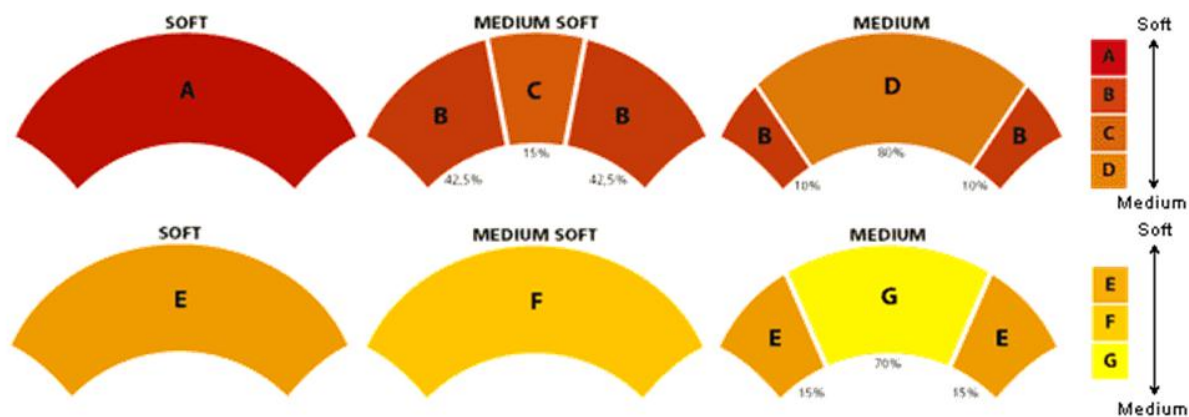


Obr. 25: Pneumatiky Pirelli P Zero [16]

Tyto pneumatiky se dodávají ve 4 druzích směsí (super měkká, měkká, střední a tvrdá) pro suchou trať a ve dvou druzích směsí (mokrá a přechodová) pro mokrou trať. Jednotlivé směsi se liší především tvrdostí, přičemž platí, že čím je směs měkkčí, tím má lepší přilnavost, ale nižší životnost.

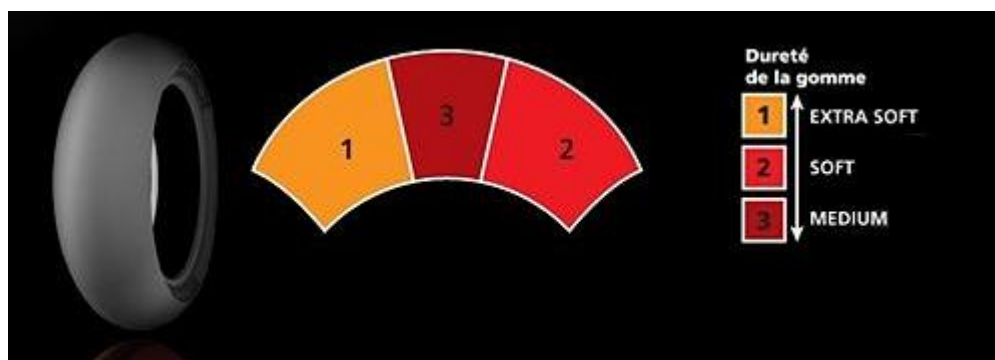
U pneumatik pro okruhové závody, je situace v použití jednotlivých druhů směsí ještě složitější. U závodních automobilových pneumatik je běhoun tvořen z jedné nebo dvou směsí. U motocyklových závodních pneumatik je běhoun tvořen rovněž z jedné nebo více druhů směsí – až třemi – tvrdší směs uprostřed a měkkčí po stranách pneumatiky. Tímto způsobem se dosahuje delší životnosti pneumatiky při jízdě po rovině a lepší přilnavost pneumatik v zatáčkách. Rozdíly v tvrdosti směsí jsou i mezi přední a zadní pneumatikou.

Na Obr. 26 je zobrazeno rozložení směsi napříč pneumatikou používané u závodních pneumatik Michelin Power pro přední (nahore) a zadní pneumatiku (dole).



Obr. 26: Schématické znázornění rozložení směsi napříč pneumatikou pro přední (nahore) a zadní pneumatiku (dole) [17]

Nejnovějším trendem je použití pneumatik s asymetrickým rozložením směsi (Obr. 27), které se používají na okruhy s vyšším podílem zatáček na jednu stranu.



Obr. 27: Pneumatika s asymetrickým rozložením směsi [18]

2.2 Hloubka a tvar desénu

Hloubka a tvar desénu jsou další podstatnou charakteristikou pneumatiky. Ovlivňují především záběrové a brzdné vlastnosti, schopnost vedení směru a také odolnost proti aquaplaningu. Z pohledu bezpečnosti musí splňovat dva protichůdné požadavky. Těmi jsou maximální možná přilnavost pneumatiky na suchém a mokřém povrchu.

Přilnavost na suchém povrchu

Pro přilnavost na suchém povrchu je důležitá co největší styčná plocha běhounu s vozovkou. Proto by měl být poměr prořezání desénu (množství drážek) co nejmenší. Pro zaručení pevné opory pneumatiky v zatáčce a při brzdění je důležité použití rovného profilu pneumatiky se čtvercovými rameny a širokými desénovými bloky. Jasným příkladem jsou závodní pneumatiky typu slick, tedy pneumatiky bez vzorku. [19]

Přilnavost na mokřém povrchu

Pro přilnavost na mokřém povrchu je naopak důležitá schopnost pneumatiky odvést co největší množství vody zpod styčné plochy. Zde platí, že čím je větší poměr prořezání desénu (množství drážek), tím je větší schopnost desénu odvádět vodu pryč. Dalším důležitým faktorem je i tvar desénu (symetrický, asymetrický a směrový) a jeho lamelizace (množství lamel) desénu. Tvar je určující pro schopnost pneumatiky odvést vodu pryč z kontaktní plochy. Lamely jsou tenké drážky na povrchu běhounu, které pomáhají hranám a drážkám odvádět vodu. Tímto zajišťují přilnavost na mokřém a zledovatělém povrchu. [19]

V běžném provozu musí pneumatiky splnit obě tato kritéria, tedy dobrou přilnavost a ovladatelnost na suché i mokřé vozovce. Výsledné chování pneumatiky je tedy kompromisem mezi oběma extrémy.

2.2.1 Tvar desénu

V dnešní době se u běžných pneumatik pro osobní vozidla používají tři základní typy desénů. A to symetrický, asymetrický a směrový. Jednotlivý typ desénu udává pneumatice její charakteristické vlastnosti. Pro letní a zimní pneumatiky jsou základní typy desénů stejné, liší se však lamelizací a poměrem prořezání.

Symetrický desén

Dříve nejpoužívanější desén je dnes na ústupu a je nahrazován desénem směrovým a asymetrickým. Hlavní výhodou je jeho univerzálnost použití a vyrovnané výkony na suché i mokré vozovce. Na Obr. 28 jsou zobrazeny symetrické desény letních (obr. vlevo) a zimních pneumatik (obr. vpravo).



Obr. 28: Symetrický desén letních (vlevo) a zimních pneumatik (vpravo) [20]

Asymetrický desén

Asymetrický desén je rozdělen na dvě části – vnitřní a vnější. Každá část má svoji specifickou funkci. Vnitřní část zabezpečuje odvod vody zpod pneumatiky a přenos brzdných a záběrových sil na vozovku. Vnější strana má za úkol vedení vozidla, tedy přenos bočních sil. Zajišťuje vysokou stabilitu pneumatiky při jízdě v zatáčce, díky zpevněné boční hraně tvořené tuhými bloky. Asymetrické pneumatiky nabízejí vynikající jízdní vlastnosti jak na mokré, tak i na suché vozovce. Tento typ desénu je nejčastěji používán pro letní pneumatiky.

Na Obr. 29 jsou zobrazeny asymetrické desény letních (obr. vlevo) a zimních pneumatik (obr. vpravo).



Obr. 29: Symetrický desén letních (vlevo) a zimních pneumatik (vpravo) [20]

Pneumatiky s asymetrickým desénem jsou obvykle nesměrové. Pouze u pneumatik určených pro sportovní vozidla se kombinuje směrovost s asymetrií desénu. To je případ např. pneumatiky Goodyear F1 Assymetric (Obr. 30)



Obr. 30: Pneumatika Goodyear F1 Assymetric [21]

Směrový desén

Směrový desén má předepsaný smysl rotace, který se nesmí zaměnit. Vyznačuje se výborným odvodem vody, jízdou stabilitou a vedením vozidla na mokré vozovce. Má rovněž výborné záběrové vlastnosti na sněhu, proto je velmi často užíván výrobci pro zimní pneumatiky. Například vývojoví inženýři společnosti Continental dospěli k poznatku, že směrový desén u menších rozměrů pneumatik, má mnohem lepší záběrové

vlastnosti a schopnost odvodu vody než desén asymetrický. Nevýhodou směrových desénů je vyšší hlučnost a nižší kilometrický výkon.

Na Obr. 31 jsou zobrazeny směrové desény letních (obr. vlevo) a zimních pneumatik (obr. vpravo).

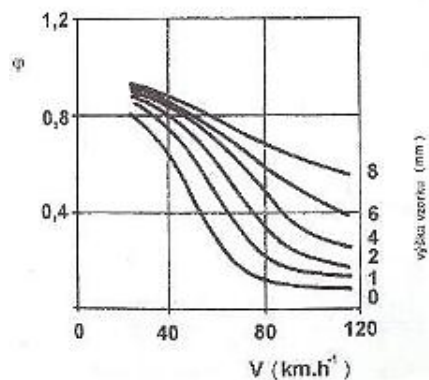


Obr. 31: Směrový desén letních (vlevo) a zimních pneumatik (vpravo) [20]

2.2.2 Hloubka desénu

Hloubka desénu má zásadní vliv na délku brzdné dráhy vozidla především na mokřem povrchu a odolnost pneumatiky proti aquaplaningu. Jak již bylo řečeno výše, pro přilnavost pneumatiky, tedy pro součinitel adheze, je důležitá schopnost pneumatiky se zařezat do povrchu vozovky. Čím je hloubka desénu menší, tím je vyšší tuhost jednotlivých desénových bloků pneumatiky, a tím je potřeba větších tečných sil pro jejich deformaci v obvodovém směru. Desénové bloky se proto nemohou optimálně zachytit o mikronerovnosti vozovky a dochází ke snížení adheze pneumatiky.

Na mokřem silnici nedokáže pneumatika s malou hloubkou desénu odvést dostatečné množství vody zpod kontaktní plochy. Tím dochází ke snížení adheze mezi kolem a vozovkou. Na Obr. 32 je zobrazena závislost součinitele adheze na rychlosti jízdy a hloubce desénu. Zkouška byla prováděna na pneumatice osobního automobilu na vozovce s výškou vodního sloupce 2 až 3 mm.



Obr. 32: Závislost součinitele adheze na rychlosti jízdy a hloubce desénu [22]

Na Obr. 33 je zobrazena závislost délky brzdné dráhy automobilu na hloubce desénu pneumatiky.



Obr. 33: Závislost délky brzdné dráhy automobilu na hloubce desénu pneumatiky [23]

Hloubka profilu pneumatiky má také zásadní vliv na odolnost pneumatiky proti aquaplaningu. Jelikož je problematika aquaplaningu velice komplexní a zahrnuje mnoho vlivů, bude toto téma probráno v následující samostatné kapitole.

2.2.3 Aquaplaning

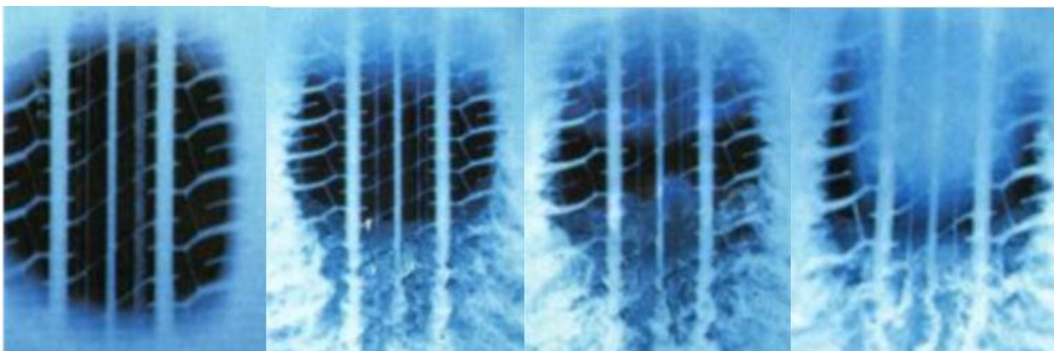
Aquaplaning je ztráta přilnavosti pneumatiky na mokré vozovce. Vzniká ve chvíli, kdy z její kontaktní plochy není dostatečně rychle odváděna voda a před pneumatikou se začne tvořit vodní klín. Klín se s přibývajícím množstvím neodvedené vody postupně zvětšuje a proniká do kontaktní plochy pneumatiky, která se tímto zmenší natolik, že kola nejsou schopna přenést dostatečné podélné a boční síly a dochází k úplné ztrátě adheze pneumatiky s vozovkou.

Vznik aquaplaningu ovlivňují tři hlavní faktory. Těmi jsou rychlost vozidla, hloubka vodní vrstvy a vlastnosti pneumatiky.

Rychlost vozidla

Se vzrůstající rychlostí přibývá množství vody, kterou musí pneumatika pro zachování dostatečné styčné plochy odvést. Zároveň dochází ke zvětšování minimální styčné plochy pneumatiky potřebné pro přenos všech podélných a bočních sil. Se vzrůstající rychlostí taktéž působí na desénové bloky pneumatiky větší odstředivé síly, které je deformují a dochází ke snížení schopnosti pneumatiky účinně odvádět vodu z kontaktní plochy pneumatiky.

Na Obr. 34 je zobrazeno postupné zmenšování styčné plochy pneumatiky v závislosti na rychlosti jízdy. Vývoj rychlosti na jednotlivých snímcích je zleva 0, 80, 100 a 115 km/h.



Obr. 34: Změna velikosti styčné plochy pneumatiky v závislosti na rychlosti jízdy (vývoj rychlosti zleva 0, 80, 100 a 115 km/h)

Hloubka vodní vrstvy

Aby byla zachována stejná styčná plocha, musí pneumatika se vzrůstající vodní vrstvou, při konstantní rychlosti, odvést větší množství vody. Pokud je množství vody větší, než jaké je pneumatika schopna při určité rychlosti odvést, vzniká aquaplaning.

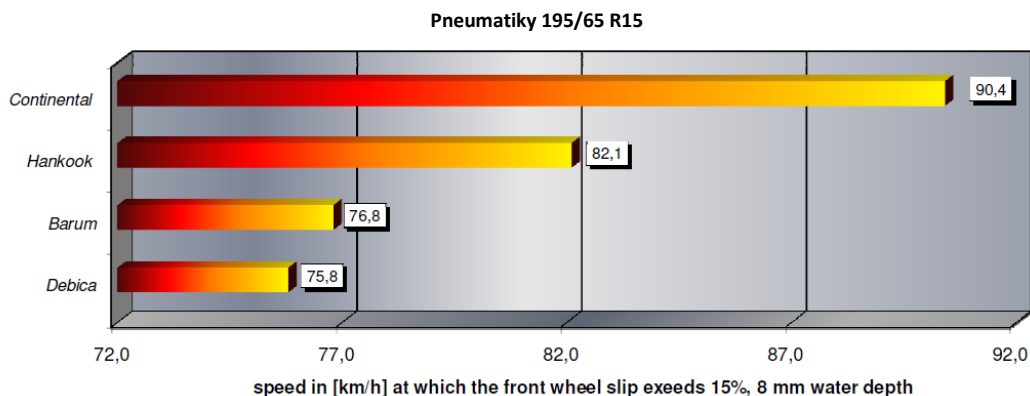
Vlastnosti pneumatiky

Vlastnostmi pneumatiky jsou myšleny její rozměry, desén pneumatiky a tlak jejího huštění.

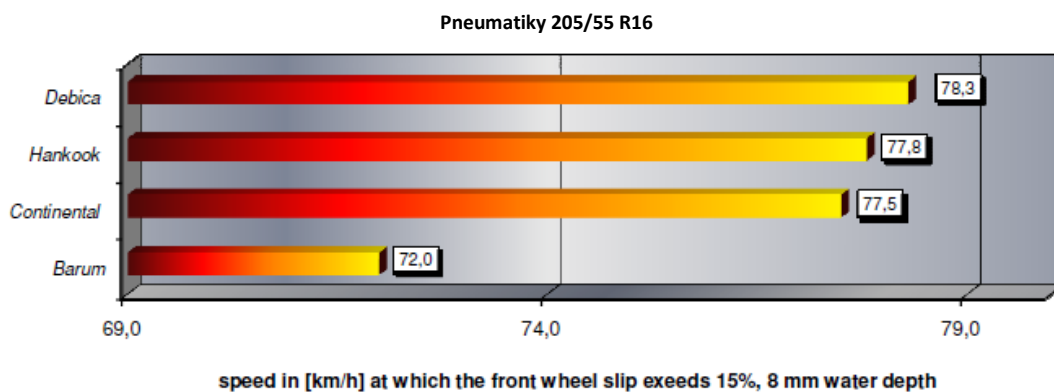
- **Rozměry pneumatiky**

Na aquaplaning má vliv především šířka pneumatiky. Zde platí, že čím je širší pneumatika, tím je její náchylnost k aquaplaningu vyšší. Tento jev je dán větší vzdáleností okraje pneumatiky od jejího středu. U široké pneumatiky voda potřebuje delší čas na cestu od středu ke kraji, a tudíž se snáze nahromadí tolik vody, kterou už není schopna pneumatika odvést (především při větší výšce vodního sloupce), takže rychlost, při které vzniká aquaplaning, je nižší.

Na Obr. 35 a Obr. 36 jsou vyobrazeny výsledky testů aquaplaningu zimních pneumatik značek Continental (Winter Contact TS 830), Barum (Polaris 2), Debica (Frigo 2) a Hankook (Icebear W440) o rozměrech 195/65 R15 a 205/55 R16. Tyto testy byly prováděny Autoklubem České Republiky v letech 2009 a 2010. Zkouška byla prováděna při hloubce vodního sloupce 8 mm, zaznamenaná nejvyšší rychlost je rychlost, při které překročí skluz předních kol 15%. Testovacím vozidlem byl VW Golf V. generace. [26] [27]



Obr. 35: Porovnání odolnosti pneumatik 195/65 R15 proti vzniku aquaplaningu [27]



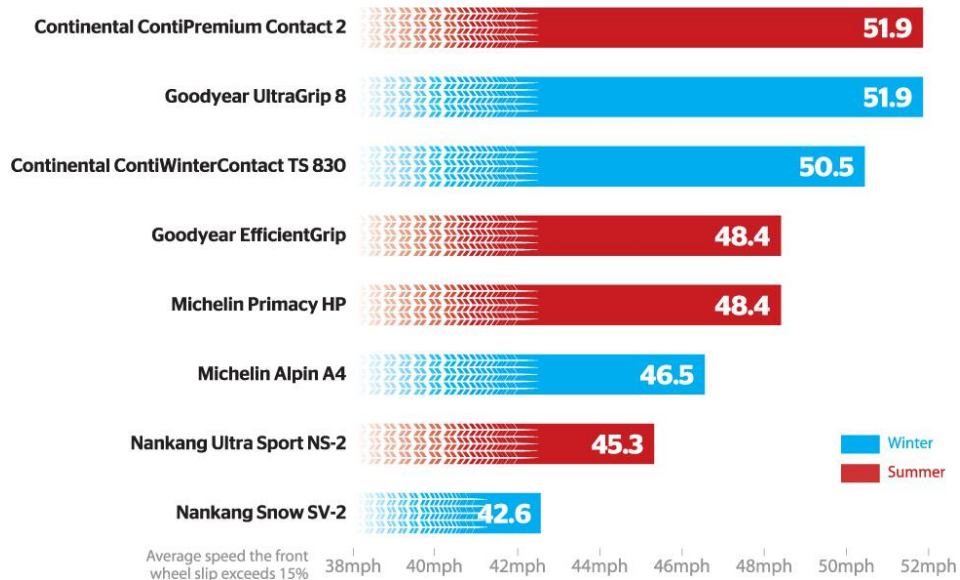
Obr. 36: Porovnání odolnosti pneumatik 205/55 R 16 proti vzniku aquaplaningu [26]

Z obrázků je jasně patrné, že u širších pneumatik nastává aquaplaning dříve, než u pneumatik užších. Například u pneumatiky Continental Winter Contact TS 830 je rozdíl v rychlostech 12,9 km/h.

▪ Desén pneumatiky

U desénu pneumatiky platí, že nezáleží tolik na složení jeho směsi (tedy směs letní, nebo zimní - Obr. 37), ale na jeho konstrukci. Záleží tedy na množství drážek, jejich objemu (šířce a hloubce) a povrchu, přičemž platí, že čím více je drážek a čím větší je jejich objem, tím je riziko vzniku aquaplaningu posunuto do vyšších rychlostí. Účinnost odvodu vody v drážkách desénu snižuje turbulentní proudění. Pro eliminaci tohoto jevu někteří výrobci pneumatik (např. Nokian Tyres) leští povrch drážek. Tímto se dosahuje rychlejšího a efektivnějšího odvodu vody.

Na Obr. 37 je zobrazeno porovnání odolnosti letních a zimních pneumatik proti vzniku aquaplaningu. Test probíhal při teplotách okolo 11°C a výšce vodního sloupce 7mm. Jako testovací vozidlo byl použit VW Golf VI. generace.



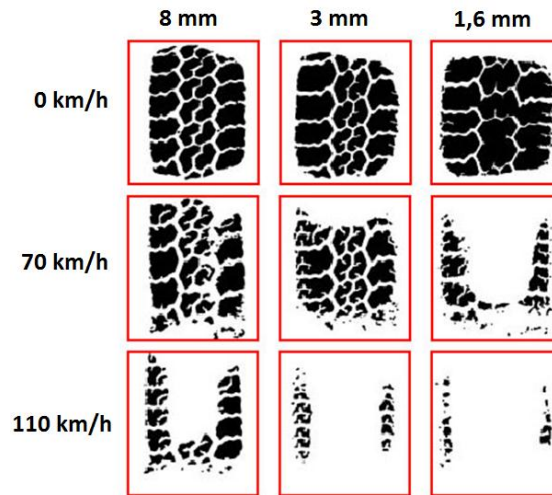
Obr. 37: Porovnání letních a zimních pneumatik z hlediska odolnosti proti vzniku aquaplaningu [28]

Největší vliv na vznik aquaplaningu má, kromě konstrukce samotného desénu, hlavně hloubka desénu. S ubývající hloubkou desénu výrazně klesá mezní jízdní rychlost pro vznik aquaplaningu. Na Obr. 38 je zobrazen rozdíl kontaktní plochy speciální pneumatiky do deště a běžné pneumatiky. Porovnání bylo prováděno při rychlosti 130 km/h, hloubka desénu obou pneumatik byla maximální, tedy cca 8mm.



Obr. 38: Vliv konstrukce desénu na vznik aquaplaningu při rychlosti 130 km/h (vlevo speciální pneumatika do deště, vpravo běžná pneumatika) [15]

Na Obr. 39 je vyobrazena kontaktní plocha pneumatiky s vozovkou při různých rychlostech a hloubkách desénových drážek. Test byl prováděn při výšce vodního sloupce 6 mm.



Obr. 39: Vliv hloubky desénu na vznik aquaplaningu při různých rychlostech [15]

- **Tlak huštění**

Podle společnosti Michelin má tlak huštění pneumatik přímý vliv na vznik aquaplaningu, zvláště pokud je tlak v pneumatikách nižší o více než 30% doporučené hodnoty. Pod touto hodnotou dochází k výraznější deformaci styčné plochy a tím k jejímu zmenšení. Na Obr. 40 je zobrazena změna styčné plochy pneumatiky s vozovkou při změně tlaku z 200 kPa (100% kontakt, snímek vlevo) přes 150 kPa (50% kontakt, snímek uprostřed) na 100 kPa (25% kontakt, snímek vpravo). Testování proběhlo na pneumatikách Michelin Pilot Primacy 205/55 R16 při rychlosti 80 km/h a výšce vodního sloupce 5 mm.



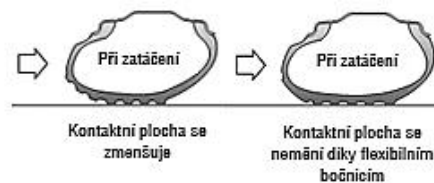
Obr. 40: Vliv tlaku huštění pneumatik na změnu kontaktní plochy a vznik aquaplaningu při rychlosti 80 km/h (Tlak huštění pneumatiky zleva: 200 kPa, 150 kPa a 100 kPa) [29]

2.3 Konstrukce pneumatiky

Konstrukcí pneumatiky jsou myšleny její rozměry a konstrukce kordové vrstvy. Podle stavby kordové vrstvy můžeme rozlišit pneumatiky na radiální, diagonální a smíšené (viz kapitola 1.3.2 Kordová vrstva). Z hlediska bezpečnosti je výhodnější konstrukce radiální.

▪ Konstrukce kordové vrstvy

Díky uspořádání kordové vrstvy a přítomnosti vrstvy nárazníků má radiální pneumatika tenké, pružné bočnice a velmi tuhou oblast koruny. Pružné bočnice umožňují deformaci pneumatiky v příčném směru. Při působení bočních sil (např. při zatáčení, viz Obr. 41), nedochází, na rozdíl od diagonální konstrukce, ke zmenšení kontaktní plochy pneumatiky.



Obr. 41: Změna velikosti styčné plochy diagonální (vlevo) a radiální (vpravo) pneumatiky při zatáčení [29]

Pružné bočnice mají také vliv na stabilitu velikosti styčné plochy při zatěžování radiální pneumatiky. Díky větší deformaci bočnic zůstává šířka styčné plochy neměnná s měnícím se zatížením pneumatiky. Ovlivňovaná je pouze délka styčné plochy. U diagonálních pneumatik se vlivem zatížení mění celá styčná plocha. Rozdíly ve změnách styčných ploch v závislosti na zatížení pneumatik obou konstrukcí je zobrazena na Obr. 42. O styčné ploše je dále pojednáno v kapitole 2.4.



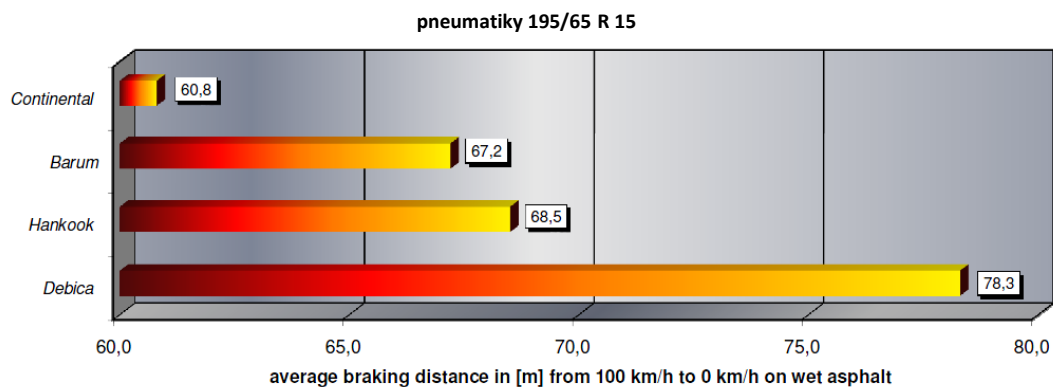
Obr. 42: Změna velikosti styčné plochy diagonální (vlevo) a radiální (vpravo) pneumatiky při změně zatížení (odlehčené pneumatice odpovídá vybarvená plocha) [30]

Tuhá korunní oblast umožňuje lepší přenos brzdných a hnacích momentů. Nárazníkový pás rovněž snižuje možnost propíchnutí pneumatiky na minimum. Pokud k propíchnutí dojde, je cizí těleso pevně drženo v nárazníku a tímto je umožněno bezpečné dojetí. Nevýhodou tohoto typu konstrukce je pouze větší nebezpečí defektu v oblasti boku pláště, kde tenká stěna a nekřížená vlákna kordu nemají dostatečně velkou strukturní pevnost. Z tohoto důvodu se pro lesní stroje a jinou speciální techniku stále používají převážně diagonální pneumatiky, protože díky jejich konstrukci je tento problém minimalizován.

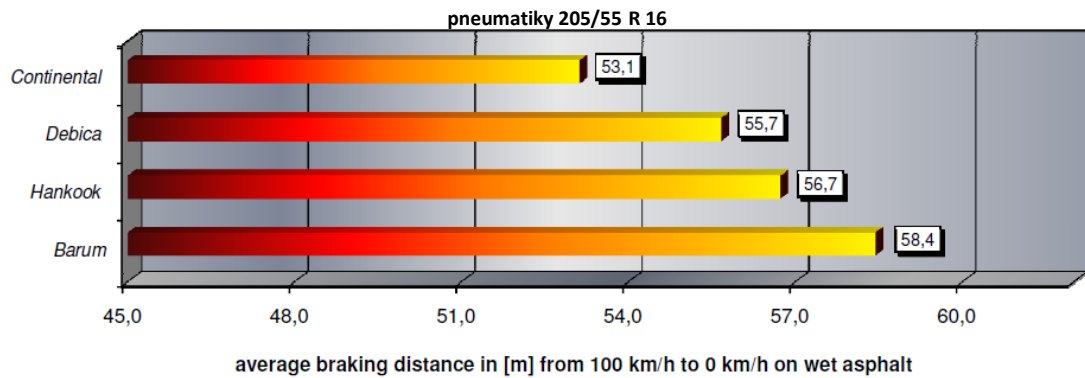
▪ Rozměry pneumatiky

Z hlediska bezpečnosti je z rozměrů důležitá především šířka pneumatiky. S rostoucí šířkou pneumatiky se zvětšuje její styčná plocha. Tímto se zlepšuje přenos sil a momentů mezi kolem a vozovkou jak na suchém, tak i vlhkém povrchu. Při použití širších pneumatik se zkracuje brzdná dráha, zlepšuje se ovladatelnost vozidla a stabilita při zatáčení.

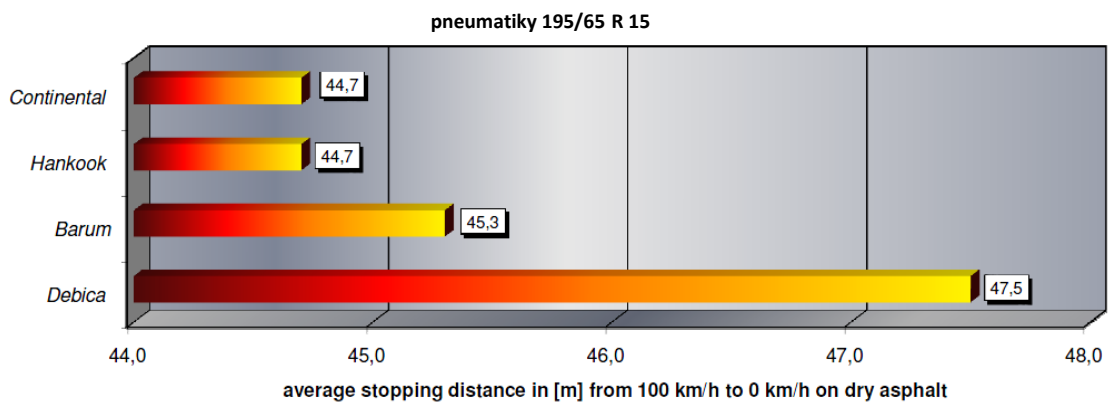
Na Obr. 43, Obr. 44, Obr. 45 a Obr. 46 jsou vyobrazeny výsledky testů brzdných vlastností zimních pneumatik značek Continental (Winter Contact TS 830), Barum (Polaris 2), Debica (Frigo 2) a Hankook (Icebear W440) o rozměrech 195/65 R15 a 205/55 R16. Tyto testy byly prováděny Autoklubem České Republiky v letech 2009 a 2010. Zkoušení proběhlo jak na mokřem (Obr. 43 a Obr. 44), tak i na suchém povrchu (Obr. 45 a Obr. 46). Jako testovací vozidla byla použita Audi A3 (pneumatiky 205/55 R16) a Volkswagen Golf (pneumatiky 195/65 R15). Teplota povrchu byla 18°C, respektive 12°C. [26] [27]



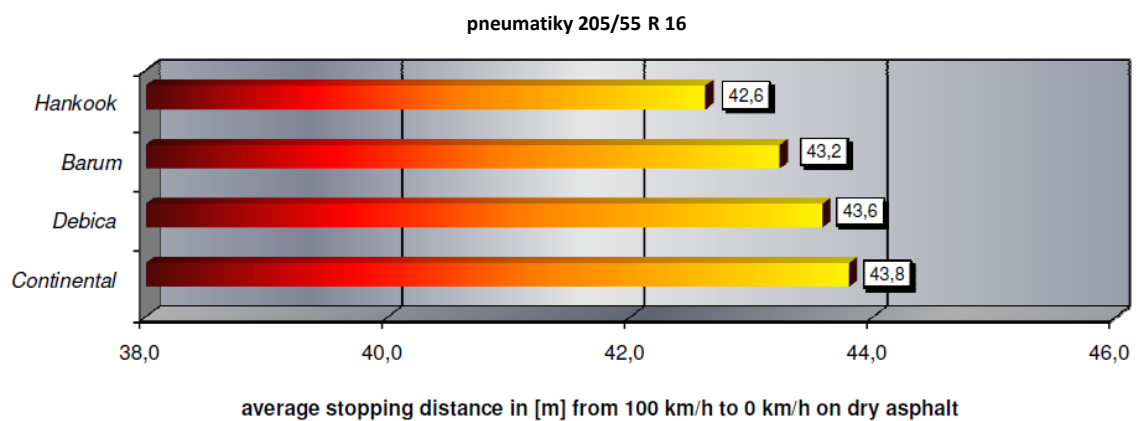
Obr. 43: Porovnání brzdných drah na mokru u pneumatik 195/65 R 15 [27]



Obr. 44: Porovnání brzdných drah na mokru u pneumatik 205/55 R 16 [26]



Obr. 45: Porovnání brzdných drah na suchu u pneumatik 195/65 R 15 [27]



Obr. 46: Porovnání brzdných drah na suchu u pneumatik 205/55 R 16 [26]

Jak již bylo řečeno dříve (kap. 2.2.3), šířka pneumatiky má však negativní vliv na odolnost pneumatiky vůči aquaplaningu, který při použití širších pneumatik nastává při nižších rychlostech.

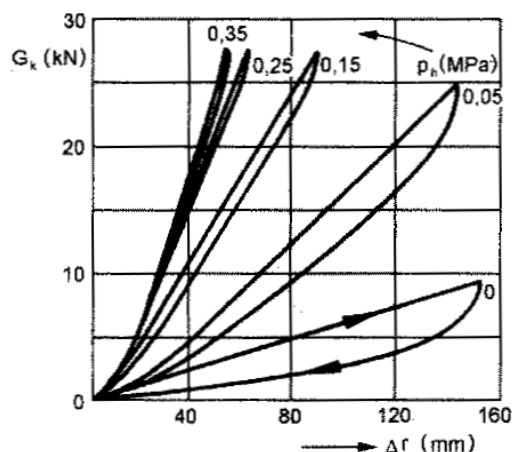
2.4 Tlak huštění pneumatiky

Tlak huštění ovlivňuje velikost styčné plochy pneumatiky, její nosnost a tuhost v radiálním a axiálním (bočním) směru.

▪ Radiální tuhost

Radiální tuhost ovlivňuje pružení pneumatiky – tedy ovlivňuje i pérování vozidla. Podhuštěná pneumatika má za následek změkčení odpružení vozidla, které vede k jeho nežádoucímu houpání. Z pohledu bezpečnosti je tento jev nebezpečný zejména při brzdění na mokrému povrchu, kdy dochází vlivem zmenšené tuhosti pérování k většímu klonění automobilu a k následnému odlehčení zadní nápravy automobilu se zvýšeným nebezpečím smyku. Naopak, při přehuštění pneumatik dojde ke ztužení pérování vozidla a pneumatika má tendenci odskakovat od nerovností vozovky, čímž se zhorší jak bezpečnost, tak i komfort jízdy.

Na Obr. 47 je radiální deformační charakteristika pneumatiky 12,00 – 18 pro různé tlaky huštění.

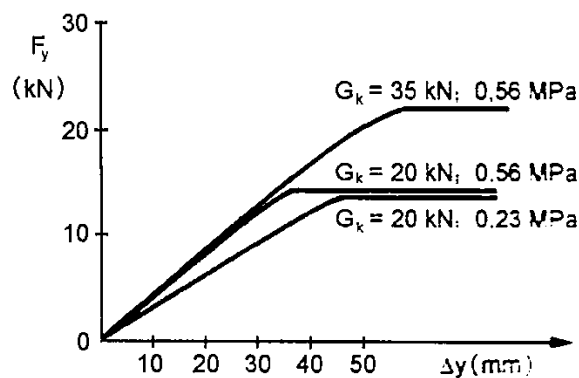


Obr. 47: Radiální deformační charakteristika pneumatiky [22]

▪ Boční tuhost

Boční tuhost pneumatiky ovlivňuje řiditelnost a směrovou stabilitu vozidla. Při podhuštění pneumatiky dochází ke zmenšení boční tuhosti a tím ke zhoršení řiditelnosti a směrové stability vozidla.

Boční tuhost pneumatiky lze vyjádřit boční deformační charakteristikou pneumatiky (Obr. 48).



Obr. 48: Boční charakteristika pneumatiky [22]

▪ Směrová tuhost

Stejně jako boční tuhost, má i směrová tuhost značný vliv na směrovou stabilitu vozidla. Zatímco boční tuhost se projevuje u statických a kvazistatických dějů, směrová tuhost pneumatiky se projevuje při jízdě vozidla. Vliv tlaku na směrovou tuhost pneumatiky je přímo úměrný, tedy s rostoucím tlakem huštění pneumatiky se její směrová tuhost zvyšuje.

Směrová tuhost pneumatiky ovlivňuje velikost směrových úchylek vznikajících na pneumatice při působení bočních sil (při zatáčení vozidla). A to tak, že při stejné boční síle se s rostoucí směrovou tuhostí pneumatiky snižují směrové úchylny na kolech. Od rozdílu velikostí směrových úchylek kol přední a zadní nápravy se poté odvíjí zatáčivost vozidla (nedotáčivost, přetáčivost a neutralita). Matematicky lze tento vliv popsat pomocí faktoru stability K , jehož velikost je dána jednak směrovou tuhostí pneumatik přední a zadní nápravy, tak i polohou těžiště vozidla pomocí následujícího vztahu.

$$K = \frac{m \cdot (k_2 \cdot l_2 - k_1 \cdot l_1)}{k_1 \cdot k_2 \cdot L}$$

kde m ... hmotnost vozidla

k_1 ... směrová tuhost pneumatik přední nápravy

k_2 ... směrová tuhost pneumatik zadní nápravy

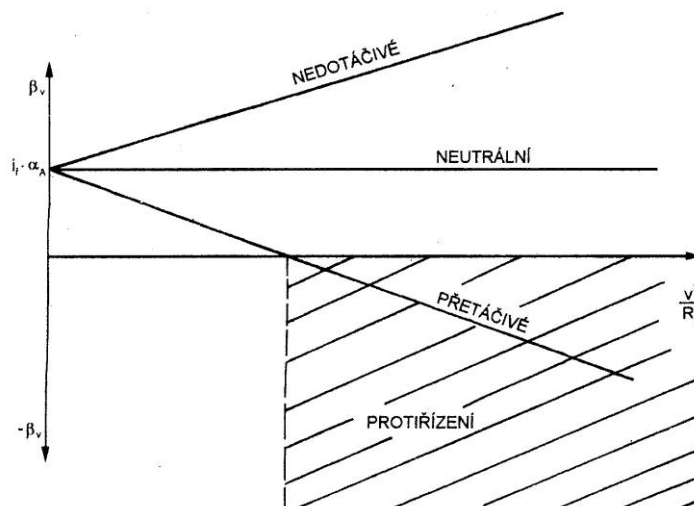
l_1 ... vzdálenost těžiště vozidla od přední nápravy

l_2 ... vzdálenost těžiště vozidla od zadní nápravy

L ... rozvor náprav

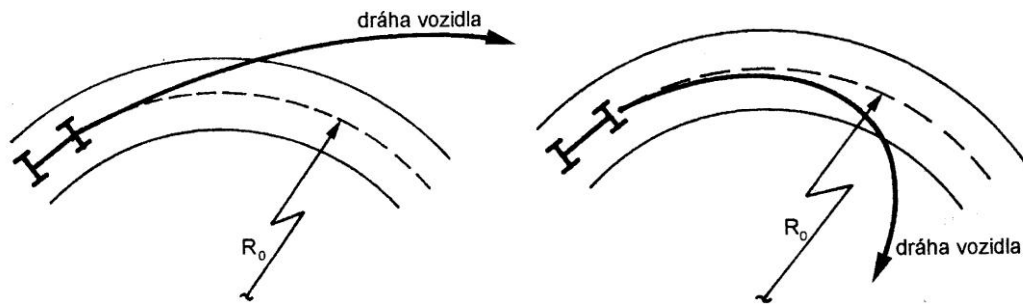
Faktor stability K může nabývat kladných hodnot ($K > 0$), záporných hodnot ($K < 0$) nebo může být nulový ($K = 0$). Velikost faktoru K charakterizuje zatáčivost vozidla. Pokud je faktor K kladný, vozidlo je nedotáčivé, to znamená, že při průjezdu zatáčkou je potřeba větší úhel natočení volantu, než by odpovídalo Ackermannovu úhlu rejdu. U přetáčivého vozidla (faktor K je záporný) je natočení volantu při průjezdu zatáčkou menší, než by odpovídalo Ackermannovu úhlu rejdu. Pokud je $K = 0$, pak se jedná o vozidlo neutrální, tedy úhel natočení kol je rovný Ackermannovu úhlu rejdu.

Na Obr. 49 je schematicky zobrazena charakteristika zatáčivosti vozidla.



Obr. 49: Charakteristika zatáčivosti vozidla [22]

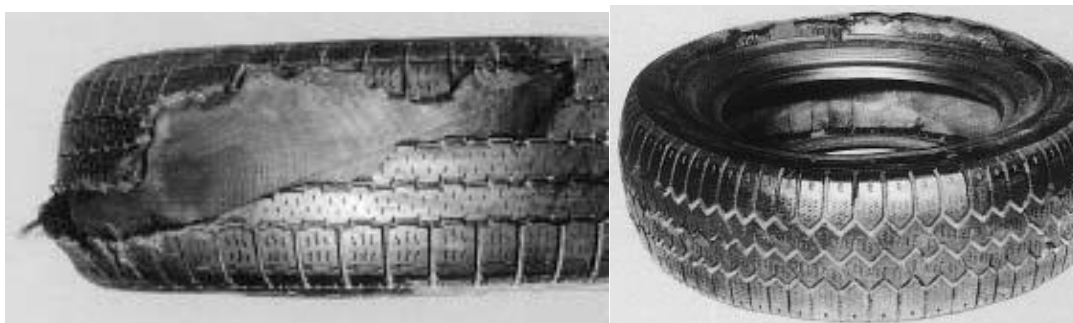
Z pohledu bezpečnosti, je výhodnější nedotáčivost a neutrálnost. U přetáčivého vozidla může při překročení kritické rychlosti nastat případ, kdy řidič musí pro zachování požadovaného poloměru zatáčení korigovat odchylky protiřízením. Na Obr. 50 jsou schematicky zobrazeny typické dráhy nedotáčivého (vlevo) a přetáčivého (vpravo) vozidla se zvyšováním rychlosti při průjezdu zatáčkou s konstantním úhlem natočení volantu.



Obr. 50: Dráha nedotáčivého (vlevo) a přetáčivého (vpravo) vozidla při průjezdu zatáčkou s konstantním úhlem natočení volantu a zvyšováním rychlosti jízdy [22]

- **Nosnost pneumatiky**

Dalším parametrem pneumatiky, který je ovlivňován tlakem huštění, je její nosnost. Při snižování tlaku v pneumatikách dochází ke zmenšování jejich nosnosti. Jízda s dlouhodobě přetíženou pneumatikou může vést k její destrukci a vážnému ohrožení bezpečnosti vozidla, zejména při jízdě ve vysokých rychlostech. U pneumatik na Obr. 51 došlo k odseparování jednotlivých vrstev vlivem přetížení při nedodržení správného tlaku huštění.

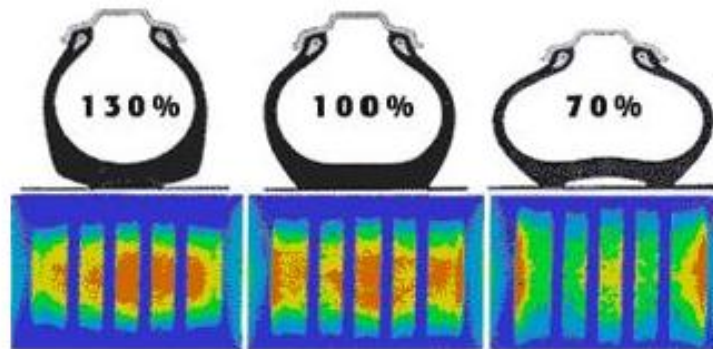


Obr. 51: Úplná destrukce pneumatik vlivem nesprávného huštění [33]

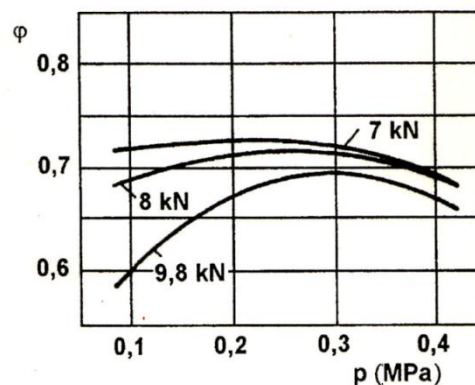
▪ Styčná plocha

Velikost styčné plochy každé pneumatiky je velice variabilní a záleží hlavně na jejím zatížení a tlaku huštění. Pokud budeme považovat zatížení pneumatiky jako konstantní, lze říci, že velikost styčné plochy je funkcí tlaku huštění pneumatiky. Přičemž platí, že se zvyšujícím se tlakem huštění klesá velikost styčné plochy. Pokud tedy bereme tlak huštění pneumatiky daný výrobcem jako ideální, při přehušťování pneumatiky klesá velikost styčné plochy.

Při podhuštění pneumatiky dochází ke zvyšování velikosti styčné plochy, ale pouze do určité limitní hodnoty tlaku. Při poklesu pod tento tlakový limit dochází k deformaci středové části běhounu (viz Obr. 52) a přetížení jeho ramenní části. Tímto dochází k omezení indentace pneumatiky s vozovkou a ke snížení součinitele adheze (Obr. 53).



Obr. 52: Změna velikosti styčné plochy a rozložení kontaktního tlaku pneumatiky v závislosti na jejím huštění [8]



Obr. 53: Závislost velikosti součinitele adheze na tlaku huštění pneumatiky [22]

Vlivem nízkého tlaku huštění může dojít, při působení bočních sil, k roztěsnění spojení patky pneumatiky s ráfkem kola a ke ztrátě tlaku vzduchu v pneumatice.

Při jízdě na přehuštěných a podhuštěných pneumatikách dochází k předčasnému opotřebení střední respektive ramenní části běhounu (viz. Obr. 54).



Obr. 54: Typické opotřebení pneumatiky při přehuštění resp. podhuštění [34] a [33]

Z předchozích kapitol je zřejmé, že pneumatika zastává zásadní a jedinečnou roli v bezpečnosti silničního vozidla. Problematika vlivu pneumatik na bezpečnost silničního vozidla je značně rozsáhlá a i samotný popis všech aspektů vlivu tlaku huštění pneumatik na bezpečnost silničního vozidla je nad rámec diplomové práce. Zatímco například vlivu tlaku v pneumatikách na délku brzdě dráhy a vznik aquaplaningu byla věnována řada studií, tak jeho vliv na stabilitu a ovladatelnost je opomíjen. Odborná literatura se sice zabývá teoretickou podstatou, ale experimentem podložené výsledky jsem, v mnou dostupné literatuře, nenalezl. Protože považuji ovladatelnost a stabilitu za velmi důležitou a Katedra dopravních prostředků a diagnostiky Dopravní fakulty Jana Pernera se zabývá právě zkoušením stability a ovladatelnosti vozidel a disponuje potřebným přístrojovým vybavením, budu se v experimentální části této diplomové práce věnovat právě stabilitě a ovladatelnosti vozidla při změně tlaku huštění pneumatik.

3 Výběr vhodného manévru

Pokud není řidič nucen reagovat na náhlou změnu provozu nebo není vystaven krizové situaci, nemusí se nutně projevit kvalitativní nedostatky pneumatiky, jako je špatně zvolená směs běhounu do daných podmínek nebo právě jejich nesprávný tlak huštění. Předpokladem je, že zhoršení bezpečnosti vozidla se projeví až při extrémním zatížení jeho pneumatik. Tedy při rychlé změně směru, krizovém brzdění nebo rychlé jízdě. Například při lehkém dobrzd'ování se nemusí v zimě projevit použití letních pneumatik, ale při prudkém brzdění se jejich použití projeví značně prodlouženou brzdnou dráhou. Stejně je to i s ovladatelností vozidla. Nejlépe lze změnu ovladatelnosti vozidla popsat na simulované krizové situaci. Na základě výše uvedeného byl stanoven základní požadavek pro výběr vhodného manévru. Testovací manévr tedy musí:

- simulovat krizovou situaci v běžném provozu.

Pokud bude manévr simulovat kritickou situaci, tedy posuzovat jak chování vozidla, tak i schopnosti řidiče, nebude pomocí tohoto manévru možno objektivně posoudit, jaký vliv má tlak huštění pneumatik na chování vozidla jako takového, tedy jestli a jak se změní např. jeho zatáčivost. Z této úvahy tedy plyne další požadavek na manévr:

- manévr musí být schopen popsat objektivní změny chování vozidla.

Uvedené požadavky nemůže splnit pouze jeden manévr, proto bude potřeba najít vhodnou kombinaci manévru. Jako další požadavky na vhodný manévr lze ještě zmínit

- jednoduchost provedení, tedy bez nutnosti použití speciálního přístrojového vybavení,
- co možná největší objektivnost a opakovatelnost tohoto manévru.

V následujícím textu tedy budou představeny určené pro zkoušení stability a ovladatelnosti vozidla. Pro lepší přehlednost jsou tyto manévry rozděleny do jednotlivých kategorií, podle jejich společných znaků.

Zkoušky jízdní stability můžeme rozdělit podle mnoha hledisek. [37]

Podle objektivitu [37]

- Objektivní

Subjektivní prvek řidiče je odstraněn, řízení vozidla probíhá za pomoci řídicího robota, popřípadě s pomocí řidiče při použití speciálních pomůcek. Hodnotí se odezva vozidla na přesně definované jízdní manévry. Přesnost a reprodukovatelnost zkoušek je výborná.

- Subjektivní

Reprodukovatelnost a přesnost jízdní zkoušky je značně omezena. Výsledky jsou silně ovlivněny zkušenostmi testovacího jezdce.

Podle zpětné vazby [37]

- Bez zpětné vazby

Zkušební manévr je vykonán bez ohledu na chování vozidla během něj. Výsledky zkoušky se, v ideálním případě, týkají pouze vozidla.

- Se zpětnou vazbou

Při vykonávání zkušebního manévru dochází ke korekcím nežádoucích odezev vozidla řidičem. Výsledky zkoušky tedy popisují soustavu vozidlo – řidič. K tomuto ovlivnění dochází především u zkoušek řízených koridorem.

Z předchozích rozdělení vyplývá, že pro simulaci krizové situace jsou nejvhodnější manévry subjektivní se zpětnou vazbou. Naopak pro zjištění změn zatáčivosti vozidla je třeba eliminovat prvek řidiče, proto bude druhý zkušební manévr vybrán ze skupiny manévru objektivních, bez zpětné vazby.

Podle způsobu řízení manévru [37]

- zkoušky dané povely řízením,
- zkoušky dané koridorem,
- zkoušky vlivů prostředí,
- zkoušky dané změnou hnací respektive brzdící síly.

V následujících kapitolách budou představeny pouze vybrané druhy jízdních zkoušek a manévru. V praxi je používané spektrum zkoušek mnohem širší a jeho popsání by rozsahově vyžadovalo další samostatnou práci. Zároveň budou popsány pouze jízdni zkoušky dané povely řízením a zkoušky dané koridorem.

3.1 Zkoušky dané povely řízením

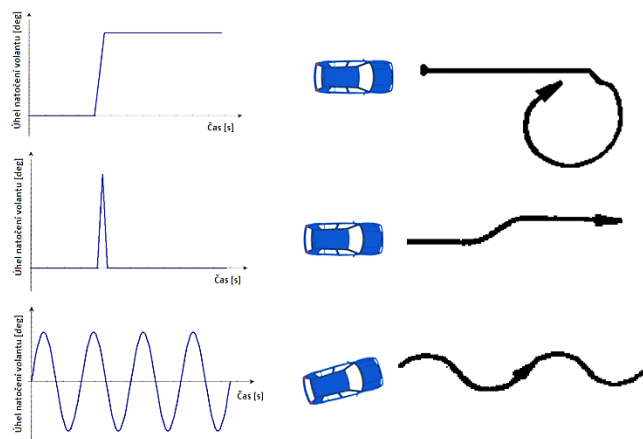
Zkoušky dané povely řízením lze charakterizovat jako objektivní, bez zpětné vazby. Tyto zkoušky jsou obvykle řízeny řídicím robotem, popřípadě člověkem za použití světelné rampy, popřípadě dorazů volantu atd. Jsou velmi dobře opakovatelné a reprodukovatelné. Na Obr. 55 a Obr. 56 je vyobrazen řídicí robot, respektive světelná rampa. V následujícím textu budou popsány nejpoužívanější manévry.



Obr. 55 a Obr. 56: Řídicí robot [36] a světelná rampa [37]

3.1.1 Skokové, impulsní a harmonické natáčení volantu

Tyto manévry jsou prováděny například podle normy ISO 7401. Jejich cílem je popis chování a odezvy vozidla na předem definovaný vstup. Zjišťuje se časová prodleva reakce vozidla na daný povel řízení. Například doba odezvy vozidla, amplitudy a fázová posunutí bočního zrychlení a stáčivé rychlosti v závislosti na typu vstupní funkce dané natáčením volantu. Schematicky jsou tyto manévry vyobrazeny na Obr. 57 (shora skokové, impulsní a harmonické natáčení).



Obr. 57: Schématické znázornění zkoušek se skokovým, impulsním a harmonickým natáčením volantu [37]

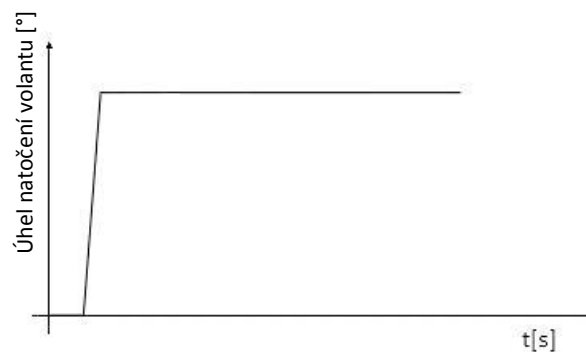
3.1.2 J-Turn Maneuver – „Zatáčka typu J“

Cílem zkoušky je zjištění kritické rychlosti, při které nastává mezní stav stability automobilu – nadzvednutí vnitřních kol vozidla, popřípadě jeho překlopení. Tato zkouška je prováděna ve dvou základních variantách.

J-Turn maneuver bez brzdného impulsu

Manévr se skládá z jednoho rychlého řídicího vstupu – natočení volantu. Tento vstup musí být proveden co nejrychleji pro maximalizaci účinku klopného momentu vozidla a minimalizaci vlivu časové prodlevy na výsledky testu. Obtížnost manévru může být měněna jak změnou rychlosti jízdy vozidla, tak i změnou velikosti amplitudy úhlu natočení volantu, popřípadě jejich kombinací. Manévr se provádí jak pro levou tak pro pravou stranu a úhly natáčení volantu mohou dosahovat až 330° . [38] [39] [40]

Na Obr. 58 je zobrazen průběh manévru jako závislost úhlu natočení volantu na čase.

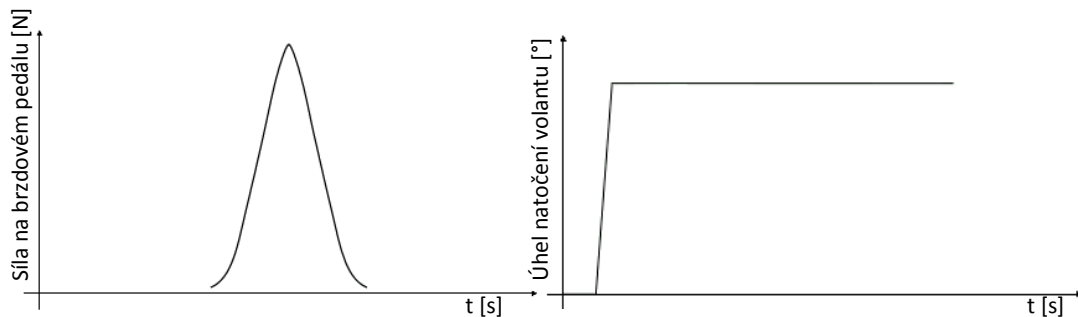


Obr. 58: Průběh manévru J- turn bez brzdného impulsu [38]

U metodiky dle NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) je úhel natočení volantu definován jako 8 násobek úhlu natočení volantu, který vyvolá příčné zrychlení $0,3\text{ g}$. [38] [39] [40]

J-Turn maneuver s brzdým impulzem

Tento manévr se co do provedení shoduje s předchozím, s výjimkou krátkého intenzivního impulsu brzdění. Impulz je aplikován po dosažení požadovaného mezního úhlu natočení volantu a musí být natolik silný, aby došlo k zablokování pneumatik. Pro dosažení zablokování kol, musí být u vozidel vybavených ABS tento systém deaktivován. Na Obr. 59 je zobrazen průběh manévru jako závislost úhlu natočení volantu a ovládací síly na brzdovém pedálu na čase. [38]



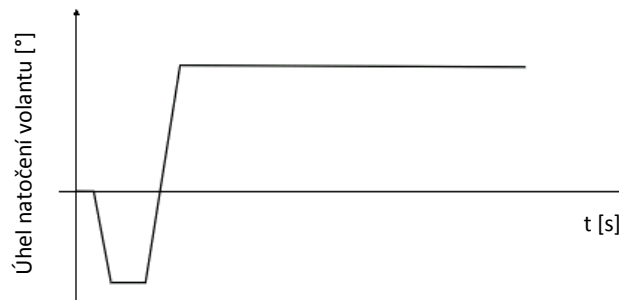
Obr. 59: Průběh manévru J-Turn s brzdým impulzem [38]

3.1.3 Fishhook maneuver – „Manévr typu háček“

Manévr se skládá ze dvou řídicích vstupů, tedy dvou po sobě následujících protichůdných natočení volantu. Cílem je, stejně jako u J-Turn manévru, najít takovou rychlost, při které nastane mezní stav stability automobilu.

Fishhook manévr se skládá ze dvou částí. V první části je volant natočen o předem daný úhel (hodnota se liší v závislosti na variantě manévru – viz další text). A ihned poté je v druhé fázi stočen opačným směrem na hodnotu blízkou maximálnímu úhlu natočení volantu. Změna úhlu a směru natočení volantu působí rychlou změnu směru působení bočního zrychlení vozidla. Při přechodu z jedné fáze do druhé dochází k opačným náklonům karoserie a podvozku. Následné naklonění karoserie stejným směrem způsobí dodatečný klopný moment a násobí tím účinek celého manévru. Při porovnání s J-Turn manévrem dochází ke stejnému projevu ztráty stability při menším bočním zrychlení.

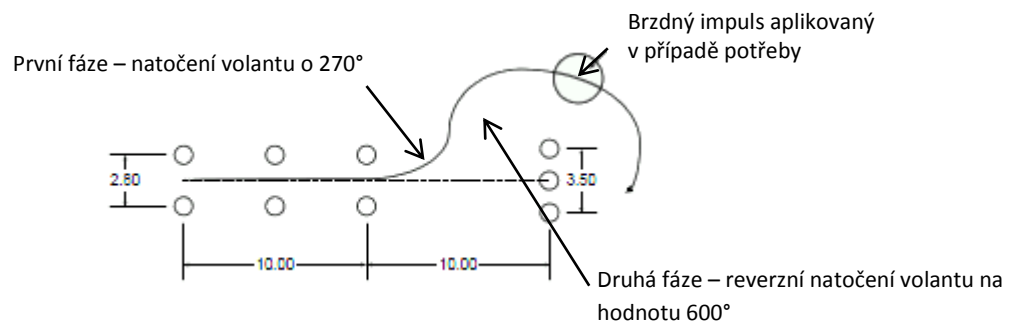
Na Obr. 60 je zobrazen průběh manévru jako závislost úhlu natočení volantu na čase.



Obr. 60: Průběh manévru Fishhook [38]

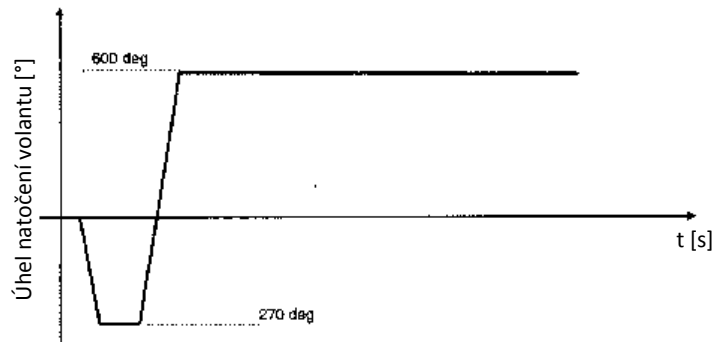
Fishhook maneuver #1

Tento manévr, známý také jako Toyota Fishhook (Toyota Engineering Standard TS - A1544), má pevně stanovené úhly natočení volantu, a to 270° pro první otočení volantem a 600° (nebo hodnota blízká maximálnímu úhlu natočení volantu) pro otočení reverzní. Na Obr. 61 je vyobrazen průběh Fishhook manévru dle metodiky automobilky Toyota včetně rozměrů testovací dráhy (všechny rozměry jsou udávány v metrech). [38]



Obr. 61: Průběh manévru Fishhook dle metodiky Toyota [38]

Na Obr. 62 je zobrazen průběh manévru jako závislost úhlu natočení volantu na čase.

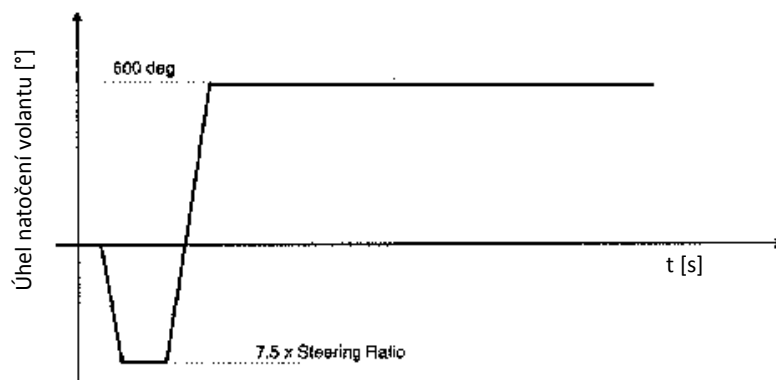


Obr. 62: Průběh manévru Fishhook dle metodiky Toyota [38]

Fishhook maneuver #2

Manévr Fishhook #2 je úpravou původního manévru TS - A1544, Texaským Dopravním Institutem (TTI – Texas Transport Institute). Fixní úhel 270° je v tomto případě nahrazen 7,5 násobkem „paušálního úhlu natočení volantu“. Tímto úhlem se myslí takový úhel, který vyvolá příčné zrychlení testovaného vozidla o velikosti 0,3 g. Tato úprava by měla lépe simulovat chování řidiče a také je objektivnější při porovnávání různých vozidel. [40]

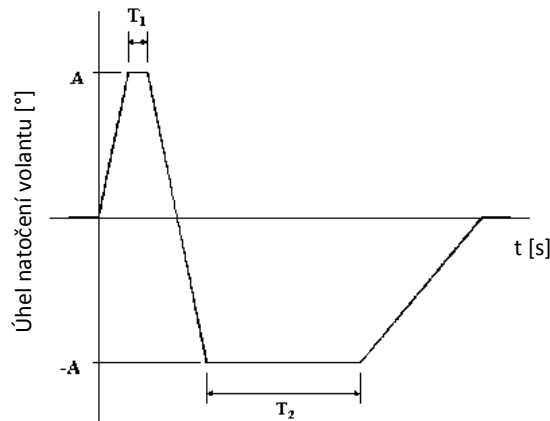
Na Obr. 63 je zobrazen průběh manévru jako závislost úhlu natočení volantu na čase.



Obr. 63: Průběh manévru Fishhook dle metodiky TTI [40]

Symmetric Fishhook maneuver

Manévr používá shodné úhly natočení volantu pro primární i sekundární řídicí impulz. Na Obr. 64 je zobrazen průběh manévru jako závislost úhlu natočení volantu na čase.



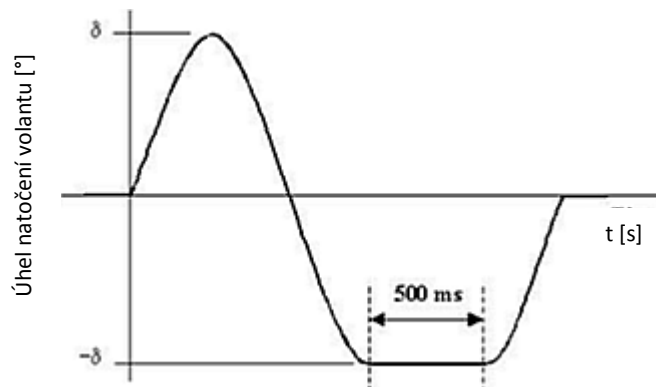
Obr. 64: Průběh manévru Symmetrical Fishhook [41]

Úhel natočení volantu A je definován jako 6,5 násobek úhlu natočení volantu, který vyvolá příčné zrychlení 0,3 g. Doba T_2 je fixně definována v délce trvání 3 sekund a doba T_1 se liší dle varianty manévru. V první variantě je doba T_1 definována jako fixní o délce 250 ms Tato modifikace je označována jako tzv. Fixed timing Fishhook – Fishhook s fixním časováním. Druhá varianta tohoto manévru je s variabilní prodlevou T_1 v závislosti na klopné rychlosti. Pak se jedná o Roll Rate Feedback Fishhook – Fishhook se zpětnou vazbou na klopnou rychlost. Časový úsek po úseku T_2 slouží ke stabilizaci testovacího vozidla a na výsledky testu nemá žádný vliv. [41]

3.1.4 Sine with Dwell test – Sinové natočení volantu s prodlevou

Tento manévr se řídí metodikou NHTSA FMVSS 126. Test vyžaduje 2 série zkoušek. První je „Slowly increasing steer test“, v překladu, test s postupným zvyšováním úhlu natočení volantu. Tento test slouží k zjištění takového úhlu natočení volantu, který vyvolá příčné zrychlení o velikosti 0,3 g, úhel je označen jako A . Druhou zkouškou je již samotný Sine with Dwell test, který je definovaný jako sinová vlna o frekvenci 0,7 Hz s prodlevou 500 ms po druhém vrcholu amplitudy otočení volantu. Rychlost vozu při

manévru je 80 km/h. Na Obr. 65 je zobrazen průběh manévru jako závislost úhlu natočení volantu na čase. [45]



Obr. 65: Průběh manévru Sine with Dwell [45]

Amplituda úhlu natočení volantu δ je definována jako násobek hodnoty A. Tedy hodnoty úhlu natočení volantu, který vyvolá příčné zrychlení 0,3 g. Počáteční hodnota δ je 1,5 a při každém následujícím testu v sérii je tato hodnota zvětšena o 0,5, a to do doby, dokud celková hodnota úhlu natočení volantu nedosáhne hodnoty alespoň 270°, ale maximálně 300° (pokud bude úhel natočení volantu větší než 300°, tento úhel se sníží na hodnotu 300°). Výsledky testu jsou poté vyhodnoceny dle metodiky. [45]

Tento test je používán jak organizací EuroNCAP, tak i mezinárodním předpisem GTR č. 8 pro zkoušky účinnosti ESP.

3.1.5 Ustálené zatáčení

Tato zkouška má za úkol posuzovat statickou říditelnost vozidla (neutrálnost, přetáčivost nebo nedotáčivost), hranice mezních stavů (smyk, překlopení) a způsob přechodu vozidla do těchto stavů.

Metodiky zkoušky jsou standardizovány např. v normách ISO 4138 a ISO 14792. Měřenými veličinami jsou rychlost vozidla, poloměr zatáčení, úhly směrových úchylek a jejich změny, úhel natočení volantu a příčné zrychlení vozidla.

Metodika ISO 4138 definuje průběh zkoušky ve třech variantách:

- konstantní poloměr zatáčení – zjišťuje se závislost úhlu natočení volantu na rychlosti vozidla,
- konstantní úhel natočení volantu – zjišťuje se poloměr zatáčení vozidla v závislosti na rychlosti,
- konstantní rychlost – v této variantě jede vozidlo konstantní rychlostí po kruhových drahách o různém poloměru. Zjišťují se směrové charakteristiky vozidla v závislosti na bočním zrychlení.

3.2 Zkoušky dané koridorem

Zkušební koridor je charakterizován tvarem a šířkou. U vozidla, které v tomto koridoru projíždí, nesmí v žádném okamžiku dojít ke ztrátě stability, nebo vychýlení jakékoliv části tohoto vozidla mimo zkušební koridor. Tyto zkoušky lze označit jako subjektivní, se zpětnou vazbou. Tímto je značně omezena reprodukovatelnost a opakovatelnost testů.

- **Za ustálených podmínek**

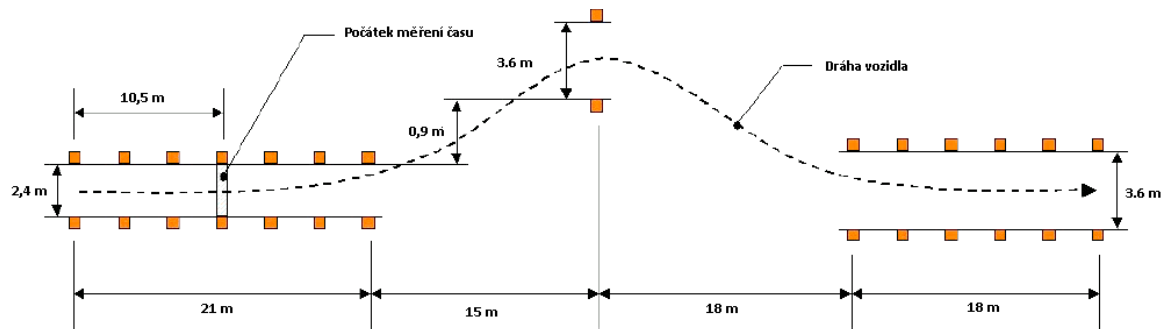
Vozidlo je posuzováno až po ustálení relevantních měřených veličin. Hodnotí se charakteristiky vozidla jako např. statická říditelnost, hranice smyku/ překlopení, atd.

Například ISO 4138 – Ustálené zatáčení

- **Za neustálených podmínek**

V této kategorii testů se alespoň jedna z měřených veličin dynamicky mění. Hodnotí se tedy dynamická říditelnost vozidla. V praxi se používá řada manévru, které se od sebe liší jak tvarem zkušebního koridoru, tak i metodikou vyhodnocení. Příkladem mohou být vyhýbací manévry, slalomové zkoušky atd. V následujícím textu budou podrobněji popsány některé ze zkoušek.

Obdobou tohoto manévru je i manévr amerického svazu spotřebitelů – Consumers Union Short Course. Tvar a rozměry zkušebního koridoru jsou vyobrazeny na Obr. 70.



Obr. 70: Průběh manévru Consumers Union Short Course [41]

3.3 Výběr manévru pro experiment

V předchozím textu byly představeny základní druhy jízdních zkoušek. Pro prováděné experimentální měření vlivu tlaku huštění pneumatik na bezpečnost vozidla se jeví jako nejvhodnější použití vyhýbacího manévru dle ISO 3888-2 pro simulaci krizového stavu a ustáleného zatáčení dle ISO 4138 pro zjištění změn stability vozidla.

Vyhýbací manévr dle ISO 3888-2 byl vybrán, protože věrně simuluje podmínky běžného provozu, a tedy naplňuje ideu této diplomové práce. Nízká opakovatelnost a reprodukovatelnost, která vyplývá z podstaty zkoušek řízených koridorem, bude částečně snížena použitím profesionálního testovacího jezdce (viz další kapitola 4. Návrh experimentu). Výhodou této jízdní zkoušky je nenáročnost použití speciálního přístrojového vybavení, např. řídicího robota. Experiment je zaměřen na analýzu vlivu tlaku huštění pneumatik na bezpečnost vozidla. Z hlediska bezpečnosti posádky zkušební vozidla při testování, například při náhodném svlečení pneumatiky z ráfku, je výhodou manévru i relativně nízká zkušební rychlost cca 60 km/h (například oproti ISO 3888-1 s rychlostmi 80 a více km/h).

Manévr ustálené zatáčení dle ISO 4138 byl vybrán pro objektivní zjištění vlivu tlaku huštění pneumatik na stabilitu vozidla. Tímto manévrem je možné ověřit změnu zatáčivosti vozidla při změně tlaku vzduchu v pneumatikách. Zároveň je schopen popsat míru této změny. Mohl by tedy odpovědět na otázku, zda vozidlo svou podstatou nedotáčivé se vlivem přehuštění pneumatik stane přetáčivým, nebo se zatáčivost posune

více k neutralnosti, respektive se vlivem podhuštění pneumatik stane více nedotáčivé. A to i bez znalosti velikostí směrové tuhosti kol na přední a zadní nápravě.

4 Návrh zkušební metodiky

4.1 Testovací trať

Testovací trať musí umožnit testování jak vyhýbacího manévru dle ISO 3888-2, tak i ustáleného zatáčení dle ISO 4138. Musí tedy splňovat prostorové nároky těchto manévru s dostatečnou rezervou pro vytvoření bezpečnostních únikových zón. Šířka testovací tratě by proto měla být alespoň dvojnásobkem požadované šířky tratě pro provedení daného manévru.

4.2 Testovací manévry

Pro zjištění vlivu tlaku huštění pneumatik na bezpečnost vozidla budou použity následující manévry.

- Vyhýbací manévr dle ISO 3888-2
- Ustálené zatáčení dle ISO 4138

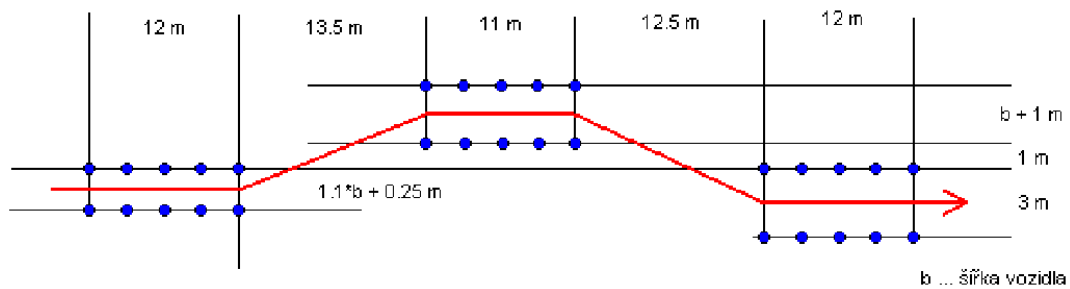
Pro oba testy bude použito stejných skupin tlaku huštění. Tyto skupiny jsou určeny podle kampaně „Přemýšlej, než vyjedeš“ prováděné firmou Bridgestone v letech 2005 až 2009 na evropských silnicích. Měření budou prováděna pro tlaky:

1. tlak huštění doporučený výrobcem vozidla,
2. podhuštění o 20 kPa pod hodnotu udávanou výrobcem vozidla,
3. podhuštění o 50 kPa pod hodnotu udávanou výrobcem vozidla,
4. podhuštění o 80 kPa pod hodnotu udávanou výrobcem vozidla,
5. přehuštění o 50 kPa nad hodnotu udávanou výrobcem vozidla.

Podhuštění i přehuštění bude realizováno na obou nápravách současně a shodně.

4.2.1 Vyhýbací manévr dle ISO 3888-2

Testovací dráha včetně rozměrů je zobrazena na Obr. 71. Měření bude prováděno pro následující rychlosti vozidla – 50 km/h, 55 km/h, 60 km/h a 65 km/h. Rychlostí vozidla je v tomto případě myšlena rychlost vozidla na vjezdu do zkušebního koridoru. Pro statistické zpracování dat bude použito alespoň tři platných pokusů. O platnosti pokusu rozhoduje rychlost na vjezdu, která se nesmí lišit od dané vjezdové rychlosti o více než 2 km/h.



Obr. 71: Tvar a rozměry testovacího koridoru [42]

Automobil projede zkušebním koridorem s uvolněným pedálem akcelérátoru a se zařazeným nejvyšším možným rychlostním stupněm tak, aby otáčky motoru byly nejméně $2000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$. Řidič nesmí během manévru použít brzdový pedál, pokud jeho použití nebude vyžadovat bezpečnost posádky vozidla. Manévr bude probíhat jednosměrně, vždy zprava doleva a zpět.

Testování pro každý tlak bude začínat na nejnižší rychlosti, tj. rychlosti 50 km/h. Pro každou rychlost bude provedeno alespoň 5 pokusů. Zkoušky budou dále pokračovat až k nejvyšší rychlosti, tj. rychlosti 65 km/h. Testování může být přerušeno a omezeno na nižší rychlosti za předpokladu:

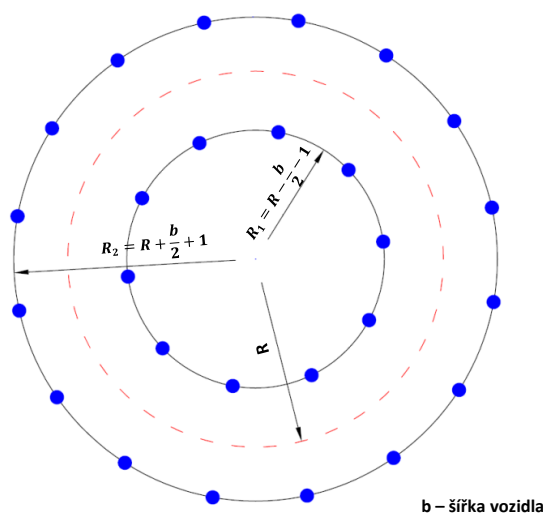
- ovladatelnost vozidla klesne pod únosnou mez a zvýšení rychlosti by znamenalo vážné ohrožení bezpečnosti posádky testovacího vozidla a škody na majetku,
- bude hrozit nebezpečí svléknutí pneumatiky z ráfku,
- dojde při průjezdu zkušebního koridoru ke ztrátě tlaku vzduchu alespoň u jedné pneumatiky.

Sledovanými veličinami jsou:

- rychlost vozidla na vjezdu do zkušebního koridoru,
- rychlost vozidla na výjezdu ze zkušebního koridoru,
- počet a poloha sražených kuželů,
- závislosti úhlu natočení volantu na čase,
- tlak v pneumatikách po každé jízdě,
- subjektivní hodnocení řidiče.

4.2.2 Ustálené zatáčení dle ISO 4138

Pro zkoušky ustáleného zatáčení byla vybrána varianta s konstantním poloměrem zatáčení R . Zkušební dráha bude vytyčena pomocí dvou kružnic z kuželů, které budou tvořit koridor vozidla. Kužely budou rozestaveny v kruhu o poloměru $R_1 = R - \frac{b}{2} - 1$ metrů pro vnitřní kružnici a $R_2 = R + \frac{b}{2} + 1$ metrů pro vnější kružnici, kde b je šířka vozidla. Testovací dráha včetně rozměrů je zobrazena na Obr. 72. Testování pro každý tlak huštění bude probíhat se skokovým zvyšováním rychlosti, a to od rychlosti nejnižší trvale udržitelné, přes rychlosti určené v závislosti na poloměru dráhy a příčném zrychlení, nejlépe však 10 km/h, 20 km/h a 30 km/h.



Obr. 72: Schéma testovací dráhy pro zkoušku ustáleného zatáčení

Sledovanými veličinami jsou:

- rychlost vozidla,
- úhel natočení volantu,
- velikost příčného zrychlení.

Všechny odečítané veličiny jsou zaměřeny na zjištění změn zatáčivosti vozidla při změně tlaků huštění pneumatik. Změna velikosti bočního zrychlení, by měla popsat ztrátu schopnosti pneumatik přenášet boční síly a odhalit počínající smyk vozidla.

Manévr bude probíhat jednosměrně, vždy v protisměru hodinových ručiček. Pro statistické zpracování dat bude použito alespoň 3 platných pokusů. Délka platného pokusu bude minimálně 3s. O platnosti pokusu rozhoduje rychlost vozidla, která se nesmí lišit od dané rychlosti o více než 3 km/h a dodržení poloměru zatáčení – vozidlo nesmí vyjet z vytyčeného zkušebního koridoru.

Testování pro každý tlak bude začínat na nejnižší rychlosti. Pro každou rychlost budou provedeny 3 platné pokusy. Testování může být přerušeno a omezeno na nižší rychlosti za předpokladu:

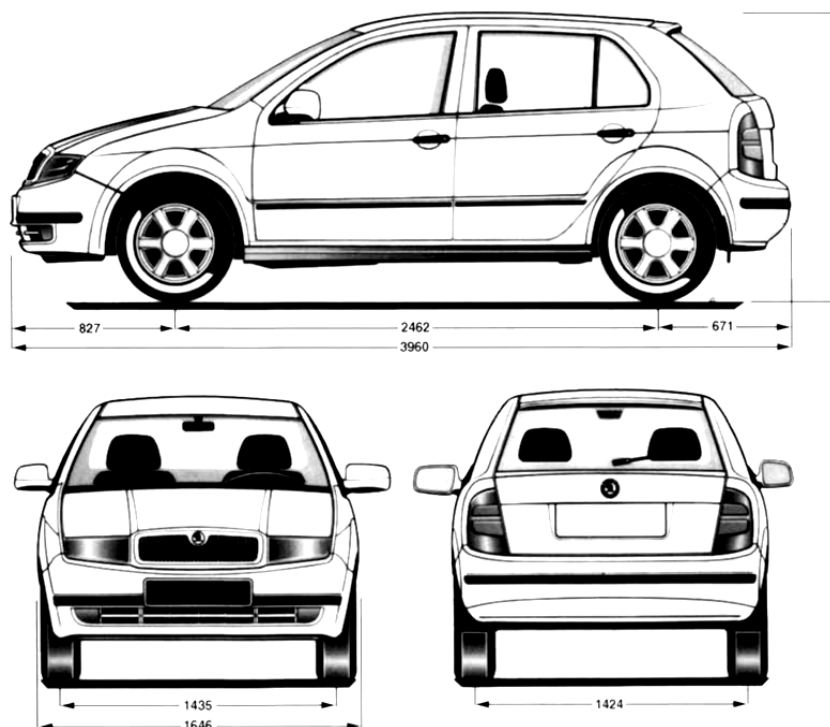
- ovladatelnost vozidla klesne pod únosnou mez a zvýšení rychlosti by znamenalo vážné ohrožení bezpečnosti posádky testovacího vozidla a škody na majetku,
- bude hrozit nebezpečí svléknutí pneumatiky z ráfku,
- při zkoušce dojde ke ztrátě tlaku vzduchu alespoň u jedné pneumatiky.

5 Realizace experimentu

Experiment byl realizován ve dvou etapách. V první etapě, která se konala 13. 4. 2012, proběhlo měření vyhýbacího manévru. V druhé etapě bylo měřeno ustálené zatáčení automobilu. Zkouška proběhla 11. 5. 2012. Podrobnosti o měřeních budou popsány v následujícím textu.

5.1 Testovací vozidlo

Jako testovací vozidlo byla použita Škoda Fabia I. generace v provedení hatchback s motorem 1.2 HTP 44kW. Číslo karoserie vozidla TMBNW46Y923311064. V době testování měl vůz najeto 142 701 km. Geometrické parametry vozidla jsou vyobrazeny na Obr. 73.



Obr. 73: Testovací vozidlo a jeho rozměry [46]

Testovací vozidlo bylo při obou manévrech zatíženo hmotností řidiče, testovací aparatury a spolujezdce obsluhujícího tuto aparaturu.

5.2 Testovací trať

Testování bylo uskutečněno v areálu autodromu Autoklubu Karosa Vysoké Mýto.

5.3 Testovací řidič

Testovacím řidičem byl p. David Simon, instruktor bezpečné jízdy a školy smyku ve společnosti HCT.CZ, a.s.

5.4 Pneumatiky

Pro testování byly použity pneumatiky Bridgestone Turanza ER 300 (Obr. 74) o rozměru 195/65 R15. Pneumatiky byly zcela nové, s hloubkou desěnu 8 mm.



Obr. 74: Pneumatika Bridgestone Turanza ER 300 [47] [32]

Pneumatiky byly nasazeny na disková kola ocelová o rozměru 6Jx15 H2 ET43 o průměru 15“.

Před každým měřením byly pneumatiky zahřáty jízdou o délce trvání 5 minut. Jelikož byly pro testování použity úplně nové pneumatiky, byly před prvním měřením zajety 10 jízdami po okruhu a testováním průjezdnosti vytyčeného koridoru při jednotlivých rychlostech.

5.5 Úprava metodiky měření pro podmínky testování

Z časových a finančních důvodů byl snížen minimální počet platných jízd potřebných pro statistické zpracování výsledků měření z pěti na tři.

5.6 Měřené veličiny a měřící zařízení

Při zkoušení byly snímány hlavní veličiny:

- Podélná rychlost vozidla [km/h]

Snímací zařízení: Correvit S-CE s gyroskopem, výrobce Corrsys-Datron, rok výroby 2002, výrobní číslo: 31522, evidenční číslo: DHM 005341, vzorkovací frekvence: 100 Hz.

- Úhel natočení volantu [deg]

Snímací zařízení: lankový snímač úhlu natočení volantu, výrobce Micro Epsilon Czech Republic a KDPD DFJP Univerzita Pardubice, rok výroby 2010, vzorkovací frekvence: 100 Hz.

- Boční zrychlení [g]

Snímací zařízení: Akcelerometr ADXL 311, výrobce Analog Devices, rok výroby 2003, evidenční číslo: 046585, vzorkovací frekvence: 100 Hz.

- Tlak huštění pneumatik [kPa]

Snímací zařízení: Ruční manometr P300 H, výrobce KOVO Brno.

Jako doplňkové veličiny byly snímány:

- Směrová úchylka [deg]

Snímací zařízení: Correvit S-CE s gyroskopem, výrobce Corrsys-Datron, rok výroby 2002, výrobní číslo: 31522, evidenční číslo: DHM 005341, vzorkovací frekvence: 100 Hz.

- Rychlost stáčení [deg/s]

Snímací zařízení: Correvit S-CE s gyroskopem, výrobce Corrsys-Datron, rok výroby 2002, výrobní číslo: 31522, evidenční číslo: DHM 005341, vzorkovací frekvence: 100 Hz.

Doplňkové veličiny sloužily pouze jako opora pro vyhodnocování dat, tedy pro vedlejší popis chování vozidla při manévrech.

Pro určení začátku a konce koridoru jízd byla použita optická brána tvořená speciálními odrazovými plochami umístěnými na začátku a konci koridoru a optickým snímačem Balluff BOS 36K-PA-1QH-S 4-C umístěným na vozidle. Snímač byl nastaven na vzorkovací frekvenci 1000 Hz s uměle prodlouženými pulsy.

Pro sběr dat z jednotlivých snímačů byly použity ústředny Cronos (evid. č. 2-006127) a Cansas. Výrobce tohoto systému je firma imc Berlin. Přenos dat z modulu Cansas do jednotky Cronos probíhá po sběrnici CAN. Přenos dat z jednotky Cronos do PC poté probíhal přes rozhraní Ethernet. Měření bylo spouštěno manuálním triggreem. Data zaznamenaná oběma ústřednami byla ukládaná na interní paměť typu flash v ústředně Cronos. Po sérii jízd byla data z této paměti kopírovaná na hard disk notebooku, kde byla dále zpracovávána.

Pro komunikaci s měřicí ústřednou a sběr dat byl použit měřicí notebook MSI Megabook VR 6, evidenční číslo: 1-156693.

Pro vytýčení testovacích drah bylo použito pásmo BMI Ergoline 50 m.

5.7 Umístění měřícího zařízení

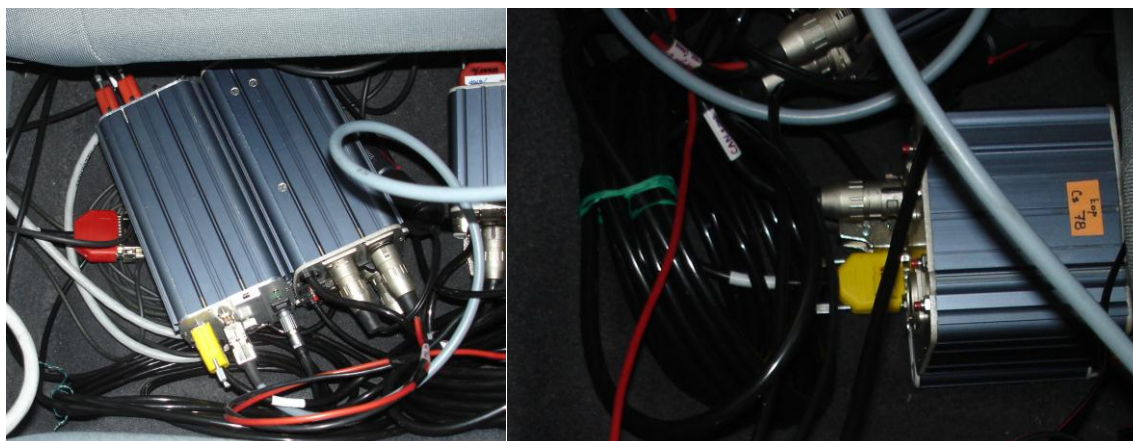
Snímač zrychlení byl umístěn na středový tunel před zadními sedačkami (Obr. 75 vlevo). Lanková část snímače úhlu natočení volantu byla umístěna na vnitřní ploše čelního skla před spolujezdce (Obr. 75 vpravo). Snímač Correvit byl kvůli ochraně umístěn na zádi vozidla (Obr. 76). Měřící ústředna včetně napájecích akumulátorů byla umístěna na podlaze vozidla za předními sedačkami (Obr. 77).



Obr. 75: Umístění snímače zrychlení (vlevo) a snímače úhlu natočení volantu (vpravo)



Obr. 76: Umístění snímače Correvit na zádi automobilu



Obr. 77: Měřicí ústředna Cronos (vlevo) s modulem Cansas (vpravo)

5.8 Atmosférické podmínky

Teplota vzduchu: 12÷15 °C (13. 4. 2012) resp. 13÷17 °C (14. 5. 2012)

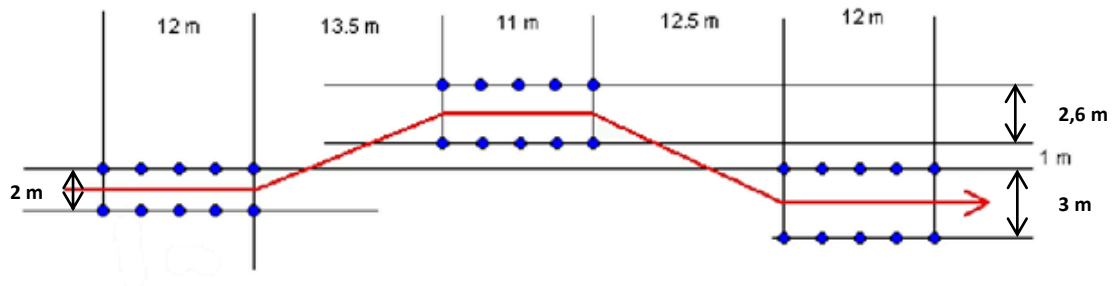
Povrch testovací dráhy: suchý asfalt (13. 4. 2012 a 14. 5. 2012).

5.9 Stanovení tlaku huštění

Pro účely testování byly na testovacím vozidle použity pneumatiky nestandardních rozměrů. Proto byl základní tlak huštění pneumatik odvozen od výrobcem doporučených tlaků huštění pneumatik, konkrétně 210 kPa na pneumatikách na přední nápravě a 200 kPa na pneumatikách zadní nápravy.

5.10 Realizace vyhýbacího manévru

Testovací dráha včetně rozměrů upravených pro dané vozidlo je zobrazena na Obr. 78.



Obr. 78: Tvar a rozměry testovacího koridoru [42]

Po instalaci snímačů na vozidlo a zapojení měřicí ústředny bylo provedeno vytýčení testovací dráhy (Obr. 79). Poté následovalo zahřátí vozu na provozní teplotu a zajetí pneumatik (viz kap. 5.4).

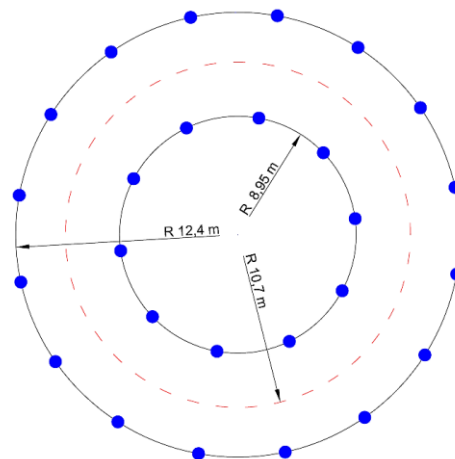


Obr. 79: Testovací dráha pro vyhýbací manévru

K testovaným sériím byly doplněny vyhýbací manévry pro rozdílný tlak huštění pneumatik na přední (210 kPa) a zadní nápravě (280 kPa) pro rychlost 65 km/h a průjezd koridorem při normálním tlaku huštění pneumatik pro rychlost 70 km/h.

5.11 Realizace ustáleného zatáčení

Pro zkoušky ustáleného zatáčení byla vybrána varianta s konstantním poloměrem zatáčení. Standart ISO předepisuje minimální poloměr oblouku 30 metrů. Zkouška byla původně koncipována pro prostorové možnosti Autodromu Most. V důsledku reorganizace vedení autodromu bylo na poslední chvíli testování zrušeno. S ohledem na bezpečnost měření, možnost zapůjčení testovacího vozidla a profesionálního řidiče byla experimentální část zrealizována na autodromu Autoklubu Karosa Vysoké Mýto. V podmínkách autodromu Autoklubu Karosa Vysoké Mýto však nelze poloměr požadovaný normou dodržet. Proto je poloměr zatáčení určen dle možností okruhu, a to 10,7 metrů. Kruh byl vytyčen pomocí dvou kružnic kuželů, které tvořily koridor vozidla. Kužely byly rozestaveny v kruhu o poloměru 8,95 metrů (vnitřní kružnice) a 12,4 metrů (vnější kružnice). Schéma testovací dráhy včetně rozměrů je zobrazena na Obr. 72.



Obr. 80: Schéma testovací dráhy pro zkoušku ustáleného zatáčení

Po instalaci snímačů na vozidlo a zapojení měřicí ústředny bylo provedeno vytyčení testovací dráhy (Obr. 81). Poté následovalo zahřátí vozu a pneumatik na provozní teplotu (viz kap. 5.4).



Obr. 81: Testovací dráha pro manévr ustálené zatáčení

Při realizaci manévru bylo zjištěno, že v důsledku převýšení kruhové dráhy je nejnižší trvale udržitelná rychlost 10 km/h. Z tohoto důvodu bylo testování prováděno pouze pro rychlosti 10 km/h, 20 km/h a 30 km/h. K testovaným sériím bylo doplněno ustálené zatáčení pro rozdílný tlak huštění pneumatik na přední (210 kPa) a zadní nápravě (280 kPa).

6 Vyhodnocení experimentu

Pro vyhodnocení naměřených údajů byly použity programy FAMOS, DIAdem 10.2 a Microsoft Excel 2010.

6.1 Vyhýbací manévr

Celkem bylo provedeno 78 testovacích jízd, z toho bylo 72 jízd platných. V Tab. 1 jsou zobrazeny počty platných jízd pro jednotlivé rychlosti a tlaky huštění pneumatik.

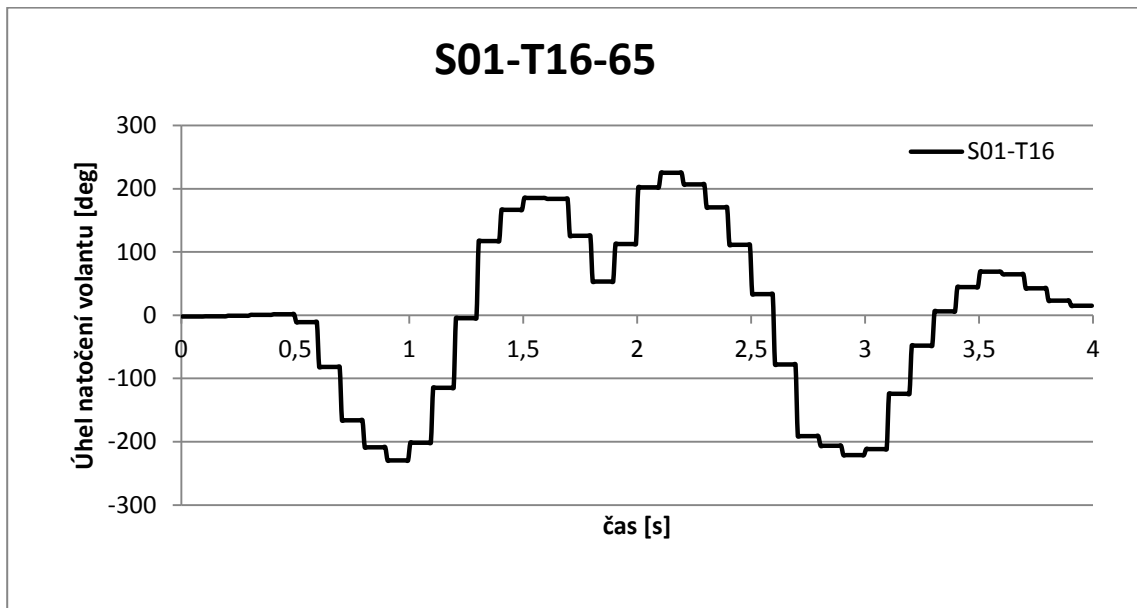
Tab. 1: Počet platných testovacích jízd pro jednotlivé rychlosti a tlaky huštění pneumatik

Tlak huštění pneumatik (přední náprava / zadní náprava)	Rychlost vozidla				
	50 km/h	55 km/h	60 km/h	65 km/h	70 km/h
210/200 kPa	2	3	5	3	3
190/180 kPa	3	4	3	2	-
160/150 kPa	3	4	4	4	-
130/120 kPa	3	4	3	5	-
260/250 kPa	2	3	3	3	-
210/280 kPa	-	-	-	3	-

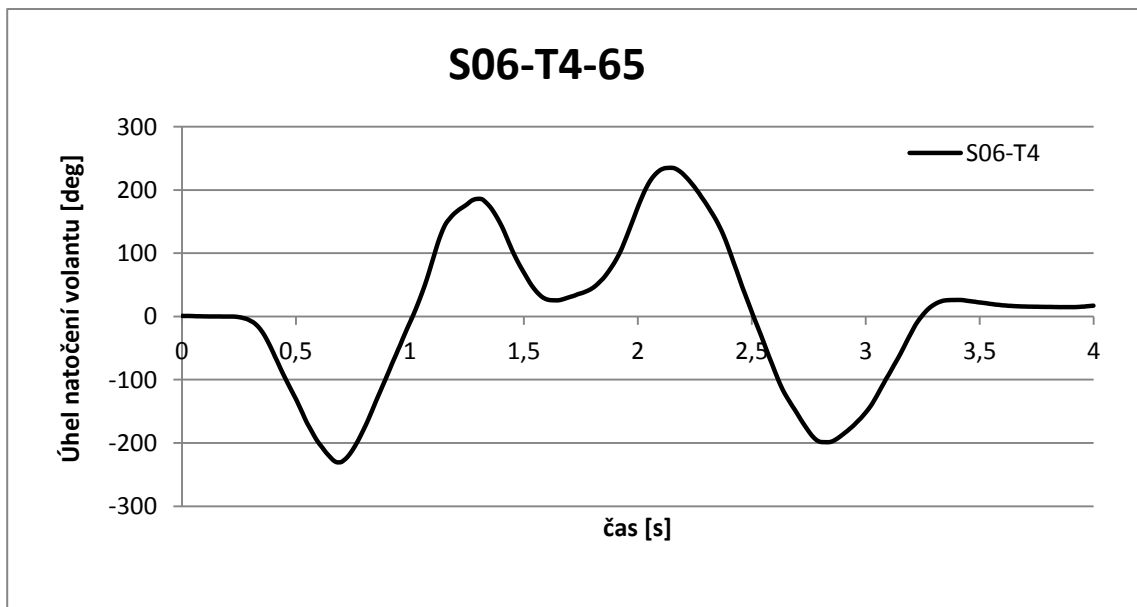
Z tabulky je patrné, že pro tlak 190/180 kPa nebyla u rychlosti 65 km/h dodržena podmínka tří platných pokusů, proto nebude tato kombinace z důvodu neobjektivity dat dále vyhodnocována. Stejný případ platí i pro rychlost 50 km/h a tlaky huštění pneumatik 210/200 kPa a 260/250 kPa.

U dat ze série 1 (tlaky huštění pneumatik 210/200 kPa) se vyskytl problém se špatným nastavením vzorkovací frekvence snímače úhlu natočení volantu. Pro nápravu bylo opakováno měření pro rychlost 65 km/h (série 6). Vyhodnocení výsledků pro rychlost 65 km/h tedy bude probíhat z této série.

Na Obr. 82 a Obr. 83 jsou zobrazeny rozdíly v kvalitě záznamu série 1 (nahore) a 6 (dole) při rychlosti 65 km/h a tlaku huštění pneumatik 210/200 kPa.



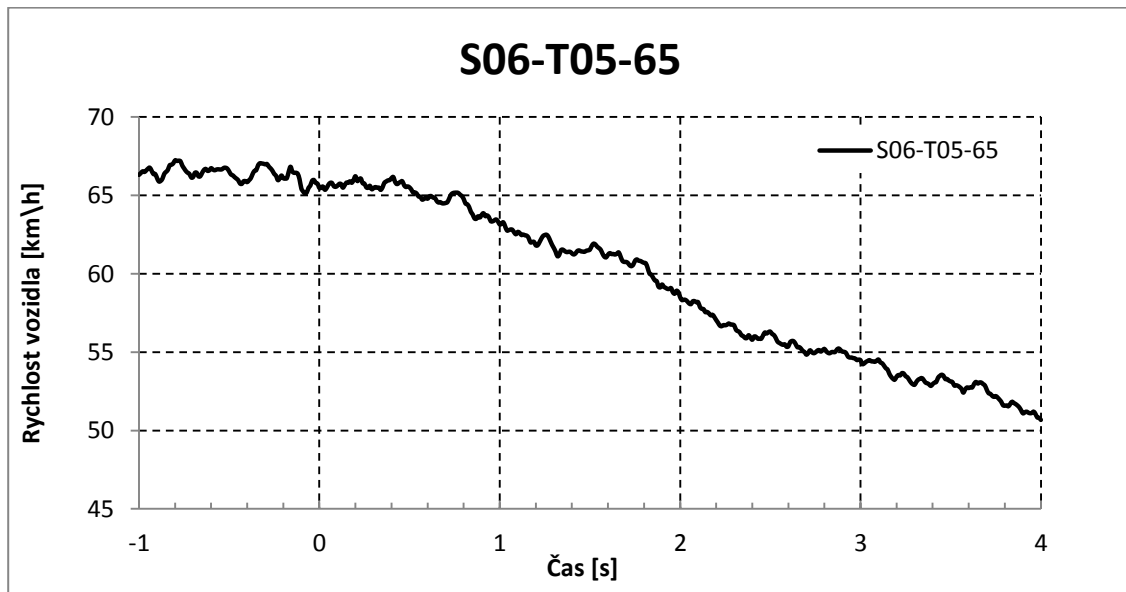
Obr. 82: Záznam S01-T16 měření průběhu úhlu natočení volantu na čase při rychlosti 65 km/h



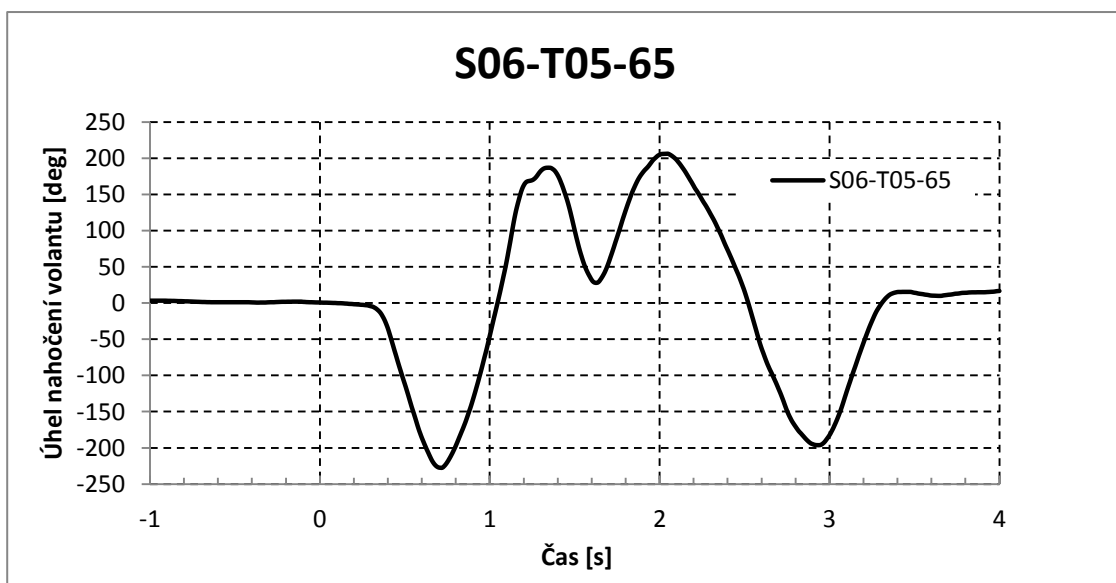
Obr. 83: Záznam S04-T4 měření průběhu úhlu natočení volantu na čase při rychlosti 65 km/h

6.1.1 Vzorový průběh naměřených dat

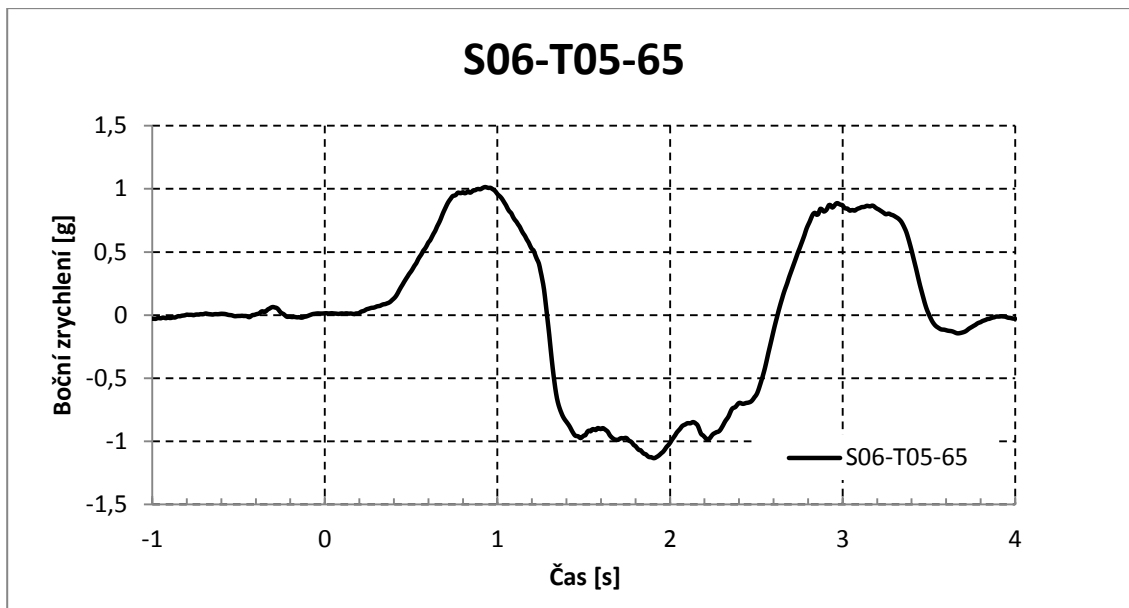
Vzorové průběhy jednotlivých měřených veličin (viz kap. 5.3) jsou zobrazeny na Obr. 84 až Obr. 89. Příklad je uveden pro rychlost 65 km/h a tlak huštění pneumatik 210/200 kPa. Byl vybrán náhodně pouze pro vytvoření představy o grafické podobě naměřených dat.



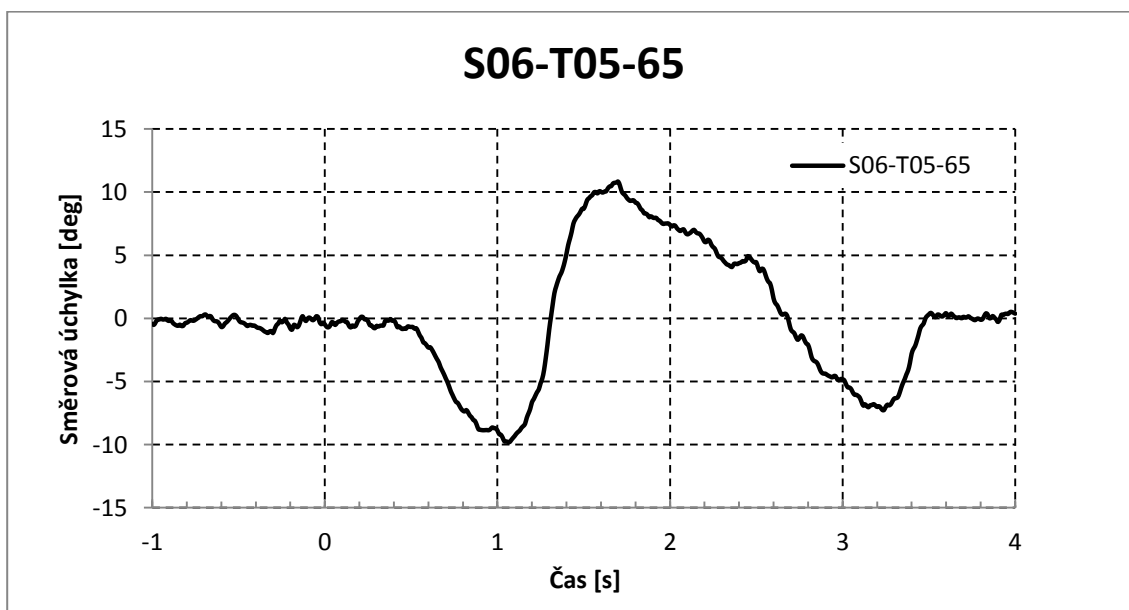
Obr. 84: Vzorový průběh rychlosti vozidla při vyhýbacím manévru - rychlost 65 km/h, tlak huštění 210/200 kPa



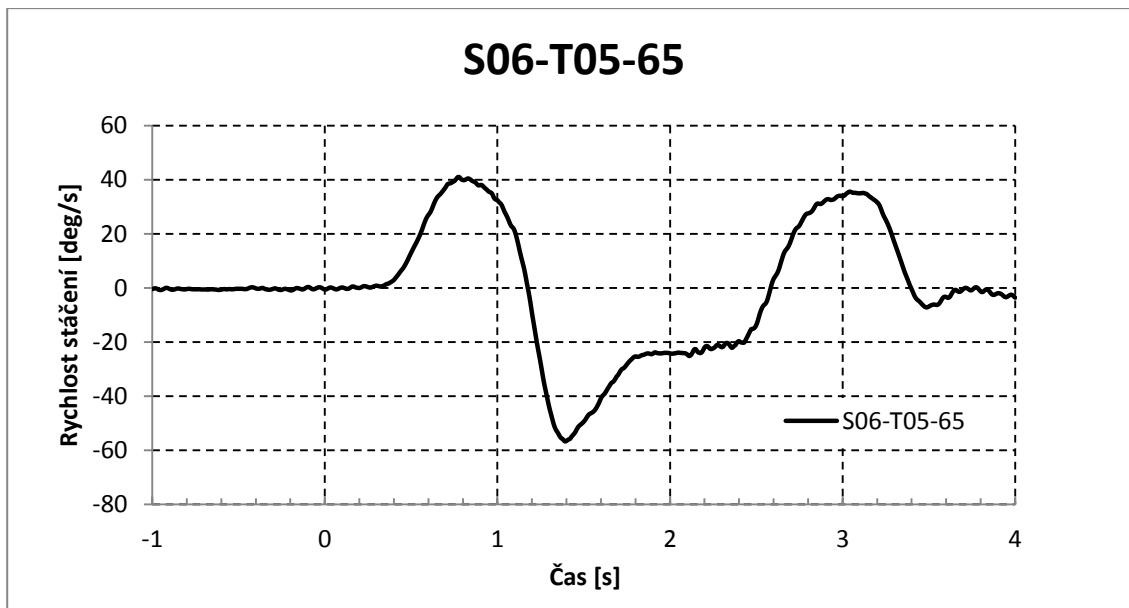
Obr. 85: Vzorový průběh úhlu natočení volantu při vyhýbacím manévru - rychlost 65 km/h, tlak huštění 210/200 kPa



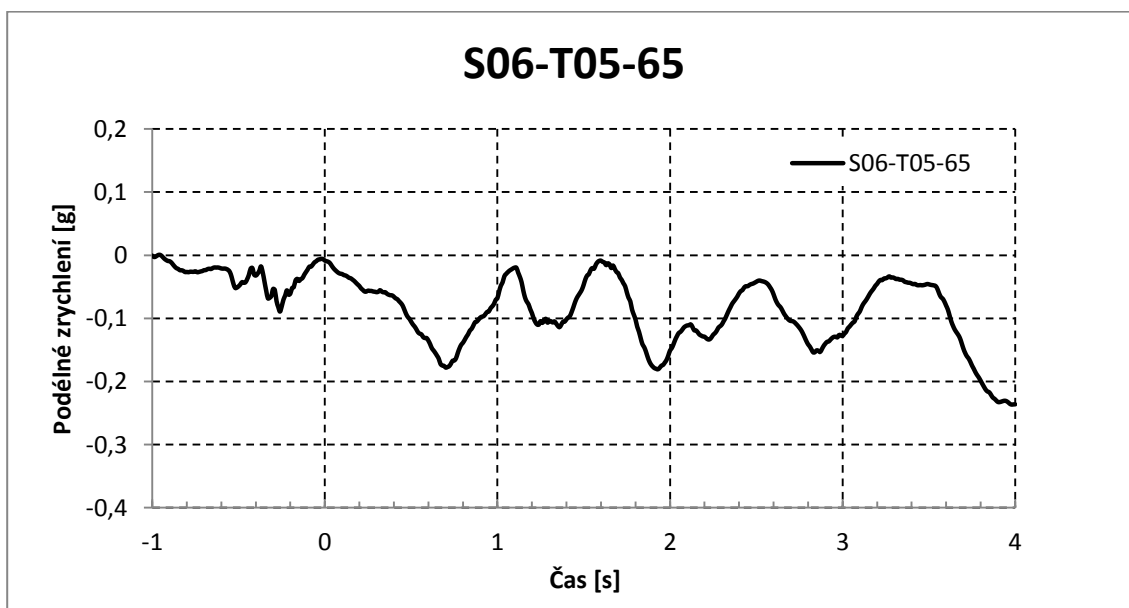
Obr. 86: Vzorový průběh bočního zrychlení vozidla při vyhýbacím manévru - rychlost 65 km/h, tlak huštění 210/200 kPa



Obr. 87: Vzorový průběh směrové úchylky vozidla při vyhýbacím manévru - rychlost 65 km/h, tlak huštění 210/200 kPa



Obr. 88: Vzorový průběh rychlosti stáčení vozidla při vyhýbacím manévru - rychlost 65 km/h, tlak huštění 210/200 kPa

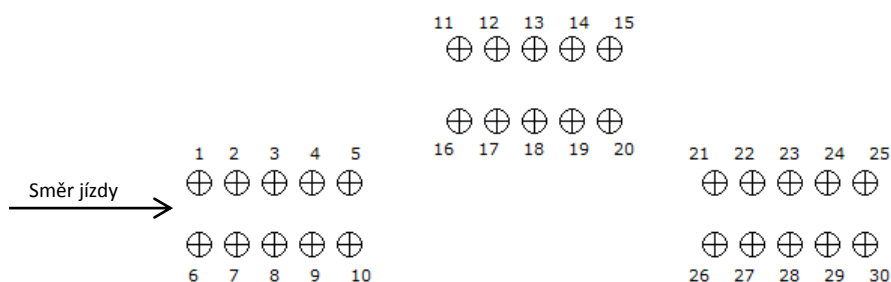


Obr. 89: Vzorový průběh podélného zrychlení vozidla při vyhýbacím manévru - rychlost 65 km/h, tlak huštění 210/200 kPa

Hodnoty stáчивé rychlost a směrové úchytky jsou vztaženy k místu připevnění snímače na vozidlo. Pro přesnější vyhodnocení dat by bylo třeba tyto hodnoty vztáhnout na celé vozidlo. Pro potřeby porovnání průběhu jednotlivých jízd však tyto hodnoty postačí.

6.1.2 Čistota průjezdu vozidla koridorem

Čistota průjezdu vozidla koridorem, vymezeným kužely, je dána množstvím a polohou kuželů sražených při průjezdu zkušební drahou při dané rychlosti a tlaku huštění pneumatik. Na Obr. 90 je zobrazeno schéma koridoru s číselným označením jednotlivých kuželů.



Obr. 90: Schéma koridoru s číselným označením jednotlivých kuželů

V Tab. 2 jsou zobrazeny počty jízd se sražením kuželů vůči celkovému počtu jízd pro jednotlivé rychlosti a tlaky huštění pneumatik.

Tab. 2: Počty jízd se sražením kuželů vůči celkovému počtu jízd

Tlak huštění pneumatik (přední náprava/zadní náprava)	Rychlost vozidla				
	50 km/h	55 km/h	60 km/h	65 km/h	70 km/h
210/200 kPa	-	0/3	1/5	0/3	3/3
190/180 kPa	0/4	0/4	0/3	-	-
160/150 kPa	0/3	0/4	0/4	2/4	-
130/120 kPa	0/3	0/4	0/3	4/5	-
260/250 kPa	-	0/3	0/3	0/3	-
210/280 kPa	-	-	-	1/3	-

Z Tab. 2 je jasně patrné, že při rychlostech pod 65 km/h nedošlo ke sražení kuželů. Při rychlosti 60 km/h a tlaku huštění pneumatik 210/200 došlo v jedné jízdě ke sražení kužele číslo 16. Toto sražení lze vysvětlit pozdní reakcí řidiče. Při rychlosti 70 km/h a stejném tlaku huštění došlo při každé jízdě ke sražení kuželu č. 16. Tento výsledek lze připsat vysoké rychlosti průjezdu koridorem, kdy doba průjezdu druhým úsekem tratě trvá 620 ms a řidič nemá dostatečnou dobu pro včasnou reakci a zvládnutí počátku

manévru. Rychlost 65 km/h lze tedy považovat za limitní. Další posouzení čistoty průjezdu koridorem proto bude probíhat pouze pro rychlosti 65 km/h.

V Tab. 3 je zobrazen počet a umístění shozených kuželů při jednotlivých jízdách a daném tlaku huštění pneumatik. (pomlčka – průjezd bez shození kuželu, proškrtnutí – jízda neproběhla)

Tab. 3: Počet a umístění shozených kuželů při jednotlivých jízdách a daném tlaku huštění pneumatik při rychlosti 65 km/h

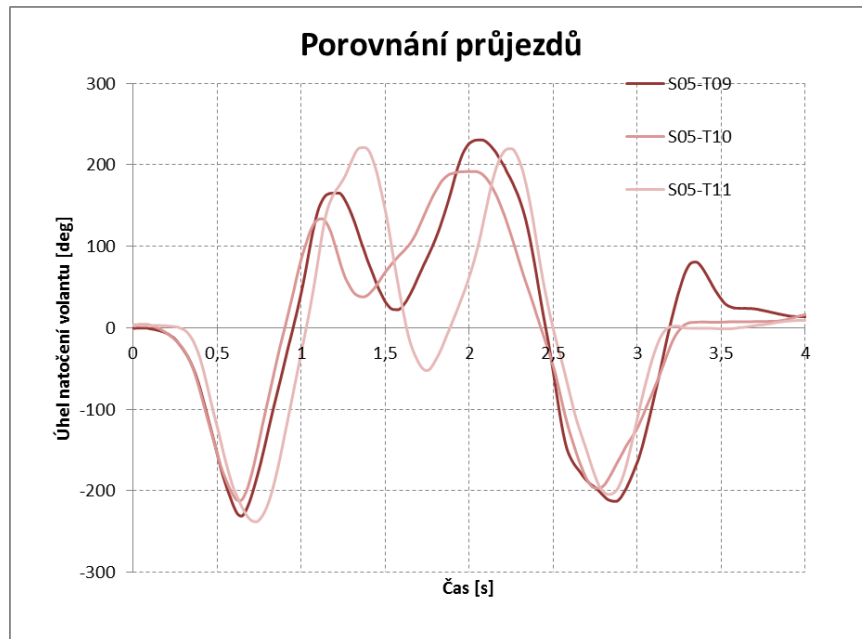
Tlak huštění pneumatik (přední náprava/zadní náprava)	Číslo jízdy				
	1	2	3	4	5
210/200 kPa	-	-	-	X	X
160/150 kPa	13, 14, 15	-	20	-	X
130/120 kPa	16	13	16	16	-
260/250 kPa	-	-	-	X	X
210/280 kPa	16	-	-	X	X

Při zkoumání dat v Tab. 3 je nutné se pozastavit nad jízdami, které byly prováděny s tlakem huštění pneumatik 130/120 kPa. Při čtyřech jízdách z pěti došlo ke sražení kužele, z toho byl při třech jízdách sražen kužel č. 16. Příčinou je zpožděná reakce vozidla (viz kap. 6.1.7).

Kužely sražené při prvních jízdách mohou mít nižší vypovídající schopnost, protože při první jízdě hledá řidič optimální stopu pro průjezd koridorem a zjišťuje přesné chování vozidla.

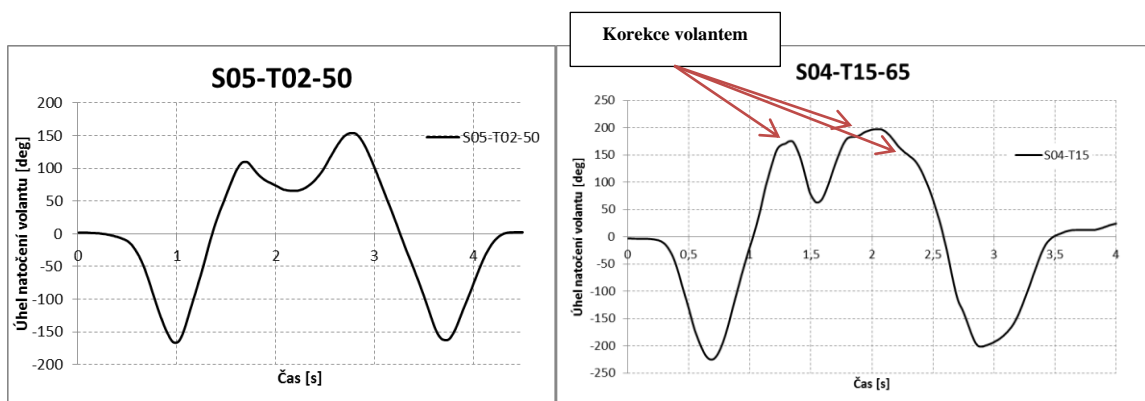
6.1.3 Zhodnocení průběhu měřených veličin

Při testování se plně projevila nízká opakovatelnost koridorové zkoušky. Řidič, i přes svou zkušenost, nebyl schopen projet testovacím koridorem stejným způsobem a hodnoty amplitud natočení volantu, jakož i průběh záznamů úhlu natočení volantu na čase se v každé jízdě mění, a nelze tedy objektivně popsat např. vliv tlaku huštění na chování vozidla velikostí amplitudy úhlu natočení volantu. Tento jev plně dokládá grafické porovnání závislostí úhlu natočení volantu na čase na Obr. 91 pro rychlost 65 km/h a tlak huštění pneumatik 260/250 kPa. Všechny jízdy byly projety čistě, tedy bez sražení kužele.



Obr. 91: Porovnání průběhu úhlu natočení volantu při jednotlivých jízdách v rámci jedné skupiny tlaku huštění při rychlosti 65 km/h a tlaku huštění 260/250 kPa.

Z křivek závislosti úhlu natočení volantu na čase, lze ale vyčíst počet větších korekcí volantem, kterými musel řidič během jízdy korigovat směr vozidla. Na Obr. 92 jsou zobrazeny křivky úhlu natočení volantu na čase při rychlosti 50 km/h a tlaku huštění pneumatik 260/250 kPa (vlevo) a 65 km/h a tlaku huštění pneumatik 130/120 kPa (vpravo) pro ilustraci množství korekcí. V Tab. 4 je uvedena hodnota celkového počtu jízd s celkovým počtem korekcí volantu pro různé tlaky huštění pneumatik a rychlosti vozidla.



Obr. 92: Porovnání množství korekcí volantem - vlevo rychlost 50 km/h a tlak 260/250 kPa bez korekcí volantem, vpravo rychlost 65 km/h a tlak 130/120 kPa s korekcemi volantu

Tab. 4: Celkový počet korekcí volantem pro jednotlivé rychlosti a tlaky huštění pneumatik. (počet jízd/celkový počet korekcí)

Tlak huštění pneumatik (přední náprava/zadní náprava)	Rychlost vozidla				
	50 km/h	55 km/h	60 km/h	65 km/h	70 km/h
210/200 kPa	-	-	-	3/3	3/4
190/180 kPa	3/2	4/4	3/5	2/4	-
160/150 kPa	3/3	4/4	4/8	4/12	-
130/120 kPa	3/3	4/8	4/12	5/18	-
260/250 kPa	2/1	3/3	3/3	3/4	-
210/280 kPa	-	-	-	3/6	-

Z Tab. 4 je patrné, že s přibývajícím rychlostí a se snižujícím se tlakem huštění pneumatik rostl počet korekcí volantem a tedy rostla náročnost na ovladatelnost vozidla. U tlaku huštění pneumatik 210/200 nebyly vyhodnocovány průběhy křivek pro rychlosti 50 – 60 km/h z důvodu špatně nastavené vzorkovací frekvence snímače (viz kap. 6.1).

6.1.4 Změna tlaku v pneumatikách

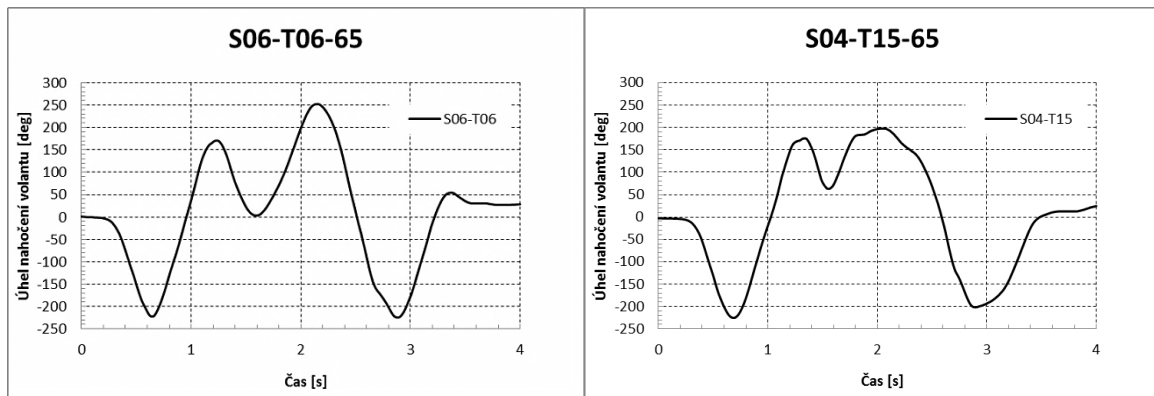
Po každém průjezdu vozidla koridorem byl zkontrolován tlak v pneumatikách pro zjištění možné ztráty jejich tlaku huštění v průběhu manévru. Během celého testování nedošlo ke ztrátě tlaku huštění pneumatik. Při jízdě na středně (tlak 160/150 kPa) a velmi (tlak 130/120 kPa) podhuštěných pneumatikách docházelo při rychlostech nad 60 km/h při každém průjezdu testovacím koridorem ke zvýšení tlaku v pneumatikách v průměru o 5 kPa. Nárůst tlaku lze vysvětlit zahříváním pneumatiky z důvodu zvýšeného valivého odporu a vnitřního tření podhuštěné pneumatiky.

6.1.5 Subjektivní hodnocení testovacího řidiče

Řidič po každé odjeté sérii jízd při daném tlaku huštění a rychlosti hodnotil pocit z chování vozidla. Hodnocené kategorie byly ovladatelnost a odezva vozidla, přesnost řízení, předvídatelnost chování a držení stopy. Hodnocení probíhalo na stupnici od 1 do 5, systémem 1 - nejlepší, 5- nejhorší. Následující text shrnuje číselné hodnocení a slovní komentáře řidiče k jednotlivým jízdám.

Při přehuštění, normálním tlaku a mírném podhuštění (tlak 190/180 kPa) řidič nepocítoval žádné rozdíly v hodnocených kategoriích. S následným snižujícím se huštěním (tlak 160/150 a 130/120 kPa) klesala přímo úměrně jak ovladatelnost a odezva

vozidla, tak i přesnost řízení a předvídatelnost jeho chování. Řidič vyvíjel mnohem větší úsilí na udržení vozidla v koridoru. Musel překonávat větší odpor volantu a jeho drobnými korekcemi udržovat vozidlo v požadovaném směru jízdy. Změnu ovladatelnosti vozidla dokládá porovnání křivek závislosti úhlu natočení volantu na čase na Obr. 93 pro normální tlak huštění (tlak 210/200 kPa, vpravo) a velké podhuštění (tlak 130/120, vlevo) při rychlosti 65 km/h.



Obr. 93: Závislost úhlu natočení volantu na čase při rychlosti 65 km/h pro tlak 130/120 kPa (vlevo) a 210/200 kPa (vpravo)

Zpožděná odezva vozidla se projevila opakovaným sražením kužele č. 16 při jízdách v rychlosti 65 km/h a tlaku huštění pneumatik 130/120 kPa

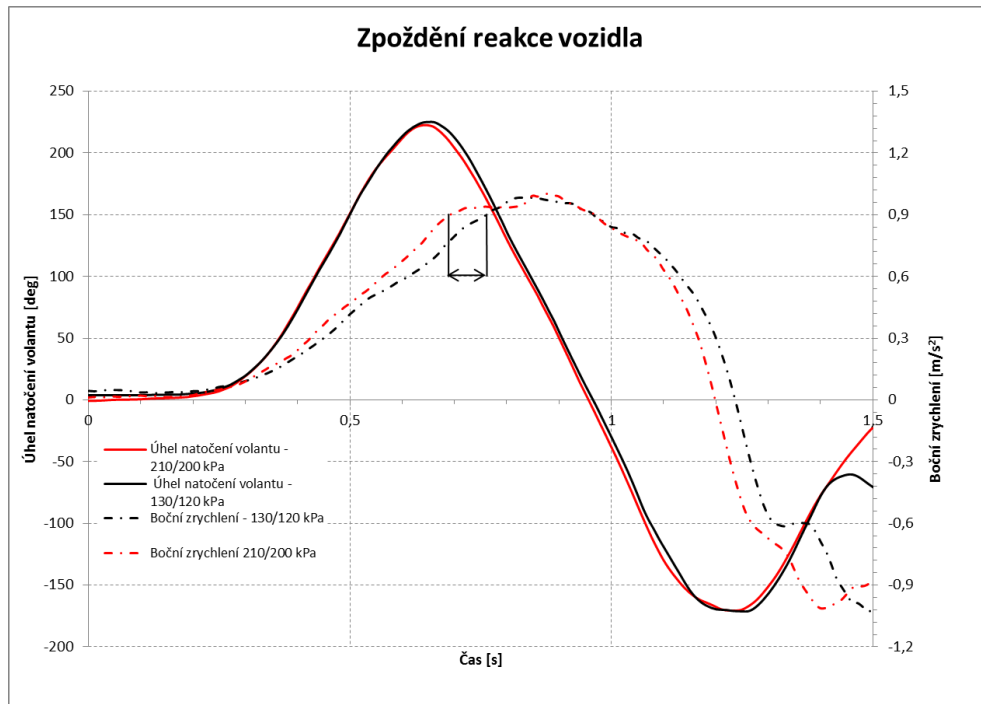
6.1.6 Doba průjezdu vozidla koridorem

Je známo, že se snižujícím se tlakem vzduchu v pneumatikách roste jejich valivý odpor. To se projevilo i v naměřených datech, konkrétně v době průjezdu vozidla koridorem. Například, při rychlosti 65 km/h činí doba průjezdu vozidla s normálním tlakem huštění pneumatik (tlak 210/200 kPa) v průměru 3,72 s a průměrná rychlost 59,03 km/h. Vozidlo s přehuštěnými pneumatikami (tlak 260/250 kPa) projede stejnou dráhu za 3,67 s a průměrnou rychlostí 59,84 km/h. S velmi podhuštěnými pneumatikami (tlak 130/120 kPa) činí doba průjezdu 3,86 s a průměrná rychlost 56,89 km/h.

Tyto údaje však mají větší význam spíše pro ekonomiku provozu než z pohledu bezpečnosti vozidla.

6.1.7 Zpoždění reakcí vozidla

Při jízdách se stejnou rychlostí a podobnými průběhy natočení volantu, lze porovnáním průběhů bočního zrychlení popsat zpoždění reakcí vozidla. Na Obr. 94 je zobrazeno porovnání částí záznamu úhlu natočení volantu (plná čára) a bočního zrychlení (čerchovaná čára) jízd s normálním tlakem huštění (tlak 210/200 kPa, červená barva) a s velkým podhuštěním (tlak 130/120 kPa, černá barva) při rychlosti 65 km/h.



Obr. 94: Porovnání průběhů bočního zrychlení pro určení zpoždění reakce vozidla

Na Obr. 94 je jasně patrné zpoždění průběhu bočního zrychlení vozidla s podhuštěnými pneumatikami vůči vozidlu jedoucímu na pneumatikách s normálním tlakem huštění. Stejný jev se opakoval při porovnání průběhu bočního zrychlení mezi jednotlivými jízdami vždy na velmi podhuštěných (tlak 130/120) a normálně huštěných (tlak 210/200 kPa) pneumatikách při rychlosti 65 km/h, ale i při rychlostech nižších. Průměrná doba zpoždění činila cca 0,06 s. Při rychlosti 65 km/h se tato doba rovná vzdálenosti 1,1 m. U středního podhuštění (tlak 160/150 kPa) není zpoždění reakce vozidla oproti normálnímu tlaku tak patrné (cca 0,02 s)

Zpožděním odezvy vozidla je tedy možné vysvětlit opakované srážení kuželu č. 16 při jízdách na velmi podhuštěných (tlak 130/120 kPa) pneumatikách. Prakticky už nebylo v možnostech testovacího řidiče reagovat dostatečně rychle a vyvinout potřebnou amplitudu, která by kompenzovala zpoždění reakce vozidla.

6.2 Vyhodnocení manévru ustálené zatáčení

Z naměřených dat byly vytvořeny grafy závislosti úhlu natočení volantu a rychlosti vozidla na čase. Z těchto dat byly vybrány vždy minimálně tři vteřinové úseky, které byly postoupeny dalšímu zpracování. Aby byla závislost naměřených dat vyhodnocena co nejpřesněji, byly do vyhodnocení zahrnuty pouze úseky s malým rozptylem dat.

V Tab. 5 jsou zobrazeny počty zpracovávaných úseků pro jednotlivé rychlosti a tlaky huštění pneumatik.

Tab. 5: Počty zpracovaných úseků pro jednotlivé rychlosti a tlaky huštění pneumatik

Tlak huštění pneumatik (přední náprava/zadní náprava)	Rychlost vozidla		
	10 km/h	20 km/h	30 km/h
210/200 kPa	3	4	3
190/180 kPa	4	4	3
160/150 kPa	3	3	4
130/120 kPa	3	3	3
260/250 kPa	4	4	4
210/280 kPa	3	4	3

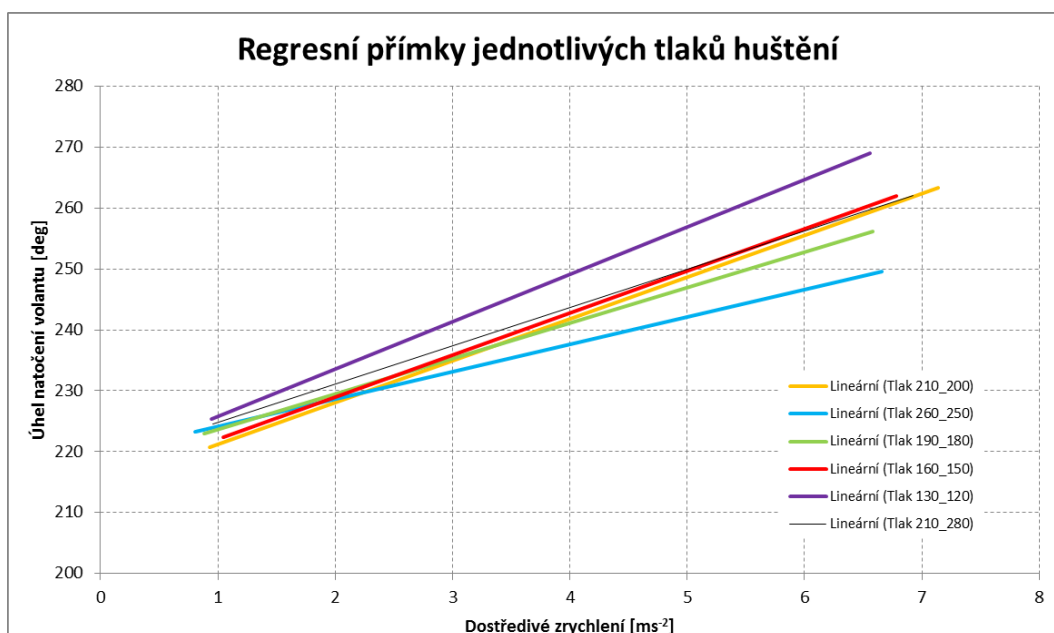
Z každého úseku byla vypočtena průměrná hodnota úhlu natočení volantu a rychlosti vozidla. Rychlost vozidla byla použita pro výpočet odpovídajícího průměrného dostředivého zrychlení dle vztahu $a = \frac{v^2}{R}$. Průměrná data získaná pro každou skupinu tlaku huštění pneumatik byla proložena regresní přímkou. Takto byla vytvořena matematická závislost mezi úhlem natočení volantu a dostředivým zrychlením pro jednotlivé skupiny tlaků huštění pneumatik.

V Tab. 6 jsou zobrazeny rovnice regresních přímek a jejich faktor spolehlivosti R. Tento faktor udává míru závislosti veličin (1- veličiny jsou lineárně závislé, 0- veličiny jsou na sobě nezávislé)

Tab. 6: Rovnice regresních přímek a jejich faktor spolehlivosti R^2

Tlak huštění pneumatik (přední náprava/zadní náprava)	Matematické vyjádření regresní přímky	Faktor spolehlivosti R^2
210/200 kPa	$y = 6,8864x + 214,24$	$R^2 = 0,9347$
190/180 kPa	$y = 5,8376x + 217,75$	$R^2 = 0,945$
160/150 kPa	$y = 6,8912x + 215,22$	$R^2 = 0,8911$
130/120 kPa	$y = 7,7691x + 218,05$	$R^2 = 0,9296$
260/250 kPa	$y = 4,5023x + 219,63$	$R^2 = 0,9206$
210/280 kPa	$y = 6,2782x + 218,5$	$R^2 = 0,943$

Na Obr. 95 jsou graficky znázorněny regresní přímky pro jednotlivé tlaky huštění pneumatik.



Obr. 95: Grafické vyjádření regresních přímek pro jednotlivé tlaky huštění pneumatik

Regresní přímky nemají počátek v bodu s nulovou souřadnicí X, protože nejnižší testovací rychlost, kterou byl řidič schopen trvale udržet, byla 10 km/h, této rychlosti odpovídá dostředivé zrychlení cca $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Dle teorie zatáčení vozidel se musí všechny přímky protínat v jednom bodě o souřadnicích $[0, Y]$, a to v úhlu natočení volantu, který odpovídá Ackermannovu úhlu rejdu. V grafu regresních přímek na Obr. 95 se přímky neprotínají. Tento fakt lze vysvětlit nepřesnostmi měření a malým počtem měřených rychlostí pro daný tlak huštění pneumatiky (pouze tři měřené rychlosti 10, 20 a 30 km/h), které mírně zkreslují sklon regresních přímek. Matematické vyjádření regresních přímek v Tab. 6 je ve tvaru $y=ax+b$,

kdy b , je souřadnice průsečíku dané přímky s osou y . Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou koeficient b je přibližně 5 stupňů úhlu natočení volantu, což lze vzhledem k relativně malému počtu dat hodnotit jako dobrý výsledek a data považovat za relevantní.

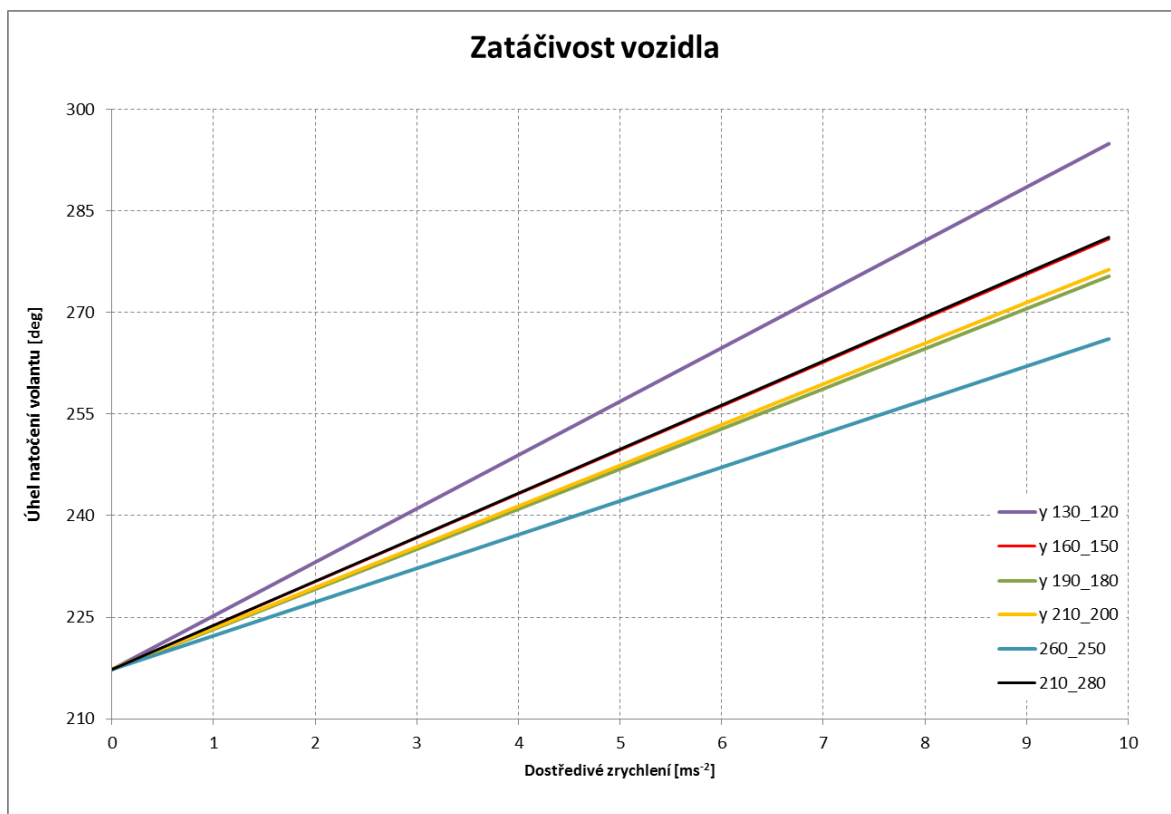
Pro další vyhodnocení zatáčivosti vozidla je nutné sjednotit průsečíky regresních křivek s osou y do jednoho bodu. Pro tento účel byl použit vážený průměr hodnot koeficientu b , kdy větší váhu mají křivky vzniklé z vyššího počtu měření.

Průměrná hodnota koeficientu b je $b = 217,3$ stupně úhlu natočení volantu. V Tab. 7 jsou zobrazeny nové rovnice regresních přímek a jejich faktor spolehlivosti R^2 .

Tab. 7: Nové rovnice regresních přímek a jejich faktor spolehlivosti R^2

Tlak huštění pneumatik (přední náprava/zadní náprava)	Matematické vyjádření regresní přímky	Faktor spolehlivosti R^2
210/200 kPa	$y = 6,0245x + 217,3$	$R^2 = 0,9263$
190/180 kPa	$y = 5,9327x + 217,3$	$R^2 = 0,9446$
160/150 kPa	$y = 6,4927x + 217,3$	$R^2 = 0,8871$
130/120 kPa	$y = 7,9277x + 217,3$	$R^2 = 0,9291$
260/250 kPa	$y = 4,9911x + 217,3$	$R^2 = 0,905$
210/280 kPa	$y = 6,5196x + 217,3$	$R^2 = 0,941$

Zatáčivost testovaného vozidla při daných podmínkách (zatížení vozidla, poloha těžiště) je pro jednotlivé tlaky huštění pneumatik vyobrazena na Obr. 96. Z obrázku je zřejmé, že se snižujícím se podhuštěním pneumatik roste nedotáčivost vozidla. Naopak při přehuštění pneumatik se nedotáčivost vozidla snižuje. Vozidlo je podle Obr. 96 při tlaku huštění pneumatik 190/180 kPa méně nedotáčivé než je tomu u tlaku 210/200 kPa. Tento výsledek může být silně ovlivněn přesností regresních přímek a také nedodržením poloměru zatáčení předepsaného normou ISO 4138.



Obr. 96: Zatáčivost vozidla při jednotlivých tlacích huštění pneumatik

Výsledky měření zatáčivosti u vozidla s tlakem huštění pneumatik 160/150 kPa plně odpovídají teorii zatáčení, kdy vlivem zvýšené směrové tuhosti pneumatik na zadní nápravě se prohlubuje nedotáčivost vozidla oproti vozidlu s normálním tlakem huštění pneumatik.

7 Závěr

V práci byly shromážděny informace o vlivu pneumatik na bezpečnost silničního vozidla a to jak z pohledu jejího složení a konstrukce, tak především z pohledu tlaku huštění. Poznatky, které vyplynuly z teoretické části o vlivu tlaku huštění pneumatik na bezpečnost silničního vozidla, jsem se rozhodl experimentálně ověřit. Proto bylo nutné pojmenovat základní požadavky kladené na vhodný manévr, na základě kterých byl proveden následný výběr manévrů. Součástí práce je také vypracovaná metodika, kterou jsem vytvořil pro experimentální zkoušení vlivu tlaku huštění pneumatik na stabilitu a ovladatelnost vozidla. Významnou částí této diplomové práce je experiment, který měl ověřit teoretické předpoklady a prokázat vliv tlaku huštění pneumatik na bezpečnost silničního vozidla.

V experimentální části této práce byl prokázán jednoznačný vliv tlaku huštění pneumatik na ovladatelnost a stabilitu vozidla. Nejmarkantněji se tento vliv samozřejmě projevil u nejvyšší testované rychlosti a u velmi podhuštěných pneumatik. Při snižování tlaku huštění pneumatik se postupně zvyšovaly nároky na ovladatelnost vozidla. Dle subjektivního popisu řidiče se zhoršovala předvídatelnost chování vozidla a zvyšovala se síla nutná k otočení volantu při zatáčení. Zvyšoval se počet korekcí volantu řidičem, což lze objektivně prokázat z křivek grafu závislosti úhlu natočení volantu na čase. Prodloužení reakční doby vozidla u velmi podhuštěných pneumatik se projevilo zhoršením čistoty jeho průjezdu koridorem. Opakované sražení kuželu č. 16 bylo zapříčiněno neschopností testovacího řidiče dostatečně vykompenzovat zpožděnou reakci vozidla.

I přes zhoršení ovladatelnosti vozidla na podhuštěných pneumatikách, projel testovací řidič ve všech testovaných rychlostech, vždy alespoň při jednom pokusu, zkušebním koridorem bez sražení jediného kužele, a to i při tlaku huštění pneumatik 130/120 kPa. Přesto lze říci, že rychlost potřebná pro čistý průjezd koridorem se u velmi podhuštěných pneumatik, oproti pneumatikám s normálním tlakem huštění, snížila z rychlosti 65 km/h na 60 km/h.

S klesajícím tlakem huštění pneumatik se prohlubovala nedotáčivost vozidla. Z pohledu bezpečnosti je v běžném provozu nedotáčivost vozidla chápána, ve srovnání

s přetáčivostí, jako výhodnější. U přetáčivého vozidla může při překročení kritické rychlosti nastat případ, kdy řidič musí pro zachování požadovaného poloměru zatáčení korigovat odchylky protiřízením. Je však třeba mít na zřeteli, že vysoká nedotáčivost vozidla může v kritické situaci vyžadovat vyšší rychlost reakce a úhel natočení volantu, než jaký je schopen řidič v danou chvíli vyvinout.

Nedotáčivost vozidla s přehuštěnými pneumatikami se, ve srovnání s ostatními tlaky huštění, snížila. Vozidlo si tedy při všech testovaných tlacích huštění zachovalo směrovou stabilitu.

Pokud aplikujeme závěry experimentu do běžného provozu, pak je, z pohledu bezpečnosti, nejdůležitějším ukazatelem změn chování vozidla čistota průjezdu testovacím koridorem, respektive počty sražených kuželů při jednotlivých jízdách. Vyhýbací manévry simulují vyhnutí se neočekávané překážce. Pokud tedy vozidlo při průjezdu koridorem nedodrží prostor vymezený kužely, lze říci, že v reálné situaci by se vozidlo překážce nemuselo vyhnout, nebo by mohlo při vykonávání manévru vyjet mimo silnici. Je důležité si uvědomit, že testovací jízdy prováděl zkušený řidič, který je instruktorem bezpečné jízdy a školy smyku. Proto mezní hodnota rychlosti a tlaku huštění pneumatik pro čistý průjezd koridorem platí skutečně pouze pro tento experiment a pro běžného řidiče, jehož rychlost reakcí je ve srovnání s profesionálním jezdcem nižší, se může hodnota tlaku huštění a rychlosti nutných k čistému průjezdu vozidla koridorem posunout do nižších hodnot. Jinými, to, co projede testovací jezdec, běžný řidič vůbec nemusí být schopen projet.

Zhoršení ovladatelnosti vozidla, tedy soustavná korekce směru jízdy volantem a zvýšená ovládací síla na volantu, se neprojeví pouze v krizové situaci. Při běžné jízdě se odrazí na předčasné únavě řidiče a hrozící ztrátě jeho pozornosti, především na dálkových trasách, a to se všemi důsledky.

Při testování se plně projevila nízká opakovatelnost a subjektivita koridorových zkoušek, kdy ani profesionální jezdec nebyl schopen při nízkém počtu průjezdů projet koridorem stejným způsobem. Dosažené výsledky tak jsou ovlivněny osobou řidiče. Vzhledem k nedostatečným časovým a materiálním možnostem, může být testování zkruseno nedostatečným počtem naměřených dat. Dále se potvrdila nutnost dodržet minimální velikost poloměru zatáčení při manévru ustálené zatáčení dle ISO 4138.

Tato diplomová práce zpracovává pouze část velice rozsáhlé problematiky. Uvedené závěry platí pouze pro dané testovací vozidlo a podmínky platné při testování a uvedené v kapitole 5 Realizace experimentu. Výsledky jsou i přesto natolik zajímavé, že by se mohly stát podkladem pro zahájení rozsáhlejšího výzkumu, který by mohl nejenom pokračovat v experimentu na jiných vozidlech a ověřit tak platnost výsledků na širším vzorku, ale i rozšířit okruh zkušebních manévrů, popřípadě pomocí stávajících manévrů zkoušet testovací vozidlo za jiných podmínek. Například na ploše se sníženou adhezí, nebo se změnou některých parametrů testovacího vozidla jako je poloha těžiště.

Seznam použité literatury

- [1] Na nových dunlopkách [online databáze]. GRUBER, J., 2006 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <http://www.spstr.pilsedu.cz/osobnistranky/josef_gruber/clanky/dunlop.pdf>
- [2] MARCÍN, J.; ZÍTEK, P., *Pneumatiky*. Praha, SNTL, 1985. 492 s.
- [3] Výrobní proces pneumatiky [online databáze]. Nokian Tyres, 2011 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <http://www.nokiantyres.cz/Produktionsprozess_copy>
- [4] Nehodnoťte knihu podle jejího přebalu [online databáze]. Michelin, 2010 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.michelin.cz/auto-pneu/informace-doporuceni/zakladni-udaje-o-pneumatice/stavba-pneumatiky>>
- [5] Konstrukce pneumatiky [online databáze]. SAJDL, J., 2011 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://cs.autolexicon.net/articles/konstrukce-pneumatiky/>>
- [6] MARCÍN, J., *Pneumatiky - výroba, použití, údržba*. Redaktorka Jana Štěpánová. 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1976. 272 s.
- [7] VALA, M., *Kola a pneumatiky – přednáška*. Brno, 2007
- [8] Konstrukce, funkce a výroba pneumatiky [online databáze]. Pneuservis v Rokytnici, 2012 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.pneu-asistent.cz/Konstrukce-funkce-a-vyroba-pneumatiky.html>>
- [9] The Wheel & Tyre Bible [online databáze]. Longhurst, Ch., 2012 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <http://www.carbibles.com/tyre_bible_pg2.html>
- [10] Tyre Glossary [online databáze]. etyres, 2012 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.etyres.co.uk/glossary-tyre-terms?term=cross-ply-tyre>>
- [11] Technologie výroby pneumatik BARUM CONTINENTAL ZLÍN [online databáze]. vossost, - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.vossost.cz/pk/Data/HTML/vyrobapneu.htm>>
- [12] What's round and black – and really complicated [online databáze]. Bridgestone Americas Tire Operations, 2010 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.bridgestonetrucktires.com/publications/03v8iss3/ra7.asp>>
- [13] Dunlop ROADSMART [online databáze]. Sportbike Tire Store, 2010 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <http://www.sportbiketirestore.com/images/roadsmart_rear-1.jpg>
- [14] Zimní pneumatiky od 1. listopadu nově! [online databáze]. Ministerstvo dopravy, 2011 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <http://www.ibesip.cz/1197_Zimni-pneumatiky-od-1-listopadu-nove>

- [15] PATERA, J., *Výukové přednášky HCT.cz, a.s.*. Most, 2010
- [16] Pirelli unveils colour-coded tyres for 2011 [online databáze]. The F1 Times, 2011 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.thef1times.com/news/display/02801>>
- [17] Příprava motocyklu pro závody 2. díl – pneumatiky [online databáze]. Eagle Racing, 2006 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.eagleracing.cz/sites/techinfo-upravy2-pneumatiky.htm>>
- [18] Pneumatiky na okruh! [online databáze]. Okruhári.cz, 2011 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.okruhari.cz/clanky/item/pneumatiky-na-okruh.html>>
- [19] Design běhounu. Působivý styl [online databáze]. Michelin, 2010 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.michelin.cz/auto-pneu/informace-doporuceni/zakladni-udaje-o-pneumatice/vyznam-dezenoveho-vzorku>>
- [20] Letní a zimní osobní pneumatiky [online databáze]. NejlevnějšíPNEU.cz, 2011 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.nejlevnejsipneu.cz/cz/info.php>>
- [21] Goodyear Pneus Turismo [online databáze].Scorpion Pneus, 2009 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.scorpionpneus.eu/goodyear/album/patgy.html>>
- [22] TESÁŘ, M.; VALA, M. *Teorie a konstrukce silničních vozidel*. Pardubice, 2003
- [23] Rádce [online databáze]. Pneuservis Kbely, 2010 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.ipneumatiky.eu/radce>>
- [24] Winter Tyres [online databáze]. Continental AG, 2011 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://conti-central.co.uk/winter-tyres/>>
- [25] Řidiči pozor! Zima se blíží. [online databáze]. Policie ČR, 2010 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.policie.cz/clanek/ridici-pozor-zima-se-blizi.aspx>>
- [26] Winter tire test 205/55 R 16 – wet & dry results [online databáze]. Autoklub ČR, 2009 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <http://www.autoklub.cz/acr/informacezakony/zakony/2009/informace_pro_motoristy/pdf/1026/autoklub_winter_0209.pdf>
- [27] Winter tire test 195/65 R 15 – wet & dry results [online databáze]. Autoklub ČR, 2010 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <http://www.autoklub.cz/acr/informacezakony/zakony/2010/informace_pro_motoristy/pdf/1027b/protokol_o_testech.pdf>
- [28] Winter tyres tested – Snow and ice results [online databáze]. Haymarket Media Group, 2012 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: < <http://www.whatcar.com/car-news/winter-tyres-tested/snow-and-ice/259257>>

- [29] Tyre pressure effects driving performance [online databáze]. TyrePal, 2011 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.tyrepal.co.uk/tyre-pressure-effects-driving-performance/1867.html>>
- [30] Typy pneumatik [online databáze]. HANKOOK TIRE, 2008 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.hankookpneu.cz/web/?p=clanky/typy-pneumatik>>
- [31] Sortiment agro pneumatik a technické parametry [online databáze]. Michelin, 2007 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <http://www.strompraha.cz/assets/files/katalogy-pneu/Michelin_Agro_prosi_07_CZ.pdf>
- [32] Bridgestone ER300 Ecopia 215/55 R16 97W [online databáze].Pneautomoto, 2007 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.pneautomoto.cz/store/goodsdetail.asp?strGoodsID=92>>
- [33] Poškození pneumatik a jejich příčiny [online databáze]. Continental AG, 2006 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <http://www.conti-online.com/generator/www/cz/cz/continental/automobil/temata/ke%20stazeni/hidden/vady_pass_cz.pdf>
- [34] Vliv tlaku huštění na jízdní stabilitu [online databáze]. Michelin, 2007 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.pneuok.cz/radce-vliv-tlaku/>>
- [35] Goodyear Eagle F1 Assymmetric [online databáze]. Goodyear, 2010 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <http://www.goodyear.eu/cz_cs/tires/Eagle-F1-Asymmetric/index.jsp>
- [36] ESC performance [online databáze]. Euro NCAP, 2012 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.euroncap.com/results/escperf.aspx>>
- [37] ZIKMUND, T., *Podklady k přednáškám z předmětu Zkoušení vozidel*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2011
- [38] An Experimental Examination of Selected Maneuvers That May Induce On-Road Untripped, Light Vehicle Rollover - Phase I-A of NHTSA's 1997-1998 Vehicle Rollover Research Program. [online databáze]. NHTSA, 2001 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.nhtsa.gov/DOT/NHTSA/NRD/Multimedia/PDFs/VRTC/ca/capubs/nhtsarolloverphaseIa.pdf>>
- [39] An Experimental Examination of Selected Maneuvers That May Induce On-Road Untripped, Light Vehicle Rollover - Phase I-B of NHTSA's 1997-1998 Vehicle Rollover Research Program. [online databáze]. NHTSA, 2002 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.nhtsa.gov/DOT/NHTSA/NRD/Multimedia/PDFs/VRTC/ca/capubs/nhtsarolloverphaseIb.pdf>>
- [40] An Experimental Examination of Selected Maneuvers That May Induce On-Road Untripped, Light Vehicle Rollover - Phase II of NHTSA's 1997-1998 Vehicle Rollover Research Program. [online

- databáze]. NHTSA, 1999 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.edccorp.com/library/TechRefPdfs/EDC-1079.pdf>>
- [41] An Experimental Examination of Test Maneuvers That May Induce On-Road, Untripped Light Vehicle Rollover [online databáze]. NHTSA, 2003 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.nhtsa.gov/DOT/NHTSA/NRD/Multimedia/PDFs/VRTC/ca/capubs/PhaseIVRollover03SAE.pdf>>
- [42] DVOŘÁK., *Zkoušky na vozidle Škoda Felicia v předjížděcím manévru pro ověření počítačového modelu*. Praha, 2002. Technický protokol č. 40300-02. Ústav pro výzkum motorových vozidel.
- [43] Analysis of driver-vehicle-interactions in an evasive manoeuvre – Results of „Moose test“ studies [online databáze]. Joerg J. Breuer – Daimler-Benz AG, 1998 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/Esv/esv16/98S2W35.PDF>>
- [44] Collaboration for Land, Air, Sea, and Space Vehicles: Developing the Common Ground in Vehicle Dynamics, System Identification, Control, and Handling Qualities [online databáze]. RTO/NATO, 2002 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA408828>>
- [45] Federal Motor Vehicle Safety Standards; Electronic Stability Control Systems; Controls and Displays [online databáze]. NHTSA, 2007 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <http://www.nhtsa.gov/DOT/NHTSA/Rulemaking/Rules/Associated%20Files/ESC_FR_03_2007.pdf>
- [46] skoda blueprint [online databáze]. SELASA, 2009 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://blackholesworking.blogspot.com/2009/10/skoda-blueprint.html>>
- [47] Bridgestone Turanza ER 300 185/60 R14 82H Sommerreifen [online databáze]. PreisRoboter.de, 2012 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.preisroboter.de/n/3286340261012.html>>
- [48] Rollover resistance [online databáze]. NHTSA, 2001 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.nhtsa.gov/DOT/NHTSA/Rulemaking/Rules/Associated%20Files/RolloverResistance.pdf>>
- [49] Historie pneumatiky, dějiny a vývoj pneu technologií [online databáze]. Auto-Jenda.cz, 2012 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.pneu-jenda.cz/historie-pneumatiky>>
- [50] ČSN 63 1001., *Pneumatiky – Termíny a definice*. Český normalizační institut, Praha, 2005
- [51] Zimy stále krutější [online databáze]. Michal Busta, 2011 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <http://www.business-car.cz/uploads/File/archiv/_bc4_2011/Zimni_pneumatiky.pdf>

- [52] Budúcnosť automobilového priemyslu [online databáze]. Peter Blažička, 2011 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.engineering.sk/index.php/clanky2 /automobilovy-priemysel/240-buducnostautomobilovehopriemyslu>>
- [53] Zimní pneumatiky [online databáze]. Autoklub ČR - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <http://www.profiautoskoly.cz/dokumenty/zimni_pneumatiky_ak.pdf>
- [54] Rozdělení typů dezénů a segmentace pneumatik [online databáze]. Mpneu.cz - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.mpneu.cz/typypneumatik/>>
- [55] Aquaplaning [online databáze]. Nokian Tyres, 2008 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.nokiantyres.cz/aquaplaning-cz>>
- [56] Aquaplaning představuje veliké nebezpečí, které není vidět. [online databáze]. Michelin, 2010 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.michelin.cz/auto-pneu/informace-doporuceni/pruvodce-udrzbou-pneumatik/Aquaplaning>>
- [57] Praktická dílna – Kola a pneumatiky [online databáze]. Autoexpert, 2007 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.znalec.tym.cz/kola%20a%20pneu.pdf>>
- [58] Survey of ISO Standards [online databáze]. EVSC, 2005 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2005/wp29grf/EVSC05-03e.pdf>>
- [59] Dynamic ESC Testing Procedure [online databáze]. The Motor Insurance Repair Research Centre, 2012 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.thatcham.org/esc /index.jsp?page=296>>
- [60] VDA-Spurwechseltest [online databáze]. VDA, 2010 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.vda.de/de/verband/fachabteilungen/technik/infos/vda-spurwechseltest.html>>
- [61] An Experimental Evaluation of 26 Light Vehicles Using Test Maneuvers That May Induce On-Road, Untripped Rollover and a Discussion of NHTSA's Refined Test Procedures - Phases VI and VII of NHTSA's Light Vehicle Rollover Research Program [online databáze]. NHTSA, 2003 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.nhtsa.gov/DOT/NHTSA/NRD/Multimedia/PDFs/VRTC/ca/capubs/nhtsarolloverphase6-7.pdf>>
- [62] Rollover resistance [online databáze]. NHTSA, 2001 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.nhtsa.gov/DOT/NHTSA/Rulemaking/Rules/Associated%20Files/RolloverResistance.pdf>>
- [63] VLK, F., *Zkoušení a diagnostika silničních vozidel*. Nakladatelství vlk, Brno, 2001
- [64] Osm z deseti motoristů v Evropě jezdí na podhuštěných pneumatikách [online databáze]. Bridgestone, 2010 - [cit. 2012-24-2]. Dostupná z WWW: <<http://www.bridgestone.cz/tisk/tiskove-zpravy/2010/osm-z-deseti-motoristu-v-evrope-jezdi-na-podhustenych-pneumatikach>>

Seznam obrázků

Obr. 1: Thomsonova pneumatika [1]	10
Obr. 2: Řez radiální pneumatikou [4].....	11
Obr. 3: Vnitřní butylová vrstva [5].....	12
Obr. 4: Radiální kordová vrstva [5].....	12
Obr. 5: Radiální kordová vrstva pneumatiky s nárazníky [9].....	13
Obr. 6: Diagonální kordová vrstva pneumatiky[9].....	14
Obr. 7: Typické úhly křížení kordových vrstev [10]	14
Obr. 8: Patka pláště [5].....	16
Obr. 9: Jádro patky [11]	16
Obr. 10: Patní lano [5].....	17
Obr. 11: Bočnice [5].....	17
Obr. 12: Nárazník [5]	18
Obr. 13: Ochranná vrstva [11].....	19
Obr. 14: Běhoun [11]	20
Obr. 15: Dvouvrstvý běhoun [12]	20
Obr. 16: Vicesložkový běhoun – Dunlop Multi - tread technology [13].....	21
Obr. 17: Princip adhesního působení [15].....	24
Obr. 18: Princip indentace [15]	25
Obr. 19: Technologie dvojitého běhounu pneumatiky Goodyear Eagle f1 Assymmetric [35]	26
Obr. 20: Závislost přilnavosti pneumatik na teplotě [14].....	27
Obr. 21: Porovnání brzdných drah letních a zimních pneumatik na sněhu [28].....	27
Obr. 22: Porovnání brzdných drah letních a zimních pneumatik na ledu [28]	27
Obr. 23: Rozdíl brzdných drah automobilu při teplotách 5°C a 20°C z rychlosti 100 km/h na mokré vozovce[24].....	28
Obr. 24: Rozdíl brzdných drah automobilu při teplotách pod 0°C z rychlosti 60 km/h na suché vozovce[25]	28
Obr. 25: Pneumatiky Pirelli P Zero [16]	29
Obr. 26: Schématické znázornění rozložení směsi napříč pneumatikou pro přední (nahore) a zadní pneumatiku (dole) [17]	30
Obr. 27: Pneumatika s asymetrickým rozložením směsi [18]	30
Obr. 28: Symetrický desén letních (vlevo) a zimních pneumatik (vpravo) [20]	32
Obr. 29: Symetrický desén letních (vlevo) a zimních pneumatik (vpravo) [20]	33
Obr. 30: Pneumatika Goodyear F1 Assymmetric [21]	33
Obr. 31: Směrový desén letních (vlevo) a zimních pneumatik (vpravo) [20]	34
Obr. 32: Závislost součinitele adheze na rychlosti jízdy a hloubce desénu [22]	35
Obr. 33: Závislost délky brzdné dráhy automobilu na hloubce desénu pneumatiky [23]	35
Obr. 34: Změna velikosti styčné plochy pneumatiky v závislosti na rychlosti jízdy (vývoj rychlosti zleva 0, 80, 100 a 115 km/h)	36
Obr. 35: Porovnání odolnosti pneumatik 195/65 R15 proti vzniku aquaplaningu [27].....	38

Obr. 36: Porovnání odolnosti pneumatik 205/55 R 16 proti vzniku aquaplaningu [26].....	38
Obr. 37: Porovnání letních a zimních pneumatik z hlediska odolnosti proti vzniku aquaplaningu [28]	39
Obr. 38: Vliv konstrukce desénu na vznik aquaplaningu při rychlosti 130 km/h (vlevo speciální pneumatika do deště, vpravo běžná pneumatika) [15].....	39
Obr. 39: Vliv hloubky desénu na vznik aquaplaningu při různých rychlostech [15]	40
Obr. 40: Vliv tlaku huštění pneumatik na změnu kontaktní plochy a vznik aquaplaningu při rychlosti 80 km/h (Tlak huštění pneumatiky zleva: 200 kPa, 150 kPa a 100 kPa) [29].....	40
Obr. 41: Změna velikosti styčné plochy diagonální (vlevo) a radiální (vpravo) pneumatiky při zatáčení [29]	41
Obr. 42: Změna velikosti styčné plochy diagonální (vlevo) a radiální (vpravo) pneumatiky při změně zatížení (odlehčené pneumatice odpovídá vybarvená plocha) [30].....	41
Obr. 43: Porovnání brzdných drah na mokru u pneumatik 195/65 R 15 [27]	42
Obr. 44: Porovnání brzdných drah na mokru u pneumatik 205/55 R 16 [26]	43
Obr. 45: Porovnání brzdných drah na suchu u pneumatik 195/65 R 15 [27]	43
Obr. 46: Porovnání brzdných drah na suchu u pneumatik 205/55 R 16 [26]	43
Obr. 47: Radiální deformační charakteristika pneumatiky [22]	44
Obr. 48: Boční charakteristika pneumatiky [22]	45
Obr. 49: Charakteristika zatáčivosti vozidla [22].....	46
Obr. 50: Dráha nedotáčivého (vlevo) a přetáčivého (vpravo) vozidla při průjezdu zatáčkou s konstantním úhlem natočení volantu a zvyšováním rychlosti jízdy [22].....	47
Obr. 51: Úplná destrukce pneumatik vlivem nesprávného huštění [33].....	47
Obr. 52: Změna velikosti styčné plochy a rozložení kontaktního tlaku pneumatiky v závislosti na jejím huštění [32]	48
Obr. 53: Závislost velikosti součinitele adheze na tlaku huštění pneumatiky [22]	48
Obr. 54: Typické opotřebení pneumatiky při přehuštění resp. podhuštění [34] a [33].....	49
Obr. 55 a Obr. 56: Řídicí robot [36] a světelná rampa [37].....	53
Obr. 57: Schématické znázornění zkoušek se skokovým, impulsním a harmonickým natáčením volantu [37]	53
Obr. 58: Průběh manévru J- turn bez brzdného impulzu [38]	54
Obr. 59: Průběh manévru J-Turn s brzdným impulzem [38]	55
Obr. 60: Průběh manévru Fishhook [38].....	56
Obr. 61: Průběh manévru Fishhook dle metodiky Toyota [38].....	56
Obr. 62: Průběh manévru Fishhook dle metodiky Toyota [38].....	57
Obr. 63: Průběh manévru Fishhook dle metodiky TTI [40].....	57
Obr. 64: Průběh manévru Symmetrical Fishhook [41].....	58
Obr. 65: Průběh manévru Sine with Dwell [45].....	59
Obr. 66: Průběh manévru ISO 3888-1 [42].....	61
Obr. 67: Průběh manévru NATO AVTP 03-160 [44].....	61
Obr. 68: Průběh manévru Losí test [43]	62
Obr. 69: Průběh manévru ISO 3888-2 [42].....	62
Obr. 70: Průběh manévru Consumers Union Short Course [41]	63

Obr. 71: Tvar a rozměry testovacího koridoru [42].....	66
Obr. 72: Schéma testovací dráhy pro zkoušku ustalného zatáčení	67
Obr. 73: Testovací vozidlo a jeho rozměry [46].....	69
Obr. 74: Pneumatika Bridgestone Turanza ER 300 [47] [48]	70
Obr. 75: Umístění snímače zrychlení (vlevo) a snímače úhlu natočení volantu (vpravo).....	73
Obr. 76: Umístění snímače Correvit na zádi automobilu	73
Obr. 77: Měřicí ústředna Cronos (vlevo) s modulem Cansas (vpravo)	74
Obr. 78: Tvar a rozměry testovacího koridoru [42].....	75
Obr. 79: Testovací dráha pro Vyhýbací manévru	75
Obr. 80: Schéma testovací dráhy pro zkoušku ustalného zatáčení	76
Obr. 81: Testovací dráha pro manévru ustalného zatáčení	77
Obr. 82: Záznam S01-T16 měření průběhu úhlu natočení volantu na čase při rychlosti 65 km/h	79
Obr. 83: Záznam S04-T4 měření průběhu úhlu natočení volantu na čase při rychlosti 65 km/h	79
Obr. 84: Vzorový průběh rychlosti vozidla při vyhýbacím manévru - rychlost 65 km/h, tlak huštění 210/200 kPa.....	80
Obr. 85: Vzorový průběh úhlu natočení volantu při vyhýbacím manévru - rychlost 65 km/h, tlak huštění 210/200 kPa.....	80
Obr. 86: Vzorový průběh bočního zrychlení vozidla při vyhýbacím manévru - rychlost 65 km/h, tlak huštění 210/200 kPa.....	81
Obr. 87: Vzorový průběh směrové úchytky vozidla při vyhýbacím manévru - rychlost 65 km/h, tlak huštění 210/200 kPa.....	81
Obr. 88: Vzorový průběh rychlosti stáčení vozidla při vyhýbacím manévru - rychlost 65 km/h, tlak huštění 210/200 kPa.....	82
Obr. 89: Vzorový průběh podélného zrychlení vozidla při vyhýbacím manévru - rychlost 65 km/h, tlak huštění 210/200 kPa	82
Obr. 90: Schéma koridoru s číselným označením jednotlivých kuželů.....	83
Obr. 91: Porovnání průběhu úhlu natočení volantu při jednotlivých jízdách v rámci jedné skupiny tlaku huštění při rychlosti 65 km/h a tlaku huštění 260/250 kPa.....	85
Obr. 92: Porovnání množství korekcí volantem - vlevo rychlost 50 km/h a tlak 260/250 kPa bez korekcí volantem, vpravo rychlost 65 km/h a tlak 130/120 kPa s korekcemi volantu	85
Obr. 93: Závislost úhlu natočení volantu na čase při rychlosti 65 km/h pro tlak 130/120 kPa (vlevo) a 210/200 kPa (vpravo).....	87
Obr. 94: Porovnání průběhů bočního zrychlení pro určení zpoždění reakce vozidla	88
Obr. 95: Grafické vyjádření regresních přímků pro jednotlivé tlaky huštění pneumatik	90
Obr. 96: Zatáčivost vozidla při jednotlivých tlacích huštění pneumatik	92

Seznam tabulek

Tab. 1: Počet platných testovacích jízd pro jednotlivé rychlosti a tlaky huštění pneumatik	78
Tab. 2: Počty jízd se sražením kuželů vůči celkovému počtu jízd	83
Tab. 3: Počet a umístění shozených kuželů při jednotlivých jízdách a daném tlaku huštění pneumatik při rychlosti 65 km/h	84
Tab. 4: Celkový počet korekcí volantem pro jednotlivé rychlosti a tlaky huštění pneumatik. (počet jízd/celkový počet korekcí)	86
Tab. 5: Počty zpracovaných úseků pro jednotlivé rychlosti a tlaky huštění pneumatik	89
Tab. 6: Rovnice regresních přímk a jejich faktor spolehlivosti R^2	90
Tab. 7: Nové rovnice regresních přímk a jejich faktor spolehlivosti R^2	91