

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Vliv vybraných prvků aktivní bezpečnosti na chování vozidla

Martin Kubíček

Bakalářská práce

2016

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Martin Kubiček
Osobní číslo: D15351
Studijní program: B3709 Dopravní technologie a spoje
Studijní obor: Dopravní prostředky: Silniční vozidla
Název tématu: Vliv vybraných prvků aktivní bezpečnosti na chování vozidla
Zadávající katedra: Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popis systémů
2. Návrh experimentu
3. Realizace experimentu
4. Závěr experimentu

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího práce
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran textu a přílohy
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná
Seznam odborné literatury:

VLK, František. Automobilová elektronika 1: asistenční a informační systémy.
VLK, František. Zkoušení a diagnostiky silničních vozidel.
TESAŘ, M.; VALA, M. Teorie a konstrukce silničních vozidel I.
LIPÁR, Martin. Diplomová práce: Zkoušení systémů regulace jízdní dynamiky.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Pokorný, Ph.D.
Výukové a výzkumné centrum v dopravě

Datum zadání bakalářské práce: 22. února 2016

Termín odevzdání bakalářské práce: 3. června 2016



doc. Ing. Ivo Drahošský, Ph.D.
děkan

L.S.



doc. Ing. Michael Lata, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 22. února 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci 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-li poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na náhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Tato diplomová práce byla realizována s využitím technologií Výukového a výzkumného centra v dopravě.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Deštné v Orlických horách, dne 20.11.16

Martin KUBÍČEK

Poděkování

Poděkování patří spolku AUTOKLUB KAROSA Vysoké Mýto, který poskytl prostory vhodné k realizování praktického měření a především bych chtěl poděkovat Ing. Janu Pokornému za nasměrování při tvorbě práce, technické podpoře a pomoci při realizaci měření.

ANOTACE

Bakalářská práce je zaměřena na systémy řízení podvozku. Předmětem této práce je především rozbor vybraných krizových situací a testování těchto systémů během jízdních zkoušek. Na základě teoretického rozboru a následných praktických zkoušek je zde prezentována míra zásahu jednotlivých systémů do chování vozidla.

KLÍČOVÁ SLOVA

Řízení podvozku, elektronická kontrola stability, protiblokovací systém, elektronické systémy podvozků, losí test.

TITLE

Influence of selected active safety features on car performance

ANNOTATION

The aim of this thesis is focused on chassis control systems. This work is primarily an analysis of selected emergencies and testing of these systems during driving tests. Based on theoretical analysis and subsequent practical tests presented here are influences of individual systems into the vehicle behavior.

KEYWORDS

Chassis control, electronic stability control, anti-lock Brake System, moose test

Obsah

1. Úvod	9
2. Síly na vozidlo a jejich přenos na vozovku.....	10
2.1. Kammova kružnice přilnavosti	10
3. Elektronické systémy podvozku	11
3.1. ABS.....	11
3.1.1. Historie	11
3.1.2. Popis funkce ABS	12
3.1.3. Konstrukce.....	13
3.2. Regulace jízdní dynamiky ESP.....	14
3.2.1. Historie	14
3.2.2. Popis funkce	14
3.3. Protiskluzová regulace ASR	15
3.3.1. Popis funkce	15
3.3.2. Motorová regulace ASR.....	16
3.3.3. Brzdová regulace ASR.....	17
3.3.4. Elektronické řízení výkonu.....	18
4. Vybrané faktory ovlivňující bezpečnost vozidla a funkčnost regulačních systémů.....	18
4.1. Brzdová kapalina	18
4.1.1. Viskozita.....	19
4.1.2. Výměna brzdové kapaliny	20
4.2. Přilnavost pneumatik.....	20
4.2.1. Vliv rychlosti vozidla na adhezi pneumatik	22
4.2.2. Vliv skluzu kola	23
4.2.3. Vliv množství vody na vozovce	23
4.2.4. Aquaplaning.....	24
4.2.5. Vliv teploty.....	25
4.2.6. Vliv dezénu pneumatiky	25
4.3. Shrnutí	26
5. Praktické měření funkce ESP ve vybraných situacích.....	27
5.1. Měřicí technika a veličiny	27
5.2. Umístění měřicího přístroje.....	28
5.3. Popis postupu měření	28
5.4. Brzdění na dvou površích s odlišnými adhezními podmínkami	29
5.4.1. Popis měření.....	29
5.4.2. Naměřené hodnoty	31

5.4.3.	Závěr měření.....	35
5.5.	Losí test.....	35
5.5.1.	Popis měření.....	35
5.5.2.	Historie	37
5.5.3.	Praktické měření.....	37
5.5.4.	Závěr měření.....	43
6.	Závěr	44
7.	Seznam použité literatury	46
8.	Seznam obrázků	47
9.	Seznam tabulek	48

1. Úvod

Vyhodnocení statistik nehodovosti ukazuje, že příčinou téměř 20% vzniku dopravních nehod je vynesení vozidla odstředivými silami ze silnice, o to více v případě zhoršených adhezních podmínek z důvodu ledovky, sněhu či deště.

Zvyšování aktivní bezpečnosti v dopravě proto tvoří velmi důležitý sektor vývoje dopravních prostředků a v každém ohledu musí zohledňovat jejich stále se zvyšující komfort a rychlost přepravy. Právě z pohledu předcházení vzniku dopravní nehody patří systémy řízení jízdní dynamiky mezi ty nejdůležitější a nejúčinnější prvky.

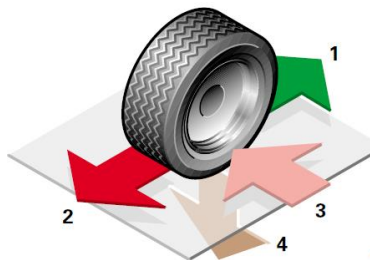
První systém, který byl v této oblasti průkopníkem je ABS (Anti Blockier System), který v tuzemské výrobě poprvé našel své uplatnění ve vozech Škoda Felicia. Jednoduchá funkce systému ABS zvyšuje říditelnost vozu při prudkém brždění. Následné zdokonalování, zvyšování počtu snímačů a složitosti řízení akčních členů, dalo prostor pro další systémy doplňující ABS a výsledkem je celá řada elektronických systémů řídicích jízdní dynamiku a zabezpečujících bezpečné zvládnutí krizových situací v dopravě.

Předmětem této práce je především popis systému řízení jízdní dynamiky ESP (Elektronisches Stabilitäts-Programm – elektronický stabilizační program), jeho zkoušení v různých situacích a zkoumání míry zásahu jeho činnosti do řízení stability vozidla.

2. Síly na vozidlo a jejich přenos na vozovku

2.1. Kammova kružnice přilnavosti

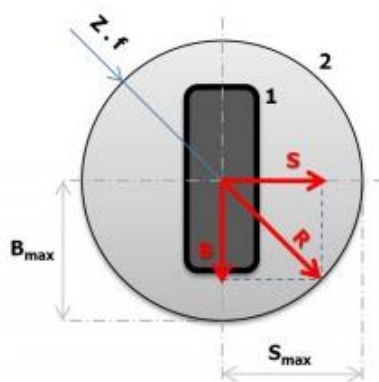
Mezi vozovkou a vozidlem probíhá přenos sil pomocí pneumatik. Místem styku pneumatiky s vozovkou prochází nositelky sil podélných, které tvoří buď síla hnací, nebo síla brzdná působící v opačném smyslu, dále příčné síly, které zajišťují boční vedení vozidla a tíhová síla ve směru svislém. Již zmíněné znázorňuje následující obrázek.



Obr.1 Síly na kolo vozidla [2]

Přenos sil je však limitován adhezními parametry pneumatiky, respektive přilnavostí pneumatiky k vozovce. Pro zachování bezpečnosti je zapotřebí, aby byla pneumatika schopna přenést podélné a příčné síly na vozovku bez ztráty adheze. Tuto problematiku lze popsat pomocí tzv. Kammovi kružnice.

Kammova kružnice tedy zachycuje okamžité adhezni vlastnosti pneumatiky. Její velikost je dána součinem normálové síly a součinitele smykového tření. Pro bezpečnou jízdu vozidla je nutné, aby podélná síla, příčná síla či jejich vektorový součin nebyl větší, než průměr Kammovi kružnice. V ten moment by došlo ke ztrátě přilnavosti pneumatiky k vozovce, možnosti vzniku smyku a následné nehodě. [2]

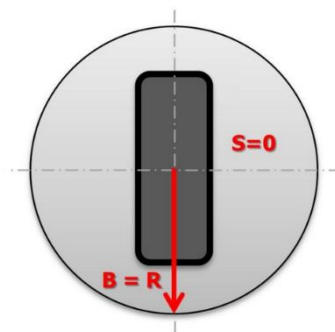


Obr. 2 Kammova kružnice [2]

Jak bylo již zmíněno, velikost Kammovy kružnice je dána součinem normálové síly Z , tvořené tíhovou silou vozidla či její svislou složkou a součinitele adheze f . Ten především závisí na povrchu vozovky a v druhé řadě na použité směsi pneumatiky. Pokud budeme brát v potaz kvalitní pneumatiku a suchý asfaltový podklad vozovky, může součinitel adheze dosahovat hodnot 0,7 až 0,9. Naopak nejhorsích přílnavých podmínek se dosahuje na náledí, kdy hodnota může klesnout i pod 0,1.

Velikostí této kružnice je zároveň definována horní mez velikosti příčných nebo podélných sil. Na vozidlo však tyto síly většinou nepůsobí jednotlivě nýbrž zároveň a proto je nutné tyto síly nejprve vektorově sečíst. Aby nedošlo ke ztrátě přílnavosti, nesmí vektorový součet těchto sil přesáhnout hranici Kammovi kružnice. Na obrázku 2 jsou znázorněny příčné síly S , podélné B a jejich vektorový součet R , který se nachází na hranici kružnice.

Nastane-li situace, kdy je veškerá dostupná adhezní síla využita v podélném směru, pro přenos bočních sil nezůstává dostatečná adhezní síla a vozidlo ztrácí boční vedení. Pokud už samotná brzdná síla B překročí zmiňovaný součin, například při prudkém brzdění a dosahuje-li tedy podélná síla B velikosti $Z \cdot f$ vozidlo ztrácí nejen boční vedení, ale navíc dojde k zablokování kol a vozidlo se stává neovladatelné. [2]



Obr.3 Maximální využití přílnavosti v jednom směru [2]

3. Elektronické systémy podvozku

3.1. ABS

3.1.1. Historie

Již od července roku 2006 se ze systému doplňující spíše jen vyšší výbavy vozů stala povinná součást každého nově vyrobeného vozu. Tento fakt jen zvýrazňuje výbornou funkci a nepostradatelnost tohoto systému. Na otázku „Jaká je výhoda systému ABS“ mnoho lidí odpoví tak trochu nesprávně, neboť řeknou že zkracuje brzdnou dráhu vozidla. S tím se

rozhodně za určitých podmínek nedá nesouhlasit, ale není to ten hlavní nebo úplný význam tohoto systému. Systém ABS především umožňuje udržet vozidlo říditelné i v případě nouzového brždění a za zhoršených adhezních podmínek zkracuje brzdovou dráhu.

Zachování říditelnosti vzniká vlivem omezování brzdné síly, jakožto podélné síly B . Nevznikne tím situace podle obr.3, kdy samotná brzdná síla dosahuje mezní hodnoty adhezních sil. Dojde k omezení síly B a vzniku prostoru pro příčnou sílu nutnou pro boční vedení automobilu tak, aby výslednice těchto sil opět ležela uvnitř Kamovi kružnice. Z tohoto důvodu je tvrzení, že ABS zkracuje brzdovou dráhu i někdy nepravdivé. Typická situace může být například jízda po dálnici. Pokud nastanou dobré adhezní podmínky, vozidlo se bude pohybovat přímým směrem a nevznikne nutnost vyhnout se překážce, při prudkém brždění dojde k omezení brzdné síly a dráha do zastavení se prodlouží. Za zhoršené přilnavosti a při nutnosti korigování směru jízdy v případě prudkého brždění je však systém ABS velmi platným.

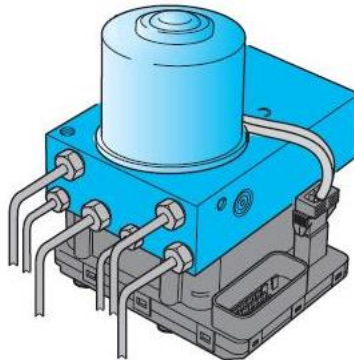
3.1.2. Popis funkce ABS

ABS se skládá z hydraulického agregátu, elektronické řídicí jednotky a snímačů otáček kol s impulzními koly. Magnetické ventily v hydraulickém agregátu spíná řídicí jednotka podle stavu řídicích veličin a to ve fázích nárůst tlaku, zachování tlaku a pokles tlaku.

V poloze zvýšení tlaku se brzdový systém chová jako běžný bez ABS. Pracovní tlak z hlavního brzdového válce působí přímo na brzdy jednotlivých kol. Ve fázi udržení tlaku se brzdový systém nachází tehdy, rozpozná-li řídicí jednotka pomocí snímačů na některém kole sklon k blokování. V ten moment dojde k hydraulickému rozpojení vedení mezi hlavním brzdovým válcem a brzdovým válečkem dané kolové brzdy. Brzdový tlak v něm se nemění. Pokud ani tato fáze nevede ke zlepšení adheze a některé kolo dál zvyšuje skluz, nastává fáze snížení tlaku. V této fázi se opět vytvoří cesta od brzdového válečku přes zpětné čerpadlo k brzdovému válci. Sníží se brzdový tlak v daném kole a tím i jeho skluz. Pokud skluz klesne pod určitou hodnotu, znova nastane fáze zvýšení tlaku. Takto probíhající zásah ABS je schopný se opakovat i 10x za sekundu, doku je brzdový pedál sešláplý.

3.1.3. Konstrukce

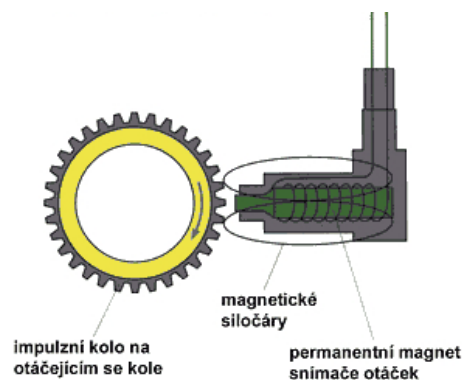
Původní ABS bylo tvořeno zvlášť elektronickou řídicí jednotkou a hydraulickým agregátem. Z důvodu snížení zástavbových prostorů a odstranění kabelových svazků mezi těmito jednotkami došlo ke spojení v jeden kompaktní celek viz obr.4[4]



Obr. 4 Sloučená elektronická a hydraulická jednotka ABS [14]

Tato souhrně nazývaná jednotka ABS obsahuje elektronickou řídicí jednotku, která řídí elektromagnetické ventily přepínající jednotlivé okruhy. Při procesu regulace je nutné vracet kapalinu o vysokém tlaku do brzdových okruhů podle potřeby. Pro tento účel slouží elektricky poháněné hydraulické čerpadlo. Jeho spuštění řídí jednotka a řidič jej může cítit pulsy do pedálu při aktivním ABS.[4]

Pro spolehlivou indikaci skluzu jakéhokoliv kola na vozidle slouží snímače otáček kol. Ty jsou umístěné u každého kola a snímají jeho otáčky pomocí impulzního kola. Provedení impulzního kola se liší podle použitého snímače. Snímač může být induktivní či na principu Hallova jevu.



Obr.5 Indukční snímač s impulzním kolem [13]

3.2. Regulace jízdní dynamiky ESP

3.2.1. Historie

Pro další zvyšování bezpečnosti jízdy byl v roce 1994 firmou Mercedes Benz vyvinut systém pro regulaci jízdní dynamiky ESP (Elektronic Stability Program). Cestou k němu byla kombinace a zdokonalení již dobře fungujících systémů ABS, ASR a EDS. Cílem bylo realizovat regulaci příčných sil působících na vozidlo, tedy mít možnost ovlivnit boční vedení vozidla během kritických situací. Samotné ABS a ASR systémy dokážou přizpůsobovat brzdný tlak či hnací moment pouze k podélným silám. Pro funkci takového systému bylo nezbytně nutné zvýšit počet snímačů vyhodnocujících dynamické parametry jízdy vozidla.[10]

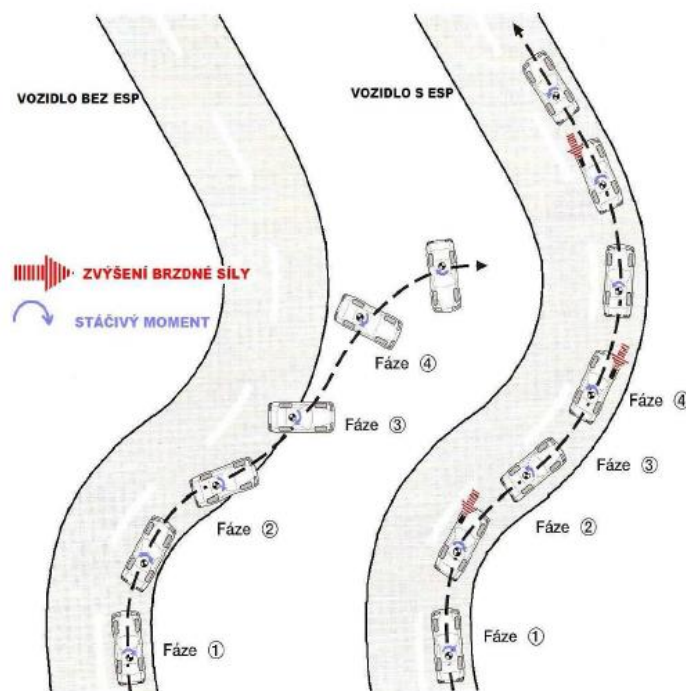
3.2.2. Popis funkce

Během jízdy dochází k nepřetržitému vyhodnocování dynamiky jízdy vozidla a podle potřeby systém ESP samočinně zasahuje do brzdového systému vozidla. Pro korekci různých stáčivých momentů vznikajících v kritických situacích, například prudkým vybočením z jízdního pruhu, řídicí jednotka přibrzdí dané kolo, které vyvolá stáčivý moment okolo vertikální osy a tím vyrovná moment způsobující přetáčivý či nedotáčivý smyk. Pro detekci přetáčivých a nedotáčivých momentů slouží snímač stáčivé rychlosti. Dalšími snímači pro systém ESP jsou snímače natočení volantu. Právě jejich hodnota, respektive úhel natočení volantu, udává jednotce informaci o požadovaném směru jízdy vozidla. Regulaci jízdní dynamiky dále obsahuje snímač podélného zrychlení.[4]

Příklad regulace ESP v situaci podle obrázku č. 6. Tento stav v dopravě nastává velmi často. Lze jej přirovnat k průjezdu serií zatáček na úzké vozovce, náhle změně směru jízdy z důvodu objíždění překážky a podobně. Nalevo je zobrazen průjezd vozidla bez ABS a napravo vozidla využívající regulaci jízdní dynamiky.[4][10]

Ve fázi 1. řidič začíná ovlivňovat směr jízdy vozidla natočením volantu a rychlost jízdy uvolněním plynového pedálu a následným brzděním. V druhé fázi již vznikají velké boční síly vlivem zásahu řidiče do řízení vozidla. V tento okamžik vzniká stáčivý moment směrem do vnitř zatáčky, vozidlo se otáčí doprava kolem svislé osy. V fázi 3 se řidič snaží o průjezd následující levotočivou zatáčkou otočením volantu na druhou stranu. Vozidlo nevyužívající systém ESP je v tento okamžik neřiditelné a vlivem stále působícího pravotočivého stáčivého momentu dojde k vyjetí vozidla z vozovky (fáze 4).[10]

Při průjezdu vozidla vybaveným ESP probíhá regulace jízdní dynamiky již ve fázi 2, po prvním natočení volantu. Zmiňovaný stáčivý moment do vnitřku zatáčky je samočinně korigován brzděním levého předního kola. Tím vzniká stáčivý moment působící směrem ze zatáčky. Dojde k omezení stáčivé rychlosti vozidla a omezí se nárůst směrové výchylky vozidla. Po vjetí vozidla do následující levotočivé zatáčky nastane změna smyslu stáčivého momentu a následně stáčivé rychlosti. Ve fázi 4 končí regulace krátkým zásahem do brzdící soustavy, kdy přibrzděním pravého předního kola, dochází k úplnému vyrovnaní vozidla. [4]



Obr. 6 Způsob regulace ESP [14]

3.3. Protiskluzová regulace ASR

Systém ASR je rozšíření funkce protiblokovacího systému ABS. Jeho správná funkce zajišťuje omezení krouťícího momentu od motoru na poháněná kola v případě, kdy dochází k jejich prokluzu.

3.3.1. Popis funkce

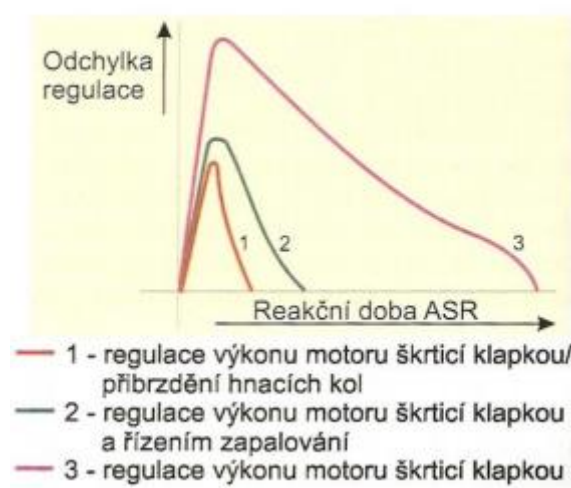
Princip funkce ASR se opírá o stejné fyzikální zákony jako ABS. Pro dosažení bezpečnosti při rozjezdu vozidla je nutné udržet ho v říditelném stavu. Toto zajistí ASR, které při rozpoznání prokluzu hnacích kol omezí krouťící moment motoru natolik, aby nedocházelo k prokluzu a ještě zbyl prostor pro adhezní síly v příčném směru, které zajišťují boční vedení vozidla.

Řídící jednotka ABS rozšířená o systém ASR detekuje prokluz hnacích kol pomocí snímačů otáček na jednotlivých kolech. Na základě informace ze snímačů řídící jednotka rozhoduje, zda je některé kolo potřeba přibrzdit či omezit kroutící moment. Správně fungující systém ASR tedy dokáže zajistit rozjezd bez prokluzu hnacích kol v případě, kdy se vozidlo nachází hnanou nápravou na podkladu se zhoršenými adhezními podmínkami a během tohoto rozjezdu zajistit řiditelnost. A to i v případě, kdy se polovina vozidla nachází například na asfaltě a druhá polovina na náledí.

Přítomnost ASR se může hodit i při výjezdu ze zatáčky, kdy vlivem bočního náklonu vozidla dojde k odlehčení hnacího kola. To se začne prokluzovat a nepřenese již žádné příčné síly.

3.3.2. Motorová regulace ASR

K regulaci kroutícího momentu na poháněném kole dochází několika způsoby. Tím prvním je motorová regulace ASR. Výkon a tedy kroutící moment na kolech vozidla může být regulován zásahem do řízení motoru. U zážehových motorů se tak děje například regulací škrtící klapky. Bohužel se však tento způsob vyznačuje příliš dlouhými reakčními dobami, ale pro motor je neoptimálnější, neboť nedochází k ovlivnění složení výfukových plynů a motor je nejméně zatížen.



Obr. 7 Porovnání reakčních dob u různých způsobů regulace ASR [15]

Rychlejší odezvu slibuje regulace pomocí doby vstřikování a zapalování. Nevýhodou je však pomalejší záběr motoru v případě přerušení vstřikování a možnost pronikání

nespáleného paliva do katalizátoru při změnách v zapalování. Kvůli těmto nevýhodám se v praxi spíše používá regulace pomocí škrtkové klapky a přibrzdováním hnacích kol.

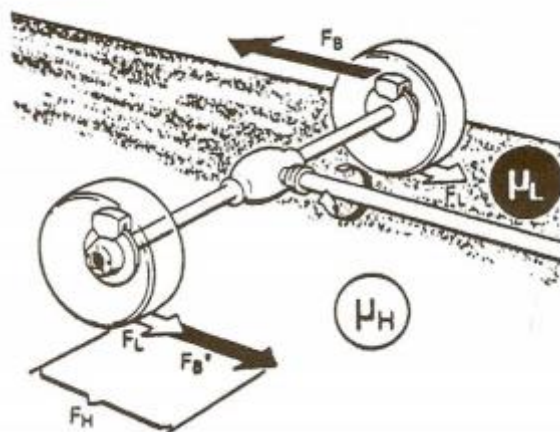
Dále je možné pomocí regulace řízení motoru zabránit prokluzu hnacích kol při brzdění motorem. Tento systém nese zkratku MSR a do činnosti se dostane tehdy, dojde-li k rozpoznání prokluzu hnacích kol po prudkém uvolnění plynového pedálu – během tzv. brzdění motorem. Při rozpoznání této situace řídicí jednotka ABS/ASR dá motorové řídicí jednotce pokyn zvýšit výkon a tím kroučící moment na hnacích kolech. Tím dojde opět k jejich otáčení a zajištění bočního vedení vozidla.

MSR nachází své uplatnění především u vznětových motorů, které dokážou více brzdit motorem a hnací kola tak mají větší sklon ke skluzu.

3.3.3. Brzdová regulace ASR

Nejrychlejší reakci na pokyn řídicí jednotky ASR dokáže brzdový systém, který podle potřeby reguluje brzděním hnací kola vozidla. Pro zachování bezpečnosti a komfortu nelze využít maximální nárůst brzděného tlaku a proto se brzdová regulace nejčastěji využívá v kombinaci s regulací motorovou (např. reg. škrtkové klapky).[3]

Brzdová regulace z fyzikálního hlediska působí stejně jako funkce závěru diferenciálu, proto lze vyčíslit maximální sílu, kterou je možné zasáhnout regulačním systémem ASR.



Obr. 8 Účinek uzávěrky diferenciálu vzniklý díky brzděné síle [15], F_B brzděná síla, F_B^* brzděná síla vstažená na účinný poloměr, μ_H a μ_L součinitele adheze, F_H a F_L maximálně přenositelné síly na vozovce se třením

Klasický diferenciál dokáže přenést pouze takovou tečnou sílu, která odpovídá adhezním podmínkám kola s nejnižší adhezí, tedy pouze F_L . Na kole s nejnižším součinitelem

adheze je proto vyvozen brzdový moment od síly F_B , který nahradí chybějící adhezi a tím dojde ke zvětšení maximální trakční síly F_{\max} na kole s lepšími adhezními podmínkami.

$$F_{\max} = 2F_L + F_B \quad [N] \quad (3)$$

$$F_B = \frac{M_B}{r_d} \quad [N] \quad (4)$$

$$F_H = F_L + F_B \quad [N] \quad (5)$$

3.3.4. Elektronické řízení výkonu

Regulace ASR či MSR systému potřebuje ovládat výkon motoru bez zásahu řidiče. Aby to bylo možné, musela být nahrazena pevná vazba mezi plynovým pedálem a škrtkicí klapkou. Dříve používaný systém různých mechanických pák a bowdenů pro přenos pohybu akcelérátoru na škrtkicí klapku, byl nahrazen elektronickým snímačem polohy akcelérátoru a škrtkicí klapkou s nastavujícími servomotory. Nastavení úhlu škrtkicí klapky a tím i výkonu motoru se odehrává přesně podle pokynů řídicí jednotky, jejíž řízení motoru může být regulováno požadavky od ASR či MSR systému.[3]

4. Vybrané faktory ovlivňující bezpečnost vozidla a funkčnost regulačních systémů

4.1. Brzdová kapalina

K přenosu brzdové síly, kterou vyvine řidič stlačením brzdového pedálu, do brzdových prasátek či třmenů, slouží brzdová kapalina. Tento čistě hydraulický přenos brzdové síly musí probíhat s dostatečnou rychlostí a spolehlivostí. Proto jsou kladené značné nároky právě na kapalně médium, kterým je celý brzdový systém naplněn. V ideálním případě je kapalina nestlačitelná a vedením se pohybuje bez tření. Protože se však realita od ideálního případu znatelně liší, tak tření v brzdovém vedení a stlačitelnost brzdové kapaliny mají za následek určité zpoždění přenosu tlaku. Právě tato prodleva je označována jako prodleva a náběh brzd.

Stále zvyšující se nároky na brzdovou kapalinu mají zásadní vliv na její složení. O mnoho let zpět, v dobách, kdy v brzdových systémech automobilů se používala kapalina červené barvy, byla dostačující teplotní odolnost kolem 100 °C.

Přestože nyní již všechna média pro brzdové systémy splňují přísné normy a kvalitou si stojí poměrně vysoko, lze při výběru kapaliny zvolit nevhodný druh. Tento fakt je způsoben vlivem na zařízení, které je předmětem této práce, a to systémy regulace jízdní dynamiky. Hydraulická řídicí jednotka systémů ASR, ESP a dalších je tvořena velkým množstvím drobných kanálků, jejichž otvory mají menší průměr než lidský vlas. Aby byla zachována včasná a rychlá reakce těchto systémů, musí malými otvory kapalina proudit rychle, i za nízkých teplot. Z toho důvodu je vyžadována speciální brzdová kapalina s nízkou viskozitou splňující toto kritérium.

Vedle kapalin na bázi silikonu či minerálního oleje se lze setkat především s brzdovými kapalinami na bázi glykolu, které jsou nejrozšířenější a využívají se pro brzdové systémy osobních automobilů. Tyto kapaliny musí za každých podmínek splňovat následující vlastnosti, aby byla dodržena správná funkčnost brzdového systému a bezpečnost vozidla.

- Dostatečně vysoký bod varu, který s rezervou splňuje tepelné nároky brzdové soustavy,
- minimální změna viskozity v závislosti na teplotě,
- viskozita odpovídající zvolenému konstrukčnímu řešení brzd,
- nízká hydrokopičnost (schopnost vázat vodu),
- tepelná a chemická stabilita,
- odolnost proti korozi,
- snášlivost s pryžovými díly,
- minimální hořlavost a toxicita.

Tyto požadavky shrnuje několik norem a rozdělují je do jednotlivých skupin. Mezi základní normy patří americká FMVSS CFR 571.116, v jejímž rámci se používá specifikace DOT. Dále se požadavky na brzdové kapaliny zabývá norma SAE J 1703f a ISO 4925.

4.1.1. Viskozita

Aby byla zachována funkčnost a rychlost brzdového systému, je důležitá nízká závislost viskozity na teplotě. V tabulkách se lze často setkat s pojmem kinematičká viskozita, která se určuje měřením času průchodu určitého množství kapaliny dlouhou tenkou trubičkou za dané teploty. Systémy regulující jízdní dynamiku vozidla musí v kritických situacích včas a s dostatečnou rychlostí přibrzdit potřebná kola. Z tohoto důvodů je nutné

rychlé šíření tlakových pulzů od řídicí hydraulické jednotky. Právě tato rychlost pulzů musí být zachována ve všech teplotách. V opačném případě by elektronika mohla detekovat poruchu v systému regulace, vypsat závadu a deaktivovat systém. Proto se využívá brzdové kapaliny s nižší viskozitou. Hodnota viskozity brzdové kapaliny je udávána při teplotě -40 °C a pro tyto systémy dosahuje polovičních hodnot. Vhodné médium je například brzdová kapalina ATE SL6 s maximální viskozitou $700\text{ mm}^2/\text{s}$. Pro srovnání několik produktů firmy ATE pro různé použití.[9]

Brzdová kapalina	ATE G	ATE SL	ATE SL.6	ATE TYP 200	ATE Super Blue Racing
	DOT 3	DOT 4	DOT 4 Třída ISO 6	DOT 4	DOT 4
	Naše tradiční!	Milionkrát osvědčená jakost DOT 4	Nízkoviskózní kapalina nahrazuje Super DOT 4, pro elektronické brzdové soustavy	Minimální snížení bodu varu díky vynikající schopnosti vázat vodu	Kapalina pro příznivce automobilového sportu
Suchý bod varu min.	245 °C	260 °C	265 °C	280 °C	280 °C
Mokrý bod varu min.	150 °C	165 °C	175 °C	198 °C	198 °C
Viskozita při -40 °C	max.1500 mm^2/s	max. 1400 mm^2/s	max. 700 mm^2/s	max.1400 mm^2/s	max.1400 mm^2/s
Interval výměny	do 1 roku	do 1 roku	do 2 let	do 3 let	do 3 let

Tab. 1. Srovnání brzdových kapalin [9]

4.1.2. Výměna brzdové kapaliny

Dodržení všech vlastností brzdové kapaliny ovlivňuje zejména její stáří. Stárnutí je způsobeno především hydroskopičností (vázáním vody), které degraduje některé vlastnosti brzdové kapaliny. Především tepelnou odolnost. Proto je důležité dodržovat pravidelné výměnné intervaly a kontrolovat stav brzdové kapaliny. K tomu slouží speciální nástroje, které během několika vteřin prudkým ohřátím zjistí bod varu. V případě podcenění těchto skutečností může nastat situace, kdy kapaliny přesáhne teplotu bodu varu a začne vřít. V ten moment vznikají v brzdovém vedení páry, které jsou stlačitelné a znemožňují tak bezpečné zbrzdění vozidla.[9]

4.2. Přílnavost pneumatik

Zásadní vliv na měření a tedy i na chování vozidla v reálných situacích má právě přílnavost pneumatik automobilu k vozovce. Jak již bylo řečeno, právě součinitel adheze mezi pneumatikou a povrchem komunikace je určující faktor velikosti Kammovy kružnice, která znázorňuje maximální možnou velikost příčných a podélných sil, respektive jejich součtu,

kteřé lze v daný moment přenést skrze pneumatiku na vozovku. Požadavkem pro bezpečnou jízdu je co nejvyšší součinitel adheze a proto bude v následujících řadcích přiblížena problematika změny adhezních sil v závislosti na okolních faktorech. [1]

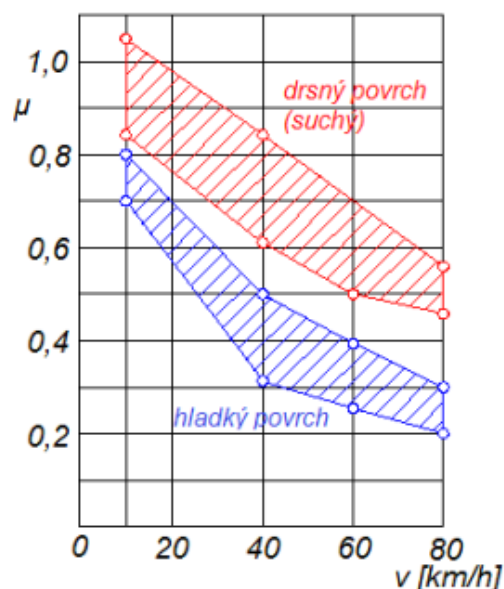
Hodnota součinitele adheze se pohybuje v rozmezí hodnot 0,1 až 1,0. Nejvyšších hodnot dosahuje spojení pneumatiky se suchým asfaltem a naopak nejhůře je na tom pneumatika pohybující se po náledí při okolní teplotě kolem 0 °C. Více hodnot udává následující tabulka:

<u>Povrch vozovky</u>		<u>Součinitel adheze μ</u>
beton	suchý	0,8 - 1,0
	mokřý	0,5 - 0,8
asfalt	suchý	0,6 - 0,9
	mokřý	0,3 - 0,8
dlažba	suchá	0,6 - 0,9
	mokřá	0,3 - 0,5
makadam	suchý	0,6 - 0,8
	mokřý	0,3 - 0,5
polní cesta	suchá	0,4 - 0,6
	mokřá	0,3 - 0,4
tráva	suchá	0,4 - 0,6
	mokřá	0,2 - 0,5
hluboký písek, sníh		0,2 - 0,4
náledí	0°C	0,05 - 0,10
	-10°C	0,08 - 0,15
	-20°C	0,15 - 0,20

Tab. 2 Součinitel adheze pro různé povrchy [1]

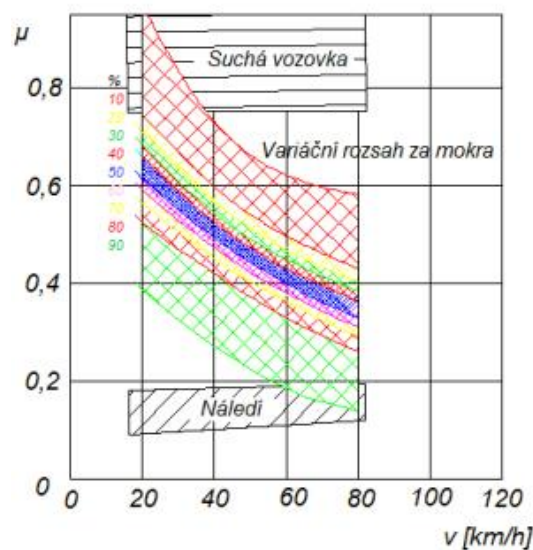
4.2.1. Vliv rychlosti vozidla na adhezi pneumatik

Vzájemné působení na ploše styku pneumatiky a vozovky je ovlivněno rychlostí jízdy a tím i součinitelem adheze. Platí, že s rostoucí rychlostí součinitel adheze klesá. Velký vliv má tato skutečnost na brzdění. Například při rychlosti vozidla 80km/h lze počítat s polovičním



Obr. 9 Rozdělení četností a variační rozsah součinitele adheze vozovek [1]

součinitelem adheze, než při nízkých rychlostech (do 20km/h). Tento fakt ovlivňuje stav vozovky. V případě suchého povrchu je závislost rychlosti na adhezním součiniteli minimální nebo žádná. V případě vozovky pokryté sněhem či vodou je tato závislost značná. Více znázorňuje následující obrázek:

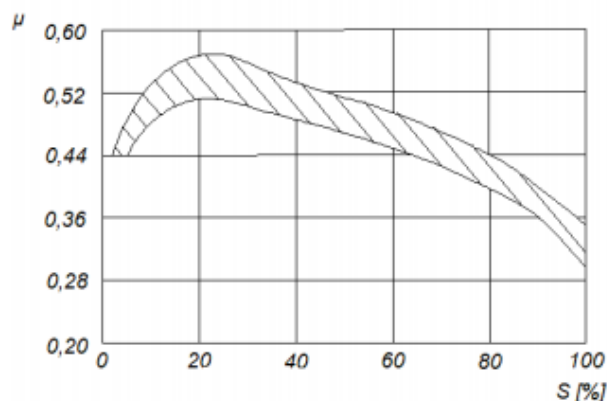


Obr. 10 Závislost součinitele adheze na rychlosti jízdy [1]

4.2.2. Vliv skluzu kola

Ke skluzu kola v podélném směru může dojít ve dvou případech. Buď je dopředná rychlost vozidla větší než obvodová rychlost kola, k tomu dochází při brždění, nebo je dopředná rychlost naopak menší než obvodová rychlost kola k čemu může dojít při akceleraci.[1]

Míra skluzu je dalším faktorem ovlivňující přilnavost pneumatiky. Nejlepších adhezní možností v podélném směru a tím i nejvyšších hodnot dosahuje součinitel adheze v případě, kdy se kolo odvaluje po vozovce s 15 -30 % skluzem. Tuto skutečnost znázorňuje obrázek č. 11

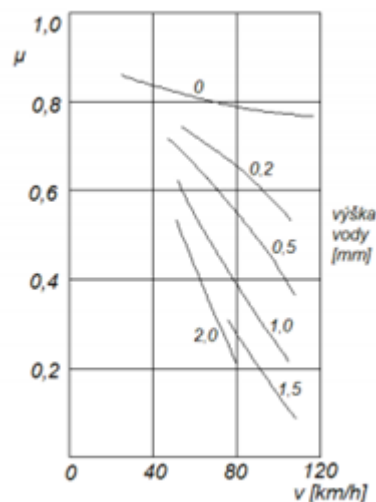


Obr. 11 Vliv brzděného skluzu na součinitel adheze [1]

4.2.3. Vliv množství vody na vozovce

Přenos sil z pneumatiky na povrch komunikace z důvodu klesajícího součinitele adheze z velké části ovlivňuje přibývající množství vody na vozovce. V této problematice se využívá pojmu výpočtová a vztažná tloušťka vodního filmu. Objem vody na určitou plochu vozovky představuje výpočtovou tloušťku, která se však reálným hodnotám přibližuje pouze u dokonale hladkých povrchů. Vztažná tloušťka pak představuje převýšení hladiny nad výstupky textury povrchu vozovky.[1]

V případě, že vodní hladina nepřekrývá celý povrch vozovky, tedy pokud netvoří souvislou vodní hladinu, nemá množství vody vliv na velikost adhezního součinitele při rychlosti do 50 km/h. Až při rychlostech převyšujících 50 km/h má na velikost adhezního součinitele vliv tloušťka vodního filmu pod běhounem pneumatiky. Při stále zvyšující se rychlosti vzniká v místech styku pneumatiky s vozovkou vodní klín, který snižuje styčnou plochu. Při dostatečně vysoké rychlosti a velikost vodního klínu nastává takzvaný aquaplaning. Hodnoty součinitele adheze dosahují velikost 0,01 – 0,001.[1]



Obr. 12 Závislost součinitele adheze na tloušťce vodního filmu [1]

4.2.4. Aquaplaning

O aquaplaningu hovoříme tehdy, dojde-li vlivem velkého množství vody k úplné ztrátě přilnavosti a vozidlo se tak stane neovladatelné. Vodní klín, který vzniká na styku běhounu pneumatiky s vozovkou dosáhne takového rozměru, že prakticky pneumatiku oddělí od povrchu vozovky. V tento moment nedochází k žádnému přenosu sil a vozidlo je absolutně neovladatelné. K tomuto jevu dochází především při intenzivním dešti.

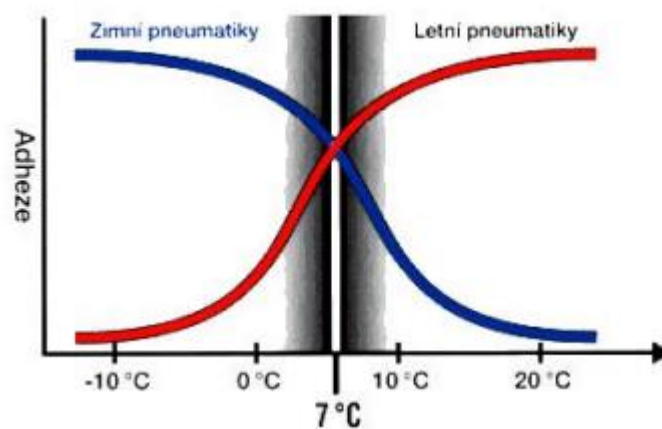
Důležité hledisko ovlivňující vznik aquaplaningu je velikost dezénu pneumatik a rychlost vozidla. Dezén běhounu pneumatiky je tvarově přizpůsobený k odvodu vody z místa styku s vozovkou. Pokud není dezén dostatečně hluboký, nedochází k dostatečnému odvodu vody a vzniká již zmiňovaný vodní klín. Náchylnost k aquaplaningu v závislosti na parametru dezénu a rychlosti jízdy udává obrázek č.13.[1]

Tloušťka vodního filmu	Hloubka dezénu	
	1,6 mm	8,0 mm
do 2 mm	cca 120 km/h	> 140 km/h
4 - 6 mm	90 km/h	110 km/h
6 - 8 mm	80 km/h	90 km/h
10 - 14 mm	60 km/h	70 km/h

Obr. 13 Náchylnost k aquaplaningu [1]

4.2.5. Vliv teploty

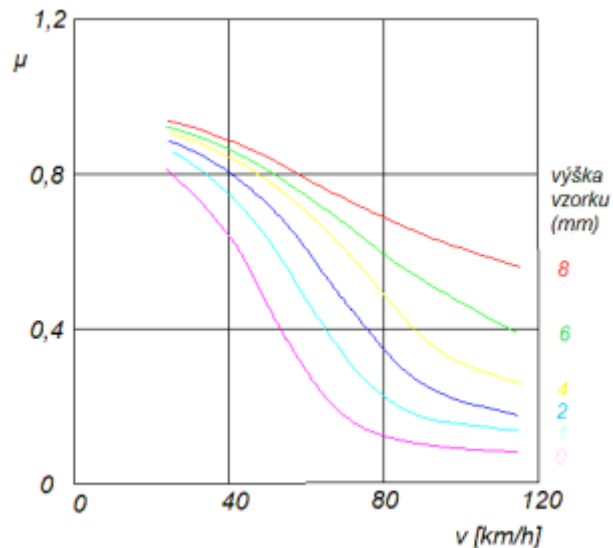
Teplota značně ovlivňuje vlastnosti pryže, ze které je pneumatika konstruována. Z tohoto důvodu rozlišujeme letní a zimní pneumatiky. Klesající přilnavost letní pneumatiky v nízkých teplotách je vedle tvaru běhounu dalším důvodem, proč jsou pro zimní provoz určeny zimní pneumatiky. Stejně to platí i naopak. Zimní pneumatiky disponují mnohem menším součinitelem adheze za vyšších teplot, než pneumatika letní, tudíž je dojíždění zimních pneumatik s ještě dostačující hloubkou dezénu v letním období z tohoto hlediska nebezpečné. Vliv teploty na adhezi pneumatiky znázorňuje obrázek č. 14.



Obr. 14 Závislost adheze na teplotě [1]

4.2.6. Vliv dezénu pneumatiky

Různé protismykové vlastnosti poskytují odlišné tvary a hloubky dezénu. Zejména na mokřím povrchu má velký vliv na přilnavost výška dezénu. Lepší přilnavost má tedy nový dezén, oproti staršímu a ojetému.



Obr. 15 Závislost hloubky dezénu na adhezním součiniteli [1]

Tvar dezénu má také vliv na adhezi. V podélném směru má pásový lamelový tvar vzorku vyšší součinitel než čistě pásový či lamelový. Tuto vlastnost způsobuje zachytávání více hranami vzorku o výčnělky vozovky. Například čistě pásový tvar vzorku lépe přenáší boční síly. [1]

4.3. Shrnutí

Výše uvedené faktory ovlivňující velikost součinitele přilnavosti pneumatik však neměly znatelný vliv na výsledky praktického měření, které je součástí této práce. Rychlost vozidla byla při většině manévrů do 50 km/h. Vozidlo bylo obuté na pneumatikách s dostatečně hlubokým dezénem a množství vody na zkušebních plochách rozhodně nedosahovalo mezí, kdy by došlo k naplnění dezénu vodou a k následné ztrátě přilnavosti.

V běžných situacích však mají zásadní vliv na chování vozidla a zkušený řidič by si jich měl být vědom. Přizpůsobení rychlosti stavu komunikace proto má své opodstatnění, byť kvalitní pneumatiky v kombinaci s různými elektronickými stabilizačními prvky podstatně zvyšují bezpečnost při jízdě, přesto potřebují ke správné funkci dostatečné adhezní síly.

5. Praktické měření funkce ESP ve vybraných situacích

5.1. Měřicí technika a veličiny

- Podélná rychlost [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.
- Příčné a podélné zrychlení [g]
Snímací zařízení: Akcelerometr ADXL 311, výrobce Analog Devices, rok výroby 2003, evidenční číslo: 046585, vzorkovací frekvence: 100 Hz
- 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.

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.

Sběr dat z jednotlivých snímačů byl realizován pomocí 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 triggrem. 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.

5.2. Umístění měřicího přístroje

Snímač zrychlení byl umístěn nad středový tunel do útrob loketní opěrky. Snímač Correvit se nacházel v přední části vozidla, upevněn ke kapotě a přednímu nárazníku (obr. 16)



Obr. 16 Umístění měřicího zařízení

5.3. Popis postupu měření

Praktickou část této práce jsem se rozhodl věnovat měření prvků aktivní bezpečnosti v situacích, kdy je jejich funkce využívána a právě v těchto momentech vyhodnotit, jakou mírou zásahu do chování vozidla přispívají k bezpečnosti. Především se jedná o test systému regulace jízdní dynamiky ESP, znázornění jeho zásahu do dynamiky vozidla a porovnání průjezdu určitých manévřů, pokud je systém aktivovaný či deaktivovaný.

K těmto testům jsem vybral dvě situace, nejdříve brzdění na površích s dvěma různými adhezními podmínkami a následoval test náhlé změny jízdního pruhu neboli losí test. V těchto jednotlivých situacích se budou pomocí měřicího přístroje zaznamenávat uvedené dynamické veličiny, pomocí kterých lze zásah regulace podvozku znázornit a popsat.

Zmíněné situace budou simulovány s vozidlem Volkswagen Golf mk4, který je vybaven systémem ESP BOSCH, který lze pomocí tlačítka deaktivovat. V takovém případě je vyřazen z funkce nejen ESP systém, ale také protiskluzová regulace ASR. Funkce ABS a elektronické uzávěrky EDS zůstává zachována. Tato skutečnost je nezbytná pro absolvování prvního testu. Celé měření probíhalo na zimních pneumatikách Continental WinterContact TS850 s rozměrem 195/65 R15.

5.4. Brzdění na dvou površích s odlišnými adhezními podmínkami

5.4.1. Popis měření

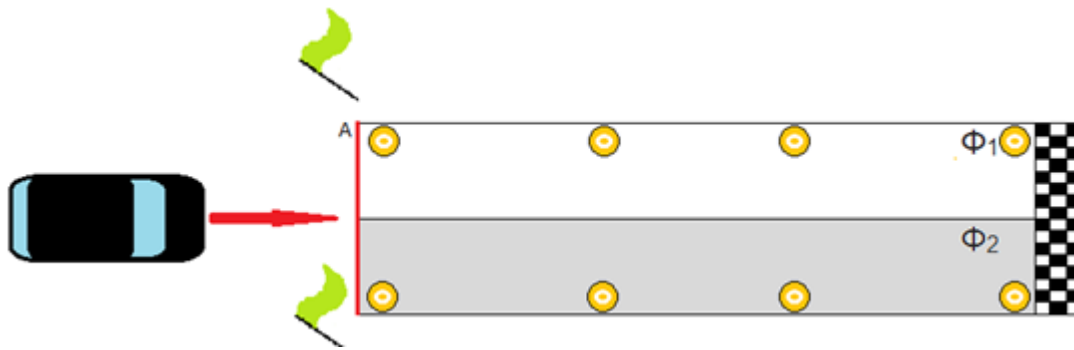
Pro představu nejdříve uvedu skutečný reálný případ, který může nastat kdykoliv v provozu a posléze nasimulovanou situaci. Popisovaný manévr může vzniknout tehdy, dostává-li se vozidlo pravou polovinou na okraj vozovky a levou polovinou zůstává na asfaltu. Mnohdy z důvodu objíždění překážky či pouhé nepozornosti řidiče. V tento moment se vozidlo každou polovinou nachází na povrchu s jinými adhezními podmínkami, což má podstatný vliv na chování vozidla především při nutnosti rychlého zabrzdění.

Přesněji si lze podobnou situaci představit v případě, kdy se vozidlo pohybuje v zimním období po komunikaci, která je kolem středu tvořena suchým asfaltem a u krajů namrzlými plotnami z tajícího sněhu. Součinitel adheze pravé strany tak může být i 5x nižší, než je tomu na pravé straně. V případě nouzového brzdění před neočekávanou překážkou vzniká právě ona situace, která je předmětem mého měření.

Cílem je zjistit, zda je pro bezpečné zabrzdění zapotřebí regulace ESP nebo zda si s tímto případem poradí samotné ABS. Pokud by vozidlo nebylo vybavené žádným z těchto systémů, byl by sled událostí následující: Při vyvinutí síly na brzdový pedál by došlo k zablokování všech kol, přičemž brzdnou sílu by byly schopné přenést na vozovku pouze kola nacházející se na středu komunikace se suchým asfaltem – vyšší součinitel adheze. Nevyhnutelně by přišlo stočení vozidla směrem k adhezivnějšímu povrchu, tedy k pravé straně. Toto má za následek ztrátu kontroly nad vozidlem a pravděpodobně i boční náraz do překážky, který může být pro posádku tragický.

Je-li vozidlo vybaveno systémem ABS, bude na každé kolo vyvíjena vždy jen taková brzdná síla, kterou je dané kolo schopné přenést na vozovku. Vznikne v tuto chvíli stáčivý moment, který zaviní přetočení vozidla a boční náraz? Nebo je ABS schopné v tento moment zabránit stočení vozidla? Odpovědí je následující test.

Testovací plocha je tvořena asfaltem a kluzným povrchem – betonem opatřeným nátěrem. Oba povrchy byly mokré. Viz obrázek.



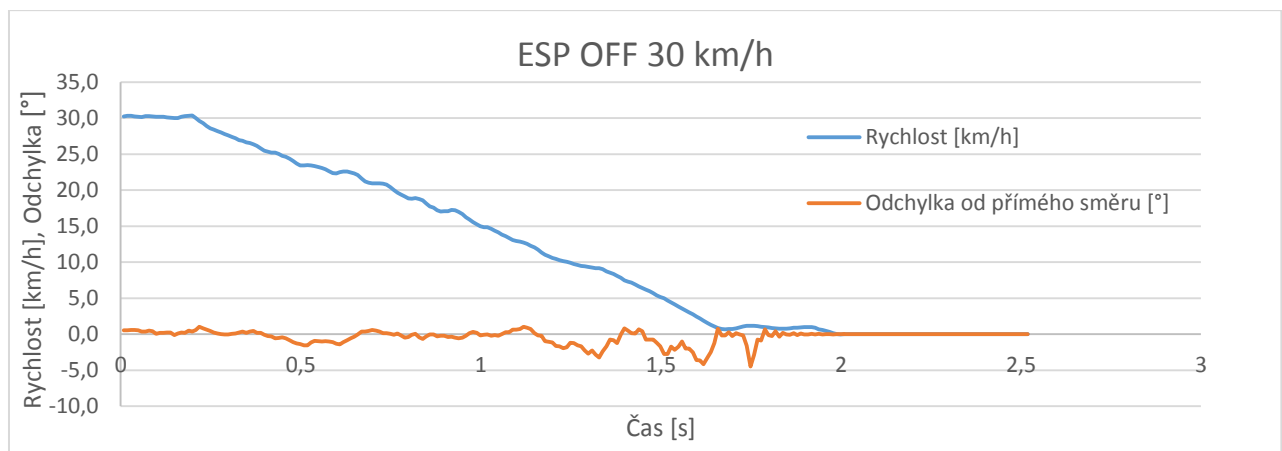
Obr. 17 Schéma testovací dráhy pro brzdění na dvou odlišných površích

Měření probíhalo následujícím způsobem. Automobil se rozjel na nájezdovou rychlost, která byla pomocí tempomatu udržována. Při dosažení vhodné polohy na testovací ploše byla vyvinuta maximální brzdná síla a puštěn volant. Sledoval se čas zastavení a odchylka od přímého směru. Pro minimalizaci chyb v měření byl každý manévr vždy testován na obě strany – tedy jednou se na adhezivnějším povrchu nachází pravá strana vozidla, posléze levá. Nájezdová rychlost byla postupně zvyšována od 30 do 60km/h.

Při rozhodování, zda volant při brzdění pevně držet nebo pustit se bral v potaz fakt, že někteří řidiči v panické chvíli opravdu volant pustí a oddávají se vstříc osudu. Pevně zafixovaný volant se realitě zdaleka neblíží a simulovat ztržení volantu nějakým směrem či jeho pohyb korigovat pokaždé stejně bylo jen stěží simulovatelné, aby nedocházelo k ovlivňování měření.

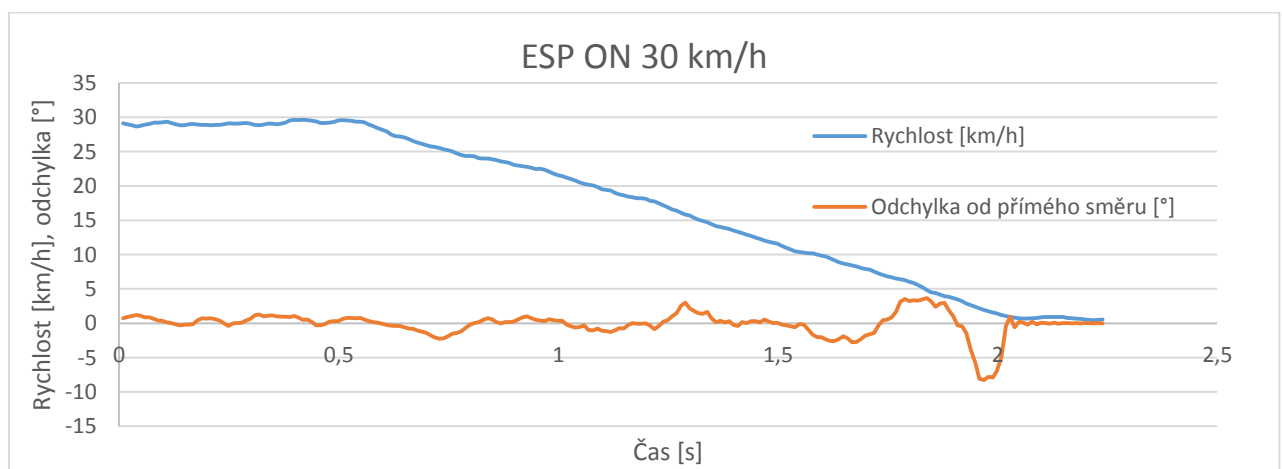
5.4.2. Naměřené hodnoty

Při rychlosti 30km/h byly zaznamenány tyto hodnoty:



Obr. 18 Zastavení vozidla ve třicetikilometrové rychlosti s ESP OFF

V tomto případě došlo ke stočení vozidla směrem k adhezivnější ploše maximálně o 4,16°, přičemž čas od počátku brždění do úplného zastavení je 1,6 s. Stejnou situaci s aktivovaným systémem ESP znázorňuje následující graf.

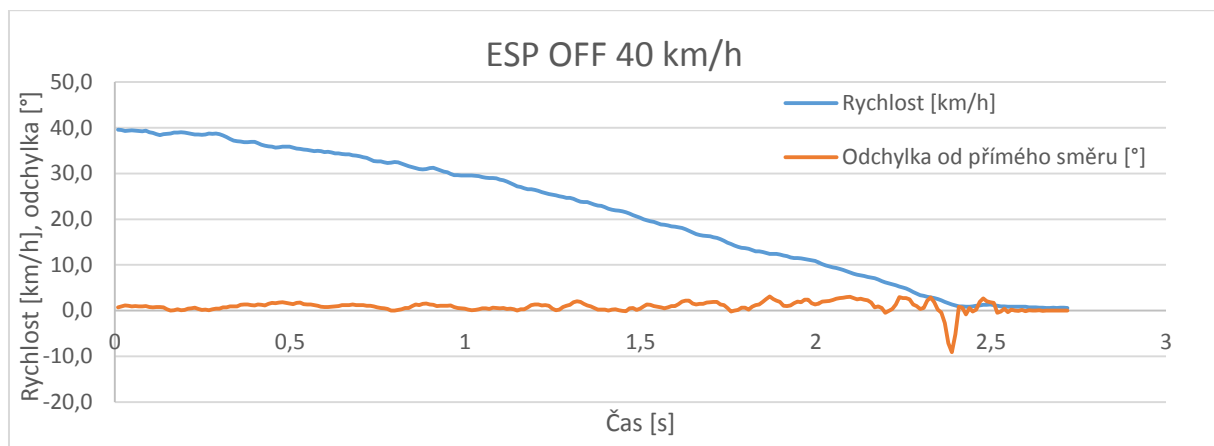


Obr. 19 Zastavení vozidla ve třicetikilometrové rychlosti s ESP ON

Při regulovaném brždění s pomocí ESP došlo k úplnému zastavení vozidla za čas 1,8 s. Směrová odchylka byla již citelně vyšší a také tomu odpovídaly naměřené hodnoty. Maximální odchylka od přímého směru nabývala hodnoty -8,25, což naznačuje natočení vozidla opět na stranu s adhezivnějším povrchem. Již z průběhu křivky odchylky je patrné, že zásah ESP do dynamiky vozu podstatně ovlivňuje jeho chování v této kritické situaci.

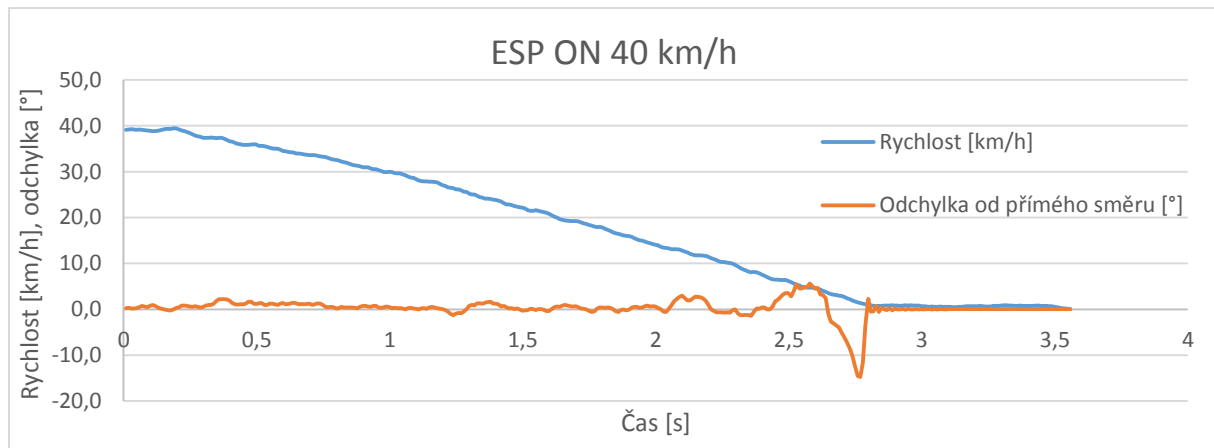
Už v průběhu měření bylo patrné, že zastavení s deaktivovaným systémem ESP je o něco klidnější, vozidlo necestuje ze strany na stranu a rozhodně působí dojmem vyšší bezpečnosti. Až paradoxní závěr hovoří v neprospěch regulace jízdní dynamiky ESP. Nicméně vysvětlení je jednoduché. Hlavní řídicí veličnou ESP, jak již bylo zmíněno, je úhel natočení volantu. Tedy řidičův požadavek na směr jízdy. Během brždění dochází k přenosu sil prostřednictvím hřebenu řízení do volantu, který je uvolněn a začne se natáčet. Jeho pohyb je zaznamenán snímačem natočení a jednotka řízení podvozku rozpozná řidičův úmysl zatočit. Začne regulovat, přibrzdí více kola, které danému směru odpovídají. Jakmile se tak stane, volant se samovolně opět natočí na druhou stranu a celá regulace proběhne inverzně. Výsledný průběh odchyly od přímého směru pak odpovídá křivce podobné sinusovce, kdy se hodnoty odchyly chvíli dostávají do kladných a chvíli do záporných hodnot. Není pochyb o tom, že graf, kdy je zafixovaný volant a aktivovaný systém ESP by se od grafu s pouze aktivním ABS prakticky nelišil.

Následující měření probíhalo s vyšší nájezdovou rychlostí, nejdříve vypnutá regulace jízdní dynamiky:



Obr. 20 Průběh stáčivé rychlosti při zvýšené rychlosti bezse stabilizace

Maximální směrová odchyly dosáhla hodnoty $-9,1^\circ$ s časem do úplného zastavení 2,66s. K porovnání graf, kde měření proběhlo s aktivovaným ESP:

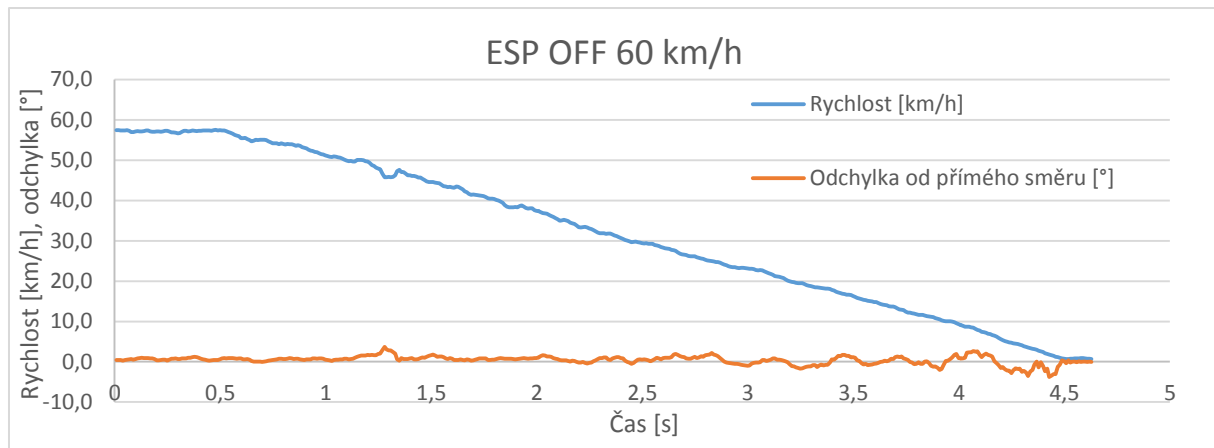


Obr. 21 Průběh stáčivé rychlosti při zvýšené rychlosti se stabilizací

Směrová odchylka nabývá maximální hodnoty $-14,7^\circ$, tedy již zvýšené stočení vozidla směrem k adhezivnější ploše. Znatelnější je i zmiňovaný výkmit způsobený regulací podle úhlu natočení volantu, první kladná půlvlna dosahuje kladné hodnoty $2,7^\circ$, následuje snížení na $-1,5^\circ$, tedy stočení vozidla na opačnou stranu. Rostoucí účinek regulace způsobí další kladnou půlvlnu až na hodnotu $5,6^\circ$, následkem které nastane až dosažené maximum v záporných hodnotách. Čas do zastavení vozidla ze čtyřicetikilometrové rychlosti a aktivovaným systémem ESP činí 3,33s.

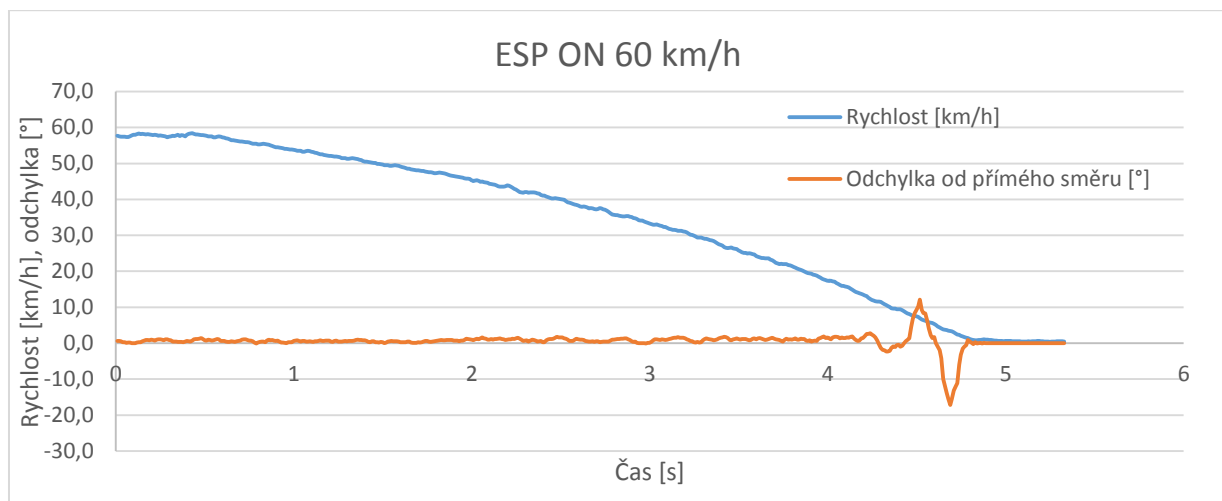
Jak je patrné již ze strmosti křivky rychlosti, v tomto případě nastalo prodloužení doby do zastavení vozidla a to o 0,67s, což je přibližně 25 procentní nárůst. Při navýšení rychlosti o pouhých 10 km/h je to znatelný nárůst, navíc maximální odchylka od přímého směru vzrostla bezmála na dvojnásobek. Přesněji z $8,25^\circ$ na $14,7^\circ$. Také dle subjektivního pocitu při brždění se vozidlo chovalo výrazně neklidně.

Pro ještě znatelnější rozdíly a potvrzení úvahy bylo měření provedeno s nájezdovou rychlostí 60km/h. Podmínky měření opět co nejpřesněji dodržené, tedy žádná korekce jízdního směru aktivitou řidiče, vždy plný brzdný účinek.



Obr. 22 Zastavení z rychlosti 60 km/h bez stabilizace podvozku

Při vyřazeném ESP je zastavení až překvapivě klidné, o čemž mimochodem hovoří i maximální odchylka -3,77 s časem do zastavení 4,31s. Opakované měření z druhého směru vykazovalo obdobné hodnoty. Nyní nájezdová rychlost 60km/h s podporou ESP:

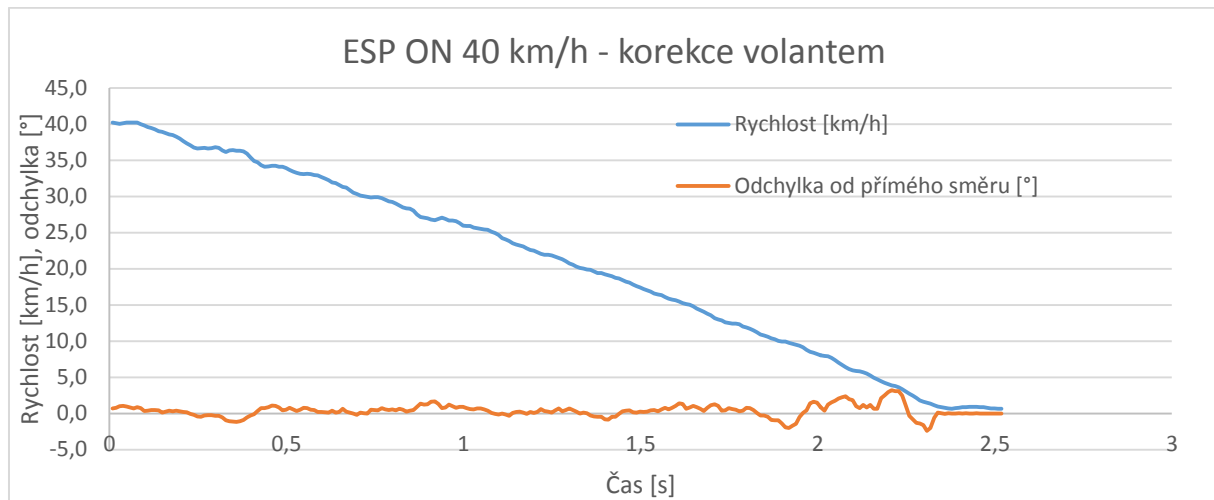


Obr. 23 Zastavení z rychlosti 60 km/h se stabilizací podvozku

Navýšení o dalších 20km/h však už velké změny nepřineslo. Čas potřebný pro zabrzdění 4,49s se liší jen o dvě desetiny vteřiny oproti pokusu bez regulace ESP. Velmi patrná je však střídavá odchylka ke konci brzdného manévru, která nabývá hodnoty -17,5°, což je nárůst jen o necelé 3° než v situaci s nájezdovou rychlostí 40km/h.

Napříč všem pokusům nejlépe vždy vyšla situace, kdy je systém regulace jízdní dynamiky deaktivován a o celou situaci se stará pouze ABS. Tuto skutečnost však výrazně ovlivňuje právě uvolněný volant, který máte snímače systému ESP a ono prodloužení brzdného času, respektive dráhy a velké směrové odchylky lze přisoudit spíše nesprávné

reakci řidiče. Pro kompletaci měření byla provedena ještě poslední sada zkoušek, tentokrát jsem se z pozice řidiče snažil korigovat úhel natočení volantu při brždění a zjistit tak, zda je úvaha správná. Pokus byl proveden opět v obou směrech, s aktivovaným ESP a nájezdovou rychlostí 40km/h.



Obr. 24 Zastavení s korekcí volantem

Při pokusu držet volant v přímém směru přineslo měření s aktivní regulací dynamiky příznivější výsledky. Maximální odchylka od přímého směru 2,95° je téměř třetinová oproti hodnotě 9,1° a téměř pětina oproti hodnotě 14,7°. Tyto hodnoty byly naměřeny při čtyřicetikilometrové rychlosti s ESP OFF a ON. Brzdný čas dosahuje hodnoty 2,75s. Tento výsledek potvrzuje úvahu o zmatených údajích pro řídicí jednotku ESP a následné špatné vyhodnocování situace. Zároveň dává tento poslední pokus závěr celému měření.

5.4.3. Závěr měření

Dostane-li se vozidlo do situace, kdy každou stranou jede po povrchích s rozdílným součinitelem adheze, je nejlepší reakcí v daný moment pevně chytout volant a držet pomocí něj vozidlo v přímém směru, nevyžaduje-li situace nějaký směrový manévr pro vyhnutí se překážce. Panické uvolnění volantu způsobí zmatení systému pro regulaci jízdní dynamiky, prodloužení brzdné dráhy a směrovou nestabilitu vozidla.

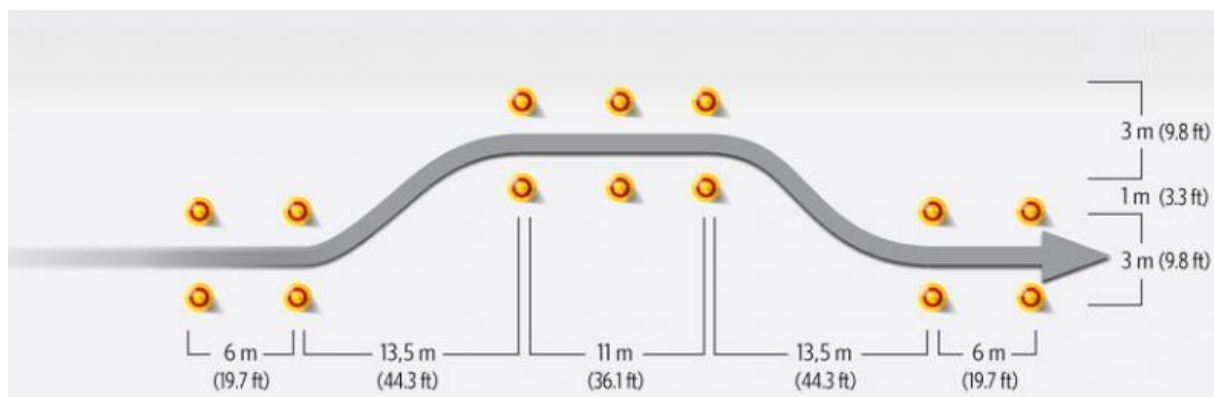
5.5. Losí test

5.5.1. Popis měření

V běžném provozu často vznikají situace, které donutí pohybující se vozidlo náhle změnit jízdní pruh. Například, když na komunikaci nečekaně skočí z krajnice zvíře. V tento

moment se snad každý řidič snaží překážku prudkým zatočením vlevo objet v protisměrném pruhu a po objetí této překážky se co nejrychleji vrátit zpět do svého jízdního pruhu. Tak přesně tento manévr, přenesený na vyasfaltované plochy autodromů s použitím několika kuželů nese název losí test (z ang. Moose test) a je hojně využívaným prostředkem pro zkoumání podvozků silničních vozidel. Švédský původ tohoto způsobu zkoušky je evidentní, neboť právě srážky s losem evropským jsou v této zemi častou nepříjemností.

Losí test se provádí na suchém asfaltu s přesně ohraničenými prostory pro manévrování, které vymezují kužely. Nákres této situace na obr.



Obr. 25 Schéma losího testu [14]

Do takto postavené dráhy v průběhu testu najíždí vozidlo vždy konstantní rychlostí, které se postupně zvyšuje. Pro úspěch v tomto testu vozidlo musí jednoduše projet tak, aby se vešlo do vytyčené trasy. Dojde-li například k přetočení vozidla, v testu neuspělo. Přetáčivý či nedotáčivý smyk však v mezích délky a šířky dané dráhy nevadí.

Publicistická atraktivita tohoto testu přinucuje redaktory automobilových magazínů podrobovat losímu testu auta všech světových značek. Výsledkem je pak žebříček výsledků jednotlivých automobilů. Například až nečekaně dobré výsledky prokazoval vůz Citroen Xantia Activa, který ho zvládl v rychlosti 85km/h a předčil tak i některé sportovní vozy, jako Ferrari Testarossa, Porsche 997 a další. Do podvědomí se však dostaly spíše neuspokojivé výsledky některých automobilů, jako například známý pick-up Toyota Hilux, který při manévru neudržel všechna kola na zemi a málem se při jízdě po dvou kolech převrátil.[7]

Nejpodstatnější a nejpřínosnější moment v historii losího testu však přišel o několik let dříve, přesněji roku 1997, kdy novinář Robert Collin testoval vůz německé automobilky

Mercedes benz, model třídy A. Tehdy došlo při nájezdové rychlosti 60 km/h k převrácení vozidla. Tento moment měl za následek hned několik událostí. Na jedné straně celosvětové proslavení právě losího testu, na straně druhé spoustu nepříjemností pro Mercedes benz, který se k tomuto výsledku musel náležitě postavit.[7]

Následovala svolávací akce celkem 130 tis. vozů na nápravu tohoto nedostatku. Předmětem úpravy bylo například snížení těžiště vozidla instalováním menších, patnáctipalcových kol a především podstatné zavedení systémů ESP. Zatím jen příplatková výbava luxusních vozů se tak stala samozřejmostí pro tento model a postupně rozšíření i do ostatních automobilů. Od ledna roku 2014 již nelze na Evropském trhu prodávat nové vozidlo, které by tento systém neobsahovalo, byť by například losím testem bezproblému prošlo i ve vyšších rychlostech.

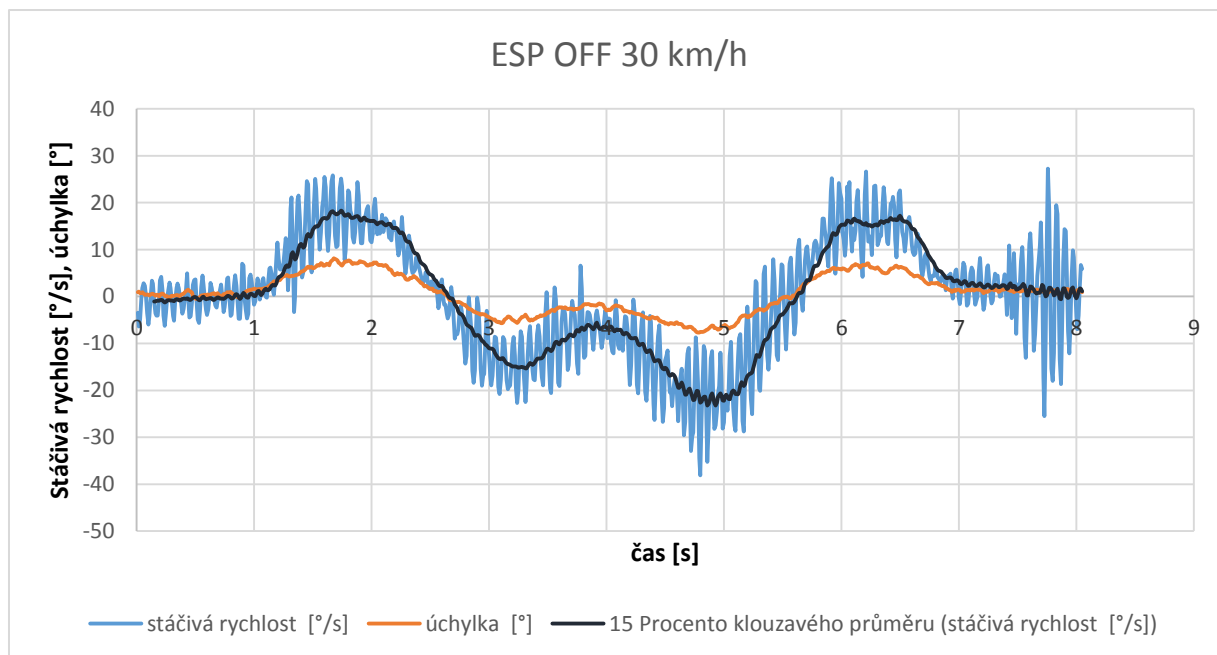
5.5.2. Historie

Historický význam a důležitost losího testu byla motivací pro jeho zahrnutí do měření dynamických veličin v této práci. Test byl opět prováděn s vozidlem Volkswagen Golf mk4, který je vybaven řízením podvozku od firmy Bosch. V úmyslu získat znatelné výsledky již v nízkých rychlostech a také méně namáhat používané vozidlo bylo celé měření prováděno na kluzné ploše tvořené betonem opatřeným nátěrem. Celý povrch byl mokrý.

Losí test jsem si trochu poupravil pro vlastní potřeby, jak už zmíněný povrch tak i decentně pozměněný princip měření. Důvod je prostý. Výsledek měření neměl být, zda při projetí v určité rychlosti opustí vozidlo danou dráhu, nýbrž měření konkrétních dynamických veličin v průběhu testu. Do kužely vytyčené dráhy bude opakovaně najížděno stejnou nájezdovou rychlostí. Po absolvování testu s aktivním systémem ESP bude test opakován s ESP deaktivovaným. Výsledkem tedy bude opět grafické znázornění intervence regulace jízdní dynamiky do chování vozidla.

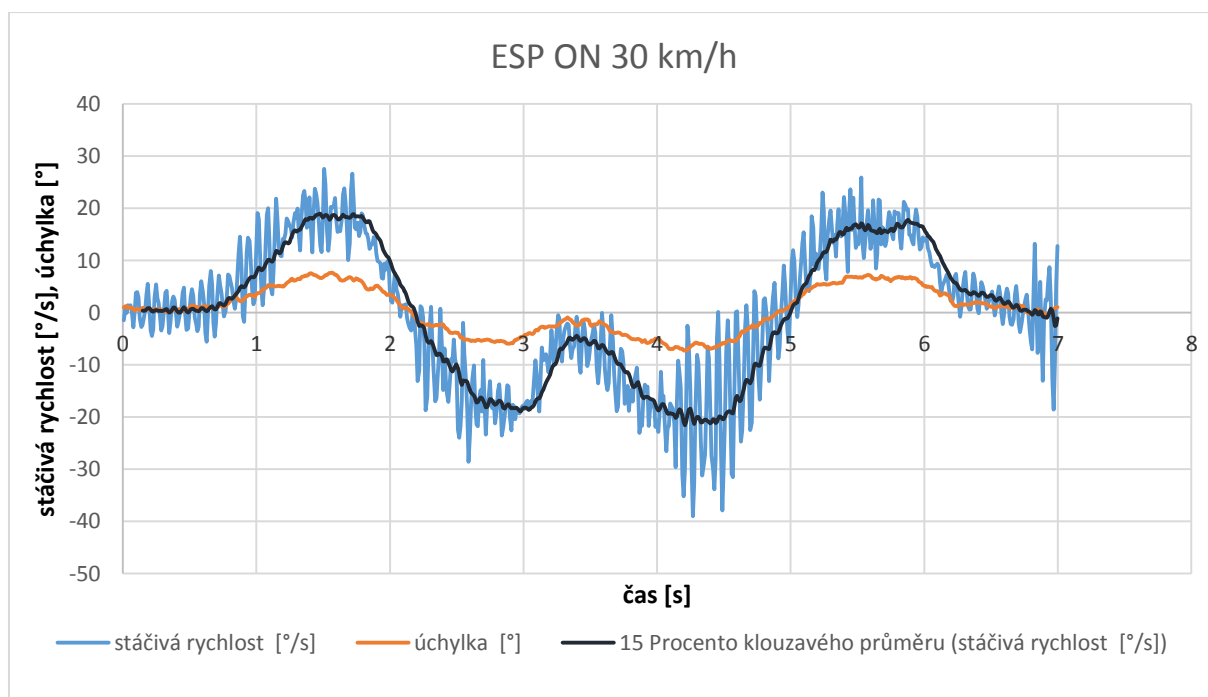
5.5.3. Praktické měření

Nejdříve byla kužely vytyčená dráha absolvovaná rychlostí 30 km/h a deaktivovaným systémem ESP. Tento manévr přinesl následující hodnoty směrové úchyly a stáčivé rychlosti:



Obr. 26 Průběh stáčivé rychlosti a úchylky od přímého směru při 30 km/h

Při druhém pokusu byla již aktivovaná stabilizace podvozku ESP, graf z měření:

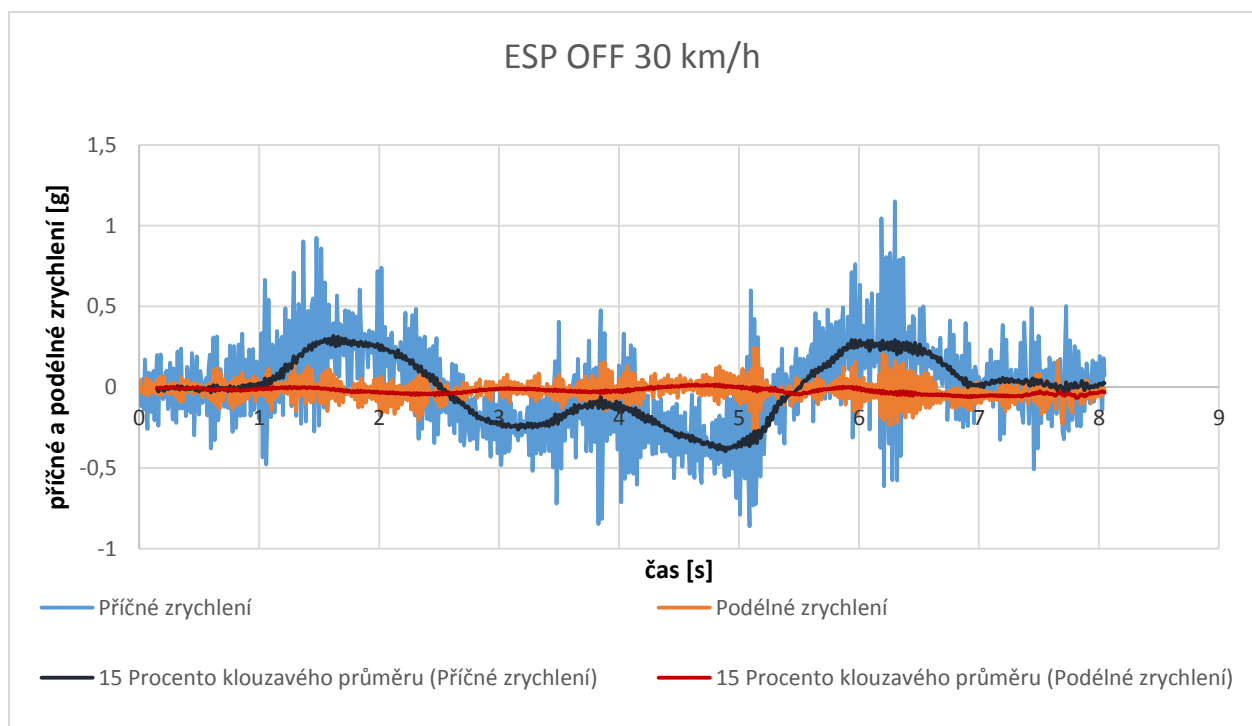


Obr. 27 Stáčivá rychlost s aktivovaným stabilizačním programem ESP

Zvolený velmi kluzký povrch již ve třicetikilometrové rychlosti vyžadoval jízdu za hranicí adhezních limitů. Zásah stabilizace podvozku se projevil především korekcí nedotáčivých smyků ve střední a závěrečné fázi tratě. Tedy v místech, kde vozidlo nabírá

přímý směr po výjezdu z první levotočivé zatáčky. Posléze byl citelnější zásah do řízení podvozku v pravotočivé zatáčce symbolizující návrat do původního jízdního pruhu. Vozidlo s aktivovaným systémem ESP nemělo tendenci k nedotáčivému smyku a chování vozidla při průjezdu tratí lépe vyhovovalo pokynům řidiče. Klidnější a bezpečnější průjezd celým manévrem, který se odehrával v režii podvozkové stabilizace, přinesl krom lepšího pocitu i rychlejší průjezd tratí. Toho si lze všimnout porovnáním časových délek grafů na obr. 26 a 27.

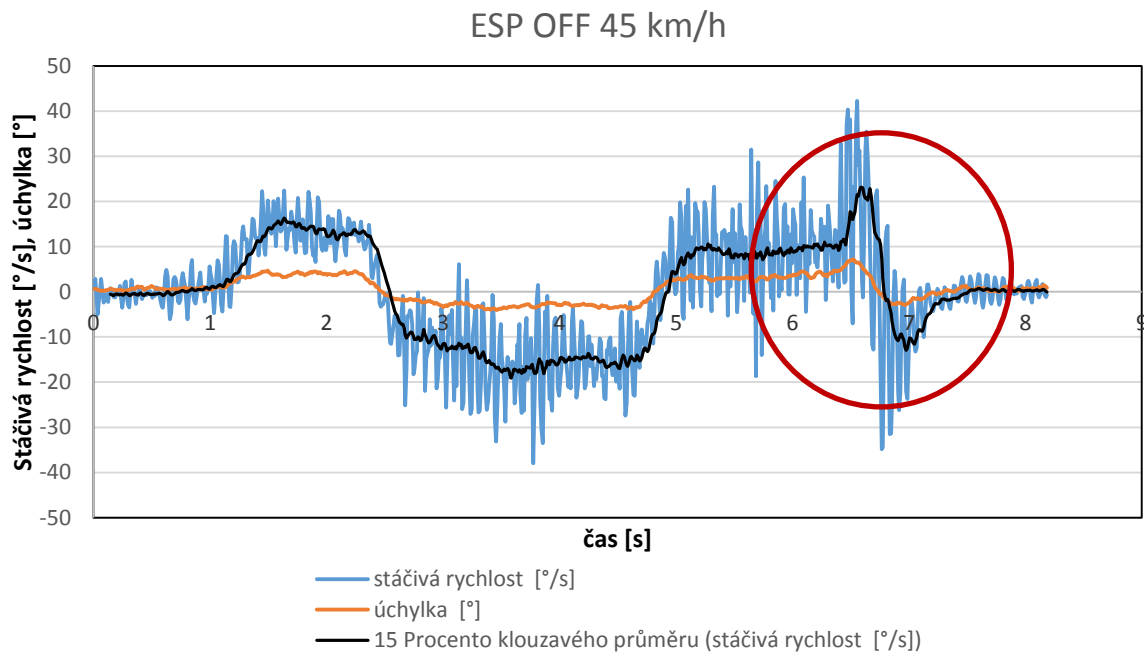
Dále byly zaznamenávány hodnoty příčného a podélného zrychlení.



Obr. 28 Průběh průjezdu losího testu v rychlosti 30km/h

V této rychlosti se zásah ESP viditelně neprojevil do průběhů příčného zrychlení. Teoreticky lze předpokládat hodnoty vyššího příčného zrychlení v případě jízdy regulované stabilizací podvozku. Pro získání více odlišných hodnot je tedy zapotřebí zrychlit průjezd manévrem.

Následující pokus znázorňuje chování vozidla při o 15km/h zvýšené rychlosti. Graf z průběhu měření:



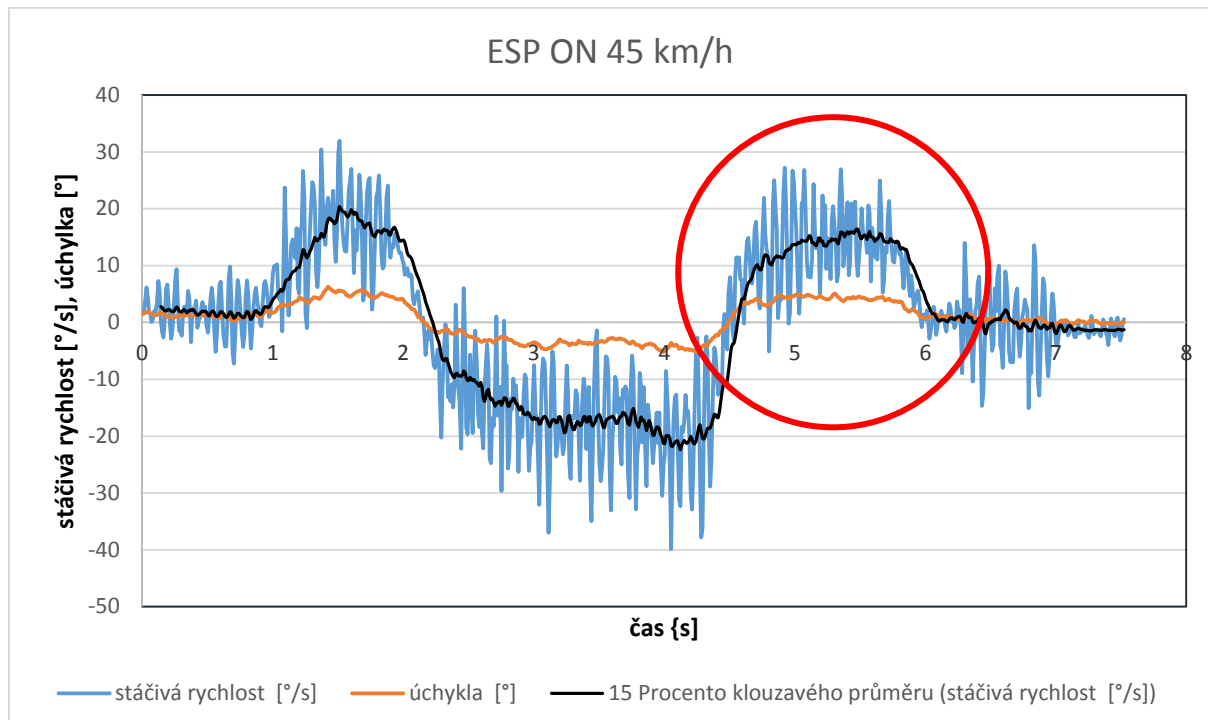
Obr. 29 Stáčivá rychlost při zvýšené nájezdové rychlosti bez korekce ESP

V tomto případě byl průjezd vytyčenou dráhou už značně neklidný, na kluzkém povrchu bylo náročné i v takto nízké rychlosti udržet vozidlo mezi kužely. Zejména pak v poslední fázi průjezdu, kdy dochází k nedotáčivému smyku.

Právě nedotáčivý smyk, ke kterému jsou vozidla s motorem vpředu a hnací přední nápravou náchylné, je původcem zvlnění průběhu stáčivé rychlosti v místě označeném na obrázku 29. K takovému průběhu vedla značná korekce volantem bezpodmínečně nutná pro udržení vozidla ve vytyčené dráze a práce s plynovým pedálem. K popisu a vysvětlení průběhu se lze opřít o teorii Kammovy kružnice, zmíněné v počátku této práce.

Tato situace simulující návratu vozidla do původního jízdního pruhu začíná pravotočivou zatáčkou. V tento moment se vozidlo uchyluje k nedotáčivému smyku. Snaha řidiče o udržení vozidla na trati probíhá přesně podle teorie Kammovy kružnice, kdy pro boční síly nutné k odbočení vozidla již nezbývá žádné adhezní síly. Řidič uvolní akcelerační pedál, podélná hnací síla se zmenší a vzniklý větší prostor pro příčné síly zajistí dostatečné boční vedení. Právě tento moment, kdy dochází k uvolnění akceleračního pedálu a volant je natočen na pravou stranu, se projeví na průběhu stáčivé rychlosti výkmitem na hodnotu 24deg/s. Dostatečné boční vedení vozidlo rychleji strhne do směru jízdy daného přední nápravou.

Obdobně se odehrává další levotočivá zatáčka, kdy opět po uvolnění plynového pedálu vozidlo rychleji dosáhne požadované směrové odchylky. Nedotáčivé smyky a uvolňování akcelérátoru má za následek pomalejší průjezd tratí. Tento fakt je patrný z časových délek grafů z obrázků č. 29 a 30.



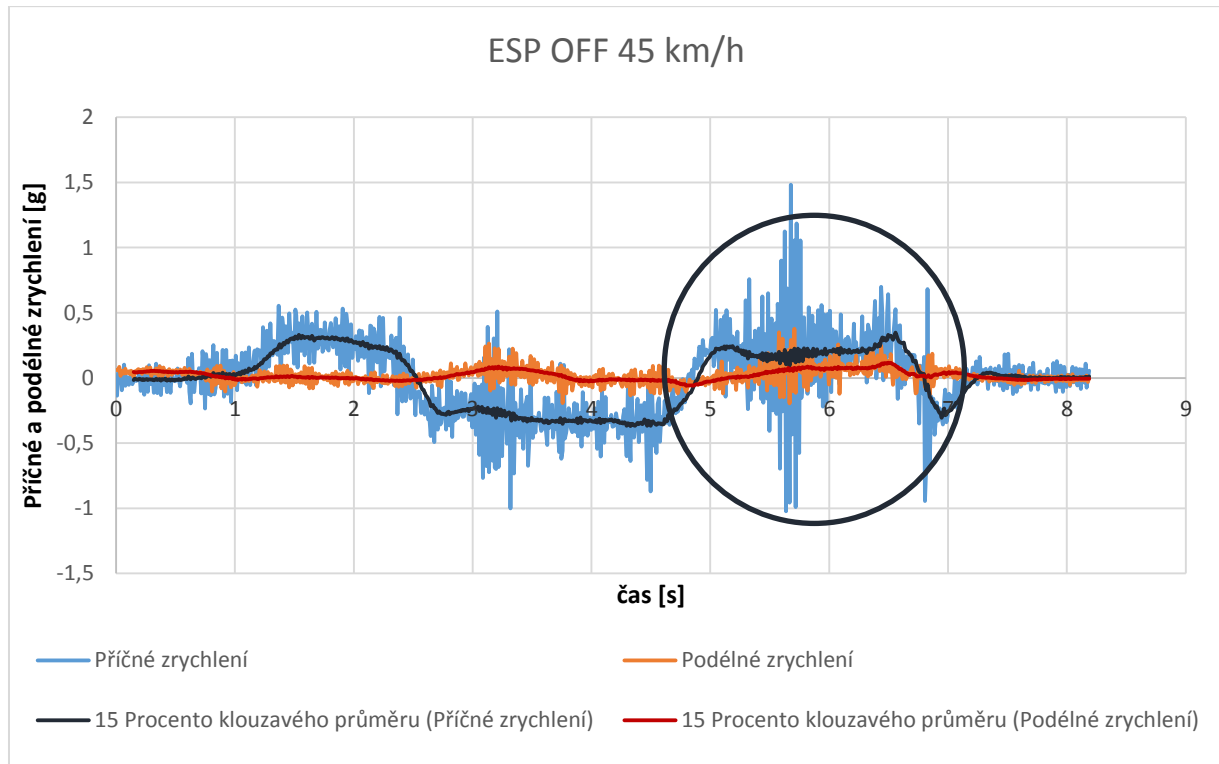
Obr. 30 Vliv regulace ESP na stáčivou rychlost

Tyto hodnoty přineslo měření s aktivovanou stabilizací podvozku. Zásah do chování vozidla je evidentní právě v poslední fázi průjezdu tratě, v intervalu od páté do sedmé vteřiny. Výkmit stáčivé rychlosti způsobené nedotáčivým smykem je zde vyhlazen.

K regulaci docházelo následujícím způsobem. Zmiňovaný úsek začíná pravotočivou zatáčkou a navazuje na levotočivou zatáčku. Již v první, pravotočivé zatáčce se vozidlo nestáčí podle požadavku řidiče doprava a má snahu ze zatáčky vyjet přímým směrem. Jakmile tento stav řídící jednotka ESP rozpozná ze snímače úhlu natočení volantu a snímačů stáčivé rychlosti vozidla, začne nejprve omezovat krouticí moment motoru. Tím způsobí úbytek podélné hnací síly a podle Kammovy kružnice tak zbyde více adhezních sil pro příčné síly, které zajišťují boční vedení vozidla. Pokud však tento zásah stále nestačí a vozidlo se i nadále chová nedotáčivě, přibrzdí jednotka v tomto případě pravé zadní kolo, díky tomu vznikne stáčivý moment, který vozidlo směřuje do pravotočivé zatáčky. Stejný průběh má

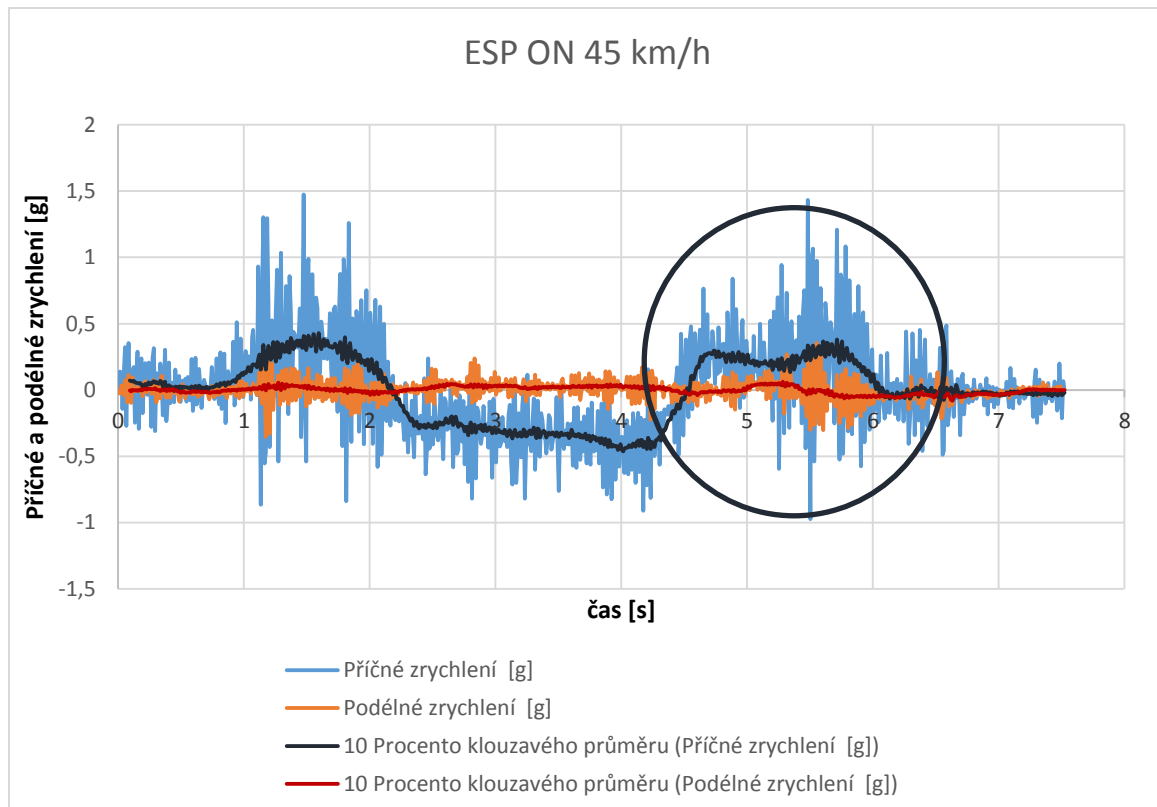
následující regulace v levotočivé zatáčce, kdy naopak dochází k přibrzdění levého zadního kola. Výsledkem je bezpečný a rychlý průjezd tratí.

Nedotáčivý smyk se projeví i na průběhu příčného zrychlení. S deaktivovanou stabilizací to zobrazuje následující obrázek:



Obr. 31 Průběh příčného a podélného zrychlení při 45 km/h

Smyk v označené fázi jízdy zapříčiní příčný rovnoměrný pohyb vozidla ve smyku a to se projeví na nižší hodnotě příčného zrychlení. V porovnání s následující grafem, kdy byla stabilizace podvozku aktivní, si lze všimnout rozdílné velikosti právě v této fázi. Důležitý je také rozdíl délky označených fází na časové ose, kdy je jízda s aktivovanou stabilizací právě zde výrazně rychlejší.

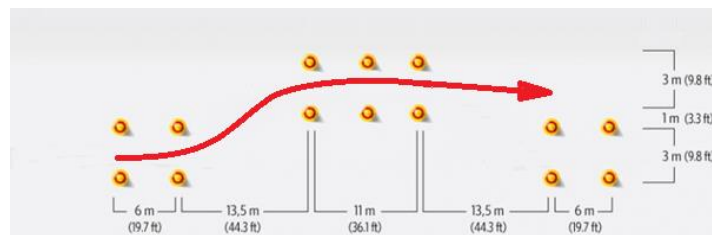


Obr. 32 Průběh příčného a podélného rychlení po regulaci ESP

V tomto případě došlo k omezení krouticího momentu v kritické situaci a pneumatika tak byla schopna přenést větší síly bočního vedení. To se projevilo na hodnotě příčného zrychlení, která je v tomto případě vyšší. Platí totiž, že čím větší síly je pneumatika schopna v příčném směru přenést, tím větší hodnotě příčného zrychlení odolá.

5.5.4. Závěr měření

Tato skutečnost dokazuje, jakou mírou lze správným řízením podvozku docílit optimalizovanějšího přenosu sil, respektive dokazuje, jakým způsobem je řízení podvozku schopné docílit přenosů sil, které jsou v daný moment důležité pro bezpečný průjezd. Měření dále pokračovalo za zvýšené nájezdové rychlosti 50 km/h. Při tomto pokusu však vozidlo trať neprojelo bez sražení kuželu ani s aktivovanou stabilizací podvozku. Důvodem byl velký nedotáčivý smyk, kvůli kterému nebylo vozidlo schopné odbočit do cílové rovinné části dráhy. Situaci znázorňuje následující obrázek:



Obr. 33 Vybočení z trati při vyšších rychlostech

6. Závěr

Cílem této práce byl především výzkum míry zásahu stabilizačních programů podvozků do řízení vozidla a také seznámit běžného řidiče s těmito systémy, které často nezpůsobitelně zachraňují lidské životy.

V teoretické části jsou poskytnuty základní teoretické vědomosti pro správné pochopení a představu funkce stabilizačních programů a stručně popsány vybrané prvky aktivní bezpečnosti. Experiment, který je součástí této práce, využívá především protiblokovacího systému ABS a stabilizačního programu ESP, které jednotlivě testuje a porovnává. Jízdní zkoušky využití pro tento experiment byly pečlivě vybrané vzhledem k jejich podobě s opravdovými situacemi plynoucími z běžného provozu.

V první řadě jsem experiment zaměřil na porovnání systémů ABS a ESP v prudkém brzdění na površích s rozdílnými adhezemi. Zvolené měření vybraných veličin mělo potvrdit teoretickou představu o zvládnutí manévru pouze se systémem ABS. Za nevyhovující výsledek bylo považované velké stočení vozidla či příliš dlouhý čas do zastavení. Výsledky s aktivní stabilizací podvozku ESP byly očekávány totožné, nebo lepší.

Měření dynamických veličin při nouzovém brzdění s uvolněným volantem však přineslo překvapující výsledky prokazující neúspěch ESP. Pro ověření naměřených hodnot jsme měření několikrát opakovali se stále zvyšující rychlostí. Vždy obdobný výsledek prokazoval bezpečnější zastavení vozidla s deaktivovanou stabilizací podvozku. V závěru měření bylo však dokázáno, že neklidné zastavení s velkými směrovými odchylkami způsobuje uvolněný volant, který svým volným otáčením klamal periférie řídicí jednotky ESP a ta následně nevhodně regulovala. Tím došlo k prodloužení času do zastavení o více než 3 s ze čtyřicetkilometrové rychlosti. Provedený test jednoznačně poukazuje na nesprávný způsob přístupu ke krizovým situacím, kdy řidič panicky pustí volant a stlačí brzdový pedál.

Za účelem zkrácení brzdné dráhy a klidnějšího zastavení bez větších směrových odchylek je důležité pevně držet volant a korigovat přímý směr vozidla.

Následoval test náhle změny jízdního pruhu. Takzvaný losí test prováděný na kluzné ploše autodromu působil velké problémy již v nízkých nájezdových rychlostech. Zde bylo cílem určit míru zásahu stabilizačního programu do řízení podvozku. Měření tentokrát potvrdilo očekávání. Průjezd losím testem bez ESP představoval několik nedotáčivých smyků, vyjetí z tratě, nutné zpomalování a velké korekce volantem. S aktivní stabilizací byl i ve vyšších rychlostech průjezd maximálně klidný a po celou dobu pevně v rukou řidiče. Zvládnutí podobných krizových situací je díky ESP bezpečnější a především klade menší požadavky na zkušenosti řidiče.

Při položení otázky, zda je tedy činnost stabilizace podvozku ESP vhodná a jestli vůbec představuje bezpečnější jízdu, se nabízí dosti rozporuplná odpověď plynoucí ze závěrů obou experimentů. V případě panického brzdění na různých površích docházelo se zvyšující rychlosti ke stále horším výsledkům ESP a během losího testu tento systém naopak s rostoucí rychlostí více projevovat své schopnosti udržet vozidlo bezpečně na silnici.

Elektronický stabilizační program je však velmi platný prvek aktivní bezpečnosti, který v některých momentech pomáhá a v ostatních neškodí. Alespoň těm řidičům, kteří mají na vědomí aspekty zjištěné měřeními v této práci. I přes výbornou funkci tohoto systému je zapotřebí, aby si každý řidič uvědomil fyzikální zákonitosti uvedené ve čtvrté kapitole a přizpůsobil jim styl své jízdy a technický stav vozidla.

7. Seznam použité literatury

- [1] VOPAVAL, Lukáš. *Adheze pneumatik a její měření* [online]. Praha, 2013 [cit. 2016-9-30]. Bakalářská práce. České vysoké učení v Praze, Fakulta dopravní. Vedoucí práce Ing. Tomáš Mičunek, Ph. D. Dostupné z: http://k622.fd.cvut.cz/downloads/zaverecne_prace/bp_vopava_2013.pdf.
- [2] Autolexicon.net. *Kammova kružnice přilnavosti* [online]. c2016 [cit. 2016-10-5]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/kammova-kruznice-prilnavosti/>
- [3] ZIKMUND, Tomáš. *Zkoušky stability silničních vozidel: výběr z metodik*. Univerzita Pardubice, 2007. 36 s. Prezentace.
- [4] Press.bosch.cz. *Autopříslušenství prvovýbava* [online]. c2003 [cit. 2016-9-27]. Dostupné z: http://press.bosch.cz/detail.asp?f_id=280
- [5] Autolexicon.net. *ESP (Electronic Stability Programme)* [online]. c2016 [cit. 2016-11-27]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/esp-electronic-stability-programme/>
- [6] MUSIL, Jan. *Elektronické stabilizační systémy osobních automobilů* [online]. Brno, 2011 [cit. 2016-10-2]. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Lubor Zháňal. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=41690
- [7] Autoforum.cz. *Korejská kombi zcela propadla v losím testu, jsou nejhorsí ze všech* [online]. c1996-2016 [cit. 2016-11-27]. Dostupné z: <http://www.autoforum.cz/zajimavosti/korejska-kombi-zcela-propadla-v-losim-testu-jsou-nehorsi-ze-vsech/>
- [8] Autolexicon.net. *Losí test* [online]. c2016 [cit. 2016-11-27]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/losi-test/>
- [9] POLÁK, Josef. *Podvozkové centrum APM Bilstein – 2. díl: Brzdové kapaliny* [online]. c2009 [cit. 2016-9-15]. Dostupné z <http://www.autoprofiteam.cz/article.php?artid=442>
- [10] SEMELA, Marek. *Elektronický stabilizační systém jako prvek aktivní bezpečnosti automobilu* [online]. c2004 c2004 [cit. 2016-10-17]. Dostupné z: <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2004-04-208-211.pdf>
- [11] LICHOROBIEC, Vojtěch. *Vliv tlaku huštění pneumatik na bezpečnost silničního vozidla*. Pardubice 2012. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. Vedoucí práce Zikmund, Tomáš. Dostupné z: http://dspace.upce.cz/bitstream/handle/10195/46665/LichorobiecV_VlivTlaku_TZ_2012.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- [12] LIPÁR, Martin. *Zkoušení systémů regulace jízdní dynamiky*. Pardubice 2009. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. Vedoucí práce Zikmund Tomáš.
- [13] Autolexicon.net. *ABS (Anti-lock Braking System)* [online]. c2016 [cit. 2016-11-2]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/abs-anti-lock-braking-system/>
- [14] VAN ZANTEN, Anton aj. *Regulace jízdní dynamiky ESP*. Přel. František Vlk. 1. české vyd. Praha : Robert Bosch odbytová spol. s.r.o., 2001. 63 s. Přel. z: Fahrdynamikregelung ESP. ISBN 80-902585-8-1.
- [15] JAN, Zdeněk aj. *Automobily I: podvozky*. 1. vydání. Brno: Nakladatelství Avid spol. s.r.o., 2007. 228 s. ISBN 978-80-87143-03-2.

8. Seznam obrázků

Obr. 1 Síly na kolo vozidla	10
Obr. 2 Kammova kružnice	10
Obr.3 Maximální využití přilnavosti v jednom směru	11
Obr. 4 Sloučená elektronická a hydraulická jednotka ABS	12
Obr.5 Indukční snímač s impulzním kolem	13
Obr. 6 Způsob regulace ESP	15
Obr. 7 Porovnání reakčních dob u různých způsobů regulace ASR	16
Obr. 8 Účinek uzávěrky diferenciálu vzniklý díky brzdě síle	17
Obr. 9 Rozdělení četností a variační rozsah součinitele adheze vozovek	21
Obr. 10 Závislost součinitele adheze na rychlosti jízdy	22
Obr. 11 Vliv brzděného skluzu na součinitel adheze	22
Obr. 12 Závislost součinitele adheze na tloušťce vodního filmu	23
Obr. 13 Náchylnost k aquaplaningu	24
Obr. 14 Závislost adheze na teplotě	24
Obr. 15 Závislost hloubky dezénu na adhezním součiniteli	25
Obr. 16 Umístění měřícího zařízení	27
Obr. 17 Schéma testovací dráhy pro bzdění na dvou odlišných površích	29
Obr. 18 Zastavení vozidla ve třicetikilometrové rychlosti s ESP OFF	30
Obr. 19 Zastavení vozidla ve třicetikilometrové rychlosti s ESP ON	30
Obr. 20 Průběh stáčivé rychlosti při zvýšené rychlosti se stabilizací	31
Obr. 21 Průběh stáčivé rychlosti při zvýšené rychlosti bez stabilizace	32
Obr. 22 Zastavení z rychlosti 60 km/h bez stabilizace podvozku	33
Obr. 23 Zastavení z rychlosti 60 km/h se stabilizací podvozku	33
Obr. 24 Zastavení s korekcí volantem	34
Obr. 25 Schéma losího testu	35
<i>Obr. 26 Průběh stáčivé rychlosti a úchylky od přímého směru při 30 km/h</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 27 Stáčivá rychlost s aktivovaným stabilizačním programem ESP</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 28 Průběh průjezdu losího testu v rychlosti 30km/h</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 29 Stáčivá rychlosti při zvýšené nájezdové rychlosti bez korekce ESP</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 30 Vliv regulace ESP na stáčivou rychlost</i>	<i>40</i>

<i>Obr. 31 Průběh příčného a podélného zrychlení při 45 km/h</i>	41
<i>Obr. 32 Průběh příčného a podélného rychlení po regulaci ESP</i>	41
<i>Obr. 33 Vybočení z trati při vyšších rychlostech</i>	43

9. Seznam tabulek

Tab. 1 Srovnání brzdových kapalin	20
Tab. 2 Součinitel adheze pro různé povrchy	21