



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ
INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

MOŽNOSTI ZJIŠTOVÁNÍ VLIVU ELEKTRONICKÝCH STABILIZACNÍCH SYSTÉMU PODVOZKU NA JÍZDNÍ DYNAMIKU VOZIDLA

OPTIONS FOR THE DETERMINATION OF THE INFLUENCE OF ELECTRONIC STABILIZATION
SYSTEMS OF THE CHASSIS ON THE DRIVING DYNAMICS OF A VEHICLE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. et Bc. MARTIN BILÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. VLADIMÍR PANÁČEK

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství

Akademický rok: 2010/11

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Martin Bilík

který-která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Expertní inženýrství v dopravě (3917T002)**

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

Možnosti zjišťování vlivu elektronických stabilizačních systému podvozku na jízdní dynamiku vozidla

v anglickém jazyce:

Options for the Determination of the Influence of Electronic Stabilization Systems of the Chassis on the Driving Dynamics of a Vehicle

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V teoretické části diplomové práce bude proveden rozbor jízdní dynamiky vozidla a elektronických stabilizačních systému podvozku. Obsahem praktické části práce budou experimentální měření.

Cíle diplomové práce:

Stanovit možnosti a způsoby, jakými lze zjišťovat ovlivnění pohybu vozidla elektronickými stabilizačními systémy podvozku.

Experimentálně zjistit vliv vybraných elektronických stabilizačních systému podvozku na jízdní dynamiku vozidla.

Seznam odborné literatury:

- [1] VLK, F.: Dynamika motorových vozidel. Brno: Nakladatelství a vydavatelství VLK. 2005. ISBN 80-239-0024-2.
- [2] VLK, F.: Elektronické systémy motorových vozidel 1, 2. Brno: Nakladatelství a vydavatelství VLK. 2002. ISBN 80-238-7282-6.
- [3] VLK, F.: Podvozky motorových vozidel. Brno: Nakladatelství a vydavatelství VLK. 2006. ISBN 80-239-6464-X.
- [4] VLK, F.: Zkoušení a diagnostika motorových vozidel. Nakladatelství a zasilatelství VLK. Brno 2001. ISBN 80-238-6573-0.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Vladimír Panáček

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

V Brně, dne 30.11.2010




prof. Ing. Albert Bradáč, DrSc.
Ředitel vysokoškolského ústavu

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá možnostmi zjišťování vlivu elektronických stabilizačních systémů podvozku na jízdní dynamiku vozidla. V úvodní části je proveden teoretický rozbor jízdní dynamiky vozidel. Dále je proveden popis některých stabilizačních systémů a situací a způsobu jejich řešení pomocí těchto systémů. V kapitole 6.2.1 je popsána metodika praktického experimentu, kterým je možné vliv stabilizačního systému podvozku vozidla na jeho jízdní dynamiku zjistit. V následující kapitole je popsán provedený experiment a jsou interpretovány naměřené hodnoty. V předposlední kapitole je provedena simulace tohoto experimentu pomocí simulačního softwaru Virtual Crash. V poslední kapitole je provedeno vyhodnocení provedeného experimentu a srovnání výsledků s výsledky pomocí simulačních programů při stejných vstupních podmínkách. V závěru jsou shrnuty výsledky této práce.

Abstract

This diploma thesis deals with the possibilities of determining the influence of electronic stability systems on the chassis of the vehicle driving dynamics. In the introductory section is made theoretical analysis of road vehicle dynamics. Further description is made of some stabilization systems and situations and how to solve them by using these systems. Chapter 6.2.1 describes the methodology of practical experiment, which can determine influence of the stability system of the vehicle chassis on driving dynamics. The next chapter describes an experiment conducted and interpreted the measured values. The penultimate chapter is a simulation of this experiment using simulation software Virtual Crash. The last chapter is an evaluation of the experiment and compares the results with simulation programs using the same input conditions. The conclusion summarizes the results of this work.

Klíčová slova

Vozidlo, jízdní dynamika, elektronický stabilizační systém, boční zrychlení, podélné zrychlení, stáčivá rychlost, mezní rychlost v oblouku.

Keywords

Vehicle, driving dynamics, electronic stability system, lateral acceleration, longitudinal acceleration, yaw rate, speed limit on a curve.

Bibliografická citace

BILÍK, M. *Možnosti zjišťování vlivu elektronických stabilizačních systémů podvozku na jízdní dynamiku vozidla*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2011. 103 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Vladimír Panáček.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Možnosti zjišťování vlivu elektronických stabilizačních systémů podvozku na jízdní dynamiku vozidla* pod vedením Ing. Vladimíra Panáčka zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne

.....

podpis diplomanta

Poděkování

Na tomto místě bych velmi rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Vladimíru Panáčkovi, především za odborné konzultace, rady a cenné připomínky při psaní této práce, ale také za prokázanou odvahu při provedených měřeních na místě spolujezdce při obsluze měřících zařízení. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za jejich podporu při studiích.

OBSAH

1	ÚVOD	12
2	JÍZDNÍ DYNAMIKA VOZIDEL	13
2.1	Jízdní odpory	13
2.2	Hnací ústrojí	14
2.3	Brzdění	16
2.4	Řiditelnost a stabilita	20
2.4.1	<i>Statická řiditelnost</i>	24
2.4.2	<i>Dynamická řiditelnost</i>	25
2.4.3	<i>Naklápění vozidla</i>	26
2.5	Hodnocení ovladatelnosti vozidel	27
2.5.1	<i>Čistě subjektivní hodnocení</i>	27
2.5.2	<i>Subjektivní zkoušky ovladatelnosti</i>	28
2.5.3	<i>Objektivní zkoušky ovladatelnosti</i>	28
2.6	Řízení jízdní dynamiky	32
3	ASISTENČNÍ SYSTÉMY	33
3.1	Asistenční systémy řidiče	33
3.2	Asistenční systémy vozidla	34
3.3	Protiblokovací systémy	35
3.4	Systém elektronické uzávěrky diferenciálu	39
3.5	Systémy regulace prokluzu	40
3.6	Systémy dynamické stabilizace vozidla	43
3.6.1	<i>Historie</i>	43
3.6.2	<i>Princip funkce</i>	44
3.6.3	<i>Regulace systému</i>	45
3.6.4	<i>Části systému ESP</i>	47

3.6.5	<i>Systémy ESP II</i>	48
4	SNÍMAČE SYSTÉMU ESP	51
4.1	Snímač otáček kola	51
4.2	Snímač neregulovaného brzdného tlaku	53
4.3	Snímač příčného zrychlení	53
4.4	Snímač stáčivé rychlosti	54
4.5	Snímač úhlu natočení volantu	56
5	PALUBNÍ DIAGNOSTIKA	57
6	MOŽNOSTI ZJIŠŤOVÁNÍ Vlivu ELEKTRONICKÉHO STABILIZAČNÍHO SYSTÉMU PODVOZKU	58
6.1	Reálné testy	58
6.2	Virtuální testy	58
6.3	Soustava řidič – vozidlo – vozovka	59
6.3.1	<i>Řidič</i>	59
6.3.2	<i>Vozidlo (měřený objekt)</i>	61
6.3.3	<i>Vozovka (plocha pro měření)</i>	62
6.4	Zjištění vlivu elektronické stabilizačního systému jízdní zkouškou	64
6.4.1	<i>Metodika měření</i>	64
6.4.2	<i>Vypnutí systému ESP pomocí tlačítka ESP OFF</i>	66
6.5	Měřicí přístroje	67
6.5.1	<i>Memory Box 2</i>	67
6.5.2	<i>XL Meter™</i>	68
6.5.3	<i>Videokamery</i>	69
6.5.4	<i>Diagnostická sada VAG-COM</i>	69
7	JÍZDNÍ ZKOUŠKY	72
7.1	Úvodní měření	72
7.1.1	<i>Provedení brzných zkoušek</i>	72

7.1.2	Měření průjezdů vyznačeným obloukem.....	73
7.1.3	Funkční test systému ESP zkoušeného vozidla.....	74
7.1.4	Výsledky měření.....	75
7.2	Měření jízdních parametrů vozidla za sucha	76
7.2.1	Brzdné zkoušky v podélném a příčném směru	76
7.2.2	Měření průjezdu obloukem rychlostí 30 km/h s ESP.....	77
7.2.3	Měření průjezdu obloukem mezní rychlostí 41 km/h s ESP.....	78
7.2.4	Měření průjezdu obloukem rychlostí 39 km/h bez ESP	81
7.3	Měření jízdních parametrů vozidla za mokra	83
7.3.1	Brzdná zkouška.....	83
7.3.2	Měření průjezdu obloukem mezní rychlostí 38 km/h s ESP	84
7.3.3	Měření průjezdu obloukem mezní rychlostí 38 km/h bez ESP.....	86
7.3.4	Měření průjezdu obloukem rychlostí 50 km/h s ESP.....	87
7.3.5	Měření průjezdu obloukem rychlostí 40 km/h bez ESP	88
7.4	Kruhové zkoušky.....	91
7.4.1	Kruhová zkouška s vypnutým systémem ESP	91
7.4.2	Kruhová zkouška se zapnutým systémem ESP.....	92
7.5	Zhodnocení výsledků měření.....	93
8	SIMULACE V PROGRAMU VIRTUAL CRASH.....	94
8.1	Simulace jízdy mezní rychlostí za sucha.....	94
8.2	Simulace jízdy mezní rychlostí za mokra.....	95
9	VYHODNOCENÍ.....	96
10	ZÁVĚR	98
11	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	100
12	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	102
13	SEZNAM PŘÍLOH.....	103

1 ÚVOD

Jízda automobilem je pro většinu lidí denní rutinou. Rozmach automobilismu s sebou nese také vývoj v oblasti elektronických systémů. Ty se poprvé objevily na přelomu 70. a 80. let minulého století. Jako každá novinka, tehdy byly „vymožeností a luxusem“ pro dražší modely tehdejší doby. Dnes už je brán například brzdový systém ABS jako automatický standard pro všechny automobily. Stejný trend lze pozorovat i u elektronických stabilizačních systémů podvozku. Asi nejznámějším z nich je systém ESP od firmy BOSCH. Ten se poprvé ve výbavě automobilů objevil před šestnácti lety. Během této doby byla vyvinuta již druhá generace tohoto systému a další konkurenční systémy. Jak z jeho názvu vyplývá, jeho hlavním úkolem je stabilizace vozidla při rizikových situacích, které se mohou v provozu vyskytnout. O prospěšnosti stabilizačních systémů podvozku může svědčit i nařízení Evropské komise, že nově vyrobená osobní vozidla budou mít povinné v základní výbavě takový systém od roku 2012.

Stabilizační systémy se tak stanou povinnou součástí jízdy s vozidlem. Mezi řidiči však existuje množství mylných domněnek typu „*mám vozidlo vybavené systémem ESP, ten to všechno zvládne a já si můžu jezdit, jak chci...*“ – bohužel pro ně, fyzikální zákony platí pro všechny stejně. Zvládání kritické situace, například smyku, s vozidlem vybaveným stabilizačním systémem, však vyžaduje odlišné reakce jako stejné vozidlo ve stejné situaci, které tímto systémem nedisponuje. Vystávají tedy otázky, jak se v takovém případě zachovat a jaký je vlastně vliv stabilizačního systému? Jak můžeme tento vliv zjistit? Na tyto otázky bude opovězeno v této diplomové práci

V úvodní části je proveden teoretický popis jízdní dynamiky vozidla. Dále je uveden přehled elektronických stabilizačních systémů a popis jednotlivých součástí systémů. V několika podkapitolách jsou také popsány situace, kdy stabilizační systémy zasahují, a způsoby, jakými mají vzniklé situace pomáhat řidiči vyřešit.

V šesté kapitole jsou popsány základní možnosti a způsoby, jakými lze zjistit vliv stabilizačních systémů. V podkapitole 6.4.1. je pak proveden popis praktického experimentu pro zjištění těchto vlivů. V předposlední kapitole je provedena simulace experimentu pomocí simulačního softwaru Virtual Crash. V poslední kapitole je provedeno vyhodnocení provedeného experimentu a srovnání výsledků s výsledky pomocí simulačních programů při stejných vstupních podmínkách.

2 JÍZDNÍ DYNAMIKA VOZIDEL

Vozidlo disponuje jedním či více zdroji hnacího momentu M_K . Nejčastěji je tímto zdrojem spalovací motor či elektromotor. Sečteme-li tedy všechny hnací momenty a vydělíme je dynamickým poloměrem kola r_{di} , získáme hnací sílu vozidla F_K .¹

2.1 JÍZDNÍ ODPORY²

Hnací síla vozidla F_K musí při jízdě vozidla překonávat jízdní odpory, přičemž platí vztah: $F_K = O_f + O_V + O_S + O_Z$

Valivý odpor O_f

Lze vypočítat podle vztahu $O_f = f \cdot \sum_i Z_{Ki} = f \cdot G \cdot \cos \alpha$, kde f je součinitel valivého odporu, Z_{Ki} je radiální zatížení jednoho kola, G je tíha vozidla a α je úhel stoupání.

Vzdušný odpor O_V

Určuje se podle aerodynamického vztahu $O_V = c_x \cdot \frac{\rho}{2} \cdot S_x \cdot v_r^2$, kde v_r je náporová rychlost proudění vzduchu kolem vozidla. Náporová rychlost v_r se skládá z rychlosti, kterou automobil projíždí klidným vzduchem a z rychlosti větru. Pro běžné výpočty se však vliv větru zanedbává. S_x je čelní plocha vozidla, která se získává čelní projekcí vozidla. ρ je měrná hmotnost vzduchu, která je závislá na teplotě a tlaku. Pro běžné výpočty se používá hodnota $\rho = 1,25 \text{ Kg/m}^3$. c_x je součinitel vzdušného odporu, který závisí především na tvaru vozidla a zjišťuje se na reálných vozidlech, či modelech v aerodynamickém tunelu.

Odpor stoupání O_S

Počítáme jej ze vztahu $O_S = \pm G \cdot \sin \alpha$, kde G je tíha vozidla a α je úhel stoupání. Znaménko plus platí při jízdě do svahu, znaménko minus při jízdě ze svahu.

Odpor zrychlení O_Z

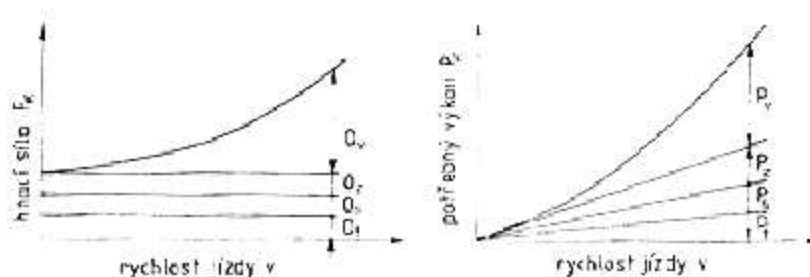
Celkový odpor zrychlení O_Z se skládá ze dvou částí: odporu zrychlení posuvné části $O_{Zp} = m \cdot \ddot{x}$ a z odporu zrychlení otáčejících se částí $O_{Zr} = \sum_i \frac{J_{Ki}}{r_{di}^2} \cdot \ddot{x}$, kde J_{Ki} je hmotnostní moment setrvačnosti kola. Pro praktické výpočty se používá vztah $O_Z = \vartheta \cdot m \cdot \ddot{x}$.

¹ VLK, F.: Automobilová technická příručka str. 1

² VLK, F.: Automobilová technická příručka str. 1-4

Součinitel vlivu rotačních částí ϑ závisí na celkovém převodu $i_c = i_p \cdot i_{rp}$, kde i_p je zařazený rychlostí stupeň v převodovce a i_r je stálý převod rozvodovky.

Celkový jízdní odpor je tedy výsledkem součtu jednotlivých odporů. Výkon P_K , který musí být přiváděn na kola pro dosažení požadované rychlosti a překonání jízdních odporů, neboli hnací výkon se vypočítá ze vztahu $P_K = F_K \cdot v = \frac{M_K}{r_d} \cdot v$



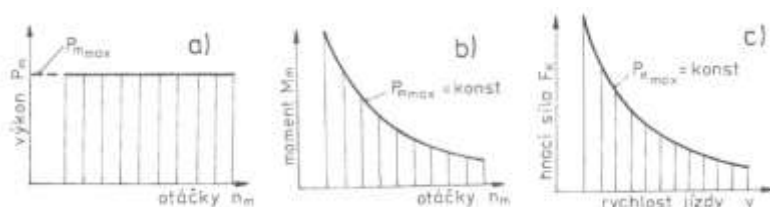
Obr. 1: Závislost hnací síly F_K a hnacího výkonu P_K na rychlosti³

2.2 HNACÍ ÚSTROJÍ⁴

Známe-li jízdní odpory a tím pádem i potřebné hnací síly a momenty pro jejich překonání, potřebujeme také zjistit, jaké výkony a momenty máme k dispozici. Pro tento účel je nutné znát rychlostní charakteristiky motoru, ale také porozumět spolupráci motoru s převodovým ústrojím.

Ideální charakteristika hnacího motoru

Výkon hnacího motoru P_m je závislý na otáčkách motoru n_m . Maximální výkon motoru $P_{m \max}$ je však zpravidla k dispozici jen při určitých otáčkách n_m ($P_{m \max}$). Ideální průběh výkonu motoru by nastal v případě, kdy by výkon motoru byl konstantní v celém rozsahu otáček motoru – obr. 2a. V takovém případě by s poklesem otáček motoru vzrůstal točivý moment motoru podle hyperbolické závislosti. – obr. 2b.



Obr. 2: Ideální charakteristiky⁵

³ VLK, F.: Dynamika motorových vozidel str. 36

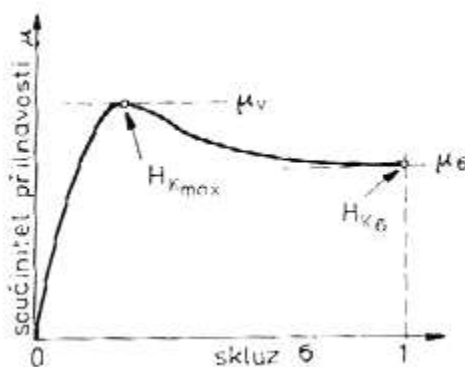
⁴ VLK, F.: Automobilová technická příručka str. 4-10

⁵ VLK, F.: Dynamika motorových vozidel str. 38

Závislosti na obrázcích nepokračují až do $n_m = 0$, protože moment motoru by vzrostl na nekonečně velkou hodnotu. Hnací síla na kolech je přímo úměrná točivému momentu motoru a rychlost jízdy je také přímo úměrná otáčkám motoru, je tedy možné nakreslit ideální hyperbolu hnací síly – obr. 2c. Na kola není možné přenést libovolně velkou hnací sílu, protože hnací síla F_K je omezena přilnavostí vozovky.

Mez přilnavosti, skluz a prokluz

Maximální obvodová síla $H_{K \max}$, která je přenositelná mezi kolem a vozovkou, byla je podle experimentálních výsledků určena vztahem $H_{K \max} = \mu_V \cdot Z_K$, kde μ_V je součinitel valivé přilnavosti v podélném směru kola. Pokud je hnací moment kola M_K příliš velký, pak dochází ve stopě pneumatiky k prokluzování. Dosáhne-li podélný skluz hodnotu $\sigma = 1$, pak se přenášovaná obvodová síla vypočte ze vztahu $H_{K \sigma} = \mu_\sigma \cdot Z_K$, kde μ_σ je součinitel skluzové přilnavosti. Skluzem tedy rozumíme rozdíl mezi rychlostí kola a rychlostí vozidla vztažený na rychlost kola (v případě pohonu) nebo na rychlost vozidla (v případě brzdění). Silové poměry mezi svislým zatížením a obvodovou silou vyjadřuje součinitel využívané přilnavosti $\mu = \frac{H_K}{Z_K}$. Součinitel přilnavosti se zjišťuje experimentálně – je-li kolo zablokováno, pak zjišťujeme součinitel μ_σ , v opačném případě pak součinitel μ_V .

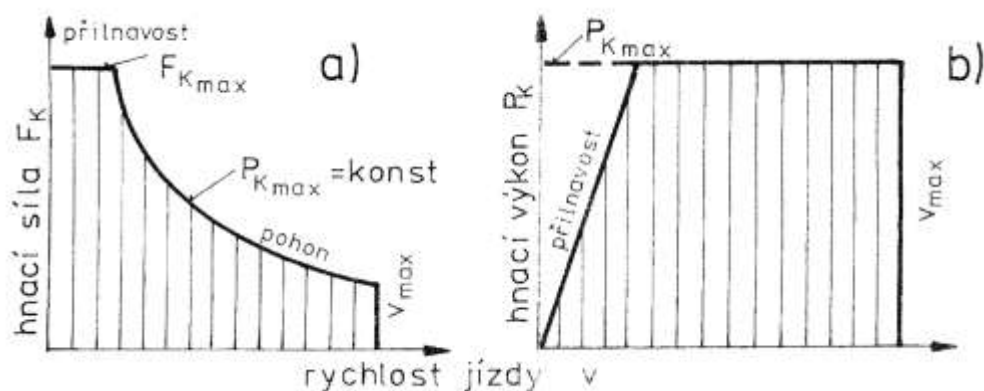


Obr. 3: Skluzová charakteristika pneumatiky⁶

Maximální hnací síla na kolech je omezena přilnavostí. Pro celkovou maximální hnací sílu tedy platí $F_{K \max} = \mu_V \sum_i Z_{Ki} = \mu_V \cdot G \cdot \cos \alpha$, kde $G \cdot \cos \alpha$ je zatížení vozidla kolmé k rovině vozovky, které je také někdy nazýváno adhezní tíhou. Síla $F_{K \max}$ je pak nazývána adhezní silou. Maximální točivý moment $M_{K \max}$, který je přiváděný na kolo, je $M_{K \max} = \mu_V \cdot F_{K \max} \cdot r_d$. Maximálně využitelný hnací výkon je pak $P_{K \max} = F_{K \max} \cdot v \approx M_{K \max} \cdot v$.

⁶VLK, F.: Dynamika motorových vozidel str. 39

Přilnavost vozovky není mezi hnacího motoru, ale vyjadřuje poměr mezi hnacími koly a povrchem vozovky. Nemá cenu překračovat meze $M_{K\max}$ a $P_{K\max}$, protože pak dochází k nežádoucímu prokluzování kol.



Obr. 4: Ideální hnací charakteristiky omezené přilnavostí a maximálním přenositelným výkonem a rychlostí pro hnací sílu a hnací výkon vozidla.

2.3 BRZDĚNÍ

Brzděním se rozumí cílené snižování rychlosti vozidla nebo zamezení rozjetí stojícího vozidla. Druhy brzdění vozidla můžeme podle účelu rozdělit: *provozní*, *nouzové*, *parkovací* a *odlehčovací*. **Provozní brzdění** musí umožnit dobrou ovladatelnost vozidla při jeho provozu a jeho účinné a dostatečně rychlé zastavení při všech možných rychlostech, zatíženích, na nejruznějších sklonech svahů, které je možno uvažovat. **Nouzové brzdění** musí dovolovat zastavení vozidla v případě, kdy dojde k poruše provozního brzdění. **Parkovací brzdění** musí zajistit udržení vozidla na svahu. **Odlehčovací brzdění** umožňuje omezení rychlosti či její dodržení při jízdě ze svahu.⁸

Průběh brzdění⁹

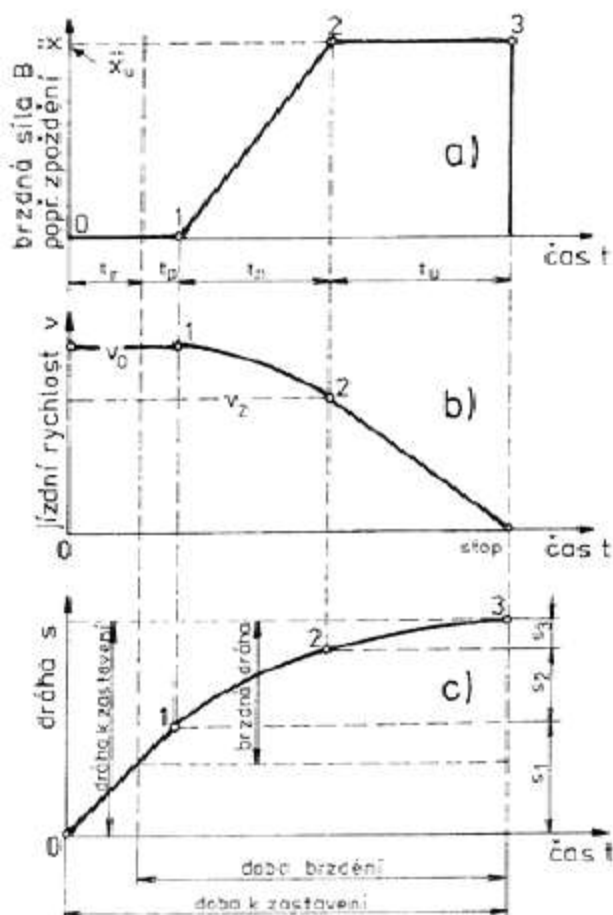
Od zpozorování překážky po vyvození síly na brzdový pedál uplyne **reakční doba t_r** , která se skládá z reakční doby řidiče a z doby, která je nutná pro přemístění řidičovy nohy z plynového na brzdový pedál. Dobu od okamžiku, kdy řidič začíná působit na brzdový pedál, po moment, kdy se začne projevovat účinek brzdění, nazýváme dobou **prodlevy brzdění t_p** . Během této doby dochází k překonání vůlí v kloubech a ložiskách a dosednutí brzdového obložení na třecí plochu brzd. Zanedbáme-li jízdní odpory, tak rychlost vozidla je během

⁷ VLK, F.: Dynamika motorových vozidel str. 46

⁸ VLK, F.: Dynamika motorových vozidel str. 120

⁹ VLK, F.: Automobilová technická příručka str. 11

obou dob rovna výchozí rychlosti v_0 . Od okamžiku projevování brzdného účinku po moment kdy brzdny účinek dosáhne své plné výše, uplyne doba, která se nazývá **doba náběhu brzdění** t_n . Dráha potřebná k zastavení je rozčleněna, stejně jako doba k zastavení, na několik úseků – ujetá dráha během reakce řidiče, během náběhu brzd atd. Grafické znázornění průběhu brzdění je patrné z následujícího obrázku.



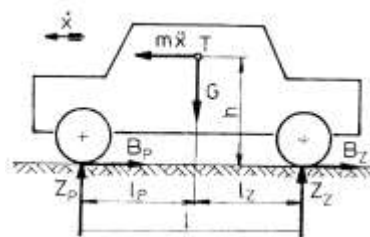
Obr. 5: Průběh brzdění¹⁰

Brzdnou dráhou rozumíme dráhu, kterou urazí vozidlo od okamžiku působení na brzdový pedál do zastavení vozidla – není v ní tedy zahrnuta reakční doba řidiče. Brzdná dráha se vypočítá ze vztahu: $s \approx v_0 \cdot \left(t_p + \frac{t_n}{2}\right) + \frac{v_0^2}{2\ddot{x}_u}$. **Doba brzdění** t nezahrnuje reakční dobu t_r a vypočteme ji ze vztahu: $t = t_p + \frac{t_n}{2} + \frac{v_0}{\ddot{x}_u}$.

¹⁰ VLK, F.: Dynamika motorových vozidel str. 121

Brzdné síly

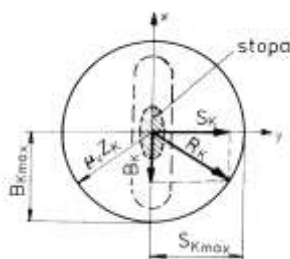
Během brzdění je zrychlení vozidla záporné. Také obvodové síly na kolech jsou záporné. Poměr záporného zrychlení k tíhovému nazýváme brzděním $z = -\frac{\ddot{x}}{g}$. V těžišti vozidla působí **setrvačná síla** $m \cdot \ddot{x} = G \cdot z$ na nápravách pak působí brzdné síly B_p a B_z , přičemž platí vztah $B_p + B_z = G \cdot z$. Rozložení působících sil působících na vozidlo při brzdění je patrné z následujícího obrázku.



Obr. 6: Síly působící na vozidlo při brzdění¹¹

Maximální brzdné síly jsou omezeny přilnavostí třecí dvojice pneumatika – vozovka. Největší síly, které lze přenést jsou tedy: $B_{pmax} = \mu_V \cdot Z_p$; $B_{zmax} = \mu_V \cdot Z_z$, kde μ_V je součinitel přilnavosti v podélném směru pneumatiky.

Pokud ve stopě pneumatiky působí mimo obvodovou sílu také boční síla, pak nesmí být geometrický součet těchto sil větší než určitá hodnota, která závisí na přilnavosti, aby nedošlo ke smyku. Pokud je přilnavost pneumatiky stejná v podélném i příčném směru (Kammova kružnice přilnavosti obr. 7), pak výslednice sil $R_K = \sqrt{B_K^2 + S_K^2} \leq \mu_V \cdot Z_K$, kde B_K je brzdná síla kola, a Z_K je radiální reakce kola. Geometrickým místem bodů vektoru výsledné přenositelné vodorovné síly R_K je kružnice opsaná ze středu s poloměrem $\mu_V \cdot Z_K$. Je-li brzdná síla větší než B_{Kmax} , pak dochází k zablokování kola a k jeho pohybu smykem bez boční vodící síly.



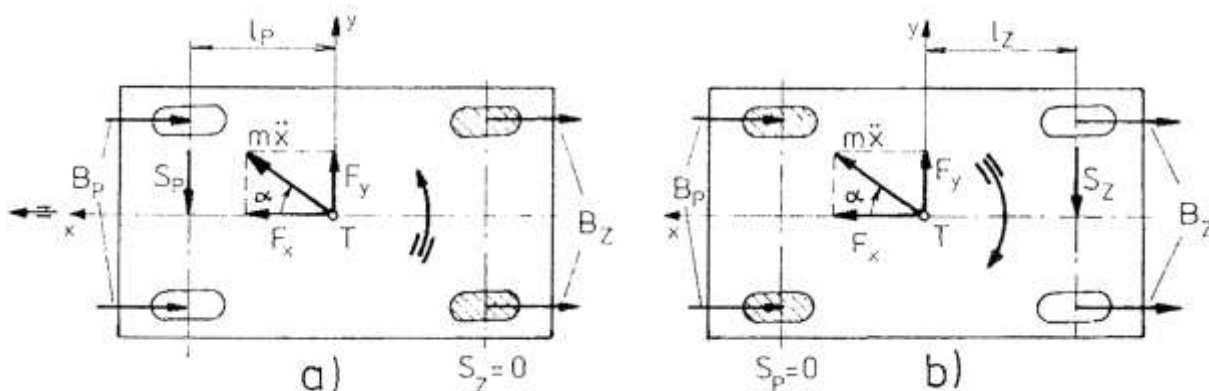
Obr. 7: Kammova kružnice¹²

¹¹ VLK, F.: Dynamika motorových vozidel str. 127

¹² VLK, F.: Dynamika motorových vozidel str. 129

Stabilita při brzdění je závislá na rozdělení celkové brzdné síly vozidla mezi jednotlivé nápravy vozidla, tzn. na tom, u které nápravy dojde k blokaci kol a tím ke vzniku silové dvojice, která natáčí vozidlo kolem svislé osy, čímž vzniká smyk.

Pokud neleží setrvačná síla $m \cdot \ddot{x}$ vlivem vnější rušivé síly ve směru podélné osy vozidla, ale pod úhlem α , pak vznikne složky rušivé síly F_y kolmá k podélné ose. Tato složka je za normálu udržována v rovnováze bočními silami na kolech. Blokují-li kola zadní nápravy, pak je boční vodící síla zadní nápravy $S_z = 0$ a boční sílu tak přenášejí jen přední kola. Následkem je vznik silové dvojice a smyk. Tímto se úhel α zvětšuje, což znamená nestabilní děj. Pokud ale blokují kola přední nápravy, přenášejí boční sílu pouze kola zadní nápravy a úhel α se zmenšuje – tímto se vozidlo natáčí do směru setrvačné síly a automobil se pohybuje přibližně ve stejném směru jako před brzděním a chová se stabilně. Při jízdě ze zatáčky to však znamená, že vozidlo pokračuje smykem ven ze zatáčky. Blokují-li všechny nápravy vozidla současně a nepůsobí-li na vozidlo žádná rušivá síla, pak se vozidlo pohybuje přímým směrem. Pokud rušivé síly vznikají, pak se vozidlo může natáčet.



Obr. 8: Stabilní a nestabilní chování vozidla¹³

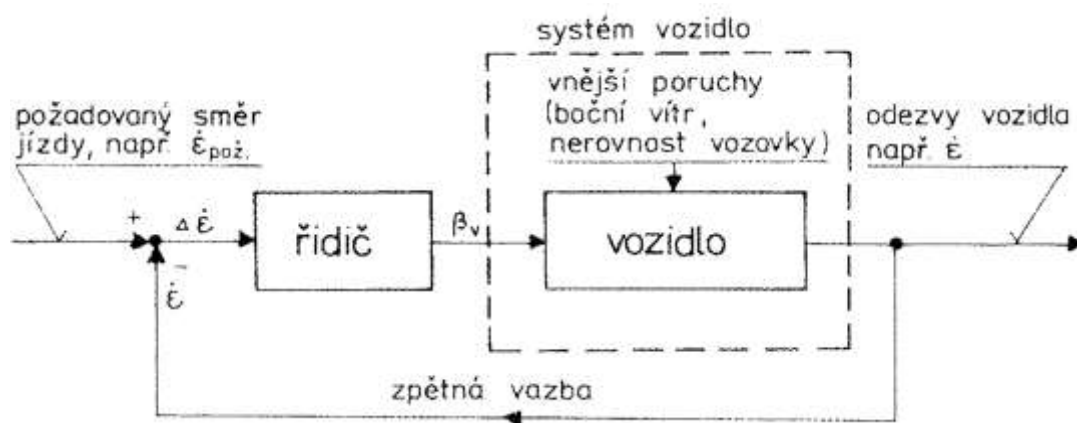
Ideální brzdné síly jsou maximální přenositelné brzdné síly na jednotlivých nápravách vozidla $B_{P id} = B_{P max} = \mu_V \cdot Z_P$; $B_{Z id} = B_{Z max} = \mu_V \cdot Z_Z$.

Skutečné brzdné síly lze vyjádřit pomocí součinitelů využitelné přilnavosti pro přední a zadní nápravu f_p a f_z obdobně: $B_P = f_p \cdot Z_P$; $B_Z = f_z \cdot Z_Z$. Součinitel využitelné přilnavosti je dán poměrem obvodové síly kola k svislému zatížení a charakterizuje právě se vyskytující poměry ve stopě. Jsou-li oba součinitele stejné a rovny součiniteli valivé přilnavosti, tedy: $f_p = f_z = \mu_V$, pak se jedná případ **ideálního rozdělení brzdné síly**.

¹³VLK, F.: Automobilová technická příručka str. 14

2.4 ŘIDITELNOST A STABILITA¹⁴

Pod pojmem **řiditelnost** automobilu rozumíme odezvy vozidla na natáčení volantu při stálé rychlosti jízdy. Určitému natočení volantu pak například odpovídá určitá úhlové rychlosti otáčení vozidla kolem svislé osy ϵ - tzv. stáčivá rychlost. O subjektivní řiditelnosti lze hovořit v případech, kdy je vozidlo ovládáno řidičem. Pokud se povede vyloučit všechny vlivy řidiče, pak lze hovořit o objektivní řiditelnosti – kterou charakterizují statické a dynamické odezvy. Statická řiditelnost je určena vlastnostmi odezev vozidla na natáčení volantu při ustálené jízdě po kruhové dráze. Dynamická řiditelnost je vyjádřena přenosovými funkcemi vozidlového systému, tzn. závislostí mezi natočením volantu a odezvami pohybu vozidla. **Směrová stabilita** je vlastnost vozidla, která vypovídá o schopnosti udržovat směr pohybu vozidla vytýčený řízením i při působení vnějších sil či momentů.



Obr. 9: Blokové schéma řízení automobilu¹⁵

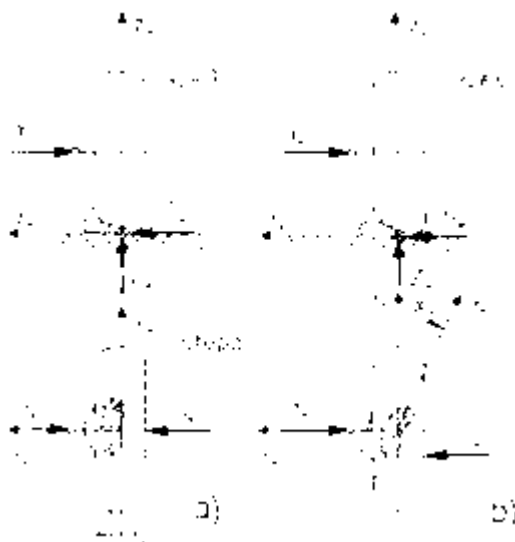
Směrové vlastnosti pneumatik¹⁶

Plocha, ve které se spolu stýkají pneumatika a vozovka, se nazývá stopa. Pokud na kolo nepůsobí žádná **boční síla**, je střední rovina kola totožná s podélnou osou stopy. Pokud ale na kolo působí boční síla, vznikne ve stopě vodorovná boční reakce Y_K , která se nazývá boční vodící síla kola (obr. 10 a). Pokud se ale kolo začne otáčet, pak jeho jednotlivé elementy přijdou do styku s vozovkou v určitém posunutí oproti částem, které se právě vozovky dotýkají. Osa stopy se tím pádem vychýlí o úhel α_K (obr. 10 b)

¹⁴ VLK, F.: Dynamika motorových vozidel str. 265 a násl.

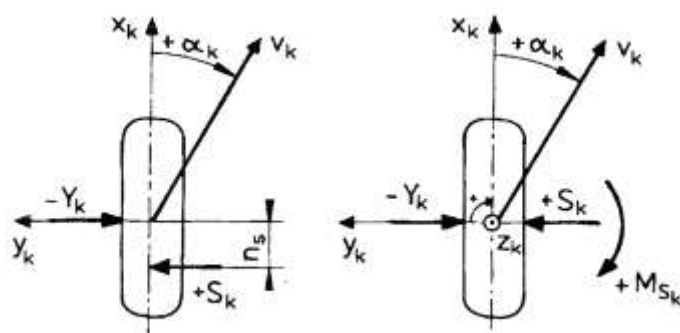
¹⁵ VLK, F.: Automobilová technická příručka str. 31

¹⁶ VLK, F.: Automobilová technická příručka str. 30-33



Obr. 10: Vznik boční síly¹⁷

Pneumatika, která se valí, a zároveň je zatížena boční silou, se tedy nepohybuje ve směru podélné osy kola. Vzniklý úhel mezi vektorem rychlosti pohybu kola v_k a podélnou osou kola x_k se nazýváme úhel směrové úchylky α_k . Pokud se tedy kolo odvaluje s určitou směrovou úchylkou, pak ve stopě vzniknou elementární síly, které vzrůstají vzhledem k zadnímu konci stopy. Boční síla S_k , která je jejich výslednicí, pak neleží ve v ose otáčení kola y_k , ale je posunuta dozadu o tzv. závlek pneumatiky n_s – obr 11. Pokud bychom přeložili boční sílu S_k do příčné osy kola, jak je znázorněno na následujícím obrázku, pak pro zachování výsledných sil, musí na kolo působit ještě moment $M_{SK} = S_k \cdot n_s$. Tento moment svým působením natáčí kolo kolem jeho svislé osy do směru skutečné ho směru valení kola a nazývá se **vratný moment pneumatiky**.

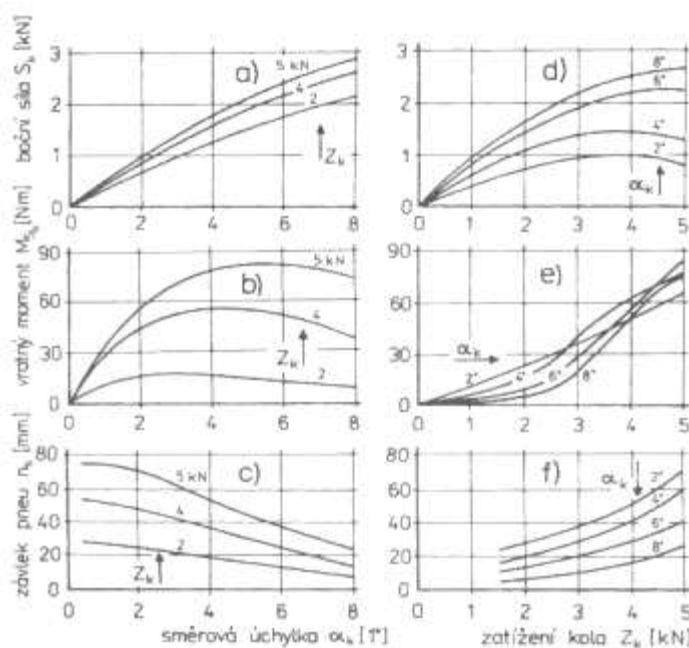


Obr. 11: Vratný moment MSK ¹⁸

¹⁷VLK, F.: Dynamika motorových vozidel str. 270

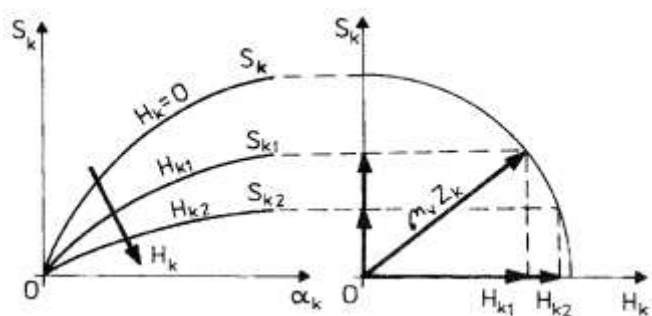
¹⁸VLK, F.: Dynamika motorových vozidel str. 271

Závislost boční vodící síly S_K a vratného momentu M_{SK} na úhlu směrové úchyly kola α_K se zjišťuje experimentálně pomocí válcových stavů nebo pojízdných dynamometrů, které umožňují simulovat různé podmínky provozu pneumatiky – suchý, mokrý povrch atd. Výsledky měření se vynášejí do diagramů, které nazýváme **směrovými charakteristikami pneumatiky**. K těm nejdůležitějším patří diagramy $S_K = f(\alpha_K)$ a $M_{SK} = f(\alpha_K)$ v závislosti na svislém zatížení kola Z_K – obr. 12.



Obr. 12: Směrové charakteristiky pneumatiky¹⁹

Pokud uvažujeme, že je otáčející se kolo zatěžováno vlivem hnací nebo brzdící síly, pak uvažujeme zatížení obvodovou silou a tím pádem klesá velikost boční vodící síly S_K . Za předpokladu stejné přilnavosti μ_V v podélném i příčném směru jsou přenositelné vodorovné síly omezeny kružnicí, jejíž střed je ve středu stopy a poloměr má velikost $\mu_V Z_K$.



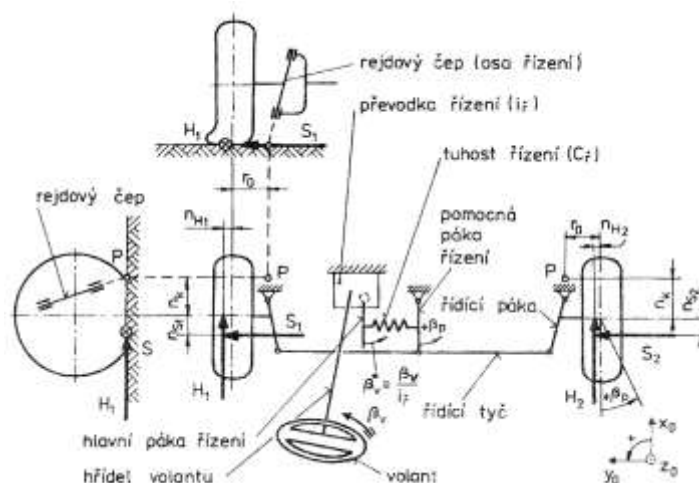
Obr. 13: Vliv obvodové síly na směrové vlastnosti pneumatiky²⁰

¹⁹ VLK, F.: Dynamika motorových vozidel str. 273

²⁰ VLK, F.: Dynamika motorových vozidel str. 276

Model řidicího ústrojí

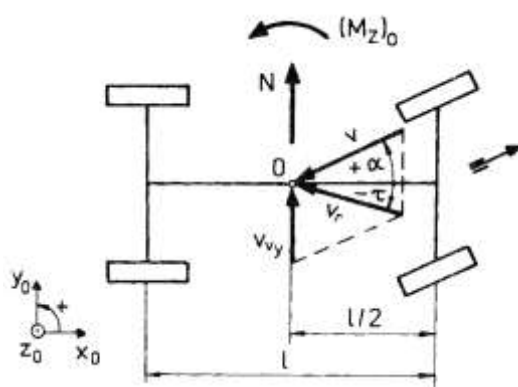
Pro zobecnění se uvažuje stejné úhlové natočení předních kol β_p , když ve skutečnosti není úhel natočení pravého a levého kola totožný. Pro řidiče je totiž důležitějším úhel natočení volantu β_v , protože přímo ovládá volant. Zjednodušené schéma řídicího ústrojí je znázorněno na následujícím obrázku.



Obr. 14: Dynamický model řídicího ústrojí²¹

*Boční vítr*²²

V aerodynamickém tunelu se zjišťuje tzv. součinitel boční vzdušné síly a součinitel stáčivého vzdušného momentu, jejichž hodnoty mají vliv na aerodynamickou stabilitu vozidla. Pro zjišťování se volí jako počátek systému 0 bod v polovině rozvoru ležící na ose vozidla jak je patrné z obrázku 15.



Obr. 15: Boční vzdušná síla N , vzdušný stáčivý moment M_Z a výsledná náporová rychlost v_r vzhledem k bodu O^{23}

²¹VLK, F.: Dynamika motorových vozidel str. 278

²²VLK, F.: Automobilová technická příručka str. 34-36

²³ VLK, F.: *Dynamika motorových vozidel* str. 280

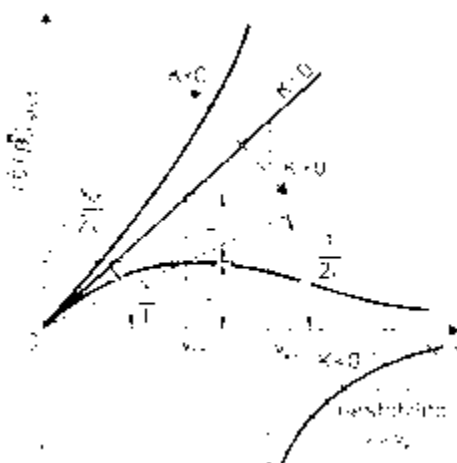
2.4.1 Statická řiditelnost²⁴

Statická řiditelnost automobilu je určena odezvami vozidla na natáčení volantu při jízdě stálou rychlostí $v = \text{konst.}$ po kruhové dráze o stálém poloměru $R = \text{konst.}$ Zvýšíme-li rychlost, změní se dostředivé zrychlení těžiště. Pro dosažení různých hodnot dostředivého zrychlení tedy můžeme ponechat $v = \text{konst.}$ a měnit poloměr R , toto je ovšem méně vhodné pro praktické využití z důvodu potřeby velké zkušební plochy. Při ustálené jízdě po kruhové dráze je tedy pro danou rychlost jízdy $\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}_{stat} = \text{konst.}$, $\dot{\alpha} = \dot{\alpha}_{stat} = \text{konst.}$, platí tedy.

$\dot{\epsilon} = \alpha = 0$. Dostředivé zrychlení těžiště je $\ddot{y}_{stat} = \frac{v^2}{R} = v \cdot \dot{\epsilon}_{stat}$. Statickými odezvami vozidla na natáčení volantu β_V^* jsou tedy veličiny $\dot{\epsilon}_{stat}$, α_{stat} , $\ddot{y}_{stat}$. Z rovnic pro ustálenou jízdu v kruhu při konstantní rychlosti dostaneme statický zisk stáčivé rychlosti, který je poměrem statické odezvy a úhlu natočení volantu.

$$\left(\frac{\dot{\epsilon}}{\beta_V^*}\right)_{stat} = \frac{C_{\alpha P} \cdot C_{\alpha Z} \cdot l}{C_{\alpha P} \cdot C_{\alpha Z} \cdot l^2 + m \cdot (C_{\alpha Z} \cdot l_Z - C_{\alpha P} \cdot l_P) \cdot v^2} v = \frac{v}{l + K \cdot v}, \text{ kde } K \text{ je faktor stability.}$$

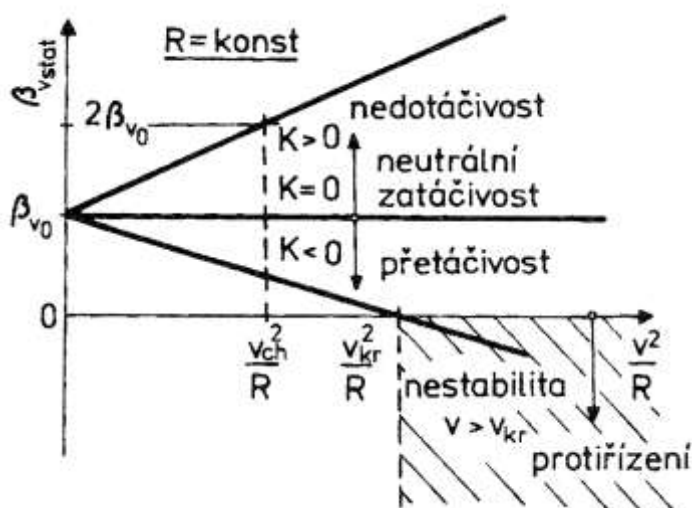
Na základě velikosti faktoru stability $K = m \cdot \frac{C_{\alpha Z} \cdot l_Z - C_{\alpha P} \cdot l_P}{C_{\alpha P} \cdot C_{\alpha Z} \cdot l}$ rozhodneme, jedná-li se o neutrální vozidlo – $K = 0$, je-li $K < 0$ pak se jedná o přetáčivé vozidlo, a v případě $K > 0$ se jedná o vozidlo přetáčivé. Dalším ukazatelem je kritická rychlost v_{kr} , která má smysl pro přetáčivé vozidlo (u nedotáčivých nemá smysl definovat, protože má nekonečně velkou hodnotu) a lze ji vypočítat ze vztahu: $v_{kr}^2 = \frac{l}{-K} = \frac{C_{\alpha P} \cdot C_{\alpha Z} \cdot l^2}{m \cdot (C_{\alpha P} \cdot l_P - C_{\alpha Z} \cdot l_Z)}$. Charakteristiku $f(v) = \left(\frac{\dot{\epsilon}}{\beta_V^*}\right)_{stat}$ nazýváme rychlostní charakteristikou statického zisku stáčivé rychlosti – obr. 16.



Obr. 16: Rychlostní charakteristika statického zisku stáčivé rychlosti.²⁵

²⁴ VLK, F.: Dynamika motorových vozidel str. 290-302

Úhel natočení volantu β_{Vstat} , který je nutný pro dodržení kruhové dráhy při zadané rychlosti je $\beta_{Vstat} = \beta_{V_0} \cdot (1 + \frac{K}{l} \cdot v^2)$ pro nedotáčivé vozidlo platí $\beta_{Vstat} = \beta_{V_0} \cdot [1 + (\frac{v^2}{v_{ch}^2})]$, pro přetáčivé platí $\beta_{Vstat} = \beta_{V_0} \cdot [1 - (\frac{v^2}{v_{ch}^2})]$ a pro neutrální vozidlo platí $\beta_{Vstat} = \beta_{V_0}$. Grafickým znázorněním závislosti úhlu natočení volantu β_{V_0} na dostředivém zrychlení $\ddot{y} = v^2/R$ se nazývá **charakteristika zatáčivosti vozidla** a je znázorněna na následujícím obrázku.



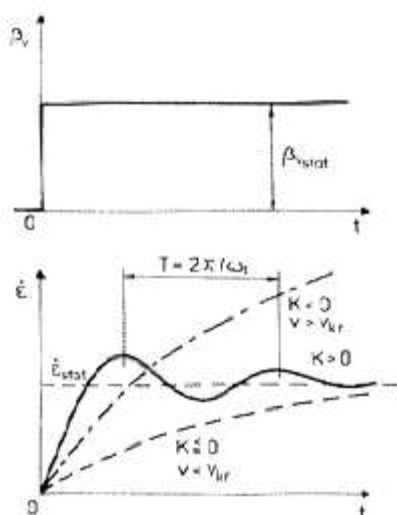
Obr. 17: Charakteristika zatáčivosti²⁶

2.4.2 Dynamická říditelnost

Dynamická říditelnost vozidla je určena vlastnostmi dynamických odezev automobilu na definované řídicí vstupy při konstantní rychlosti jízdy. Faktor stability K lze v tomto případě zapsat ve tvaru $1 + (\frac{v}{v_{ch}})^2 > 0$. Bude-li mít charakteristická rychlost v_{ch} reálnou hodnotu, pak je vozidlo stabilní, vozidlo musí být nedotáčivé, tzn. $K > 0$. Bude-li ale charakteristická rychlost v_{ch} imaginární, pak bude vozidlo stabilní jen do kritické rychlosti v_{kr} , která vznikne jen u přetáčivého vozidla, tzn. pro $K < 0$. Pokud na vstup soustavy přivedeme budící signál, pak výstupní signál nazveme odezvou soustavy. Pokud je zkoumaný systém v okamžiku přivedení skokového signálu v rovnovážném stavu, pak jeho odezvu nazýváme přechodovou funkcí, jejíž grafické znázornění v čase se nazývá přechodová charakteristika. Na následujícím obrázku je znázorněna přechodová charakteristika stáčivé rychlosti neboli tzv. **dynamický zisk**.

²⁵ VLK, F.: *Dynamika motorových vozidel* str. 292

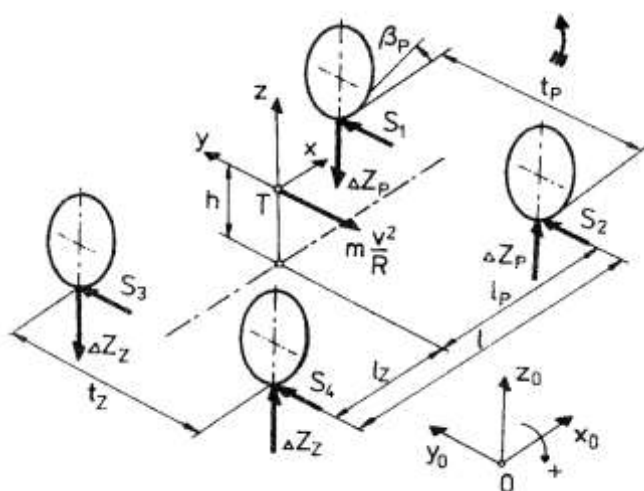
²⁶ VLK, F.: *Dynamika motorových vozidel* str. 294



Obr. 18: Přechodová charakteristika stáčivé rychlosti²⁷

2.4.3 Naklápění vozidla

V předchozích kapitolách bylo naznačeno posuzování říditelnosti vozidla podle tzv. jednostopého modelu vozidla s předpokládaným těžištěm v rovině vozovky. Vozidlo se tedy nemohlo naklápět kolem své podélné osy, což neodpovídá reálným podmínkám. Budeme tedy opět uvažovat průjezd vozidla po kruhové dráze o konstantním poloměru R s konstantní rychlostí v s konstantním naklopením karoserie $\dot{\psi} = \ddot{\psi} = 0$. Pokud se těžiště vozidla nachází ve výšce h nad vozovkou, pak odstředivá síla mv^2/R a boční reakce pneumatik $S_P = S_1 + S_2$ a $S_Z = S_3 + S_4$ vyvolají klopný moment $M = m \cdot \frac{v^2}{R} \cdot h$ kolem podélné osy vozidla – obr. 19.

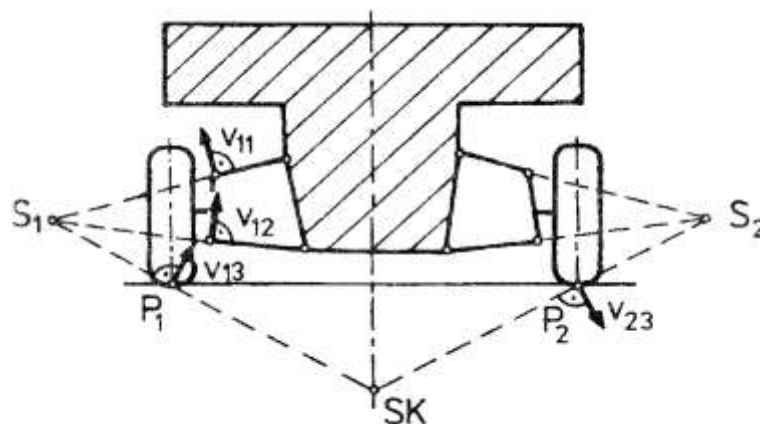


Obr. 19: Boční síly a změny radiálních reakcí vznikající účinkem odstředivé síly²⁸

²⁷ VLK, F.: Automobilová technická příručka str. 42

²⁸ VLK, F.: Dynamika motorových vozidel str. 327

Tento moment naklápí vozidlo, čímž je vyvolávána změna svislého zatížení kol. Zatížení vnitřního předního kola se tedy zmenší o hodnotu ΔZ_P , zatímco zatížení vnějšího předního kola se o tuto hodnotu zvětší. Obdobná situace nastane i na kolech zadní nápravy. Každý pohyb tělesa lze chápat jako otáčení kolem pólu otáčení, jehož grafické nalezení pro lichoběžníkovou nápravu je znázorněno na následujícím obrázku.



Obr. 20: Středky klopení kol a střed klopení karoserie²⁹

Naklápění karoserie tedy chápeme jako její okamžité otáčení kolem okamžitého pólu SK , který se nazývá **střed klopení**. Jeho poloha se mění s příčným sklonem vozovky a náklonem karoserie, pro běžné výpočty však uvažujeme, že se poloha nemění a že SK leží v ose vozidla. Moment, který působí proti naklápění, se nazývá vratný moment nápravy a lze spočítat dle vztahu $M_V = C \cdot \psi$, kde C je klopná tuhost nápravy. Díky vratným momentům a naklápění dochází u vozidel k tzv. samořízení, kdy se kola přední nápravy natáčí kolem svých svislých os.

2.5 HODNOCENÍ OVLADATELNOSTI VOZIDEL³⁰

Pro zjišťování ovladatelnosti vozidla se používají tři základní metody hodnocení:

2.5.1 Čistě subjektivní hodnocení

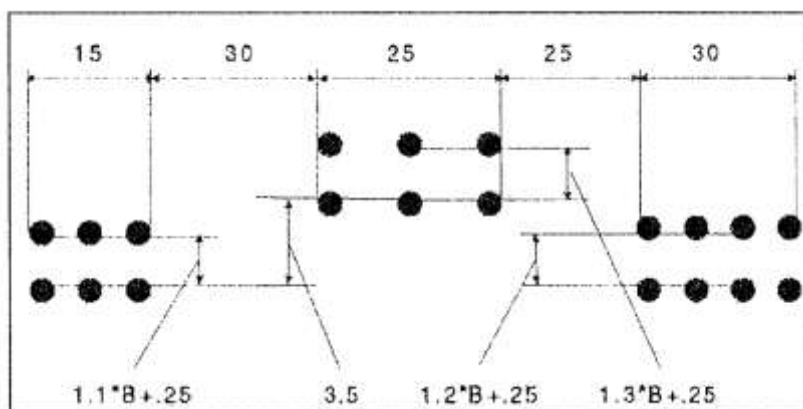
Řidič, který v tomto případě funguje jako „univerzální měřicí přístroj“, posuzuje jízdní vlastnosti vozidla. Metoda tedy není založena na žádném objektivním měření a její reprodukovatelnost a především přesnost je do značné míry omezena.

²⁹ VLK, F.: Dynamika motorových vozidel str. 328

³⁰ VLK, F.: Automobilová technická příručka str. 45-46

2.5.2 Subjektivní zkoušky ovladatelnosti

Vozidlo se zkušebním řidičem se pohybuje po zadané dráze vyznačené například kužely, přičemž z ní nesmí vybočit. Opakovatelnost je tedy alespoň částečně proveditelná a ovladatelnost se vyhodnocuje na základě rychlosti jízdy, vzdálenosti značek atd. Stále však do měření vstupuje vliv řidiče. Ukázkou subjektivní zkoušky může být například předjížděcí manévr podle normy ISO/TR 3888 rozměry zkušební dráhy jsou znázorněny na následujícím obrázku.



Obr. 21: Rozměry zkušební dráhy pro předjížděcí manévr dle ISO/TR 3888³¹

2.5.3 Objektivní zkoušky ovladatelnosti

V tomto případě je již vliv řidiče zcela eliminován, měří se chování samotného vozidla. Vlastnosti vozidla se posuzují podle změřených odezev na definované ovládací úkoly. Opakovatelnost úkonů je zajištěna náhradou řidiče za „řidičí stroj“, který je naprogramován na ovládání volantu, brzd a akcelérátoru. Tyto zkoušky mají také velký význam pro posouzení vlastností celkového systému řidič-vozdlo-okolí. Intenzivně se totiž zjišťuje korelace mezi objektivní a subjektivní ovladatelností, k čemuž se využívají například také jízdní simulátory, jejichž cílem je objasnit chování řidiče v celkovém systému řidič-vozdlo-okolí. K objektivnímu hodnocení se používají především zkušební metody znázorněné na následujícím obrázku.

³¹ VLK, F.: Automobilová technická příručka str. 47

METODY ZKOUŠENÍ OVLADATELNOSTI	
zkouška	směr jízdy
Brzdění při přímé jízdě	
Ustálené zatáčení	
Zatáčení přes ojedinělou nerovnost	
Skokové natočení volantu	
Impulsové natočení volantu	
Harmonické natočení volantu	
Změna hnací síly při zatáčení	
Brzdění při zatáčení	
Citlivost na boční vítr při fixovaném volantu	

Obr. 22: Objektivní metody zkoušení ovladatelnosti³²

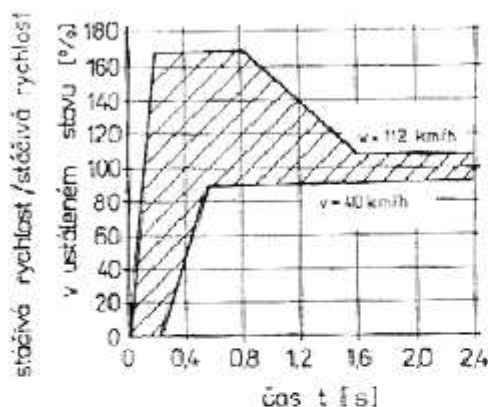
Ukázka kritérií některých zkoušek ovladatelnosti osobních automobilů pro tzv. „bezpečný“ automobil je znázorněna na obr. 30, kde jsou také znázorněny způsoby provádění těchto zkoušek.

³² VLK, F.: Automobilová technická příručka str. 46

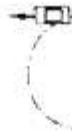
Přechodová odezva stáčívé rychlosti



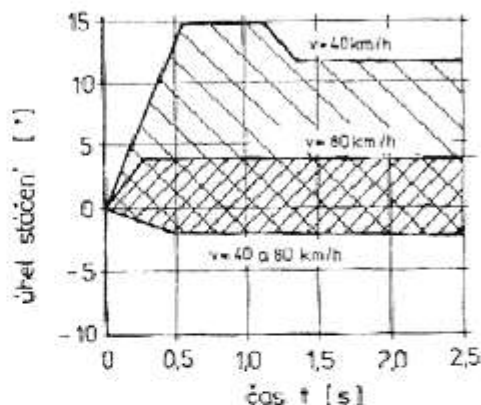
Rychlost vozidla: $v=40$ a 112 [km/h]
 Rychlost natočení volantu: 500 [$^{\circ}$ /s]
 Boční zrychlení $0,4g$
 Poměrná stáčívá rychlost musí ležet uvnitř šrafované oblasti



Uvolnění volantu při zatáčení

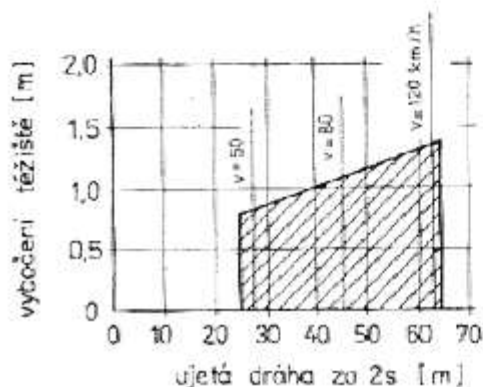


Rychlost vozidla $v=40$ a 80 [km/h]
 Po 2 [s] musí stáčívá rychlost
 být < 1 [$^{\circ}$ /s] pro $v=40$ [km/h]
 < 4 [$^{\circ}$ /s] pro $v=80$ [km/h]
 Boční zrychlení $0,4g$
 Úhel stáčení musí ležet uvnitř šrafované oblasti



Citlivost na boční vítr

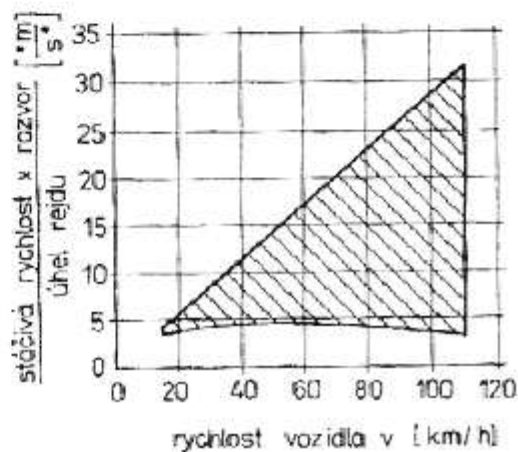
Rychlost jízdy: $v=50$, 80 a 112 [km/h]
 Rychlost bočního větru: $v_w=60$ [km/h]
 V čase 2 [s] po vjezdu do pásma
 bočního větru nesmí boční výchylka
 přesáhnout šrafovanou oblast



Ustálené zatáčení



Maximální boční zrychlení $0,6g$
 Svislé hodnoty nesmí překročit
 šrafovanou oblast



Obr. 23: Kritéria objektivní ovladatelnosti osobních automobilů³³

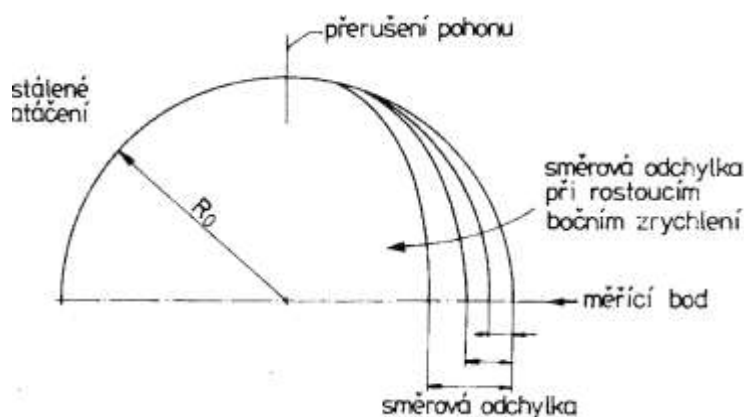
³³ VLK, F.: Automobilová technická příručka str. 48

Ustálená jízda po kruhové dráze konstantní rychlostí

Je jednou s nejstarších metod pro zkoušení ovladatelnosti. Statickou řiditelnost charakterizuje úhel natočení volantu β_V , úhel směrové úchylky těžiště α , úhly směrových úchylek náprav α_P a α_Z , úhel klopení karoserie ψ , a moment na volantu M_V . Statická řiditelnost (přetáčivost nebo nedotáčivost) se posuzuje podle závislosti úhlu natočení na bočním zrychlení.

Změna hnací síly při zatáčení

Tento manévř napodobuje situaci, kdy řidič při průjezdu zatáčky náhle uvolní akcelerační pedál, čímž se přední náprava přitíží a zadní odlehčí a vozidlo se začne natáčet směrem do zatáčky. Ubrání plynu má za následek zmenšení obvodových sil na hnacích kolech, čímž dochází k nárůstu směrové tuhosti nápravy a zmenší se tak její směrová úchylka. Samotná zkouška se provádí tak, že rychlost jízdy, a tím i boční zrychlení, se postupně zvyšuje až do maximální možné hodnoty, přičemž poloměr projížděné dráhy zůstává konstantní.

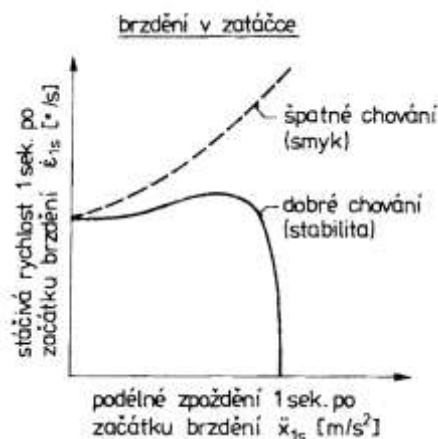


Obr. 24: Jízdní manévř „změna hnací síly při zatáčení“³⁴

Brzdění v zatáčce

Je jedním z nejdůležitějších testů pro aktivní bezpečnost vozidla. Chování při brzdění v zatáčce souvisí s chováním při brzdění v přímé jízdě, pro optimalizaci brzdění v zatáčce musí být totiž brány v potaz předpisy pro brzdění v přímé jízdě. Hodnocení se provádí v čase $t = 1s$ (reakční doba řidiče) po začátku brzdění. Průběh stáčivé rychlosti v závislosti nepodélném zpoždění vozidla vystihuje otáčení vozidla kolem jeho svislé osy a je tedy měřítkem „stáčivé“ stability vozidla.

³⁴ VLK, F.: Dynamika motorových vozidel str. 398



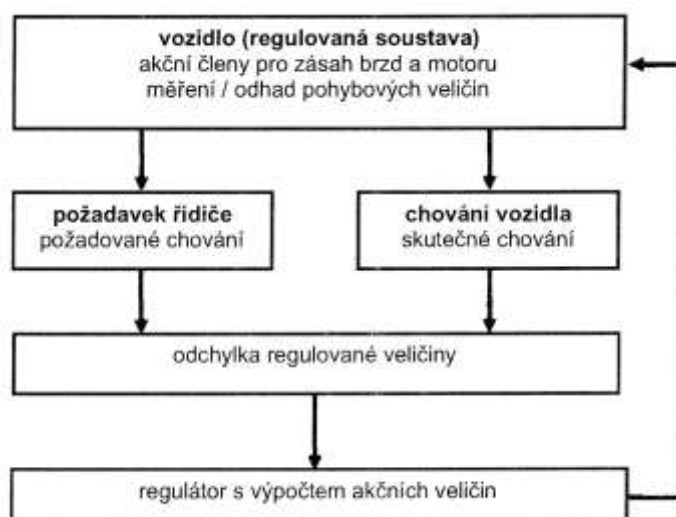
Obr. 25: Charakteristika brzdění v zatáčce³⁵

2.6 ŘÍZENÍ JÍZDNÍ DYNAMIKY

Řízením jízdní dynamiky se zabývá elektronický stabilizační systém (ESP), který je jedním z asistenčních systémů vozidla. Systém pomocí samočinných zásahů do brzd, řízení, či výkonu motoru, kompenzuje nežádoucí pohyb vozidla. V regulačním programu systému je uložen vztah známý z jednostopého modelu vozidla, pro který platí:

$$\left(\frac{\dot{\epsilon}}{\beta_v^*}\right)_{stat} = \frac{v}{l} \cdot \frac{1}{1+K \cdot \frac{v^2}{l}} = \frac{v}{l} \cdot \frac{1}{1+\left(\frac{v}{v_{ch}}\right)^2}, \quad v_{ch}^2 = \frac{l}{K} = \frac{C_{\alpha P} \cdot C_{\alpha Z} \cdot l^2}{m \cdot (C_{\alpha Z} \cdot l_Z - C_{\alpha P} \cdot l_P)}$$

Podrobnější představení systému ESP a vysvětlení principu funkce je provedeno v dalších kapitolách této práce.



Obr. 26 základní blokové schéma regulace jízdní dynamiky³⁶

³⁵ VLK, F.: Dynamika motorových vozidel str. 402

³⁶ VLK, F.: Dynamika motorových vozidel str. 424

3 ASISTENČNÍ SYSTÉMY

Jak již ze samotného názvy vyplývá, hlavní funkcí těchto systémů je pomáhat jak řidiči, tak vozidlu při jízdě. K tomu systémy využívají několik soustav snímačů, které monitorují jak dění v okolí vozidla, tak samotné chování vozidla. Snímače předávají informace do řídicích jednotek jednotlivých systémů, které přijaté signály zpracují a na základě stanovených algoritmů vyhodnotí situaci a vyšlou signál akčním členům systémů. Tendence vývoje systémů je jednoznačně spojena s vývojem použitých snímačů a výpočetní techniky. V současné době jsou již systémy natolik vyspělé, že dovedou vyhodnotit nebezpečnou situaci ještě předtím, než nastane. Jedním z nejznámějších a také nejstarších systémů je protiblokovací systém ABS, který byl představen již v roce 1969. O důležitosti a schopnostech tohoto systému vypovídá také skutečnost, že všechny nové vozidla v Evropské unii musejí být takovým systémem vybaveny. Jelikož existuje již značné množství asistenčních systémů, existuje, také několik způsobů členění těchto systémů. Základním rozdělením je rozdělení na *asistenční systémy řidiče* a *asistenční systémy vozidla*.³⁷

3.1 ASISTENČNÍ SYSTÉMY ŘIDIČE³⁸

Podpora řidiče spočívá v tom, že tyto systémy vyhodnocují situaci a informují o ní řidiče a varují před případným nebezpečím. Řidič tedy má větší přehled o situaci a může tak lépe reagovat na vzniklé situace. Jistou nevýhodou, oproti asistenčním systémům vozidla, však je že tyto systémy pouze informují o situaci a nemají žádný přímý vliv na řízení vozidla. Je tedy pouze na řidiči, jestli bude systém využívat. Mezi typické systémy podporující řidiče patří například:

- *tempomat*
- *navigační systémy GPS,*
- *parkovací systémy APS,*
- *hlasové ovládání obslužných prvků vozidla,*
- *infračervené noční vidění, adaptivní kontrola vzdálenosti ACC,*
- *virtuální zobrazovač HUD,*
- *asistenční systémy udržování jízdního pruhu LDW a mnoho dalších.*

³⁷ VLK, F.: Automobilová elektronika 1str.10

³⁸ VLK, F.: Automobilová elektronika 1str.11

3.2 ASISTENČNÍ SYSTÉMY VOZIDLA³⁹

Tyto systémy působí přímo, nezávisle na vůli řidiče přebírají kontrolu nad vozidlem, pokud si to vzniklá situace vyžádá. Řidič tedy nemusí vůbec jejich činnost rozpoznat a považuje jejich účinky za zcela normální. Jednoznačným požadavkem na tyto systémy je jejich rychlá a především precizní činnost, z tohoto důvodu jsou většinou řízeny pomocí mikropočítačů. Mezi asistenční systémy vozidla tedy patří například:

- *protiblokovací systém ABS,*
- *protiskluzový systém ASR,*
- *elektronický stabilizační systém ESP,*
- *brzdový asistenční systém BA,*
- *elektronická distribuce brzdné síly EBV/EBC,*
- *aktivní stabilizace podvozku AFS,*
- *systém pro automatické nouzové brzdění ABN.*

Další možností, jak lze asistenční systémy vozidla rozdělit je podle stupně automatizace:

- *informující systémy* – poskytují informace, které řidič není sám schopen zachytit, například tlak v pneumatikách,
- *servosystémy* – ulehčují a optimalizují jednání řidiče,
- *automaticky intervenující systémy* – nemusí být iniciovány řidičem, účelem je dorovnávat nedostatečnost řidiče při řízení vozidla, například ESP,
- *automaticky jednající systémy* – musí být iniciovány řidičem, poté provádějí zásahy podle jeho řízení a zadaných požadavků, například ACC.

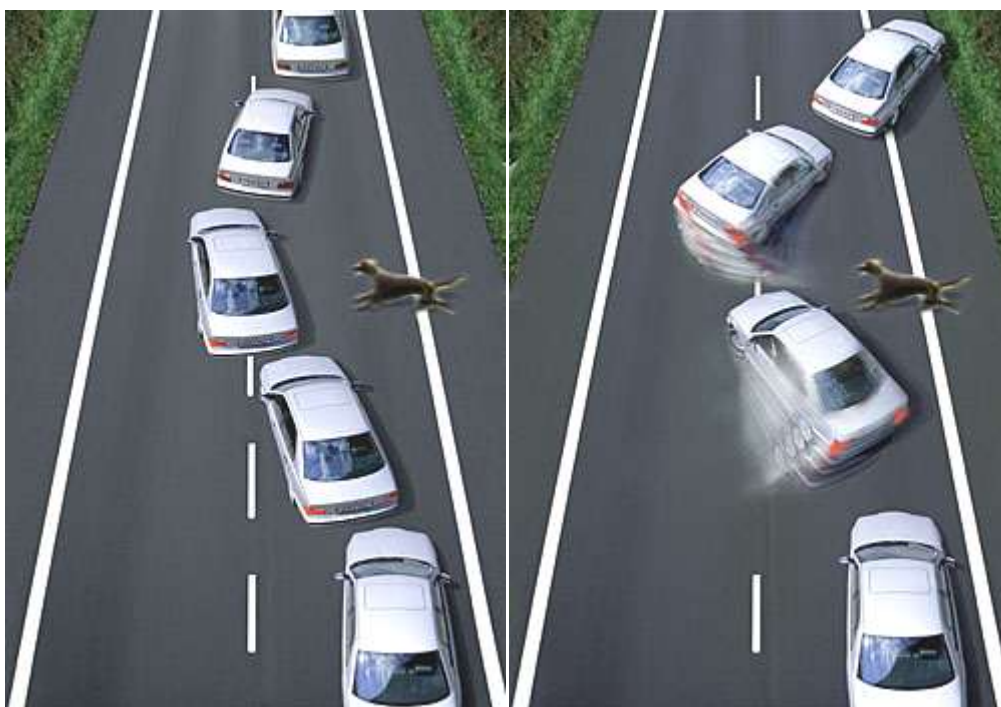
Třetí možností jak lze asistenční systémy vozidla rozdělit je podle způsobu, jakým zasahují do řízení vozidla:

- *navigace* – cílem těchto systémů je dovést řidiče bezpečně v rámci kalkulovaného času na požadované místo – navigační systémy
- *řízení* – systémy asistují při rutinních činnostech, například ACC,
- *stabilizace* – systémy zabraňující smyku, například ABS a ESP.

³⁹ VLK, F.: Automobilová elektronika 1str.11

3.3 PROTIBLOKOVACÍ SYSTÉMY

Systém ABS (z anglického Anti-lock Brake System) je jedním ze základních elektronických stabilizačních systémů vyskytujících se ve vozidle v oblasti aktivní bezpečnosti. Účelem tohoto systému je zamezit blokaci kola při brzdění, čímž je zabráněno ztrátě adheze mezi kolem a vozovkou a následné neovladatelnosti. Pokud je tedy systém ABS ve vozidle funkční, mělo by toto vozidlo zůstat ovladatelné i v případě prudkého brzdění. Odvalující se kolo totiž umožňuje zachování stability, ovladatelnosti a řiditelnosti vozidla v mezních situacích (například při prudkém brzdění nebo brzdění na kluzké vozovce). Zablokované kolo totiž nepřenese žádnou boční sílu a neumožní zatočení.⁴⁰



Obr. 27: Prudké brzdění se systémem ABS (vlevo) a bez něj (vpravo)⁴¹

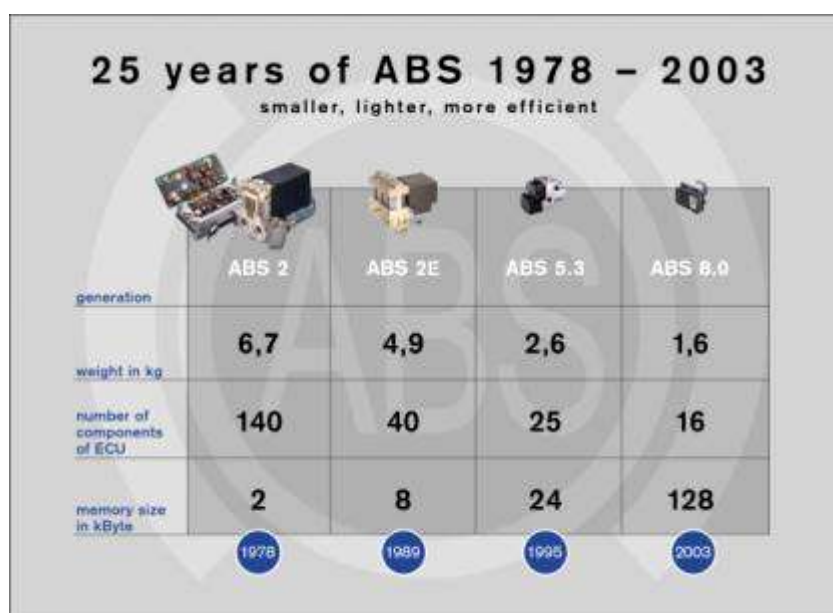
Historie systému ABS, tak jak jej známe v dnešní podobě, se odvíjí od roku 1978, kdy firma BOSCH přišla na trh jako první výrobce s tímto systémem schopným sériové výroby.⁴² Myšlenka zabránit blokaci kol při prudkém brzdění je však ještě starší, první úvahy jak tomuto nežádoucímu jevu zabránit, se totiž objevovaly už na počátku 20. století. Firma BOSCH ohlásila už v roce 1936 první patent na „Zařízení k zabránění silného brzdění kol motorového vozidla“. Elektronické řízení však v té době nebylo na dostatečné úrovni a tak první elektronicky řízený systém s označením ABS1 vyvinula společnost Teldix v roce 1964.

⁴⁰ www.autolexicon.net

⁴¹ www.autolexicon.net

⁴² www.bosch.com

Koncepce tohoto systému se vyskytuje i v dnešních protiblokovacích systémech. Systém vyráběný firmou BOSCH od roku 1978 dostal označení ABS2 a z počátku byl příplatkovou výbavou u luxusnějších vozidel, například u Mercedesu třídy S. Firma BOSCH však systém ABS nadále vyvíjela a vznikly tak další systémy jako ESP či ASR. Jak je patrné z vývojového schématu, které má firma BOSCH na svých stránkách, tendence ve vývoji systému ABS je taková, že jeho zástavové nároky klesají, zatímco schopnosti se neustále zvyšují.



Obr. 28: Vývoj a miniaturizace systému ABS⁴³

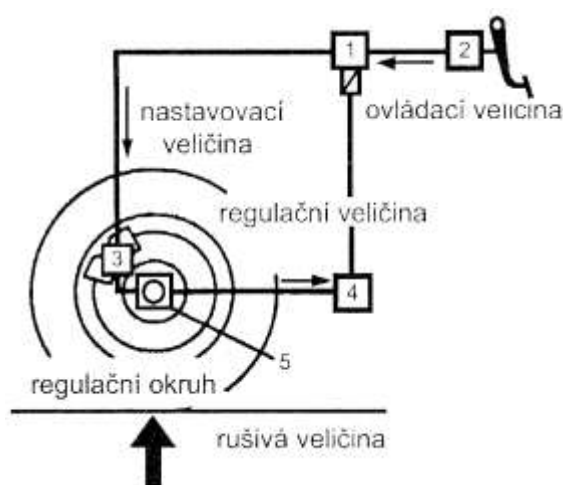
Základní prvky a princip funkce systému ABS⁴⁴

Regulační obvod se skládá ze tří základních komponent a to jak pro kapalinové, tak pro vzduchokapalinové brzdy. Prvním prvkem je **čidlo**, které snímá rychlost otáčení kola, případně pastorku stálého převodu hnané nápravy. Podle počtu snímačů je tedy nejčastější: třísnímačový systém, kdy jsou snímače na obou předních kolech a pastorku stálého převodu zadní nápravy, nebo čtyřsnímačový systém, kdy jsou snímače umístěny na všech kolech. Dalším prvkem je **elektronická řídicí jednotka**, tzv. logický vyhodnocovací člen. V podstatě se jedná o mikropočítač, který pokud rozezná z přijímaných signálů ze snímačů nebezpečí zablokování kol, aktivuje v hydraulické jednotce elektromagnetické ventily příslušného kola. Posledním prvkem je tedy **akční člen** (regulační ventil nebo tzv. modulátor brzdového tlaku), který v závislosti na elektronických signálech z řídicí jednotky mění tlak v brzdovém kolovém válci a tím mění brzdný moment kola.

⁴³ www.bosch.de

⁴⁴ VLK, F.: *Automobilová elektronika* 2 str. 112-115

Regulační okruh ABS se skládá z těchto prvků⁴⁵: *regulačního okruhu* - vozidlo s brzdou, kolo a třecí část (tj. pneumatika – vozovka), *rušivé veličiny* – jízdní poměry, stav brzdy, zatížení vozidla, stav a profil pneumatik atd., *regulátoru* – snímač otáček a řídicí jednotka, *regulační veličiny* – otáčky a z nich odvozené obvodové zpoždění a zároveň zrychlení se skluzem, *řídící veličiny* – tlak na brzdový pedál, řidičem určený brzdový tlak, *nastavovací veličiny* – velikost brzdného tlaku. Regulační okruh vychází ze základních prvků zjednodušené brzdné dráhy jednoho, nepoháněného kola, čtvrtiny hmotnosti vozidla, která je tomuto kolu přiřazena, brzdy kola a idealizované křivky součinitele adheze. Základem regulace jsou signály snímačů otáček kol, ze kterých řídicí jednotka vypočítává: obvodové zrychlení, nebo zpomalení kola, skluz kola, referenční rychlost, zpomalení vozidla.



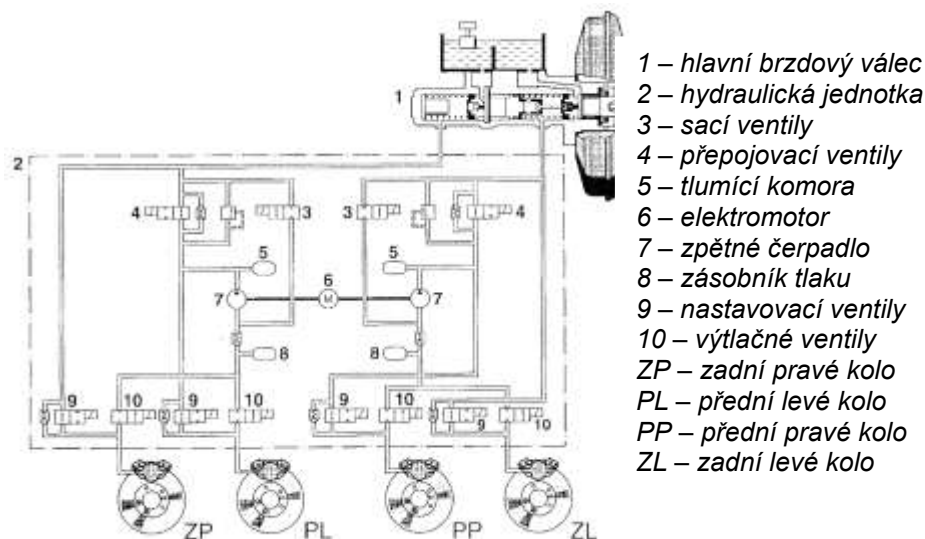
Obr. 29: Protiblokovací regulační systém ABS⁴⁶

Řídicí jednotka vypočítává všechny potřebné veličiny pro regulaci, například z vypočítaných rychlostí jednotlivých kol vytváří skluz kola úměrný referenční rychlosti vozidla. V ideálním případě leží referenční rychlost v blízkosti skluzu s maximální možnou adhezí. V normálních případech se získává pomocná referenční rychlost, která je zvolena z rychlosti nejrychlejšího kola. Z té se pak pomocí derivace podle času dopočítá zrychlení. Podle potřeby pak řídicí jednotka spíná elektromagnetické ventily a dociluje tak zvýšení, udržení nebo snížení tlaku. **Zvýšení tlaku** – elektromagnetický ventil je bez proudu a spojuje hlavní brzdový válec kolovým brzdovým válečkem, tlak v brzdě kola tedy může vzrůstat. **Udržení tlaku** – vinutí elektromagnetického ventilu prochází polovina maximálního přípustného proudu, ventil v tomto případě odděluje hlavní brzdový válec a brzdu kola, ve které tak zůstává konstantní tlak. **Snížení tlaku** – vinutím ventilu prochází maximální proud a

⁴⁵ VLK, F.: Automobilová elektronika 2 str. 112-113

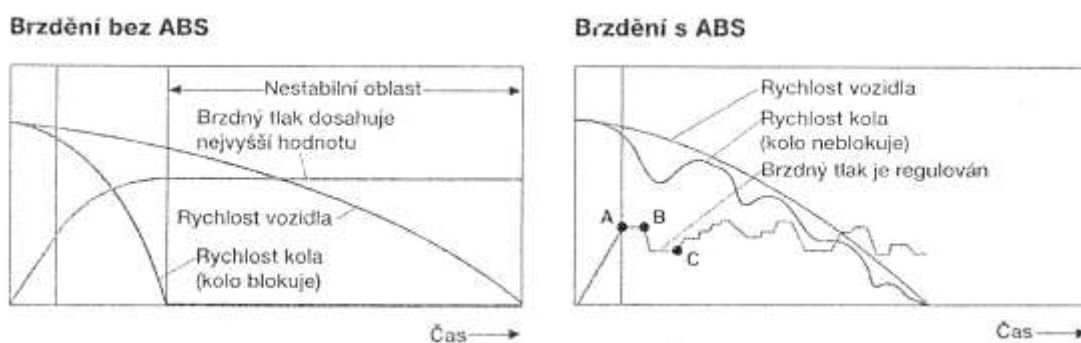
⁴⁶ VLK, F.: Automobilová elektronika 1 str. 120

elektromagnetický ventil odděluje hlavní brzdový válec a spojuje kolový brzdový váleček se zpětným tokem, čímž dochází ke snížení brzdného tlaku u příslušného kola. V této poloze zůstává elektromagnetický ventil až do doby, kdy se kolo začne pohybovat s určitým zrychlením. Poté se elektromagnetický ventil přesune zpátky do poloh „udržení tlaku“ a „zvýšení tlaku“, tím dojde k nárůstu tlaku a celý cyklus se opakuje. Tímto způsobem může být brzdný tlak zvyšován či snižován nejen kontinuálně, ale také stupňovitě taktovým řízením – mírnější zvyšování či snižování tlaku.



Obr. 30: Systém ABS Bosch 5.0⁴⁷

V závislosti na součiniteli adheze vozovky pak dochází k několika cyklům za sekundu. Současné systémy zvládají 12 až 16 cyklů⁴⁸ za sekundu, čímž je zajištěno relativně stálé otáčení kol a ovladatelnost vozidla.



Obr. 31: Porovnání brzdění bez protiblokovacího systému a s protiblokovacím systémem⁴⁹

⁴⁷ VLK, F.: Automobilová elektronika 2 str. 115

⁴⁸ www.autolexicon.net

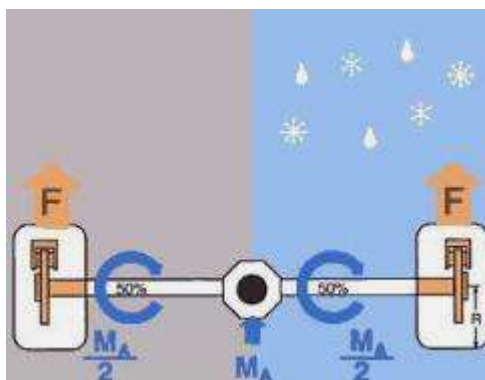
⁴⁹ VLK, F.: Automobilová elektronika 2 str. 113

3.4 SYSTÉM ELEKTRONICKÉ UZÁVĚRKY DIFERENCIÁLU

Použití systému EDS (z německého Elektronische Differentialsperre) je možné pouze v součinnosti se systémy ABS, protože ke své činnosti využívá jejich součásti- snímače a řídicí jednotku. Dojde-li u vozidla k prokluzu hnacích kol, systém pomocí řízeného brzdění rozděluje nerovnoměrně hnací moment na poháněná kola ve prospěch kola s lepší adhezí.⁵⁰

Princip činnosti⁵¹

Zatímco systém ABS dovoluje pootáčení kola, systém EDS působí přesně naopak- pomocí přibrzdování prokluzujícího hnacího kola, zlepšuje jízdu vozidla na vozovce s nestejnými adhezními podmínkami pod pravým a levým hnacím kolem a také snižuje opotřebovávání pneumatik. Pokud jsou adhezní poměry mezi pneumatikou a kolem shodné na obou stranách, působí na obě kola, u poháněné nápravy s diferenciálem, stejně velký krouticí moment M_A . **Na každé kolo tedy připadá 50% celkového hnacího momentu.** Pokud dojde k rozdílné adhezi u kol hnací nápravy, je rozhodující kolo s nižší adhezí. Nápravový diferenciál stále rozděluje hnací moment v poměru 50:50, a pokud jedno kolo nemůže přenést hnací moment, **sníží se velikost přenášeného momentu na obou kolech současně.**



Obr. 32: Rozložení hnacího momentu bez činnosti EDS⁵²

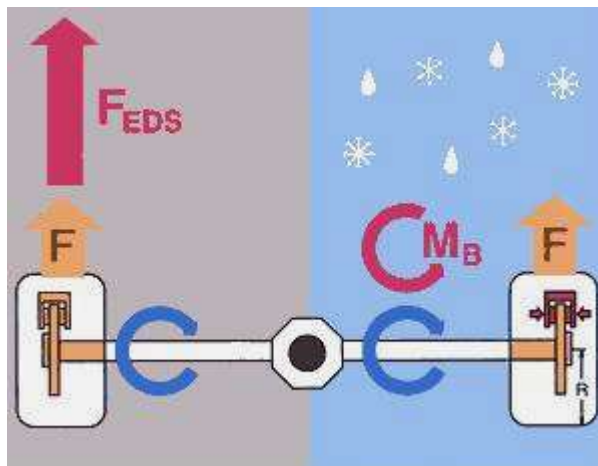
Dojde-li k překročení hranice přilnavosti na jednom kole, kolo se začne protáčet, což za následek menší přenos krouticího momentu. Podle adhezních podmínek může jít dokonce až k nule, například na zimní silnici, kdy jedno kolo zajelo do závěje a automobil se ve stoupání úplně zastavil. 50% z nuly je opět nula, tudíž ani **kolo na lepším povrchu nemůže přenášet sílu a rozjet vozidlo.** Všechny výkon jakoby mizí skrze protáčející se kolo.

⁵⁰ VLK, F.: Automobilová elektronika 2 str. 116-117

⁵¹ www.autolexicon.net

⁵² www.skoda-auto.com

Nyní začíná fungovat systém elektronické uzávěry diferenciálu. Řídicí jednotka **EDS** začne protácející se kolo přibrzďovat, čímž vyvolá brzdný moment M_B , který pomůže dorovnat momentový poměr na nápravě. Nyní díky brzdnému momentu může kolo s vyšší adhezí přenášet sílu na vozovku a nedochází k prokluzu.



Obr. 33: Rozložení hnacího momentu při činnosti EDS⁵³

Předností EDS tak běžný řidič nejvíce využije v zimním období, např. při rozjezdech s jedním kolem na zasněžené krajnici nebo při jízdě do stoupání s jednostranně kluzkou vozovkou. U vozidel s předním pohonem a výkonově slabším motorem může tedy být protiskluzová regulace, pomocí přibrzďování jednoho či obou kol, jakousi formou prosté rozjezdové pomoci. Toto je ovšem možné pouze za předpokladu omezení jak časového, tak rychlostního- pro vozidla s jednou poháněnou nápravou se EDS vypíná při rychlostech nad 40 km/h a u vozidel s pohonem všech kol při rychlostech nad 80 km/h, aby nedošlo k přetížení a přehřátí brzd.⁵⁴

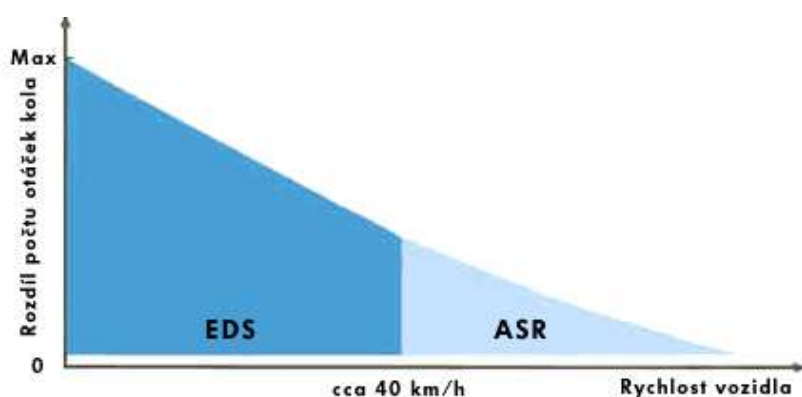
3.5 SYSTÉMY REGULACE PROKLUZU

Protiprokluzový systém ASR (z německého AntriebsSchlupfRegelung případně anglického Anti Skid Regulation) se poprvé ve výbavě automobilů objevil v roce 1986 jako rozšíření systému ABS, s nímž spolupracuje. Cílem systému ASR je zajistit, za podmínky nepřekročení fyzikálních zákonů, stabilitu a řiditelnost vozidla při akceleraci. Systém by měl zabránit prokluzu jednoho či více kol především v těchto situacích: na vozovce se vyskytuje náledí nebo led, vozidlo zrychluje v zatáčce, vozidlo s náhonem předních kol jede do kopce. Systém ASR svou činností napomáhá udržení vozidla pod kontrolou, protože protácející se

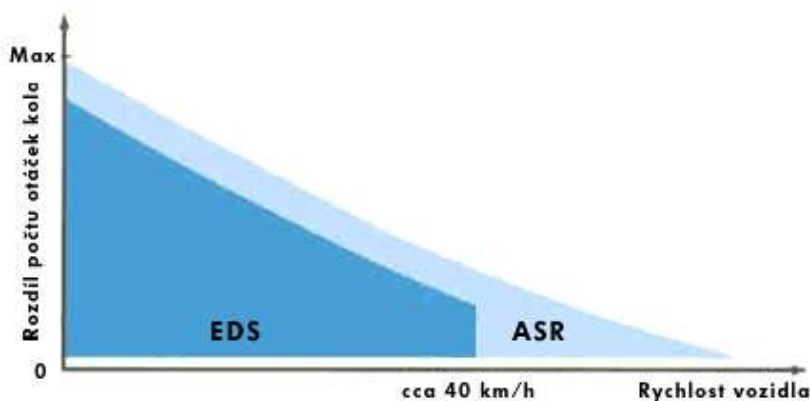
⁵³ www.skoda-auto.com

⁵⁴ VLK, F.: *Automobilová elektronika 2* str. 117-118

kola přenášejí jen velmi malé boční síly a vozidlo se tak stává nestabilním.⁵⁵ Prokluz kol má také negativní vliv na opotřebování pneumatik a hnacího ústrojí, systém ASR snižuje i toto nebezpečí. Cílem systému je samočinný zásah, pokud si to situace vyžádá. Podle prokluzu jednotlivých kol dovede systém rozeznat, jedná-li se o průjezd vozidla zatáčkou nebo prokluzem kola. Oproti mechanickému diferenciálu by tak měl systém zabránit „gumování“ kola při průjezdu zatáčkou. Výhodou vůči systému EDS je schopnost zasáhnout při jakékoliv rychlosti otáčení kola, jak je možné pozorovat z grafů na následujících obrázcích. V případě, že se poháněná kola začnou protáčet, systém ASR sníží točivý moment motoru na hodnotu, kterou jsou kola za daných adhezních podmínek schopna přenést na vozovku, aniž by se protáčela.



Obr. 34: Poháněná přední náprava, rozdíl otáček mezi předními koly⁵⁶



Obr. 35: Poháněná přední n., rozdíl otáček mezi předními koly i mezi koly přední a zadní nápravy⁵⁷

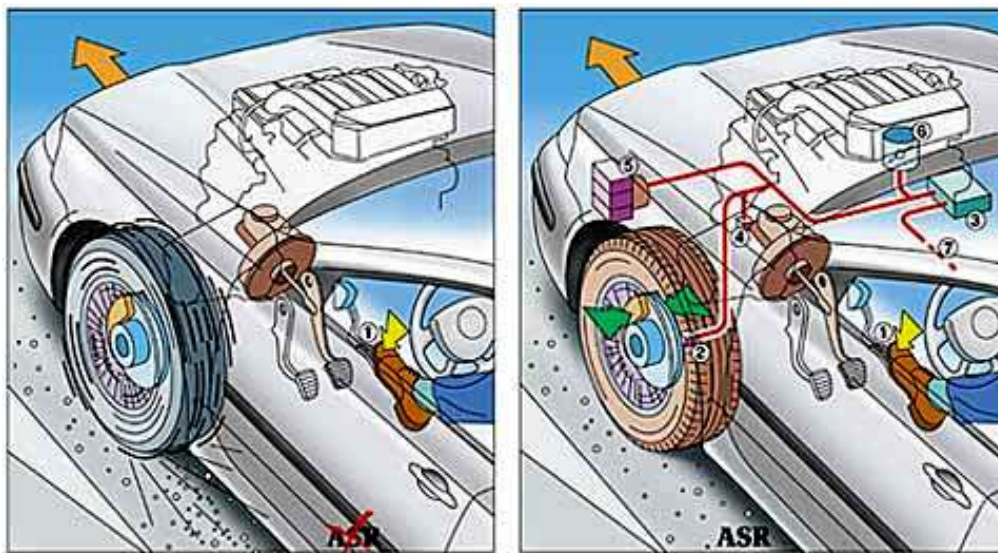
⁵⁵ JAN, Z.; ŽDÁNSKÝ, B.; ČUPERA, J. *Automobily I.: Podvozky* str. 119-127

⁵⁶ www.volkswagen.cz

⁵⁷ www.volkswagen.cz

Princip činnosti⁵⁸

Při akceleraci zvyšuje řidič točivý moment motoru, čímž dochází ke zvyšování hnacího momentu na kolech vozidla. Pokud tento moment nepřekročí maximální přenositelný moment, který vyplývá ze zatížení kola a součinitele adheze, pak vozidlo bez problémů akceleruje. Pokud ale dojde k překročení, pak následuje prokluzování kol spojené se snížením přenositelné hnací síly, ale především se ztrátou boční síly. Kvůli tomu se vozidlo stává nestabilním. Systém ASR snižuje prokluz kol ve zlomku sekundy na nejlepší možnou hodnotu pomocí řízení hnacího momentu M_A , který lze upravit několika způsoby. Zaznamenají-li tedy snímače otáček kol, které jsou společné s ABS, rozdíl mezi otáčkami kol hnací a hnané nápravy, pak řídicí jednotka, která je také společná s ABS, vyhodnotí, že dochází k prokluzu hnacích kol (kola), a vydá pokyn, aby toto kolo bylo přibrzděno. V případě vyšší rychlosti je řídicí jednotkou motoru vydán příkaz ke snížení točivého momentu motoru.⁵⁹ Pro vozidla se zážehovými motory je možno použít: nastavení škrticí klapky, změnu okamžiku zážehu (změna předstihu, potlačení jednotlivého zapalovacího impulsu) nebo potlačení jednotlivých vstřikovacích impulsů (omezení vstřikování benzínu). U vznětových motorů lze požadovaného efektu dosáhnout omezením vstřikovaného množství nafty. Následkem tohoto zásahu se kola přestanou protáčet.



Obr. 36: Funkce systému ASR⁶⁰

⁵⁸ VLK, F.: Automobilová elektronika 2 str. 119

⁵⁹ www.autolexicon.net

⁶⁰ www.autolexicon.net

Pro docílení nezávislého zásahu systému ASR na vůli řidiče akcelarovat je nutno aby bylo místo klasického mechanického spojení pedálu akcelérátoru a škrtkové klapky či regulační tyče vstřikovacího čerpadla použito takzvané „elektronické řízení výkonu motoru“ EMS (z německého Elektronische Motorleistung Steuerung), které se také nazývá elektronický plyn „EGAS“. EMS tedy dostává příkazy přednostně od jednotky ASR namísto vyhodnocení polohy požadované řidičem.

3.6 SYSTÉMY DYNAMICKÉ STABILIZACE VOZIDLA

Při řízením motorového vozidla existují jisté hraniční oblasti, ve kterých je vozidlo velmi těžce ovladatelné a zvyšuje se tak riziko nebezpečí. Mnohdy i velmi zkušený řidič neodhadnou vznik takové situace a může tak dojít, například díky silným pohybům volantu, ke smyku vozidla. Právě v takové situaci by ovšem měly nastoupit asistenční stabilizační systémy, jejichž hlavním úkolem je pomoci řidiči takovou situaci zvládnout.⁶¹ To ovšem jen za podmínky, že je dané vozidlo příslušnými systémy vybaveno. Jednoznačný trend vybavovat vozidla stabilizačními systémy umocnila také Evropská komise, která stanovila stabilizační systémy jako povinnou výbavu všech nových automobilů na území Evropské unie od roku 2012. Podle výzkumů totiž vyplynulo, že takovými systémy je vybaveno přibližně 42% automobilů⁶², přičemž jde v drtivé většině o robustnější, větší a dražší modely.

3.6.1 Historie

Objevení a následovné zavedení systému ESP (z německého Elektronisches Stabilität Program) znamenalo v automobilovém průmyslu obdobný převratný pokrok jako kdysi zavedení systému ABS, ze kterého se vlastně ESP vyvinulo. Nemalou zásluhu na existenci systému ESP má opět firma BOSCH, která se zabývá vývojem těchto a podobných elektronických systémů a také největším výrobcem tohoto systému. Prvním vozidlo, které bylo vybaveno systémem ESP, byl Mercedes E nové generace v roce 1995. Jak tomu však již bývá u většiny novinek zvykem, cena byla pro masivní nasazení příliš vysoká. Paradoxně až nehoda⁶³ švédských novinářů byla popudem pro zavedení systému ESP i do nižších tříd a tak i jeho rozšíření.

⁶¹ JAN, Z.; ŽDÁNSKÝ, B.; ČUPERA, J. *Automobily I.: Podvozky*

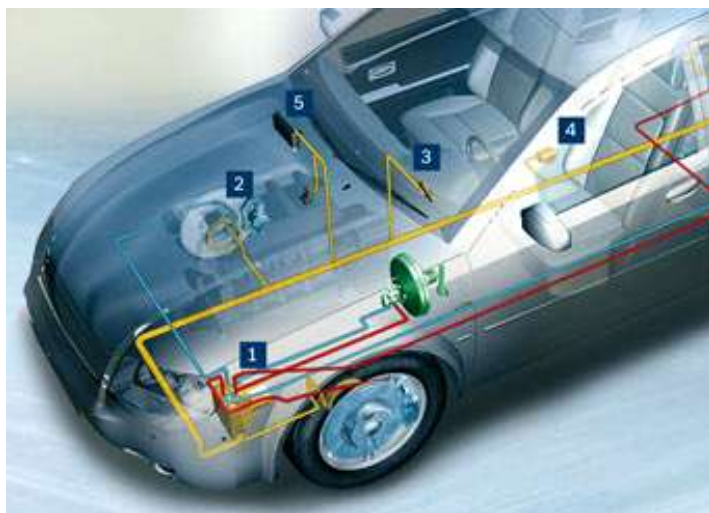
⁶² www.autolexicon.net

⁶³ V roce 1997 při testu nového Mercedesu třídy A si automobil nedokázal poradit s tzv. losím testem a převrátil se, což vzbudilo hodně kritiky. Aby značka Mercedes Benz neztratila svůj kredit, začala vybavovat i tyto levnější modely systémem ESP. – zdroj: www.autolexicon.net

3.6.2 Princip funkce

Systém ESP reguluje dynamiku jízdy a jeho součástí jsou již zmíněné protiblokovací systémy ABS a protiprokluzové systémy ASR. Systémy stabilizace jízdy jsou určitým rozšířením těchto systémů, které dovedou regulovat skluz či prokluz kola pouze v podélném směru pneumatiky. Systém ESP dovede regulovat skluz pneumatiky také v příčném směru. Příliš velký příčný skluz pneumatiky vede ke ztrátě bočního vedení a vybočení vozidla do strany. ESP zvyšuje stabilitu vozidla při průjezdu zatáčkou a zároveň snižuje nebezpečí smyku při brzdění, zrychlení i volném pohybu vozidla. Systém ESP tedy vyžaduje výkonnou regulační elektroniku a snímače.⁶⁴

Systémy ESP využívají pro svou činnost nejen snímače, které jsou využívány systémy ABS a ASR, ale také další snímače: *snímač úhlu natočení volantu* – vyhodnocuje směr jízdy zvolený řidičem, *kombinovaný snímač rychlosti otáčení a příčného zrychlení* – je nejdůležitějším ze snímačů, dodává přesné informace o pohybech vozidla (odchylky od normálního směru, otáčení kolem svislé osy), přičemž zohledňuje fyzikální veličiny, *snímač tlaku brzdové kapaliny* – je důležitý především kvůli požadavku přesného řízení brzdícího tlaku. Základním principem regulace systémů ESP je tedy porovnávání hodnot požadovaných řidičem s hodnotami skutečného chování vozidla⁶⁵.



- 1 Hydroagregát s nastavbovou řídicí jednotkou
- 2 Senzory otáček kola
- 3 Senzor úhlu řízení
- 4 Senzor rychlosti otáčení a příčného zrychlení
- 5 Komunikace s managementem motoru

Obr. 37: Snímače systému ESP⁶⁶

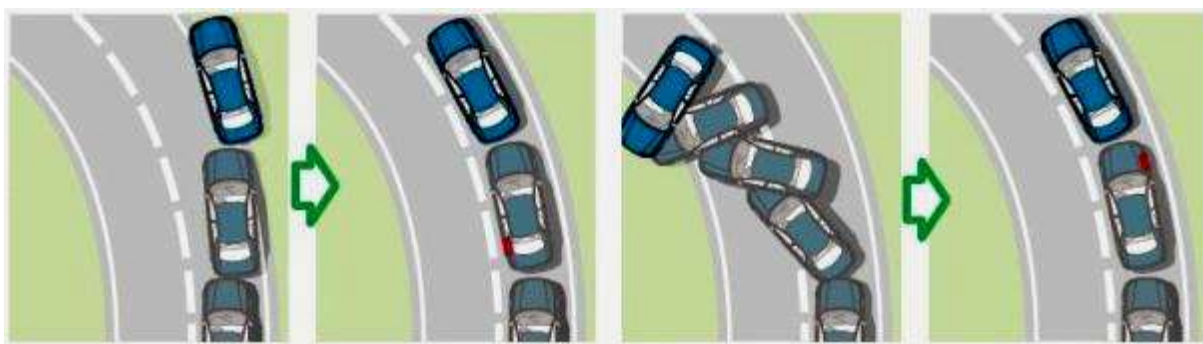
⁶⁴ VLK, F.: Automobilová elektronika 2 str. 127

⁶⁵ JAN, Z.; ŽDÁNSKÝ, B.; ČUPERA, J. Automobily I.: Podvozky str. 125

⁶⁶ www.rb-kwin.bosch.com

3.6.3 Regulace systému

Jízdu vozidla, které se dostalo do smyku, případně mu smyk hrozí, je třeba stabilizovat. Systém ESP, obdobně jako u systémů ABS a ASR, tedy pomocí samočinných zásahů do brzd jednotlivých kol a hnacího momentu motoru stabilizuje jízdu nezávisle na vůli řidiče. Zjistí-li tedy systém pomocí snímačů příčně dynamický kritický stav vozidla, přibrzdí příslušná kola, čímž dojde k vytvoření točivého momentu kolem svislé osy vozidla, který pak kompenzuje neotáčivý, či přetáčivý pohyb vozidla. V praxi tedy systém při vyhodnocení krizové situace provádí například: u *nedotáčivého vozidla* při vyhodnocení smyku systém přibrzdí zadní kolo na vnitřní straně zatáčky. V opačném případě, tedy při průjezdu *přetáčivého vozidla* zatáčkou, systém ESP přibrzdí kolo na vnější straně zatáčky.



Obr. 38: Průjezd nedotáčivého a přetáčivého vozidla zatáčkou se systémem ESP a bez něj⁶⁷

Pokud systém ESP vyhodnotí korekci pomocí přibrzdění kol jako nedostatečnou, pak vydá obdobně jako systém ASR, informaci řídicí jednotce motoru o kolik a na jakou dobu je potřeba snížit hnací moment motoru⁶⁸. Je-li vozidlo vybaveno automatickou převodovkou, má systém ESP další možnost, jak nežádoucí situaci korigovat. Řídicí systém také současně sleduje řidičovu reakci na vzniklou situaci, podle níž pak reaguje signály, které jsou vysílány ostatním jednotkám.

Jako ukázka může sloužit také situace z provozu, kdy se řidič musí náhle vyhnout překážce ve svém jízdním pruhu a zařadit se zpět do jízdního pruhu. Řidič, ve snaze vyhnout se předmětu na vozovce, nejprve trhne volantem prudce doleva a následně prudce doprava. Předpokládejme, že podmínky provedení jsou dostatečné pro vznik smyku a vozidlo není vybaveno žádným stabilizačním systémem. V tom případě se provedením popsaného manévru zadní část vozu pohybuje rychleji a vozidlo se dostane do smyku, začne se otáčet kolem své svislé osy a pro řidiče se stává neovladatelné.

⁶⁷ www.autolexicon.net

⁶⁸ VLK, F.: *Automobilová elektronika* 2 str. 128



Obr. 39: Vyhýbací manévr vozidla bez systému ESP⁶⁹

Nyní porovnejme, jak by celá situace vypadala, kdyby bylo totéž vozidlo za stejných podmínek vybaveno systémem ESP. Řidič tedy opět prudce stočí volant doleva ve snaze vyhnout se překážce. Systém ESP nyní díky signálům ze snímačů vyhodnotí, že vozidlo se dostává do nestabilního stavu a začíná zasahovat. Nejprve podpoří řidičovu snahu zatočit vozidlo přibrzděním levého zadního kola. Zatímco vůz ještě zatačí doleva, strhává řidič volant doprava s cílem navrátit vozidlo do původního směru. ESP opět vyhodnotí signály a podpoří řidičovu snahu zatočit doprava. Zadní kola se otáčejí volně, a tím zajišťují vytvoření optimální stranové vodivé síly. Aby se zabránilo vybočení zadní části vozu při navracení se zpět do původního jízdního pruhu, přibrzdí ESP levé přední kolo. Pokud by to zvláště kritická situace vyžadovala, může dojít až k úplné blokaci kola, aby došlo k omezení boční vodivé síly na přední nápravě. Po ukončení všech nestabilních stavů ukončuje ESP svoji činnost.



Obr. 40: Fáze vyhýbacího manévru vozidla se systémem ESP⁷⁰

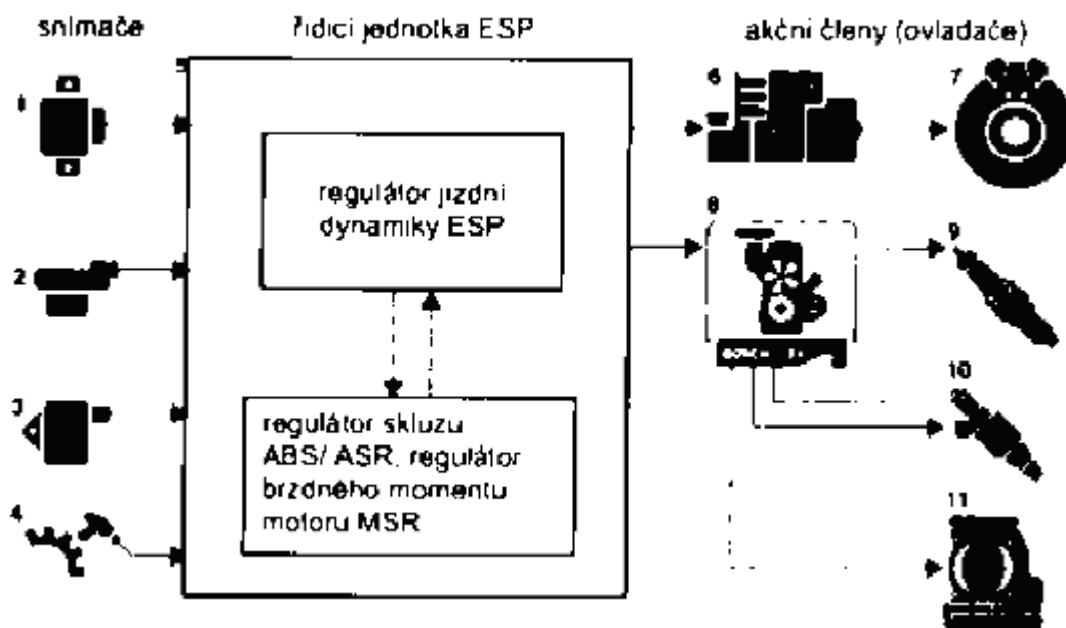
Systém ESP tedy aktivně podporuje řidiče při řízení v kritických situacích, kdy na vozidlo působí boční síly. Dále zvyšuje jízdní stabilitu, udržováním jízdní stopy a směru jízdy za všech jízdních stavů, například: plné a částečné brzdění, brzdění motorem, volné popojíždění, uvolnění akceleračního pedálu atd. Systém také zvyšuje jízdní stabilitu v mezních oblastech – extrémní manévry, reakce z paniky a strachu, čímž významně snižuje nebezpečí smyku.

⁶⁹ www.autolexicon.net

⁷⁰ www.autolexicon.net

3.6.4 Části systému ESP

Obecně lze součásti systému ESP rozdělit na tři základní celky: *snímače* - sloužící k určení vstupních veličin regulace, *řídící jednotka ESP* – která obsahuje regulátor jízdní dynamiky a podřazené regulátory skluzu a *akční členy (ovladače)* – které slouží k ovlivňování bočních, brzdných a hnacích sil. Toto uspořádání je patrné ze schématu na obrázku číslo.



Obr. 41 Schéma systému ESP⁷¹

1 – snímač stáчивé rychlosti se snímačem bočního zrychlení; 2 – snímač úhlu natočení volantu; 3 - snímač neregulovaného brzdného tlaku; 4 – snímače otáček kol; 5 - řídící jednotka ESP; 6 – hydraulická jednotka; 7 - brzdy; 8 – řídící jednotka motoru; 9 – úhel zážehu; 10 - vstřikování paliva; 11 – škrťací klapka

Snímače systému ESP

Aby mohl systém ESP správně vyhodnocovat situaci, disponuje několika snímači, jejich úkolem je dodávat informace o požadavcích řidiče a o skutečném chování a pohybu vozidla. Požadavky řidiče se vyhodnocují podle signálů z následujících tří součástí, které registrují řidičovy požadavky: *systém řízení motoru* – například ovládání akceleračního pedálu, *snímač neregulovaného brzdového tlaku* – například ovládání brzdového pedálu, *snímač úhlu natáčení volantu*. Informace o skutečném pohybu vozidla pak dodávají: *snímače rychlosti otáčení kol*, které jsou umístěny na všech kolech vozidla, *snímač stáчивé rychlosti a bočního zrychlení*.

⁷¹ VLK, F.: Dynamika motorových vozidel str. 426

Regulační obvod systému ESP má tedy k dispozici měřené veličiny: stáčivá rychlost, úhel natočení a boční zrychlení, dále odhadované veličiny: podélná rychlost vozidla, podélné síly pneumatik a hodnoty skluzu pneumatik. Z těchto hodnot se poté určují: boční síly na kole, úhly směrových úchylek kol, úhel směrové úchylny těžiště a příčná rychlost vozidla. Požadované hodnoty pro úhel směrové úchylny těžiště a pro stáčivou rychlost se určují podle hodnot, které jsou zadávány řidičem: úhel natočení volantu, poloha akceleračního pedálu a síla působící na brzdový pedál, ale také z hodnot, které jej mohou ovlivňovat: odhadnutá rychlost vozidla a součinitel přilnavosti, který se určuje z odhadované hodnoty podélného zrychlení a měřené hodnoty bočního zrychlení.⁷² Systémy elektronické stabilizace, však v počátcích nedisponovaly možností zasahovat do řízení vozidla. Změna nastala se systémy ESP II. generace.

3.6.5 Systémy ESP II

Systém ESP, který vzešel ze systémů protiblokovacích a protikluzových, znamenal revoluci z pohledu regulace parametrů podílejících se přímo na aktivní bezpečnosti. Princip jeho činnosti a regulace byl popsán již v předchozích kapitolách. I když je algoritmus systému, pomocí něhož je vyhodnocováno nebezpečí a jsou voleny kroky k odvrácení nežádoucího stavu, obecně dostatečný, stále se vyskytuje lidský faktor, tedy řidič, který může svým jednáním výrazně negativně ovlivnit celou funkci systému. Chování a reakce řidiče fungují v algoritmu jako neznámá. Normální chování člověka, je možné obecně matematicky popsat, ovšem reakce na kritické situace je velmi různorodá a její matematické vyjádření by bylo jen velmi obtížné, ne-li nemožné. Mnoho řidičů totiž na krizovou situaci, kterou by systém ESP dokázal vyřešit bez nutnosti korekce řízení, reaguje změnou v řízení proti domnělému smyku. Systém ESP však reaguje na požadavek směru jízdy, který je zadávám právě řidičem, podle kterého jsou vytvářeny brzděné síly na příslušných kolech atd. Bylo tedy nutno vyvinout další prvky, na podporu systému ESP, které zvládají další činnosti jako: *zásah do řízení vozidla, změna útlumové charakteristiky v odpružení* a další korekce pro stabilizaci vozidla. Pokud tedy máme k dispozici tyto prvky, můžeme je označit jako ESP II. Pojem druhá generace ESP je však pouze smluvní, protože výrobci používají řadu interních označení pro obdobné systémy vlastní konstrukce (následující tabulka).⁷³

⁷² VLK, F.: Automobilová elektronika 2 str. 132

⁷³ JAN, Z.; ŽDÁNSKÝ, B.; ČUPERA, J. Automobily I.: Podvozky str. 126

Tabulka 1 Elektronické systémy jízdní stability⁷⁴

Zkratka	Celé označení	Automobilka používající systém
ESP	Electronic Stability Program	Audi, Škoda, VW, Seat, Daimler - Chrysler, Citroën, Dodge, Fiat, Ford, Hyundai, Jeep, KIA, Opel, Peugeot, Renault, Saab, Suzuki
ESC	Electronic Stability Control	Honda
VDC	Vehicle Dynamic Control	Fiat, Alfa Romeo, Hyundai, Infiniti, Nissan
DSC	Dynamic Stability Control	BMW, Ford, Jaguar, Land Rover, Mazda, Rover, Mini
VSC	Vehicle Stability Control	Toyota
VDIM	Vehicle Dynamics Integrated Management	Lexus
VDCS	Vehicle Dynamics Control Systém	Subaru
DSTC	Dynamic Stability and Traction Control	Volvo
StabiliTrak		General Motors
RSC	Roll Stability Control	Ford
CST	Controllo Stabilità	Ferrari
MSP	Masserati Stability Program	Masserati
PSM	Porsche Stability Management	Porsche
PCS	Precision Control Systém	Oldsmobile
Multimode	Active Skid and Traction Systém	Mitsubishi
AdvanceTrac		Mercury, Lincoln
VSA	Vehicle Stability Assist	Hyundai, Acura

Zásadním rozdílem oproti první generaci je tedy možnost provádět korekce řízení. Toto je ovšem možné pouze při použití vhodných elektrických aktuátorů, protože jejich reakční doba je dostatečně nízká a pohybuje se v řádu milisekund. Použití jiných způsobů přenosu energie (pneumatické, hydraulické) nedisponuje dostatečnou reakční dobou.

U řízení není možno provádět korekce vysoce dynamicky, je nutno uvažovat, že další regulačním zásahem může být opět brzdění, či změna útlumové charakteristiky. Je tedy nutná co nejdokonalější synchronizace všech prvků v rámci systému ESP II. Ve stručnosti je při aktivním řízení využíván elektromotor pro ovládání korunového kola planetové převodovky vložené mezi hřídel volantu a spojovací tyč ve směru k převodce řízení. Těchto pokročilých funkcí stabilizačních systémů je dosaženo nejen díky rostoucím schopnostem mikroprocesorů, ale také díky dostatečně rychlému přenosu dat mezi jednotlivými prvky systému, která je umožněna především díky sběrnici CAN⁷⁵.

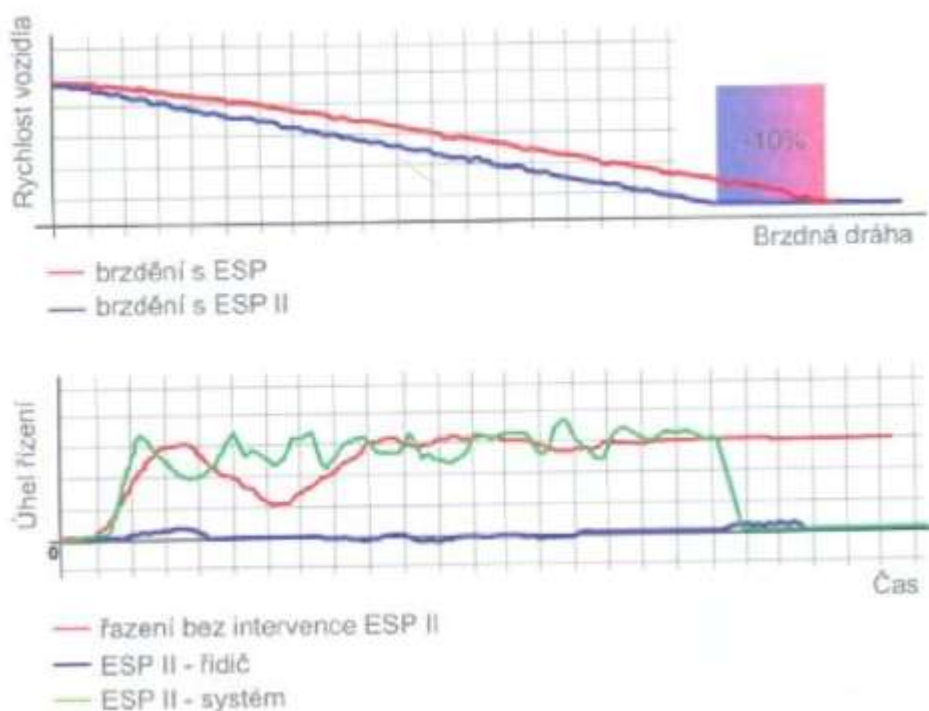
Systém ESP II. řady tedy rozvíjí funkce systémů první generace, například u mnohačetného vyhýbání (slalomu) se u systémů první generace vyskytovala časová

⁷⁴ JAN, Z.; ŽDÁNSKÝ, B.; ČUPERA, J. *Automobily I.: Podvozky* str. 127

⁷⁵ JAN, Z.; ŽDÁNSKÝ, B.; ČUPERA, J. *Automobily I.: Podvozky* str. 127 -130

fluktuace, jejímž důsledkem byl vyšší požadavek na regulaci, než by byl ve skutečnosti potřeba.

Systém ESP II díky korekci řízení tuto nevýhodu eliminuje. Další funkcí je i potlačení nedotáčivosti či přetáčivosti v případě průjezdu zatáčkou na kluzkém povrchu a náhlého zvýšení adheze. Konstrukce a uspořádání systémů vychází z dříve navržených soustav, jejich pozdější zavedení je následkem vysokých požadavků na elektronickou regulaci.



Obr. 42: Rozdíly mezi generacemi ESP při brzdění na povrchu s různým součinitelem adheze⁷⁶

Jak již bylo zmíněno „elektronický stabilizační systém dokáže rozpoznat, že se vozidlo dostává do nestabilního stavu a jeho řídicí jednotka na základě signálů získaných od snímačů vyše instrukce pro akční členy, které vhodným způsobem ovlivní směrové chování vozidla a v konečném důsledku odvrátí kritickou situaci. Zvýšení aktivní bezpečnosti a snížení možnosti vzniku nehody je při využití elektronického stabilizačního systému z výše uvedených kapitol zřejmé. Nicméně si je však třeba uvědomit, že žádný stabilizační systém nedokáže překonat fyzikální zákony, a pokud řidič nebude svým chováním respektovat možnosti konstrukce podvozku i asistenčního systému vozidla, silniční nehodě neunikne.⁷⁷“

⁷⁶ JAN, Z.; ŽDÁNSKÝ, B.; ČUPERA, J. *Automobily I.: Podvozky* str. 129

⁷⁷ PANÁČEK, V.: *Vybrané asistenční systémy vozidel*. In *Konference Junior Forensic Science Brno'10*.

4 SNÍMAČE SYSTÉMU ESP

Při regulaci jízdní dynamiky se vyhodnocují jak příkazy řidiče, tak specifické vlastnosti dynamiky vozidla a zvláštní situace – příčný sklon vozovky, rozdílná adheze vozovky μ -split. Regulátor reaguje na obě stavové veličiny – stáčivou rychlost a úhel směrové úchylky těžiště, vypočítává stáčivý moment, který je potřebný pro přizpůsobení skutečných veličin na požadované. Základem regulačního programu je maximální možné příčné zrychlení a další dynamicky důležité veličiny, jejichž hodnoty se pro každý automobil získávají při zkoušce „ustálená jízda v kruhu“. Zjištěná souvislost mezi úhlem natočení volantu a stáčivou rychlostí tvoří základ pro požadovaný pohyb vozidla pro jízdu konstantní rychlostí i pro brzdění či zrychlení. Tato souvislost je v programu uložena jako tzv. jednostopý model.⁷⁸

Aby mohl regulátor jízdní dynamiky správně vykonávat svou práci, musí získávat data ze všech snímačů systému, kterým je věnována následující část této práce.

4.1 SNÍMAČ OTÁČEK KOLA⁷⁹

Snímače ptáček kola se skládá ze dvou částí – snímací kolík umístěný většinou na otočném čepu kola a impulsní kolo, které je pevně spojeno ve většině případů s nábojem kola, případně může být pro speciální konstrukce umístěno v rozvodovce. Podle způsobu provedení impulsního kola a umístění snímače dělíme snímače na radiální a axiální.



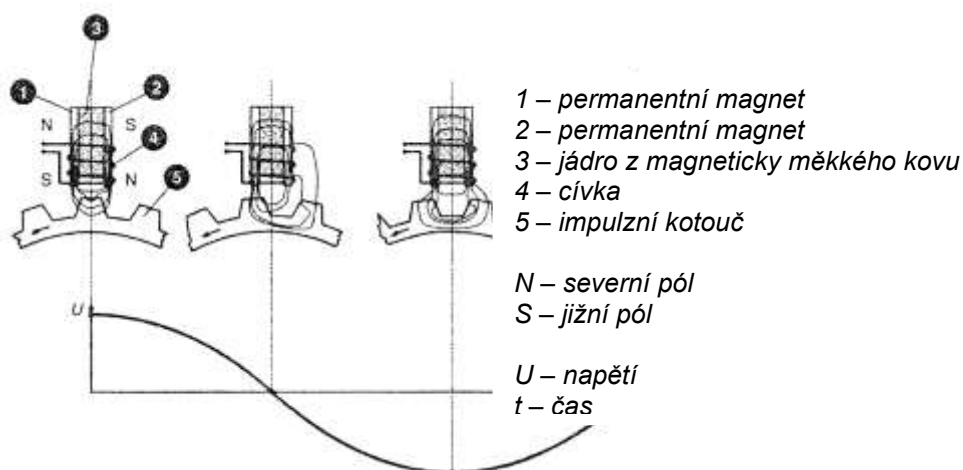
Obr. 43: Tvary pólového kolíku a způsoby umístění snímače⁸⁰

⁷⁸ VLK, F.: Automobilová elektronika 1 str. 151

⁷⁹ VLK, F.: Automobilová elektronika 1 str. 129-131

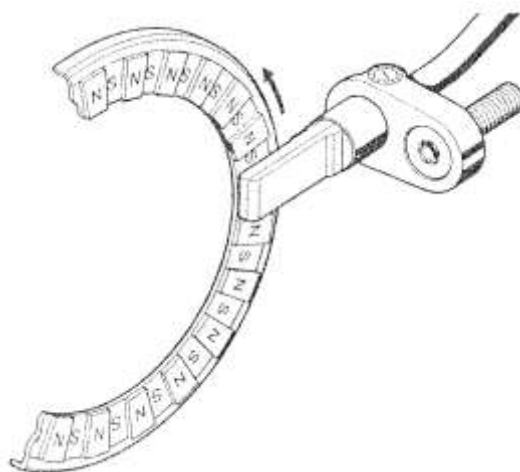
⁸⁰ JAN, Z.; ŽDÁNSKÝ, B.; ČUPERA, J. *Automobily I.: Podvozky* str. 113

Podle způsobu snímání lze snímače rozdělit na pasivní a aktivní. **Pasivní snímače** otáček kola se skládají z permanentního magnetu ovinutého cívkou. Impulsní kolo má tvar ozubeného kola, tím pádem se, v poloze proti snímači, při jeho otáčení střídají zub a zubová mezera. Zuby kola jsou vyrobeny z feromagnetického materiálu, což má za následek magnetickou indukci a ovlivnění magnetického toku. Tímto vzniká střídavé napětí s frekvencí přímo úměrnou rychlosti otáčení kola. Elektronický regulátor pak toto napětí vyhodnotí.



Obr. 44: Způsob funkce indukčního snímače otáček kola⁸¹

V současnosti jsou však již ve větší míře využívány tzv. magnetorezistenční, nebo také **aktivní snímače** otáček kol, jejichž předností oproti indukčně pracujícím snímačům je jejich schopnost snímat otáčky od klidového stavu. Toto má význam např. u protiprokluzových regulačních systémů při rozjezdu vozidla.



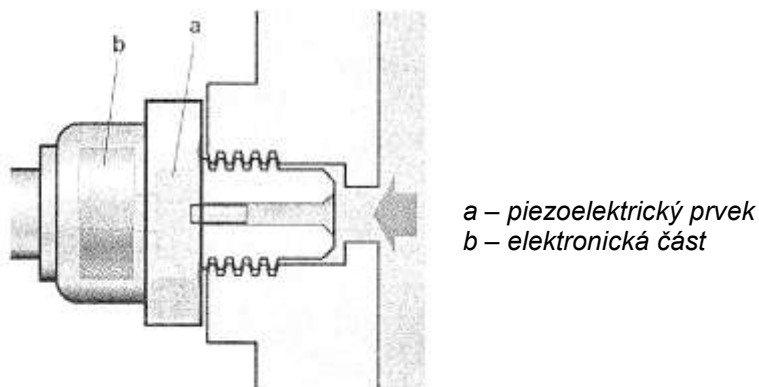
Obr. 45: Magnetorezistenční snímač otáček⁸²

⁸¹ VLK, F.: *automobilová elektronika* 1 str. 130

⁸² VLK, F.: *automobilová elektronika* 2 str. 116

4.2 SNÍMAČ NEREGULOVANÉHO BRZDNÉHO TLAKU

Základem tohoto snímače je piezoelektrický prvek, na který působí tlak brzdové kapaliny a elektronické část snímače. Působením tlaku kapaliny dojde v prvku ke změně rozdělení elektrického náboje, které je v případě nulového zatížení rovnoměrné. Přesunem náboje vznikne elektrické napětí, které je elektronickou částí systému zesíleno a přeměněno na signál vyslaný do řídicích jednotek stabilizačních systémů.



Obr. 46: Snímač brzdného tlaku⁸³

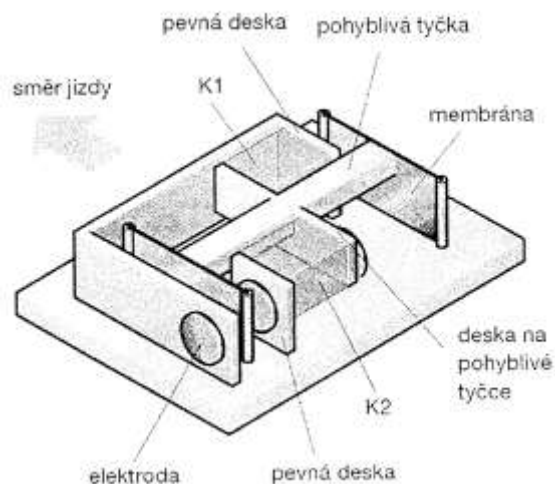
Pomocí tohoto snímače je tedy řídicí jednotka systému ESP informována o aktuálním tlaku v brzdovém systému, ze kterého pak vypočítává brzdnou sílu kol, a tím i podélné a boční síly působící na vozidlo. Snímač tlaku je fyzicky umístěn v hydraulické jednotce systému.

4.3 SNÍMAČ PŘÍČNÉHO ZRYCHLENÍ⁸⁴

Pro správnou regulaci jízdní dynamiky, musí systém ESP znát aktuální hodnotu příčného zrychlení. Pro měření lze využít **kapacitní snímač** se dvěma sériově zapojenými kondenzátory. Kondenzátory tvoří dvě pevné desky a jedna pohyblivá deska, která je pevně spojena s pohyblivou tyčí. Pohybující se tyč, která se vlivem setrvačné hmoty vychýlí do opačného směru, než působí zrychlení, tedy způsobí změnu polohy desek kondenzátorů a tím pádem i jejich kapacity. Na elektrodách se měří kapacity obou kondenzátorů, které se vzájemně porovnávají. Nepůsobí-li žádné příčné zrychlení, pak jsou kapacity obou kondenzátorů stejné.

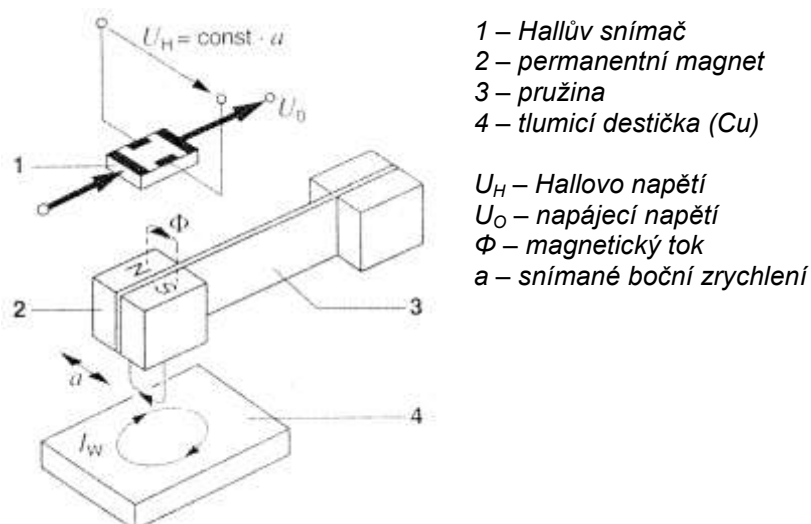
⁸³ VLK, F.: Automobilová elektronika 1 str. 132

⁸⁴ VLK, F.: Automobilová elektronika 1 str. 151-152



Obr. 47: Snímač příčného zrychlení obsahující dva sériově zapojené kondenzátory K1 a K2 (VW)⁸⁵

Dalším možným je **Hallův snímač** zrychlení, který je tvořen pružinou, hmotností a magnetem. Tato sestava lze elektrodynamicky dobře tlumit pomocí vířivých proudů, čímž je možné potlačit nežádoucí vlastní kmitání.



Obr. 48 Snímač bočního zrychlení využívající Hallova jevu (Bosch)⁸⁶

4.4 SNÍMAČ STÁČIVÉ RYCHLOSTI⁸⁷

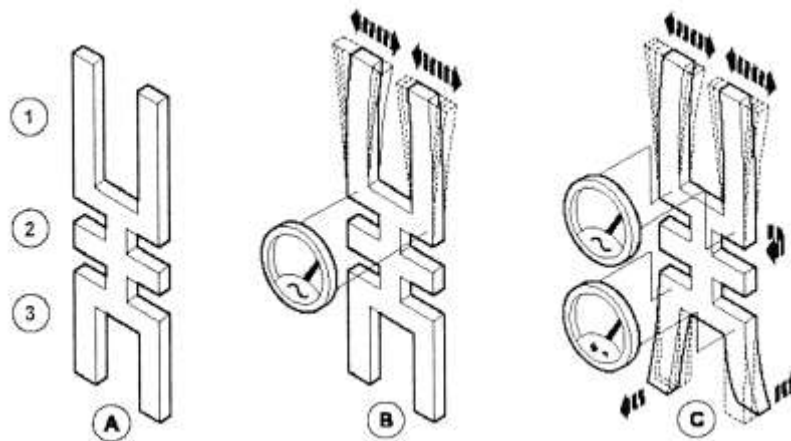
Snímač úhlové rychlosti otáčení vozidla kolem jeho svislé osy je velmi důležitý pro systém ESP. Jádrem snímače je malá dvojité ladička (budicí a měřicí strana) z piezoelektrického krystalu. Pomocí střídavého napětí je budicí strana přesunuta do rezonančního kmitání frekvencí 11 kHz. Rezonanční frekvence měřicí strany je 11,33 kHz,

⁸⁵ VLK, F.: Automobilová elektronika 1 str. 152

⁸⁶ VLK, F.: Automobilová elektronika 1 str. 152

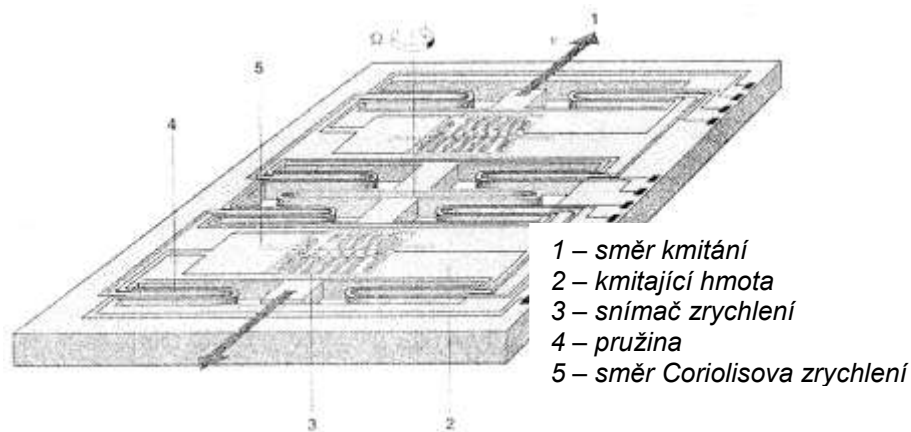
⁸⁷ VLK, F.: Automobilová elektronika 1 str. 152-153

vlivem buzení tedy nekmitá. Protože kmitající hmota při působení vnějšího zrychlení reaguje pomaleji než srovnatelná nekmitající hmota, natáčí se ladička od sebe při otáčivém pohybu působícím na snímač. Natočení ladičky způsobuje změnu nabití piezoelektrického elementu, která je snímána. Integrovaná elektronika snímače pak vyšle signál pro řídicí jednotku ESP.



Obr. 49: Piezoelektrický snímač stáčivé rychlosti A - piezoelektrický krystal, B – měřicí strana nekmitá, C – při otáčivém pohybu se měřicí strana zkroutí⁸⁸

Snímače příčného zrychlení a stáčivé rychlosti mohou být sdružovány do jednoho modulu – např. snímač mikromechanický snímač Bosch DRS-MM. U tohoto snímače jsou buzena k protiběžnému kmitání dvě pružně uložená kmitavá tělesa se snímači zrychlení, které působí příčně ke směru kmitání – princip je tedy srovnatelný s kmitáním ladičky.



Obr. 50: Mikromechanický snímač stáčivé rychlosti DRS – MM (Bosch)⁸⁹

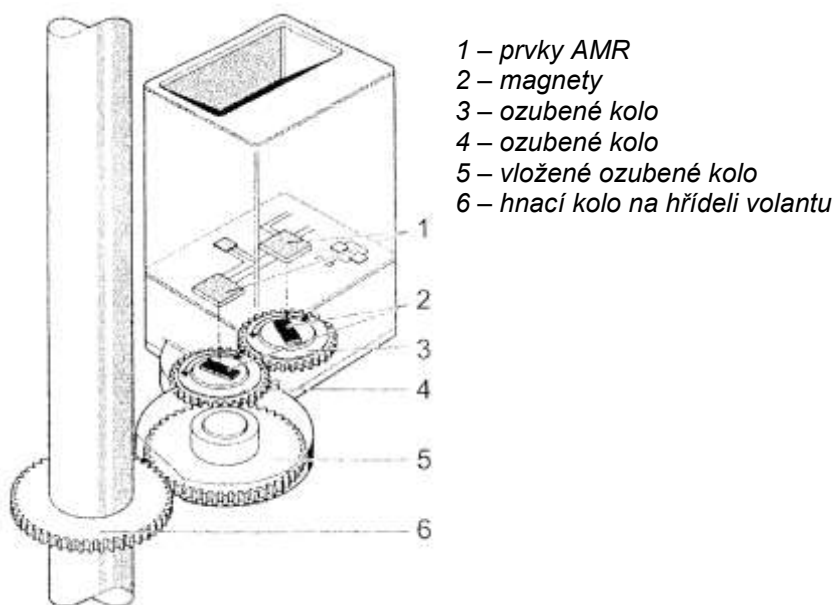
Kvůli ochraně proti vlivům prostředí je snímač hermeticky uzavřen v kovovém obalu naplněném dusíkem. Rozhraní snímače je stejné jako u jiných, aby bylo dosaženo kompatibility.

⁸⁸ VLK, F.: Automobilová elektronika 1 str. 153

⁸⁹ VLK, F.: Automobilová elektronika 1 str. 153

4.5 SNÍMAČ ÚHLU NATOČENÍ VOLANTU⁹⁰

Pro snímání úhlu natočení volantu lze použít několik druhů snímačů, prvním je **snímač s prvky AMR** (Anisotropic Magneto Resistance), tj. anizotropní magnetický odpor, který je ochráněn před magnetickými rušivými poli. Principem měření, snímače od firmy Bosch, je využívání různých fyzikálních vlastností dvou krystalů, které mají v rozdílných směrech magnetické „tenké vrstvy“. Magnetorezistančně měřící snímač úhlu řízení volantu se tedy skládá ze dvou permanentních magnetů spojených pomocí převodů s volantovým hřídelem. Převodový poměr převodů je různý, tím pádem každá poloha volantu má za následek jedinečnou polohu magnetů (princip absolutního snímání otáček). Poloha obou magnetů je pak snímána, obdobně jakou aktivního snímání otáček, magnetorezistančními odpory. Signál pro řídicí jednotu ESP je předáván přímo, nebo pomocí sběrnice CAN.



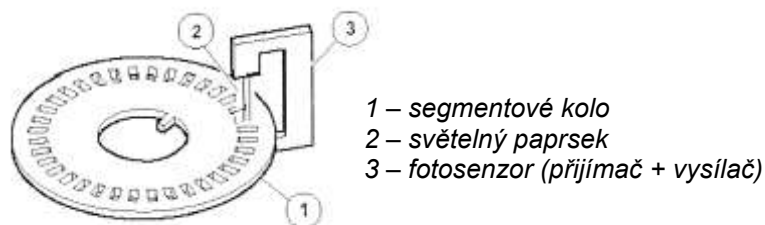
Obr. 51: Snímač úhlu natočení volantu s prvky AMR (Bosch)⁹¹

Další možností snímání úhlu natočení volantu je použití tzv. **optoelektronického snímače**, jehož principem je bezkontaktní snímání, pomocí světelných závor, natáčení segmentového kola, které je pevně spojeno s hřídelem volantu. Existují snímače jak pro *absolutní měření* – snímač předává řídicí jednotce specifický signál pro každou polohu vozidla a volantu, poloha po přímou jízdu vozidla je definována přímo ve snímači; tak pro *relativní snímání* úhlu natočení – snímač dodává řídicí jednotce ESP „pouze“ informaci o změně úhlu řízení, modul poté musí dopočítat na základě hodnot z ostatních snímačů polohu

⁹⁰ VLK, F.: Automobilová elektronika 1 str. 154-155

⁹¹ VLK, F.: Automobilová elektronika 1 str. 154

pro přímou jízdu vozidla. Princip snímání je u obou snímačů stejný, na segmentové kole jsou rozmístěny moduly světelných závor – pro relativní snímání jsou rozmístěny pravidelně, pro absolutní je modulů několik a rozmístění je nepravidelné, tak aby každé poloze volantu odpovídala jediná kombinace zapojení světelných závor.



Obr. 52: Optoelektronický snímač úhlu natočení volantu⁹²

5 PALUBNÍ DIAGNOSTIKA⁹³

Palubní diagnostika (OBD z anglického On Board Diagnostics, nebo EOBD – European On Board Diagnostics) označuje interní diagnostický systém vozidla, který je součástí palubního počítače vozidla. První systémy byly zavedeny v roce 1988, jejich primární činností byla kontrola emisí výfukových plynů. Od roku 1996 existuje v USA systém OBD II, který mimo emisí kontroluje například stav palivového systému. Především s rozvojem sběrnice CAN (Controlled Area Network – kontrolovaná pásmová síť) je možné provádět diagnostiku všech systémů, které jsou na tuto sběrnici napojeny. Zavedená EOBD II tedy kontroluje například: airbagy, brzdové systémy, klimatizace, komfortní systémy atd.

Připojení palubní diagnostiky se provádí přes normovanou 16 pinovou (kolíčkovou) diagnostickou zástrčku, která je ve vozidle umístěna vždy tak, aby byla dosažitelná z místa řidiče. Po připojení je možné pracovat v 9 základních režimech například v režimu 2 lze načítat provozní hodnoty přímo z jednotlivých řídicích jednotek. V režimu 3 lze provádět načítání tzv. paměti závad a v režimu 4 závady z této paměti mazat atd. Do paměti závad se ukládají jednotlivé provozní a procesní závady, které většinou „není nutné sdělit řidiči“. Vážnější závady jsou po vyhodnocení palubní diagnostikou signalizovány rozsvícením příslušné varovné kontrolky na přístrojové desce vozidla.

Palubní diagnostika pracuje na bázi logického postupu, kdy testuje základní komponenty jednotlivých systémů. Jsou-li všechny bez poruchy, pak je i celý systém v bezporuchovém stavu.

⁹² VLK, F.: Automobilová elektronika 1 str. 155

⁹³ VÉMOLA, A.: Diagnostika automobilů II str. 73-75

6 MOŽNOSTI ZJIŠŤOVÁNÍ VLIVU ELEKTRONICKÉHO STABILIZAČNÍHO SYSTÉMU PODVOZKU

Pro zjištění skutečného vlivu elektronického stabilizačního systému je nutné tento systém „donutit k zásahu“, což v reálu znamená vytvořit vhodné podmínky, při kterých by měl stabilizační systém zasáhnout. Pro vyhodnocení vlivu je nutné zásah systému vhodným způsobem zaznamenat (změřit). Z hlediska přístupu k dosažení podmínek pro aktivaci systému existují dva způsoby: reálné a virtuální testy.

6.1 REÁLNÉ TESTY

Pod tímto pojmem je míněno provádění jízdních testů s vozidly vybavenými příslušnými stabilizačními systémy na zkušebních tratích či v reálném provozu – obzvlášť nutné dbát na bezpečnost svoji i ostatních účastníků provozu. Z bezpečnostního hlediska jsou tedy jasně vhodnější pro veřejnost uzavřené zkušební tratě. Například u systému ESP je doporučeno provádět jízdní test funkčnosti při výměně některé z částí systému. Reálné testy jsou tedy v praxi častěji využívány než testy virtuální. Pro provedení reálného testu, je však nutné znát dopředu očekávaný výsledek – netestovat metodou „pokus, omyl“, stabilizační systémy totiž ve většině případů zasahují v kritických situacích, je tedy dobré připravit se na takové situace dopředu. Tím víc, když jsou úmyslně vyvolávány. Podmínky testu by měly být dopředu naplánovány, což znamená například pro jízdu obloukem ustálenou rychlostí, výpočet mezní rychlosti pro tento oblouk. Vyhodnocením záznamů jednotlivých testů z měřících přístrojů je pak možné zjistit vliv stabilizačních systémů na jízdní dynamiku vozidla. U jízdní zkoušky můžeme například zjistit vliv stabilizačního systému porovnáním jízd ze zkoušek, kdy zůstanou zachovány všechny parametry - pouze daný stabilizační systém bude funkční a následně vyřazen z provozu.

6.2 VIRTUÁLNÍ TESTY

Tedy umělé vytvoření podmínek pro zásah stabilizačního systému. Pro takové zkoušky existuje několik způsobů provedení. Jedním ze způsobů může být simulace v programech (např. Virtual Crash), z takových zkoušek, však není možné vyhodnotit moment zásahu systému – je ovšem vhodné tyto simulace použít například jako teoretickou přípravu na reálné provedení zkoušek (srovnáním jednotlivých průběhů). Druhým způsobem je vytvoření podmínek zásahu v laboratořích – tímto je myšleno dodávání informací řídicí jednotce stabilizačního systému a sledování její odezvy (sepnutí spínačů, nárůst brzdového

tlaku atd.). Pokud jsou známy hodnoty, například nárůst brzdného tlaku, je možné výsledný vliv zásahu na jízdní dynamiku dopočítat – takový druh testu je vhodný například pro ověření funkčnosti systému před prvním reálným testováním. Třetí možností je provést druhou variantu kompletně na PC – například při programování řídicích jednotek. Taková data jsou však pouze teoreticky získaná, někdy i podle zásady „papír snese všechno“, je tedy nutné je ověřit v praxi - tedy reálným testem.

Pro „běžného“ uživatele, jsou tedy jednoznačně dostupnější reálné testy, pro které je potřeba mít „pouze“ dostatek prostoru, vozidlo, záznamové a měřicí zařízení a dostatek odvahy pro provedení testu. Zatímco virtuální testy jsou vhodné spíše pro návrh a vývoj jednotlivých systémů. Z těchto důvodů bude v následujících částech práce představeno možné provedení reálného jízdního testu stabilizačního systému. Takový test by mohl být proveden například „zvědavým uživatelem“ který si mnohdy klade otázku, „jestli daný systém vůbec nějak funguje?“ Další využití je možné v oblasti soudního inženýrství – ověření, zda li byl například při nehodě stabilizační systém funkční a jak případně mohl nehodu ovlivnit (za předpokladu že nebyla při nehodě poškozena žádná z jeho částí).

6.3 SOUSTAVA ŘIDIČ – VOZIDLO – VOZOVKA

Provádění jízdních testů probíhá s využitím tříčlankové soustavy řidič - vozidlo – vozovka. Pro zajištění opakovatelnosti prováděných měření je nutno dodržet některé podmínky a také uvažovat se specifickými vlastnostmi jednotlivých článků této soustavy.

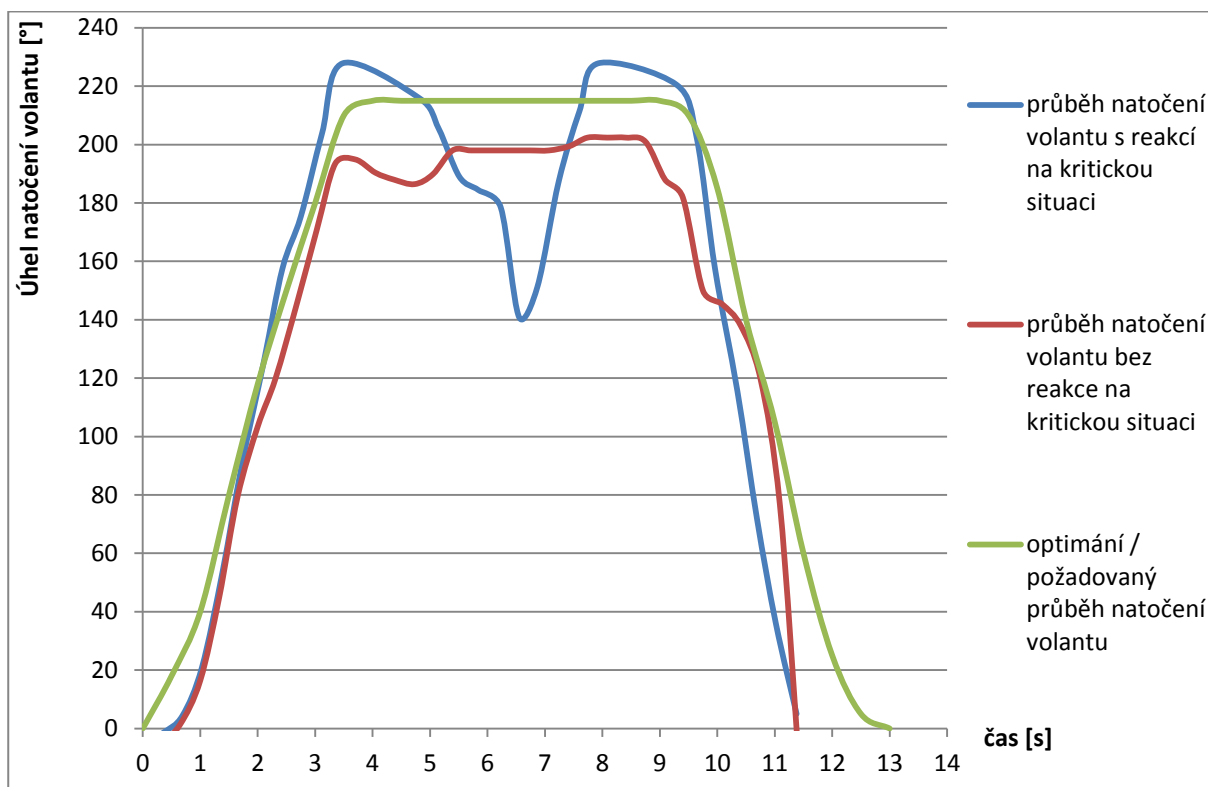
6.3.1 Řidič

Řidič je z hlediska opakovatelnosti měření nejhůře předvídatelným článkem. I když na něj může být kladen relativně velmi jednoduchý požadavek, například udržení konstantního úhlu natočení volantu při jízdě, tak totožné provedení (zopakování pohybů) je u člověka, tedy řidiče, téměř vyloučeno. Z celé soustavy na řidiče totiž působí nejvíce vlivů. Zatímco u ostatních článků je možné vlivy omezit pouze na mechanické, u řidiče je nutné uvažovat s mnohonásobně vyšším počtem vlivů – například s okolním hlukem, osvětlením, koncentrací řidiče atd. Pro dosažení co možná nejvyšší opakovatelnosti je právě lidský faktor vlivu odstraňován například použitím speciálního zařízení, které provede požadovaný úkon s daleko vyšší přesností než člověk. Stroj má totiž výhodu že „nemá pud sebezáchovy“.

Jako ukázka mohou být situace z provedených měření v rámci zpracovávání této diplomové práce. Řidič byl seznámen se všemi možnými průběhy měření a situacemi, které

mohou při měření nastat, jediným požadavkem bylo právě udržení konstantního úhlu natočení volantu při jízdě s motorovým vozidlem za „jakékoliv situace“.

Přestože řidič předpokládal, že pravděpodobnost ohrožení na jeho zdraví při případné krizové situaci (smyku) je minimální, tak při vzniku takové situace v některých případech neudržel konstantní úhel natočení volantu a na vzniklou situaci reagoval srovnáním volantu jak je patrné z následujícího grafu.



Graf 1: Průběhy úhlu natočení volantu při zkouškách

S přibývajícím počtem provedených měření se ale poměr měření bez reakce a s reakcí na kritickou situaci snižoval. Je tedy možné konstatovat, že postupným natrénováním chování v této situaci by bylo možné tento, pro výsledky měření zcela nežádoucí, vliv částečně omezit. Další možností jak vliv řidiče eliminovat je spolupráce profesionály – testovací jezdci, řidiči z povolání a závodníci. U některých typů měření však může být chování „běžného řidiče“ vyžadováno.

S ohledem na požadovaný průběh a výsledky měření je tedy nutné vybrat správnou osobu pro řízení vozidla.

6.3.2 Vozidlo (měřený objekt)

Při provedených měřeních bylo měřeným objektem vozidlo VW Golf V. generace, jehož parametry jsou následující (kompletní přehled parametrů – příloha 3):

Tabulka 2: Identifikace a technické parametry vozidla VW Golf V. generace⁹⁴

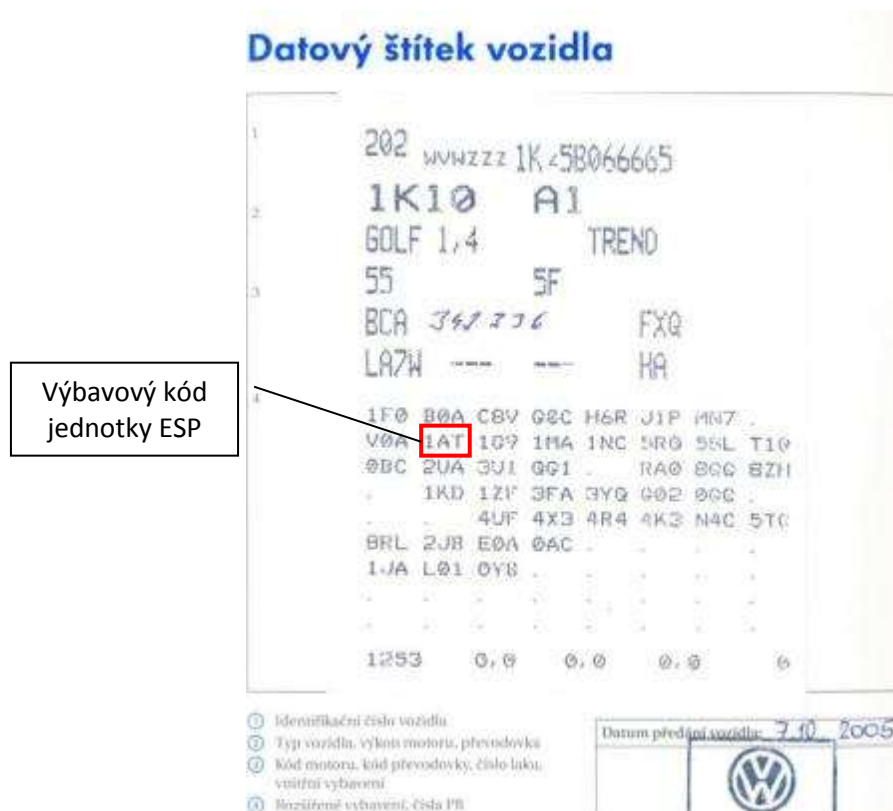
Druh vozidla	Osobní automobil, kategorie M1	
Rok výroby	2005	Uvedení do provozu: 7. 10. 2005
VIN, TP	WVWZZZ1KZ5B066665	BF770517
Karoserie	Hatchback	
Motor	palivo	Natural 95
	obsah	1390 ccm
	výkon	55 kW
	maximální točivý moment	130 Nm při 3750 ot/min
	přenos síly	5 st. Ručně řazená převodovka
Jízdní výkony	maximální rychlost	174 km/h
	zrychlení 0 - 80 km/h	8,7 s
	zrychlení 0 - 100 km/h	12,9 s
Hmotnosti	Přípustná celková hmotnost	1 790 kg
	Provozní hmotnost s řidičem	1 278 kg
Rozměry	délka	4 204 mm
	šířka	1 759 mm
	výška při provozní hmotnosti	1 485 mm
	rozvor	2 578 mm
	minimální průměr zatáčení	10,9 m
	rozchod vpředu / vzadu	1 539 mm / 1 528 mm
Pneumatiky	Michelin Energy saver 195 / 65 R 15	
	Tlak předních pneu	2,3 bar
	Tlak zadních pneu	2,0 bar



Obr. 53: Zkoušené vozidlo Volkswagen Golf⁹⁵

⁹⁴ Uživatelská příručka VW Golf V. generace, sešit 3.3. str. 9-10

⁹⁵ Vlastní galerie autora



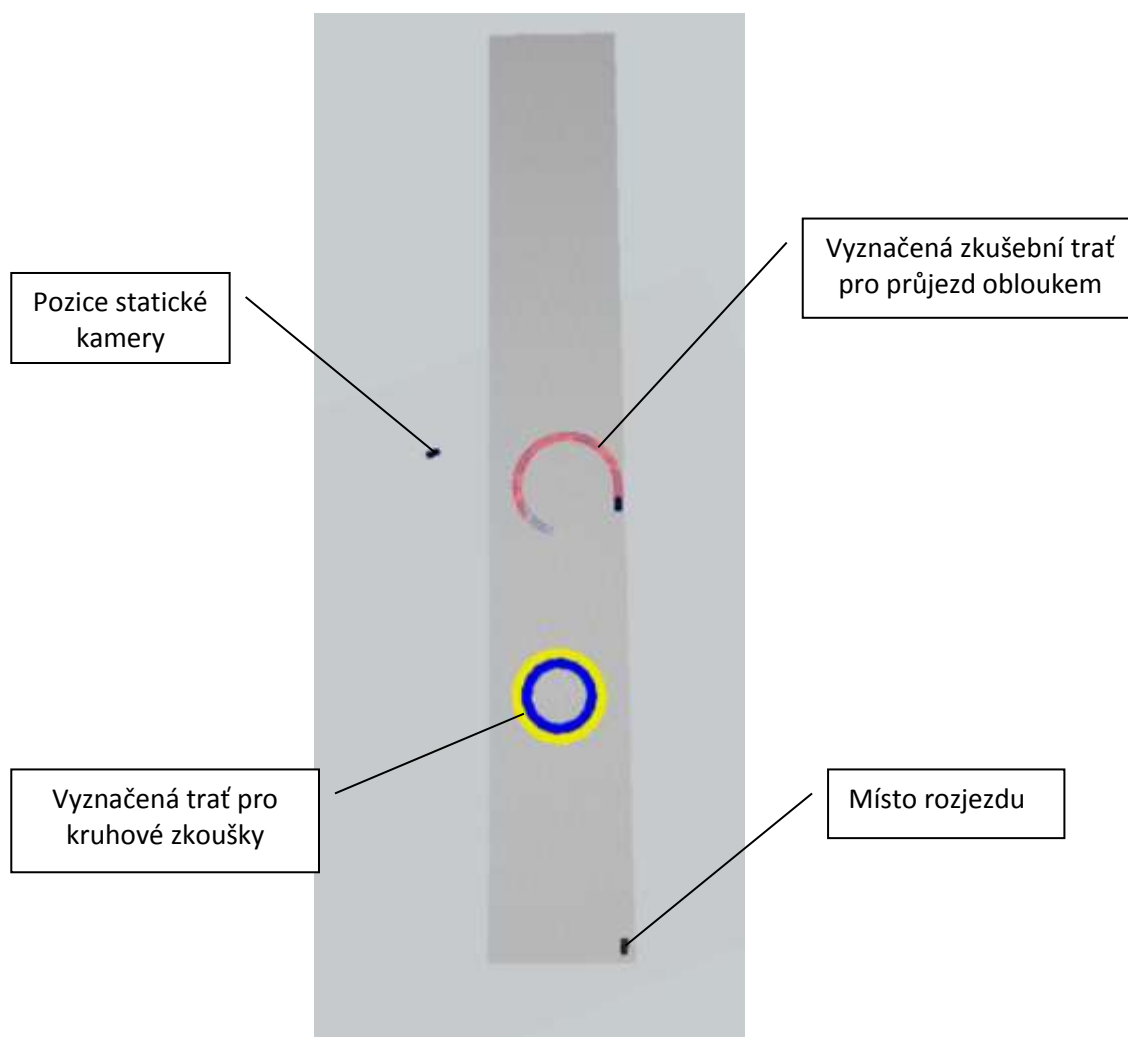
Obr. 54: Datový štítek vozidla⁹⁶

6.3.3 Vozovka (plocha pro měření)

Pro provedení měření je nutné zvolit plochu, která splňuje ideálně všechny následující parametry:

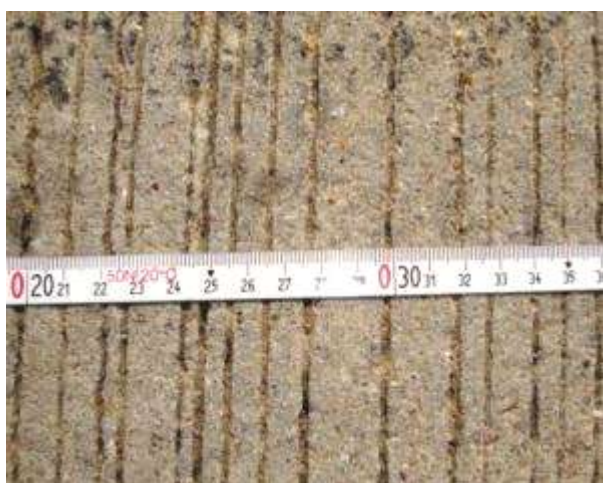
- rozměry jsou dostatečné pro provedení požadovaných manévřů;
- povrch je homogenní; nevyskytují se rozdíly v materiálu povrchu;
- plocha je v rovině;
- v okolí plochy je prostor, ve kterém je možné v případě nouze vozidlo bezpečně zastavit;
- na ploše není provoz a přístup v průběhu měření je vyhrazen pouze účastníkům měření;
- celá plocha, včetně vyznačených tratí je vhodným způsobem zaměřena – například pomocí totální stanice;
- pomocí brzdné zkoušky bude zjištěna adheze plochy;

⁹⁶ Uživatelská příručka VW Golf V. generace – sešit 1.1

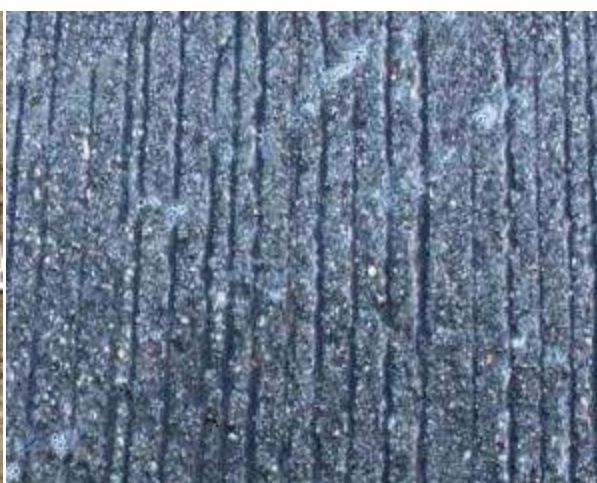


Obr. 55: Polygon zaměřené plochy a vyznačených tratí v programu Virtual Crash

Takovéto parametry splňují tedy například rozlehlá parkoviště a letištní plochy. Pro experimentální měření provedené v rámci této diplomové práce byly využity severní a jižní odstavňá plocha letiště Vyškov. Detaily povrchů jsou patrné z následujících obrázků.



Obr. 56: Detail suchého povrchu jižní plochy



Obr. 57: Detail mokrého povrchu severní plochy

6.4 ZJIŠTĚNÍ VLIVU ELEKTRONICKÉ STABILIZAČNÍHO SYSTÉMU JÍZDNÍ ZKOUŠKOU

Z hlediska možností, jak provést jízdní zkoušku, se jako jedna z možných variant nabízí jízda ustálenou rychlostí po kruhové dráze nebo její části. Další variantou by mohlo být například provádění vyhýbacího manévru. Existuje obecný vzorec pro klopenou zatáčku: $v_{mez} = \sqrt{\frac{r \cdot g \cdot (\mu + \tan \beta)}{1 - \mu \cdot \tan \beta}}$, na základě kterého lze spočítat mezní rychlost pro známý poloměr oblouku r , známý součinitel adheze μ a známý úhel klopení β . Pomocí tohoto vzorce tedy stanovíme mezní rychlost pro požadovaný oblouk, či opačným postupem minimální poloměr zatáčky pro určitou rychlost. Překročení této rychlosti by tedy mělo znamenat smyk vozidla a zásah stabilizačního systému podvozku.

Při provedení zkoušky můžeme sbírat data dvěma způsoby:

- **externí způsob sběru dat** – tzn. data z měřicích přístrojů umístěných ve vozidle (MBox, XL metr a kamera snímající natočení volantu) plus stacionární kamery a ostatní zařízení umístěné vně vozidla snímající průběh celé zkoušky.
- **interní způsob sběru dat** – tzn. data z jednotlivých snímačů, které jsou k dispozici řídicí jednotce systému a data, které jednotka vysílá akčním členům. Interní data by měla být načítána online během jízdní zkoušky pomocí diagnostického kabelu a příslušného softwaru.

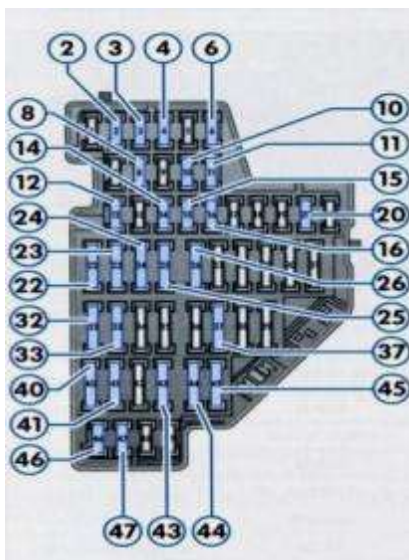
Při měřeních, provedených v rámci této práce, bylo využito kombinace obou způsobů.

6.4.1 Metodika měření

Zjištění součinitele adheze

Před provedením jízdních zkoušek je nutné provést brzdné zkoušky, při kterých bude zjištěn součinitel adheze daného povrchu. V závislosti na materiálových vlastnostech plochy, je potřeba provést měření případně v několika směrech. Pro použitelnost výsledků je však ideální aby plocha, na které se bude měření uskutečňovat, byla konzistentní. Součinitel adheze μ získáme ze vztahu $\mu = \frac{a}{g}$, kde a je brzdné zpomalení, které zjistíme provedením brzdné zkoušky. Brzdná zkouška na povrchu, kde se bude provádět jízdní zkouška, se provede z rychlosti nejméně 50 km/h. Pro provedení brzdné zkoušky je ovšem nutné vyřadit z činnosti systém ABS.

U vozidla Volkswagen Golf V. generace je to možné například pomocí vytažení pojistky číslo 2 dle následujícího schématu dodaného výrobcem.



Obr. 58: Schéma uspořádání pojistek VW Golf V. generace⁹⁷

Vyznačení vhodného poloměru, zaměření polygonu

Pro vhodné vyznačení poloměru je nutné uvažovat s možnostmi zkoušeného vozidla – je potřeba dostatečně dlouhá dráha pro rozjezd. Vozidlo se ve zkoušeném oblouku musí pohybovat pokud možno konstantní rychlostí. Důležitějším aspektem při vytyčování zkušební poloměru je však bezpečnost. Je nutné ponechat volný prostor pro případ smyku = změna trajektorie. Pomocí totální stanice ÚSI VUT značky Topcon GTS-212 je možné zaměřit jak samotnou plochu, tak zkušební poloměr. Tyto data jsou následně použitelná pro simulační programy.

Výpočet mezní rychlosti

Pokud je zkušební plocha rovná a vyznačený poloměr není nijak naklopen, lze pro výpočet mezní rychlosti použít zjednodušený vztah: $v_{mez} = \sqrt{r \cdot g \cdot \mu}$.

Provedení jízdní zkoušky nižší než mezní rychlosti

Pro udržení požadované rychlosti vozidla je možné použít například tempomatu. U VW Golf V. generace je ale z bezpečnostních důvodů omezeno používání. Tempomat pracuje pouze při rychlostech vyšších než 30 km/h. Dále je potřeba zajistit konstantní a neproměnné

⁹⁷ Uživatelská příručka VW Golf V. generace, sešit 3.2. str. 54

natočení volantu, například pomocí stupnice s ryskami. Předpokládaným výsledkem by měl být plynulý průjezd zatáčkou bez nutnosti zásahu systému ESP.

Provedení jízdní zkoušky mezní rychlostí

Pro tuto jízdu je nutné opět dodržet jak konstantní rychlost, tak konstantní natočení volantu. Výsledkem by mělo být dosažení meze stability. V případě zapnutého systému ESP, by tedy mohlo dojít k případnému zásahu.

Provedení jízdní zkoušky vyšší než mezní rychlostí

Při dodržení podmínek konstantního natočení volantu a konstantní rychlosti průjezdu by výsledkem mělo být překročení meze stability. Při jízdě bez ESP by mělo dojít ke smyku – podle vozidla k přetáčivému či nedotáčivému – v případě vozidla Volkswagen Golf, které bylo použito v rámci měření docházelo k nedotáčivým smykům. U provedení jízdy s plně funkčním systémem ESP, by měl výsledek dopadnout uživatelsky mnohem lépe - tzn. nemělo by dojít k žádnému smyku. Systém by měl pomocí vhodných zásahů, popsanych v kapitole 3.6.3., zajistit bezpečný průjezd.

Porovnáním zanechaných stop pneumatik (možno ihned při měření), průběhů podélné a stáčivé rychlosti, podélného a bočního zrychlení, pak dostaneme skutečné zásahy systému ESP, tedy jeho vliv na jízdní dynamiku. Protože se v tomto případě očekává nestabilní chování vozidla, je nutno obzvlášť dbát na bezpečnost všech účastníků měření.

6.4.2 Vypnutí systému ESP pomocí tlačítka ESP OFF

Vypnutí systému ESP se doporučuje pouze v určitých situacích – jízda se sněhovými řetězy atd. Za běžného provozu by měl zůstat zapnutý. Vypnutím ESP se současně vypne také systém ASR a EDS.⁹⁸ Což znamená, že ani tyto stabilizační systémy nebudou při jízdní zkoušce k dispozici. Systém ESP bude při zkouškách vyřazen z provozu pomocí tlačítka ESP OFF, tzn. například situaci, kdy řidič vědomě tento stabilizační systém vypnul. Další variantou by bylo omezení pomocí softwarového zásahu přes diagnostický kabel do řídicí jednotky, což je podle konzultací s doc. Mazůrkem z ÚK FSI VUT v Brně možné, ale pouze ve spolupráci s výrobcí softwaru pro řídicí jednotky.

⁹⁸ Uživatelská příručka VW Golf V. generace, sešit 3.1 str. 99

6.5 MĚŘICÍ PŘÍSTROJE

K provedení měření během jízdní zkoušky je potřeba použít několik měřicích a zaznamenávacích přístrojů, které budou ve stručnosti představeny v této kapitole.

6.5.1 Memory Box 2

Memory box 2, neboli MBox 2 byl vyvinut pod vedením doc. Ivana Mazůrka, CSc. za spolupráce fakulty strojního inženýrství a fakulty elektrotechniky a komunikačních technologií VUT. Tento přístroj měří ve všech třech osách pravoúhlého souřadného systému translační zrychlení i stáčivou rychlost. Tímto jsou dány parametry všech šesti stupňů volnosti vozidla jako objektu v prostoru. Přístroj má tvar kvádra o rozměrech cca. $150 \times 120 \times 300 \text{ mm}$. Pro měření je nutné přístroj pevně zafixovat, například mezi sedačkami řidiče a spolujezdce. Umístění přístroje do těžiště vozidla není nutné, v případě že přístroj není v těžišti, se musí naměřené hodnoty přepočítávat. Pře začátkem samotného měření je doporučeno provést kalibrační měření, například průjezd rovného úseku známou rychlostí. Při měření přístroj sám ukládá data na paměťovou kartu Compact Flash typu I. Přístroj na paměťovou kartu pouze přidává data, mazání je nutno provést přes PC. Naměřená data jsou uložena v binárním formátu, pro zpracování je k dispozici program v prostředí MS Excel pomocí maker jazyka Visual Basic, který umožňuje jejich grafické zobrazení a export do dalších formátů.



Obr. 59: MBox 2⁹⁹

⁹⁹ http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz_soubor.php?id=478

6.5.2 XL Meter™¹⁰⁰

XL Meter™ je bateriově napájený univerzální přístroj s alfanumerickým LCD displejem, který měří zrychlení či zpomalení ve dvou osách. K přístroji je dodáváno CD obsahující software pro vyhodnocení velikosti zpomalení provozní brzdy nebo velikosti akcelerace. Pro komunikaci s PC je dodáván kabel s rozhraním RS-232, které je kompatibilní s PC. Z technického hlediska se XL Meter™ skládá ze tří hlavních částí: jednotky obsahující elektronickou část, vakuové přísavky a kloubového ramena, umožňujícího přizpůsobitelné upevnění. **Měření zrychlení** - Celý měřicí systém přístroje XL Meter™ je integrován na jednom akcelerometrickém čipu. XL Meter™ je schopen měření pozitivního i negativního zrychlení až do úrovně ± 2 g. XL Meter™ využívá rozdílový kapacitní senzor zrychlení. Ten se skládá z nezávisle upevněných destiček a centrálních destiček připojených k základně, které pohybem reagují na působení zrychlení. **Sběr dat** - XL Meter™ je navržen pro měření zrychlení ve dvou osách (podélné a příčné) Režim měření lze spustit pouze z Režimu zobrazení stiskem červeného tlačítka. Od okamžiku započetí měření jsou data ukládána do paměti. Nezáleží na době jízdy v Režimu měření před samotným brzděním. Vždy je k dispozici přinejmenším 40 sekund záznamu pro uložení do paměti. **Směry měření** - Osy X-Y měřené přístrojem XL Meter™ jsou zaměnitelné a každá z nich může být negována. Vše lze jednoduše upravit v nastavení přístroje. V některých případech (např. rozbité přední sklo), může být potřeba připevnit zařízení na jiné místo než je doporučeno (střed předního skla). V takových případech může být možnost záměny os velice užitečná. V našem případě bude přístroj umístěn podle doporučení, tedy na střed předního skla.



Obr. 60: XL Meter a pozice XL Meteru při měření¹⁰¹

¹⁰⁰ <http://www.nehodar.cz/docs/XLMPUSRCZ.pdf>

¹⁰¹ <http://www.nehodar.cz/docs/XLMPUSRCZ.pdf>

6.5.3 Videokamery

Pro záznam měření je vhodné použít několik kamer. Uspořádání kamer při provedených měřeních: jedna full HD kamera značky Cannon - statická. Její pozice podle potřeby upravována, tak aby zaznamenala celý průběh jízdní zkoušky. Poloha kamery při zkoušce je vyznačena na obrázku 55 v kapitole 6.5.3. Druhá totožná kamera stejného typu byla umístěna uvnitř vozidla na bočním skle u řidiče. Pomocí této kamery byla snímána přístrojová deska, ale především úhel natočení volantu. Třetí kamera byla umístěna stejně jako XL Meter na předním skle a snímala situaci před vozidlem. Tato kamera je vybavena, rovněž GPS modulem a G senzorem. Z těchto je pak možné získat informace o poloze, rychlosti a zrychleních.



Obr. 61: Full HD kamera Cannon a HD kamera Funbeat¹⁰²

6.5.4 Diagnostická sada VAG-COM

Pomocí počítačového programu VAG-COM je možné prostřednictvím osobního počítače kompletně diagnostikovat řídicí jednotky vozidel koncernu Volkswagen Group v normě OBD. Svými funkcemi je sada VAG-COM PROFI kompatibilní s diagnostikou VAG 1552 a VAS 5052, které jsou používány v autorizovaných servisech. Sada VAG-COM PROFI je určena k profesionálnímu použití pro široké spektrum servisů (včetně autorizovaných). Sada obsahuje program VAG-COM, inteligentní propojovací kabel HEX-CAN (podpora CAN-BUS) v provedení USB, diagnostickou příručku VIS, program CodingCalculator a program AutoServis.

¹⁰² www.tsbohemia.cz

Pomocí této sady je možné online načítat data, která jsou dostupná jednotlivým řídicím jednotkám. Při provedeném experimentu byla snímána data z řídicí jednotky brzd – příčné zrychlení, stáčivá rychlost, rychlosti jednotlivých kol a úhel natočení volantu. Data se ukládají pomocí tlačítka „logovat“ do formátu ve tvaru MS Excel. Rychlost ukládání dat je závislá na počtu sledovaných hodnot, přičemž maximum je 12 sledovaných hodnot v rámci jednoho měření. Při měření není možné sledovat data ze dvou různých řídicích jednotek.

Postup interního sběru dat pomocí zapůjčeného diagnostického vybavení (kabel + software):

- připojení kabelu do diagnostické zástrčky vozidla,
- tlačítko „NASTAVENÍ“ – zvolit „TEST KABELU“,
- tlačítko „VYBRAT JEDNOTKU“ – výběr požadované řídicí jednotky,
- volba „ROZŠÍŘENÉ MĚŘENÍ“ – zvolit požadované snímače pro snímání dat,
- tlačítko „LOGOVAT“ – zahájení ukládání dat.

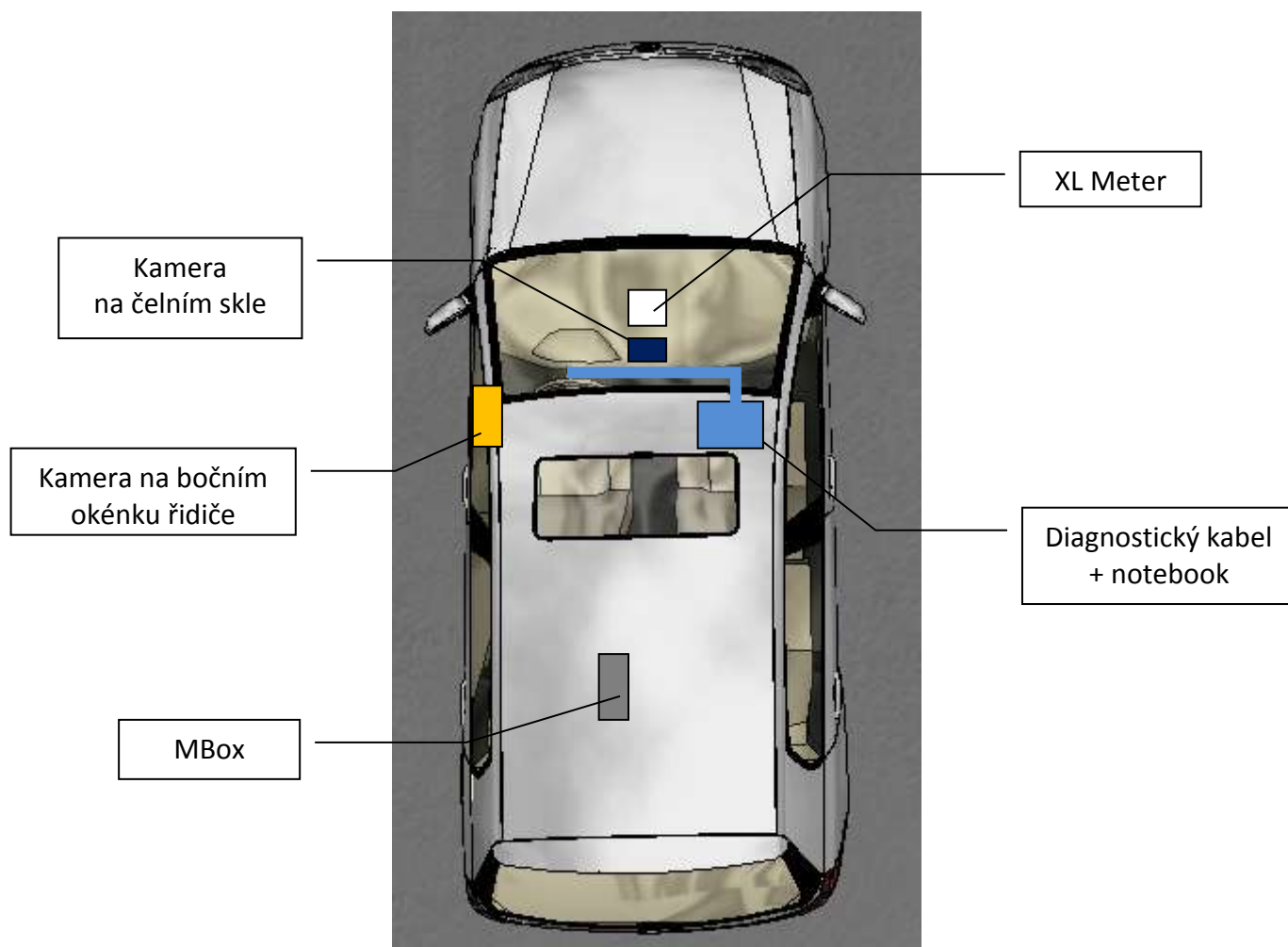


Obr. 62: kabel HEX-CAN a prostředí programu VAG-COM¹⁰³

¹⁰³ <http://www.pc-autodiagnostika.cz/zbozi/vag-com-profi>

Rozmístění měřících přístrojů ve vozidle

Na následujícím obrázku je naznačen možný způsob rozmístění měřících přístrojů pro provádění reálných jízdních zkoušek.



Obr. 63: Rozmístění měřícího přístrojů ve vozidle

Posádka vozidla při provedených měřeních

řidič – Martin Bilík – váha 90 kg;

spolujezdec / obsluha měřících přístrojů - Vladimír Panáček – váha 90 kg;

Uvedená osádka je hmotnostně vyvážena, což je z hlediska zatížení vozidla ideální, protože zatížení bylo v tomto případě rovnoměrné.

7 JÍZDNÍ ZKOUŠKY

7.1 ÚVODNÍ MĚŘENÍ

Pro úvodní měření jízdních zkoušek popsaných v kapitole 5.2 byla vybrána jižní odstavňá plocha letiště aeroklubu Vyškov o rozměrech 300×50 metrů. Plocha má betonový povrch s příčným drážkováním (je patrné z následujícího obrázku). Měření probíhalo dne 13. 5. 2011. Při měření byl použit postup podle bodů popsaných v kapitole 6.2.1. Cílem měření bylo ověřit funkčnost zvoleného postupu, především v otázce online ukládání dat pomocí programu VAG-COM a vyřazení systému ESP z činnosti pomocí tlačítka.

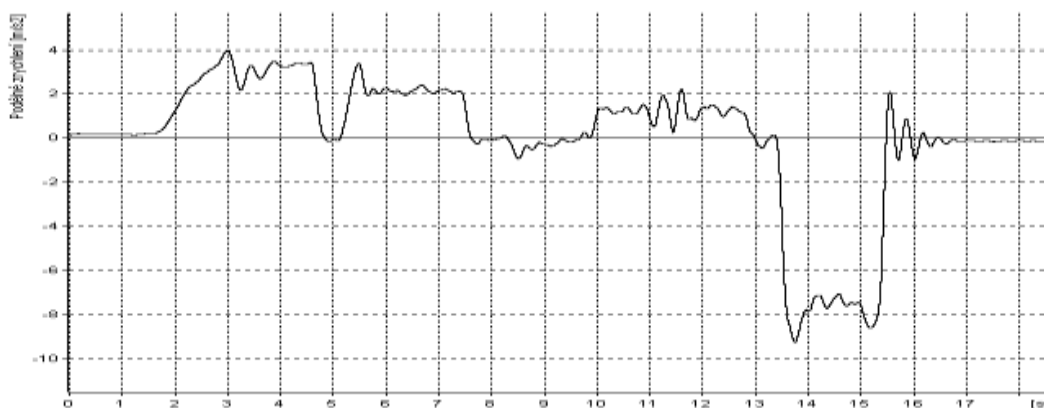


Obr. 64: Detail povrchu a kola osobního automobilu VW Golf¹⁰⁴

7.1.1 Provedení brzných zkoušek

Protože povrch má jinou strukturu v příčném a podélném směru, byla provedena brzdňá zkouška pro zjištění součinitele adheze v obou směrech. V podélném směru byl zjištěn koeficient adheze $\mu = 0,87$ a v příčném směru $\mu = 0,76$. Pro zjednodušený výpočet mezní rychlosti v oblouku byl použit aritmetický průměr těchto hodnot, tedy hodnota $\mu = 0,82$.

¹⁰⁴Vlastní galerie autora



Graf 2: Průběh podélného zrychlení při brzdě zkoušce

7.1.2 Měření průjezdů vyznačeným obloukem

V rámci měření bylo provedeno několik cvičných jízd na suchém povrchu se zapnutým a vypnutým systémem ESP, pro ověření chování vozidla a opakovatelnosti zkoušek. Na ploše byla vyznačena trať o šířce 3 m se středním poloměrem 16,5 metru. V rychlostech nižších než mezní rychlost $v_{mez} = 41,5 \text{ km/h}$ nebyl pozorován řidičem ani spolujezdcem rozdíl v jízdě s ESP a bez něj. Při nájezdové rychlosti 45 km/h (vyšší než mezní rychlost) bez ESP byla překročena mez stability vozidla a došlo k mírnému přetáčivému smyku - vozidlo vyjelo ven z vyznačené trati, při udržování konstantního úhlu natočení volantu. Následně byla provedena jízda stejnou rychlostí se zapnutým systémem ESP a stejným úhlem natočení volantu. Výsledkem této jízdy byl plynulý průjezd vyznačenou trati. Zásah systému byl pro posádku, bez předchozího srovnání nepostřehnutelný. Byl tak ale ověřen rozdíl pro jízdu se systémem ESP a bez ESP.



Obr. 65: Vozidlo a vyznačená trať¹⁰⁵

¹⁰⁵Vlastní galerie autora



Obr. 66: Kamera na bočním skle u řidiče, stupnice na palubní desce a XL Meter na čelním skle¹⁰⁶

Během následujících jízd byla snaha ověřit online ukládání dat pomocí palubní diagnostiky. Povedlo se uložit několik měření pro nižší rychlosti než mezní rychlost v oblouku. Při rychlostech okolo mezní rychlosti však došlo k několika výpadkům komunikace mezi PC a řídicí jednotkou brzd.

Dle sdělení podpory z firmy Autocomsoft (která na základě žádosti Ústavu soudního inženýrství prostřednictvím vedoucího této diplomové práce, pro měření zapůjčila diagnostickou sadu), byla důvodem výpadku komunikace skutečnost, že došlo k zásahu systému ESP. Řídicí jednotka v situaci, kdy hrozí vozidlu nebezpečná situace, „odstřihne“ komunikaci s diagnostickým zařízením a využije všechny své výpočetní kapacity pro řešení vzniklé situace. Proto bylo doporučeno provedení jízdního funkčního testu ESP, pro ověření jeho správné činnosti.

7.1.3 Funkční test systému ESP zkoušeného vozidla

Tento jízdní test by se měl provádět při výměně jakékoliv součásti systému ESP. Test se aktivuje přes program VAG-COM. Pokud není test úspěšně proveden, zůstává svítit kontrolka ABS na přístrojové desce a v paměti závad je uložena závada „*aktivní funkční test systému*“. Pro zkoušený automobil se test uvedl do činnosti sešlápnutím brzdového pedálu, přičemž aktivace / aktivní test = blikající kontrolka ESP a ASR. Řídicí jednotka tedy vždy v prvé řadě vyhodnocovala správné provádění funkčního testu – při špatném provedení byla vyhodnocena chyba a omezena komunikace. Pro možné další pokračování měření bylo tedy

¹⁰⁶Vlastní galerie autora

nutné dokončit správně funkční test. Přes několik pokusů se však nepodařilo úspěšně test dokončit a měření proto muselo být ukončeno.

Důvodem neúspěšného ukončení byl ne zcela přesný návod na provedení testu ve VIS katalogu. Správný postup byl uveden v návodech diagnostiky v autorizovaném servisu. Díky tomu se povedl test o den později úspěšně dokončit¹⁰⁷ a 19. 5. 2011 tak mohlo být provedeno další měření.

Správný postup na provedení funkčního testu: sešlápnutí brzdového pedálu, než se kontrolka ESP a ASR rozbliká (ve VIS chybně uvedeno rozsvítí). Proved'te zkušební jízdu o délce maximálně 50 sekund. Během jízdy jeďte rychlostí 15 – 30 km/h. Jeďte rovně a mimo jiné zatáčkou s rejdem větším než 90° (ve VISu je uvedeno prudké zatočení vpravo a ihned prudké natočení vlevo – což bylo nejspíš důvodem neúspěšných pokusů o ukončení testu). Jízdní test je úspěšně ukončen, pokud kontrolka ABS zhasne.

7.1.4 Výsledky měření

Byla úspěšně ověřena navržená metodika pro získávání dat a tedy i zjišťování vlivu ESP. U dat získaných přes palubní diagnostiku bylo zjištěno, že čím více je ukládáno hodnot, tím méně často jsou data snímána. Podařilo se „donutit“ systém ESP k zásahu překročením mezní rychlosti pro zvolený oblouk. Dále byl proveden funkční test ESP, čímž byla ověřena správná činnost všech jeho komponent. Kvůli funkčnímu testu ale nebyly zaznamenány data ze všech plánovaných měření – různé poloměry, rychlosti atd. Z naměřených hodnot pomocí XL Meteru však byl patrný určitý rozdíl v průběhu bočního zrychlení pro jízdu s ESP a bez ESP, ze kterého je možné určit okamžik zásahu systému ESP.

¹⁰⁷ Úspěšné provedení se povedlo na ploše parkoviště před nákupním centrem. Rozjezd byl realizován na rovném úseku, dle tachometru byla dosažena rychlost 30 km/h. Následovalo plynulé odbočení touto rychlostí vlevo do další „uličky“, po cca. 15 metrech na dalším rovném úseku kontrolka ABS zhasla = úspěšné provedení.



Obr. 67: Vozidlo při průjezdu zkušební trati během měření¹⁰⁸

7.2 MĚŘENÍ JÍZDNÍCH PARAMETRŮ VOZIDLA ZA SUCHA

Další měření byla uskutečněna dne 19. 5. 2011 opět na letišti ve Vyškově. Tentokrát byla k dispozici severní betonová plocha o rozměrech 43 x 300 metrů. V rámci tohoto měření bylo provedeno celkem 40 jízdních testů, parametry a popis podmínek jednotlivých testů je uveden v příloze 1. Byly provedeny čtyři druhy testů – brzdná zkouška, jízda kruhovou trati na suchém a mokřém povrchu a kruhová zkouška na suchém povrchu.

7.2.1 Brzdné zkoušky v podélném a příčném směru

Povrch plochy je stejně jako u jižní plochy příčně drážkovaný. Drážkování je ovšem méně výrazné. Na úvod byly provedeny opět brzdné zkoušky v podélném a příčném směru.



Obr. 68: Stopy pneumatik zanechané po brzděné zkoušce v podélném směru¹⁰⁹

V podélném směru byla naměřena hodnota brzdného zpomalení $a_{pod} = 8,13 \text{ m/s}^2$, v příčném směru byla naměřena hodnota $a_{př} = 8,12 \text{ m/s}^2$. Součinitel adheze povrchu byl tedy

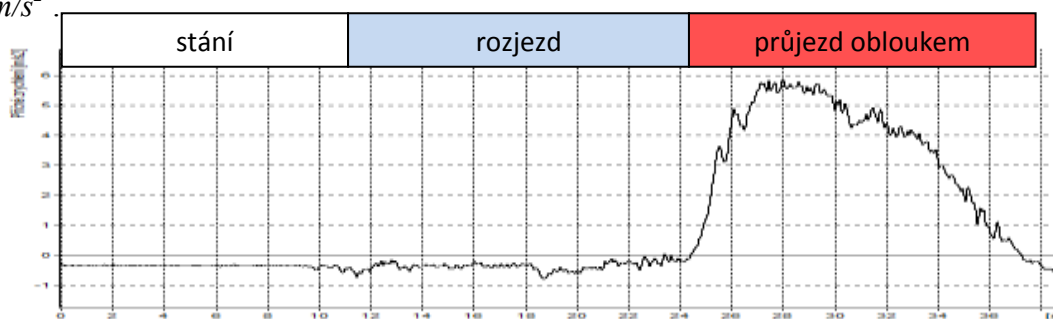
¹⁰⁸ Galerie ÚSI VUT

¹⁰⁹ Vlastní galerie autora

v obou směrech totožný $\mu = 0,828$. Následně byla na ploše vyznačena trať o šířce 3 m a středním poloměru 16 metrů. Pro tento poloměr byla vypočtena mezní rychlost $v_{mez} = 41 \text{ km/h}$. V následující části jsou představeny naměřené hodnoty a výsledky některých dílčích měření.

7.2.2 Měření průjezdu obloukem rychlostí 30 km/h s ESP

Měření bylo provedeno s číslem 6 s následujícími parametry: střední poloměr trati – 16 m, nájezdová rychlost – 30 km/h a systém ESP – *zapnutý*. Průběh působícího bočního zrychlení je patrný z následujícího grafu. Maximální hodnota bočního zrychlení během zkoušky byla: pomocí XL Meteru $6,16 \text{ m/s}^2$, pomocí MBoxu: $6,18 \text{ m/s}^2$, pomocí diagnostiky: $6,06 \text{ m/s}^2$.



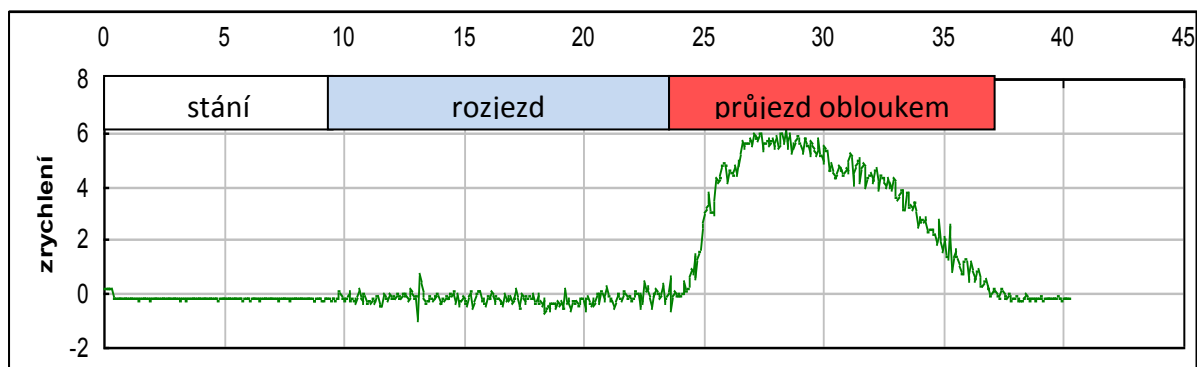
Graf 3: Průběh hodnot bočního zrychlení z XL Meteru při měření číslo 6

Vyhodnocení

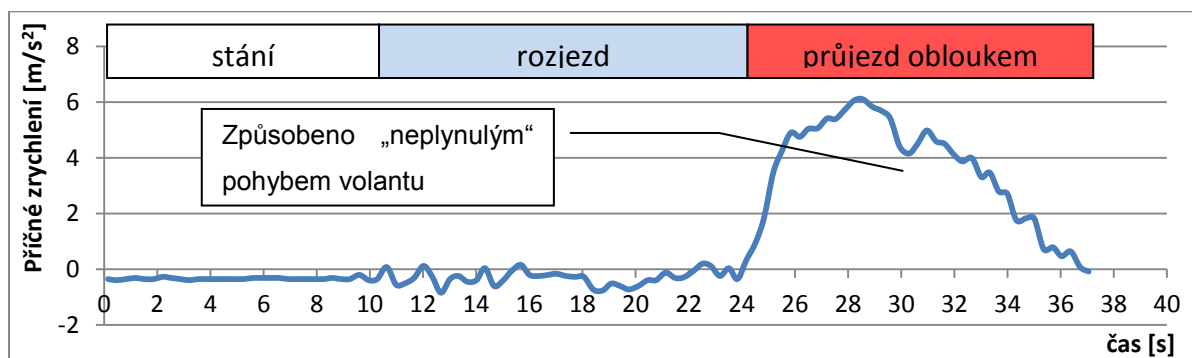
Průběh bočního zrychlení odpovídá průběhu zkoušky. Jednotlivé fáze:

- Stání: 0 - 9 s
- Rozjezd na nájezdovou rychlost: 9 - 24 s;
- Plynulý průjezd obloukem tratě konstantní rychlostí bez zásahu ESP: 24 - 38 s;

Průběh svým tvarem odpovídá plynulému dosažení maximální hodnoty a následný plynulý pokles. To odpovídá i způsobu průjezdu zatáčkou – plynulé zatáčení do zatáčky (nárůst bočního zrychlení), průjezd s konstantní rychlostí a natočením volantu (nárůst bočního zrychlení), výjezd ze zatáčky - plynulé srovnání volantu (pokles bočního zrychlení). Plynulý průjezd a průběh vyplývá i z dat naměřených pomocí MBoxu.



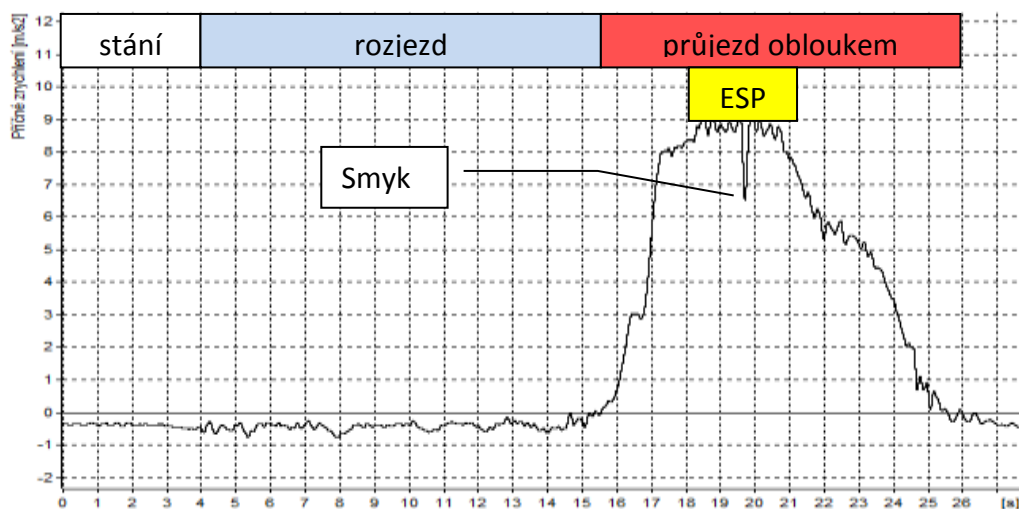
Graf 4: Průběh bočního zrychlení z MBoxu



Graf 5: Průběh bočního zrychlení z dat naměřených pomocí diagnostiky

7.2.3 Měření průjezdu obloukem mezní rychlostí 41 km/h s ESP

Měření s pořadovým číslem 7 bylo provedeno s následujícími parametry: střední poloměr trati – 16 m, nájezdová rychlost – 41 km/h a systém ESP – *zapnutý*. Maximální hodnota bočního zrychlení během zkoušky byla: pomocí XL Meteru 11,04 m/s², pomocí MBoxu: 10,36 m/s², pomocí diagnostiky se nepodařilo zaznamenat data – při rychlosti 40 km/h byla ukončena komunikace.



Graf 6: Průběh bočního zrychlení při měření číslo 7 podle hodnot z XL Meteru

Vyhodnocení

Průběh bočního zrychlení odpovídá průběhu zkoušky. Jednotlivé fáze:

- Stání: $0 - 4\text{ s}$
- Rozjezd na nájezdovou rychlost: $4 - 15\text{ s}$;
- Průjezd obloukem tratě konstantní rychlostí se zásahem ESP: $15 - 26\text{ s}$;
- Zásah systému ESP: $18,5 - 20,5\text{ s}$
- Ztráta boční stability (smyk): $19,5\text{ s}$

Průběh opět průběhu zkoušky - tzn. dosažení maximální hodnoty a následný pokles. V intervalu $18,5 - 20,5\text{ s}$ hodnota zrychlení osciluje mezi hodnotami $8,5$ a $9,0\text{ m/s}^2$, analýzou videozáznamu ze statické kamery bylo zjištěno, že toto kolísání odpovídá hluku, který vydávají pneumatiky. Obrázky z videozáznamu jsou umístěny na následující straně. V případě jízdy bez systému ESP byl zvuk od pneumatik spojitý a nepřerušovaný (například záznam jízdy číslo 13). Z toho tedy plyne, že došlo k přibrzdění jednotlivých a kol systémem ESP. Pokles bočního zrychlení přibližně v čase $19,5\text{ s}$ je způsoben mírným smykem, který byl vnímán řidičem i spolujezdcem.

Průběh měření číslo 7 ze záznamu statické kamery¹¹⁰



Čas 13 s – rozjezd



Čas 15 s – vjezd do zkušebního polygonu



Čas 16 s – jízda zkušební tratí



Čas 17 s – jízda zkušební tratí



Čas 18 s – jízda zkušební tratí



Čas 20 s – zásah ESP



Čas 21 s – jízda zkušební tratí

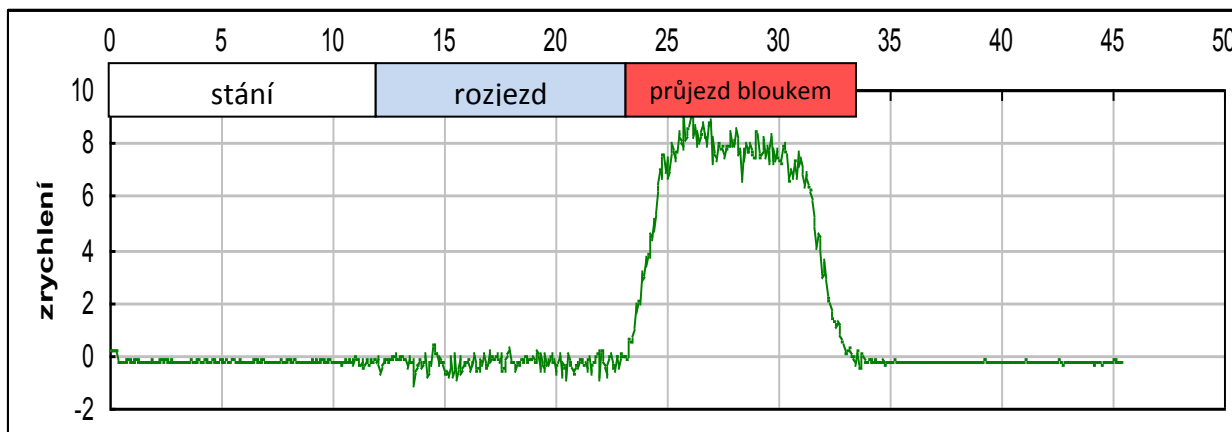


Čas 23 s – výjezd ze zkušebního polygonu

¹¹⁰ Galerie ÚSI VUT

7.2.4 Měření průjezdu obloukem rychlostí 39 km/h bez ESP

Měření bylo provedeno pod pořadovým číslem 13 s následujícími parametry: střední poloměr trati – 16 m, z důvodu bezpečnosti účastníků byla nájezdová rychlost – 39 km/h a systém ESP – vypnutý. Průběh působícího bočního zrychlení je patrný z následujícího grafu. Maximální hodnota bočního zrychlení během zkoušky byla: pomocí XL Meteru $9,07 \text{ m/s}^2$, pomocí MBoxu: $9,12 \text{ m/s}^2$, pomocí diagnostiky se nepodařilo zaznamenat data – při rozjezdu byla krátkodobě překročena rychlosti 40 km/h a opět byla ukončena komunikace.



Graf 7: Průběh bočního zrychlení při měření číslo 13 podle hodnot z naměřených MBoxem

Vyhodnocení

Průběh bočního zrychlení odpovídá průběhu zkoušky. Jednotlivé fáze:

- Stání: 0 - 12 s
- Rozjezd na nájezdovou rychlost: 12 - 23 s;
- Průjezd obloukem tratě konstantní rychlostí bez zásahu ESP: 23 - 32 s;

Průběh svým tvarem opět téměř odpovídá parabole. Řidič i spolujezdec pocítili mírný smyk přibližně v čase 28 s. Z analýzy videozáznamu z kamery bylo zjištěno, že při průjezdu bylo dosahováno meze boční stability vozidla – v záznamu je patrný konstantní hluk (pískání) způsobený pneumatikami. Rozdíl byl patrný i podle stop zanechaných na dráze – stopy byly jednolité a rozmazané, zatímco u měření číslo 13 byly zanechané stopy ostré a byl z nich patrný i vzorek pneumatik. V měření s pořadovým číslem 13 však byl funkční systém ESP. Zanechané stopy po obou měřeních jsou na obrázku 69.

Záznam průběhu měření číslo 13 z kamery z čelního skla¹¹¹

Na následujících obrázcích je zobrazen průjezd zkušebním obloukem s nájezdovou rychlostí 39 km/h. Na textu v levých horních rozích snímků jsou data zaznamenávaná kamerou: horní řádek: datum a čas (RRRR-MM-DD hh:mm:ss); prostřední řádek: zeměpisné souřadnice aktuální polohy (pomocí GPS); spodní řádek: aktuální rychlost v km/h (dle GPS).



Čas 15 s – rozjezd



Čas 23 s – vjezd do zkušebního polygonu



Čas 24 s – průjezd obloukem



Čas 25 s – průjezd obloukem



Čas 26 s – průjezd obloukem



Čas 27 s – průjezd obloukem/ mírný smyk

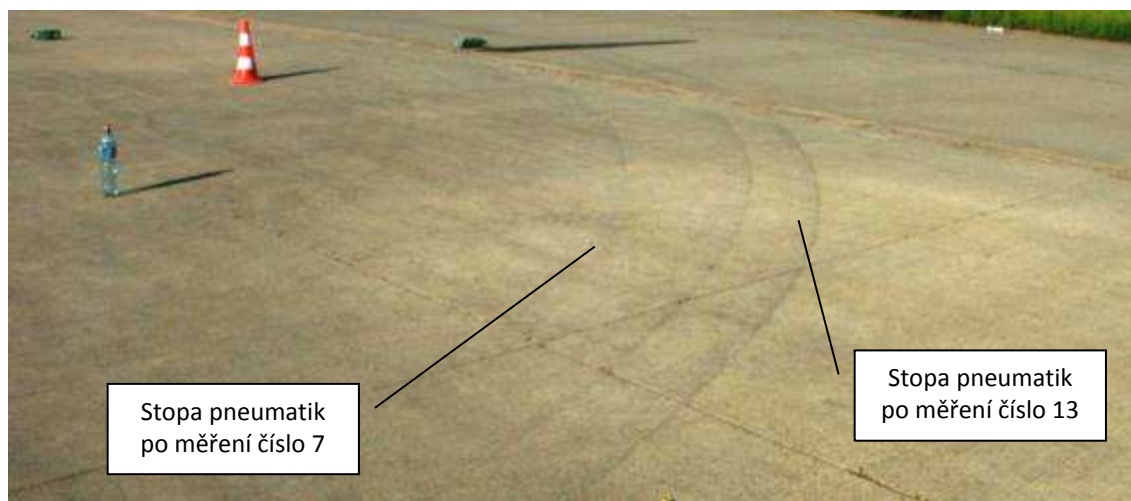


Čas 29 s – průjezd obloukem



Čas 32 s – výjezd z oblouku – konec.

¹¹¹ Galerie ÚSI VUT



Obr. 69: Stopy pneumatik po měření číslo 7(vnitřní) a 13 (vnější)

7.3 MĚŘENÍ JÍZDNÍCH PARAMETRŮ VOZIDLA ZA MOKRA

Pro měření číslo 14 – 32 byl povrch namočen mýdlovou vodou s cílem snížit koeficient adheze a tím pádem i velikost mezní rychlosti pro zvolený oblouk. Důvodem bylo mimo jiné zjištění, že k přerušení komunikace s řídicí jednotkou brzd dochází pravidelně překročením rychlosti 40 km/h . Během měření trať osychala, byla tedy průběžně namáčena mýdlovou vodou. Měření probíhalo pouze v situacích, kdy byla celá šířka trati mokrá.

7.3.1 Brzdná zkouška

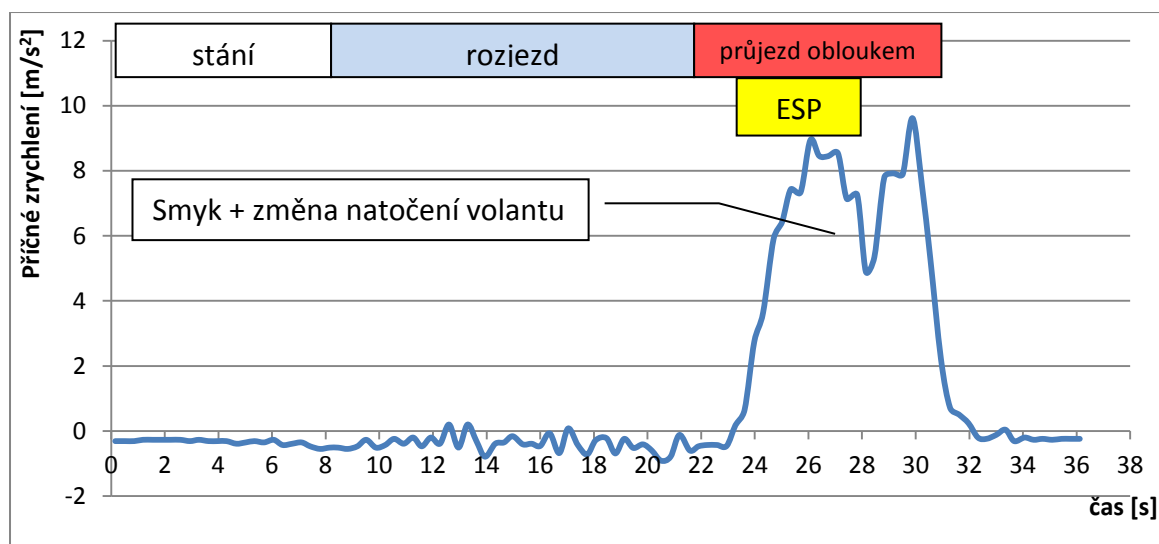
Brzdná zkouška byla provedena z rychlosti 55 km/h . Po předchozí zkušenosti byla zkouška provedena pouze v podélném směru. Bylo naměřeno zpomalení $a = 7,14 \text{ m/s}^2$, koeficient adheze pro mokrý povrch byl tedy $\mu = 0,727$. Střední poloměr zkušební trati zůstal nezměněn – 16 m . Pro tyto podmínky byla mezní rychlost $v_{mez} = 38,5 \text{ km/h}$.



Obr. 70: Namočená zkušební trať

7.3.2 Měření průjezdu obloukem mezní rychlostí 38 km/h s ESP

Po úspěšných předchozích měřeních (z hlediska bezpečnosti), bylo měření 19 provedeno s parametry: střední poloměr trati 16 m, nájezdová rychlost – 38 km/h a systém ESP – *zapnutý*. Průběh působícího bočního zrychlení je patrný z následujícího grafu. Maximální hodnota bočního zrychlení během zkoušky byla: pomocí XL Meteru 9,33 m/s², pomocí MBoxu: 9,47 m/s², pomocí diagnostiky 9,62 m/s².



Graf 8: Průběh bočního zrychlení při měření číslo 19 podle hodnot z naměřených pomocí diagnostiky

Vyhodnocení

Průběh bočního zrychlení odpovídá průběhu zkoušky. Jednotlivé fáze:

- Stání: 0 - 8 s
- Rozjezd na nájezdovou rychlost: 8 - 23 s;
- Průjezd obloukem tratě konstantní rychlostí se zásahem ESP: 23 - 32 s;
- Zásah systému ESP: 24 - 29 s
- Ztráta boční stability (smyk): 28 s

Z průběhu je patrná ztráta boční stability a smyk v čase 28 s. Řidič i spolujezdec pocítili výrazný přetáčivý smyk. Poté došlo ke korekci směru jízdy změnou natočení volantu z důvodu případného vyjetí mimo trať. Protože se vozidlo projevuje jako nedotáčivé, systém ESP správně vyhodnotil situaci a zasáhl vytvořením vratného momentu. Výsledkem zásahu systému ESP a reakce řidiče byl průjezd tratí bez jejího opuštění.

Záznam průběhu měření číslo 19 z kamery z čelního skla¹¹²



Čas 20 s – rozjezd



Čas 22 s – nájezd do zkušebního polygonu



Čas 23 s – jízda zkušební obloukem



Čas 24 s – vjezd do zkušebního polygonu



Čas 25 s – průjezd obloukem



Čas 26 s – průjezd obloukem, zásah ESP



Čas 27 s – průjezd obloukem

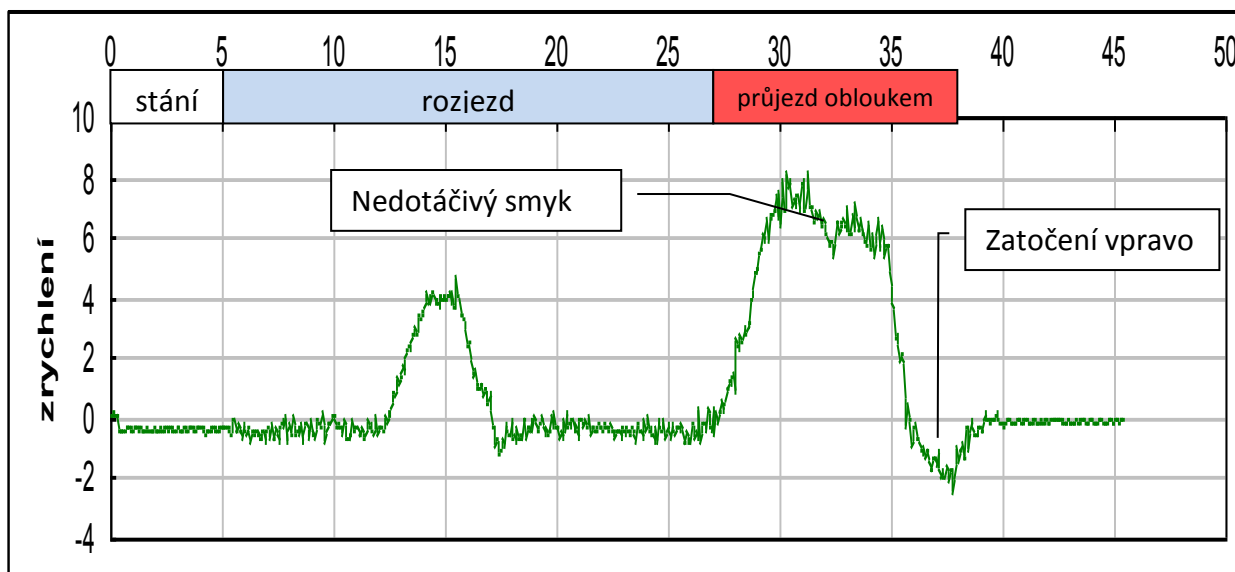


Čas 30 s – opuštění mokré trati

¹¹² Galerie ÚSI VUT

7.3.3 Měření průjezdu obloukem mezní rychlostí 38 km/h bez ESP

Při tomto měření s číslem 26 byly opakovány podmínky měření číslo 19: střední poloměr trati 16 m, nájezdová rychlost – 38 km/h. Rozdílem byl stav systému ESP – vypnutý. Maximální hodnota bočního zrychlení během zkoušky byla: pomocí XL Meteru 8,24 m/s², pomocí MBoxu: 8,39 m/s², pomocí diagnostiky 8,62 m/s².



Graf 9: Průběh bočního zrychlení při měření číslo 26 podle hodnot z naměřených MBoxem

Vyhodnocení

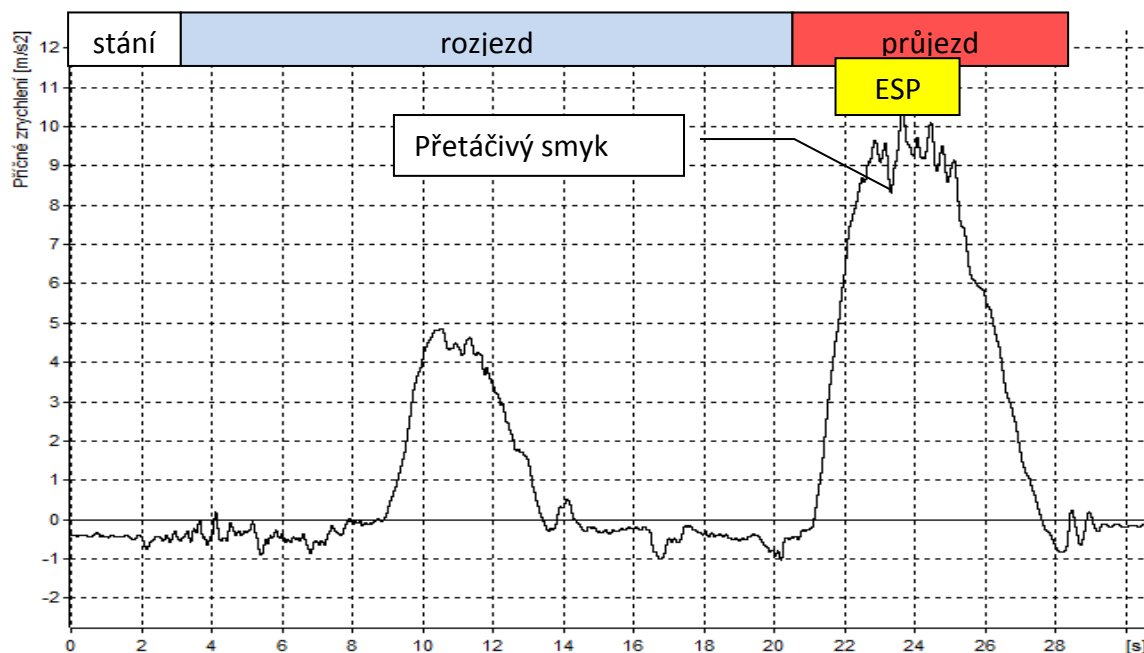
Průběh bočního zrychlení odpovídá průběhu zkoušky. Jednotlivé fáze:

- Stání: 0 - 5 s
- Rozjezd na nájezdovou rychlost: 5 - 27 s;
- Průjezd obloukem tratě konstantní rychlostí bez zásahu ESP: 23 - 32 s;
- Ztráta boční stability (smyk): 33 s

Rozjezd byl realizován z jiného místa – příčný přejezd plochy, zatočení vlevo a pokračování rovně směrem k trati. Důvodem pro jiný způsob rozjezdu byla pozvolnější akcelerace a tím pádem víc času na nastavení tempomatu na požadovanou rychlost. Z průběhu je patrná ztráta boční stability a smyk (nedotáčivý) v čase 33 s. Řidič na smyk nereagoval korekcí řízení a vozidlo vyjelo cca. 0,5 m mimo vyznačenou trať – došlo ke sražení PET lahví lemujících vnější rádius vyznačené trati.

7.3.4 Měření průjezdu obloukem rychlostí 50 km/h s ESP

Měření s pořadovým číslem 30 bylo provedeno s následujícími parametry: střední poloměr trati – 16 m, nájezdová rychlost byla zvolena vyšší než mezní rychlost, tedy – 50 km/h a systém ESP – zapnutý. Maximální hodnota bočního zrychlení během zkoušky byla: pomocí XL Meteru 11,18 m/s², pomocí MBoxu: 10,8 m/s², pomocí diagnostiky se nepodařilo zaznamenat data, protože byla překročena rychlost 40 km/h a tím pádem byla ukončena komunikace.



Graf 10: Průběh bočního zrychlení při měření číslo 30 podle hodnot z XL Meteru

Vyhodnocení

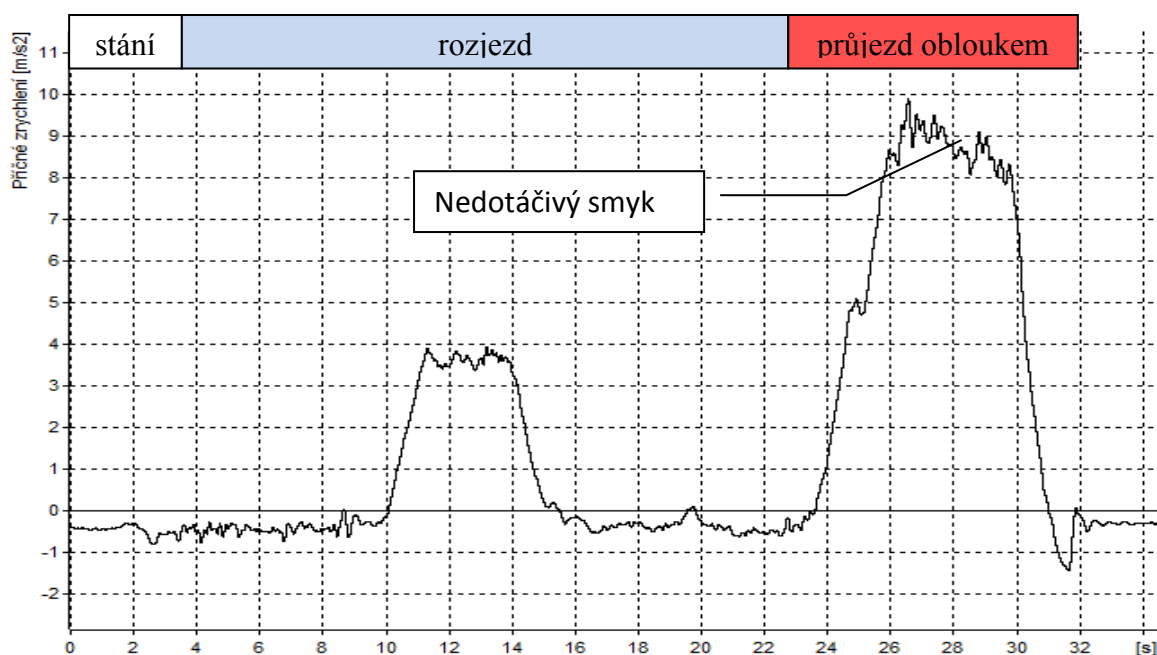
Průběh bočního zrychlení odpovídá průběhu zkoušky. Jednotlivé fáze:

- Stání: 0 - 3 s
- Rozjezd na nájezdovou rychlost: 3 – 20,5 s;
- Průjezd obloukem tratě konstantní rychlostí se zásahem ESP: 20,5 - 28 s;
- Ztráta boční stability (smyk): 23 s

Rozjezd byl realizován stejně jako u měření 26. Z průběhu je patrný zásah systému ESP (oscilace kolem hodnoty 9,5 m/s²). Regulací systému ESP byl způsoben vratný moment, který pocítil řidič i spolujezdec. Protože bylo takové chování předpokládáno, řidič na smyk nereagoval a vozidlo vyjelo cca. 1 m mimo vyznačenou trať – i v tomto případě došlo ke sražení PET lahví – na vnitřním poloměru trati.

7.3.5 Měření průjezdu obloukem rychlostí 40 km/h bez ESP

Po úspěšném docílení zásahu ESP v měření číslo 30, bylo cílem měření číslo 31 docílit nestability i bez systému ESP, proto bylo toto měření provedeno s parametry: střední poloměr trati 16 m, rychlost průjezdu tratí – 40 km/h a systém ESP – vypnutý. Průběh působícího bočního zrychlení je patrný z následujícího grafu. Maximální hodnota bočního zrychlení během zkoušky byla: pomocí XL Meteru 10,31 m/s², pomocí MBoxu: 10,22 m/s². Kvůli vyšší rychlosti než 40 km/h nebyla diagnostika k měření bočního zrychlení využita. Pomocí diagnostiky byla přes řídicí jednotku kontrolována rychlost vozidla.



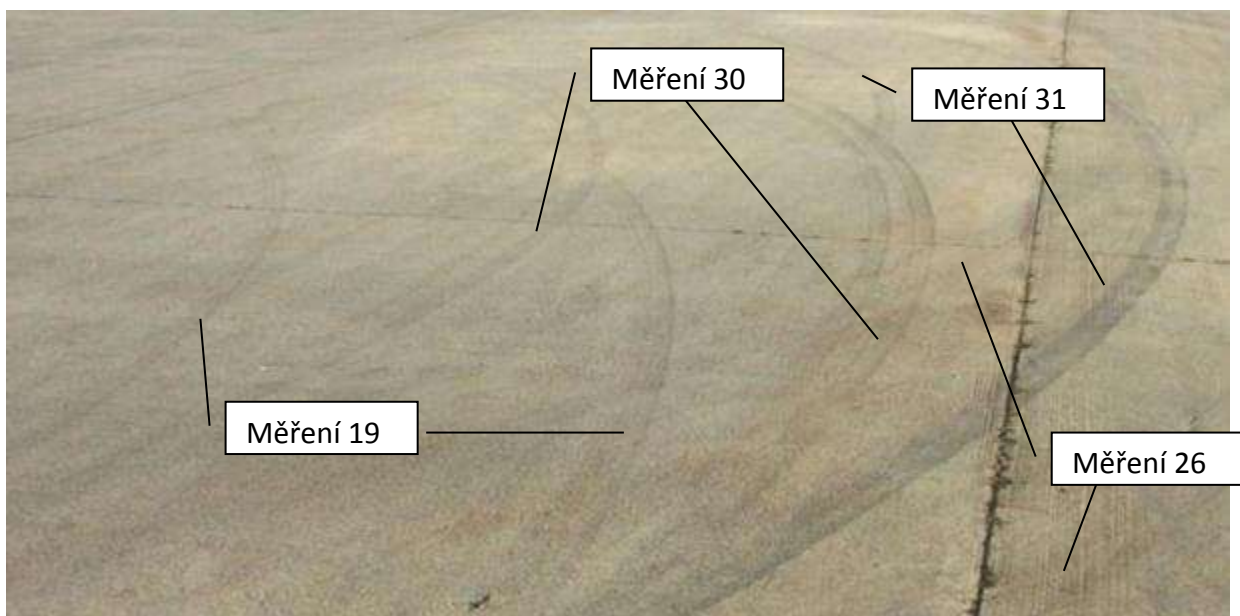
Graf 11: Průběh bočního zrychlení při měření číslo 31 podle hodnot z XL Meteru

Vyhodnocení

Průběh bočního zrychlení odpovídá průběhu zkoušky. Jednotlivé fáze:

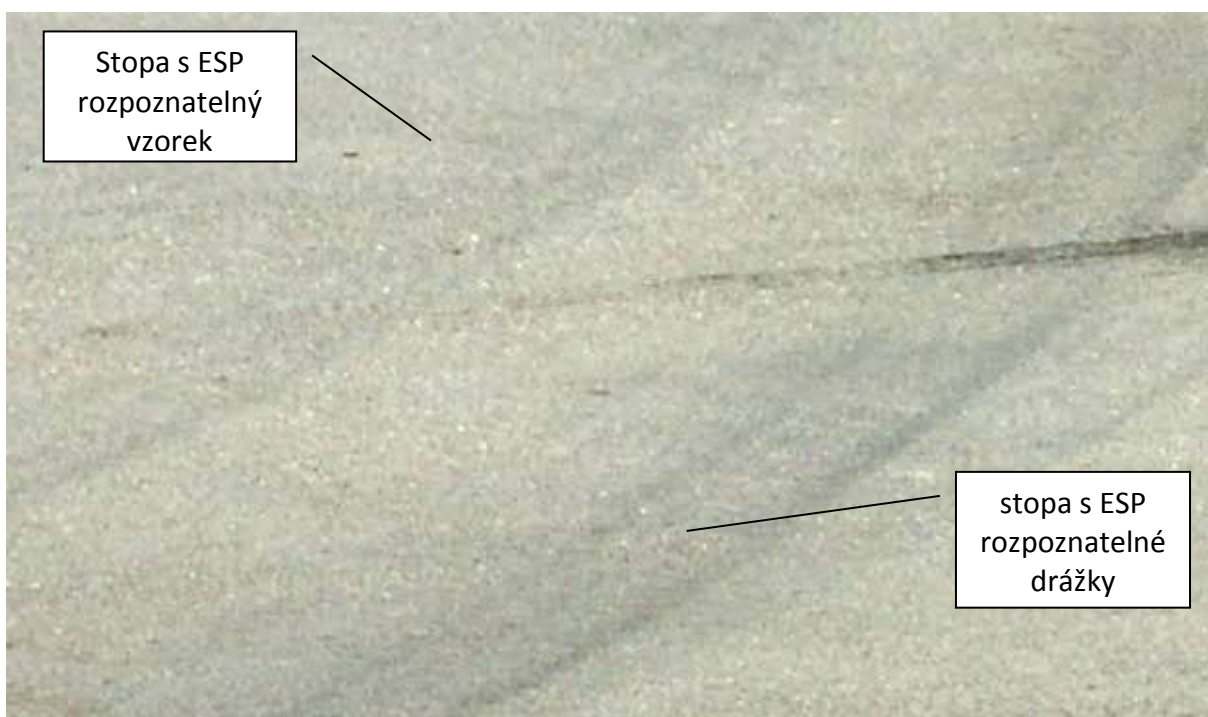
- Stání: 0 – 3,5 s
- Rozjezd na nájezdovou rychlost: 3,5 - 23 s;
- Průjezd obloukem tratě konstantní rychlostí bez zásahu ESP: 23 - 31 s;
- Ztráta boční stability (smyk): 29 s

Z průběhu je patrná ztráta boční stability a smyk (nedotáčivý) v čase 29 s. Řidič smyk předpokládal a cíleně na smyk nereagoval korekcí řízení. Vozidlo tedy vyjelo cca. 0,75 m mimo vně vyznačenou trať. Na ploše zůstaly stopy pneumatik po jednotlivých průjezdech vozidla. Po oschnutí trati byl pořízen následující snímek.



Obr. 71: Stopy po měřeních, zleva: 19, 30, 26 a 31

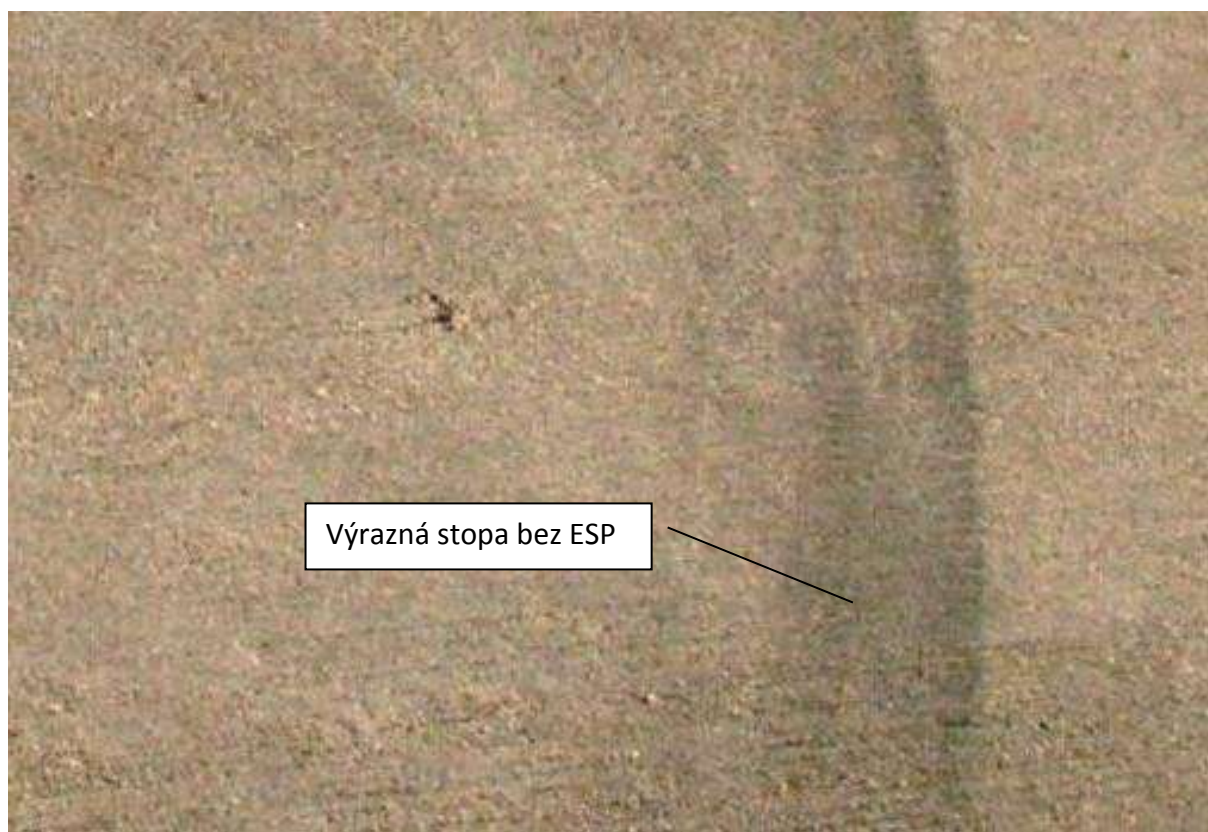
Také u těchto stop by patrný markantní rozdíl v jejich vzhledu. Stopy po měřeních číslo 19 a 30, tedy po měřeních s funkčním systémem ESP byly výrazně ostřejší, ale méně výrazné. Toto bylo způsobeno zásahem systému ESP, který kola vhodným způsobem přibrzdí. Došlo tedy k pohybu kol, který měl blíže k odvalování než ke smýkání = ostré „otisknutí“ vzorku pneumatik na povrch vlivem zatížení.



Obr. 72: Detail stopy pneumatiky po průjezdu se systémem ESP

Ke smýkání pneumatik evidentně došlo v případech, kdy byl systém ESP vypnut. Z důvodu vyšší než mezní rychlosti došlo k překročení maximální přenositelné boční síly

pneumatikou (kapitola 2.4) za daných adhezních podmínek. Výsledkem tedy bylo nekontrolované smýkání = zanechání výrazné homogenní stopy na zkoušeném povrchu, ze které ovšem není rozpoznatelný vzorek pneumatiky. Protože se tato situace opakovala několikrát, je možné konstatovat, že pro daný vůz by mělo být možné pouze na základě vizuální kontroly zanechaných stop rozhodnout, jestli se pohyboval danou trajektorií s funkčním systémem ESP či nikoliv. Jinými slovy – podle zanechaných stop mělo být možné rozhodnout, zdali systém zasáhl nebo ne. Zdali je tato skutečnost platná obecně, by bylo možné prokázat provedením obdobných zkoušek s dalšími vozidly.



Obr. 73: Detail výrazné stopy pneumatiky po průjezdu bez systému ESP

Další zajímavou skutečností je i samotný směr zanechaných stop pneumatik. Při měřeních, jejichž stopy jsou zachyceny na obrázku 71, byly totiž nájezdové rychlosti pouze mírně vyšší než mezní rychlost pro daný poloměr. Stopy po jízdě bez ESP se kupodivu nacházely přibližně na vyznačené trati nebo ji kopírovaly, ale stopy po jízdách se systémem ESP směřovaly vždy dovnitř oblouku. Lze tedy konstatovat, že v případech jízdy s aktivním systémem ESP rychlostí nepatrně vyšší (vyzkoušeno pro $v_{mez} + 3 \text{ km/h}$), než mezní rychlost pro daný oblouk, je moment vytvořený systémem ESP zkoumaného vozidla větší, než by byl ve skutečnosti potřeba. Obdobně jako u tvrzení o zanechaných stopách pneumatik by bylo vhodné i tuto skutečnost prokázat či zamítnout pomocí dalších experimentů.

7.4 KRUHOVÉ ZKOUŠKY

Celkem bylo provedeno 8 kruhových zkoušek (měření číslo 33 – 40). Kruhové zkoušky byly provedeny na tratích šířky 3 m se středními poloměry 10 a 13 metrů. Průběh zkoušek byl následující: průjezd tratí pro zjištění potřebného úhlu natočení volantu. Po nalezení úhlu byla postupně zvyšována rychlost průjezdu, přičemž úhel natočení volantu zůstával nezměněn. Rychlost byla navyšována vždy po projetí celého okruhu až do chvíle výjezdu vozidla mimo trať. Zkoušky byly prováděny na suchém povrchu se součinitelem adheze tedy $\mu = 0,828$. Pro střední poloměr zkušební trati 16 m byla vypočtena mezní rychlost $v_{mez} = 32,4 \text{ km/h}$. (kruhové zkoušky viz kapitola 2.5.2.)

7.4.1 Kruhová zkouška s vypnutým systémem ESP

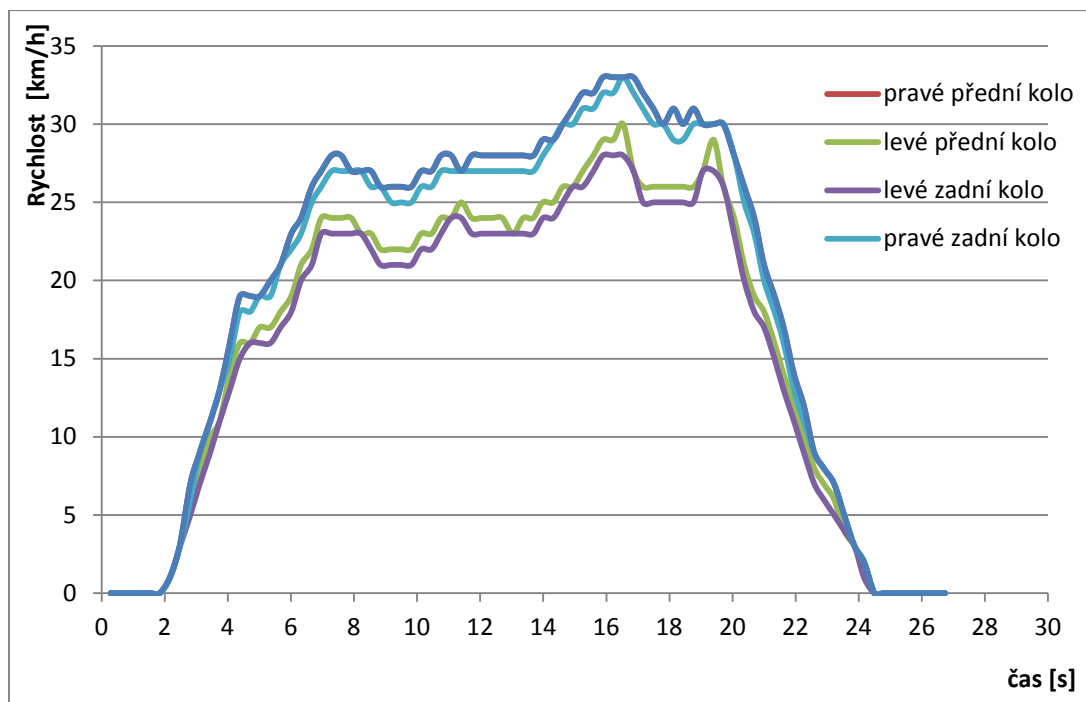
Při měření číslo 35 byly snímány data všemi dostupnými přístroji (viz kapitola 6.5). Pomocí XL Meteru byl zjištěn plynulý průběh bočního zrychlení. Maximální boční zrychlení bylo naměřeno pomocí XL Meteru $10,18 \text{ m/s}^2$, pomocí MBoxu: $10,1 \text{ m/s}^2$ a pomocí diagnostiky $9,89 \text{ m/s}^2$.



Graf 12: Průběh bočního zrychlení při kruhové zkoušce bez ESP

Vyhodnocení

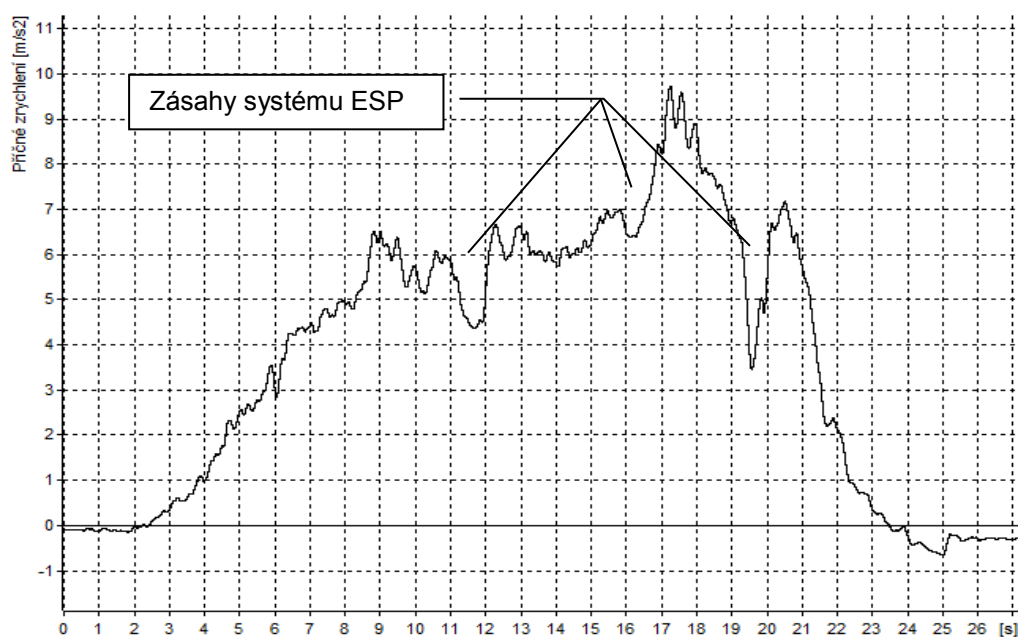
Průběh bočního zrychlení odpovídá průběhu zkoušky- plynule byla zvyšována rychlost průjezdu a udržován konstantní úhel natočení volantu. Podle dat získaných přes diagnostiku byla rychlost vozidla před smykem 33 km/h . Tedy vyšší než mezní rychlost.



Graf 13: Průběh rychlosti kol při měření číslo 35

7.4.2 Kruhová zkouška se zapnutým systémem ESP

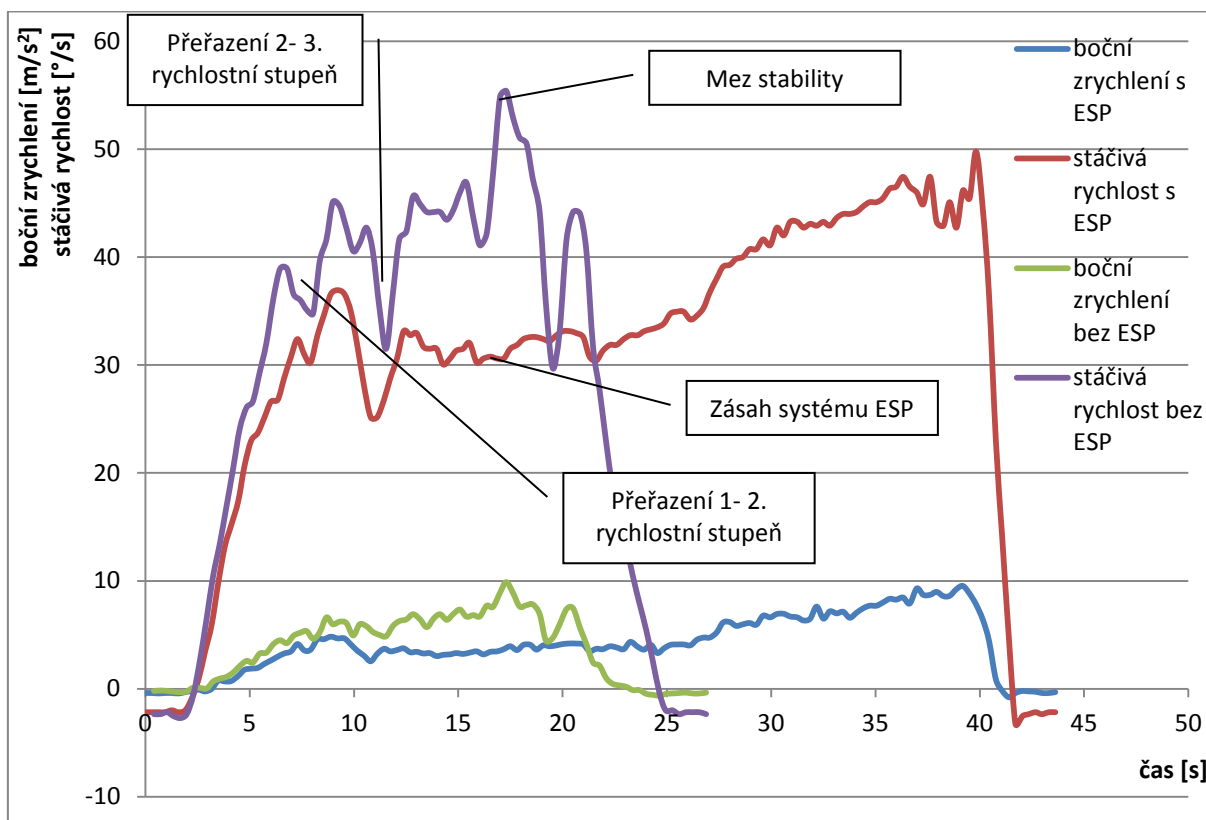
Při měření číslo 36 byla provedena kruhová zkouška za stejných podmínek jako v předchozím případě. Jediným rozdílem bylo nevyřazení systému ESP z činnosti pomocí tlačítka. Maximální boční zrychlení bylo naměřeno pomocí XL Meteru $10,20 \text{ m/s}^2$, pomocí MBoxu: $10,16 \text{ m/s}^2$ a pomocí diagnostiky $9,3 \text{ m/s}^2$.



Graf 14: Průběh bočního zrychlení při kruhové zkoušce se systémem ESP

Vyhodnocení

Průběh bočního zrychlení odpovídá průběhu zkoušky- zvyšování rychlost průjezdu zvyšovalo boční zrychlení – zásahy systému ESP, které způsobily několik přetáčivých smyků, které byly řidičem regulovány změnou natočení volantu. Podle dat získaných přes diagnostiku byly rychlosti vozidla před smykem 32 km/h, 35 km/h a 36 km/h. Tedy rovny nebo vyšší než mezní rychlost.



Graf 15: průběh stáčivé rychlosti a bočního zrychlení při kruhových zkouškách

7.5 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

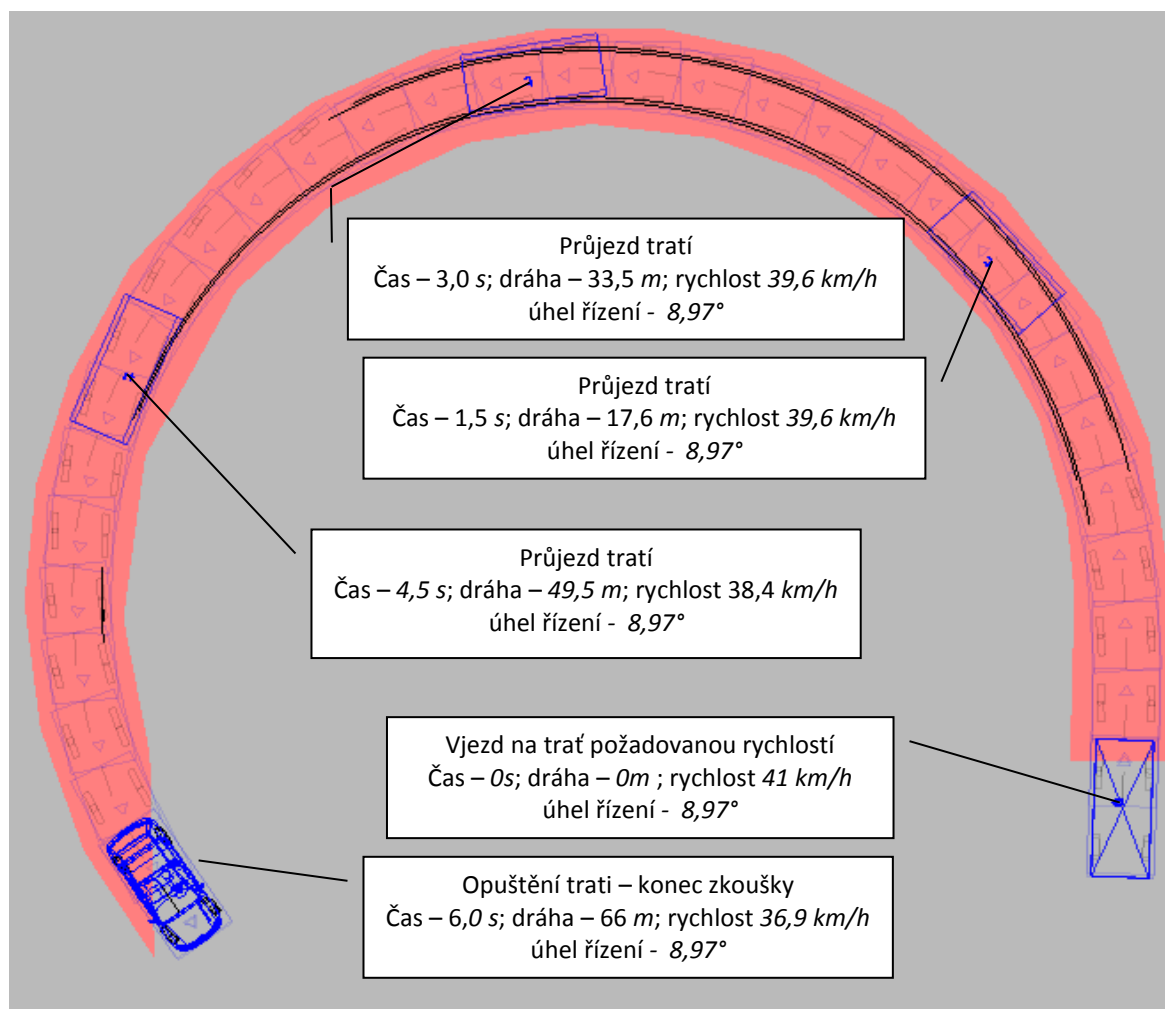
- Z obdobných situací, kdy byl u zkoušeného vozidla systém ESP činný a vypnutý pomocí tlačítka ESP OFF, se podařilo získat hodnoty: podélného zrychlení, příčného zrychlení, stáčivé rychlosti, úhlu natočení volantu, otáček motoru, rychlosti vozidla a rychlosti jednotlivých kol vozidla.
- Podařilo se docílit podmínek pro zásah systému ESP
- Komunikace s řídicí jednotkou brzd přes diagnostický kabel probíhá pouze do rychlosti 40 km/h.

8 SIMULACE V PROGRAMU VIRTUAL CRASH

V simulačním programu Virtual Crash byly provedeny simulace podmínek za kterých byly dne 19. 5. 2011. provedeny jízdní zkoušky. Výsledky těchto simulací jsou patrné z následujících obrázků. Nasimulována byla výše uvedená měření číslo 7 a 19 – měření kdy byla nájezdová rychlost rovna mezní rychlosti pro dané adhezní podmínky.

8.1 SIMULACE JÍZDY MEZNÍ RYCHLOSTÍ ZA SUCHA

Při této simulaci bylo cílem se přiblížit podmínkám měření číslo 7, které je podrobně popsáno v kapitole 7.2.3, mezní rychlost byla 41 km/h. Touto rychlostí byl také realizován nájezd na zkušební trať. Výsledek celé simulace a její jednotlivé sekvence jsou znázorněny na následujícím obrázku.

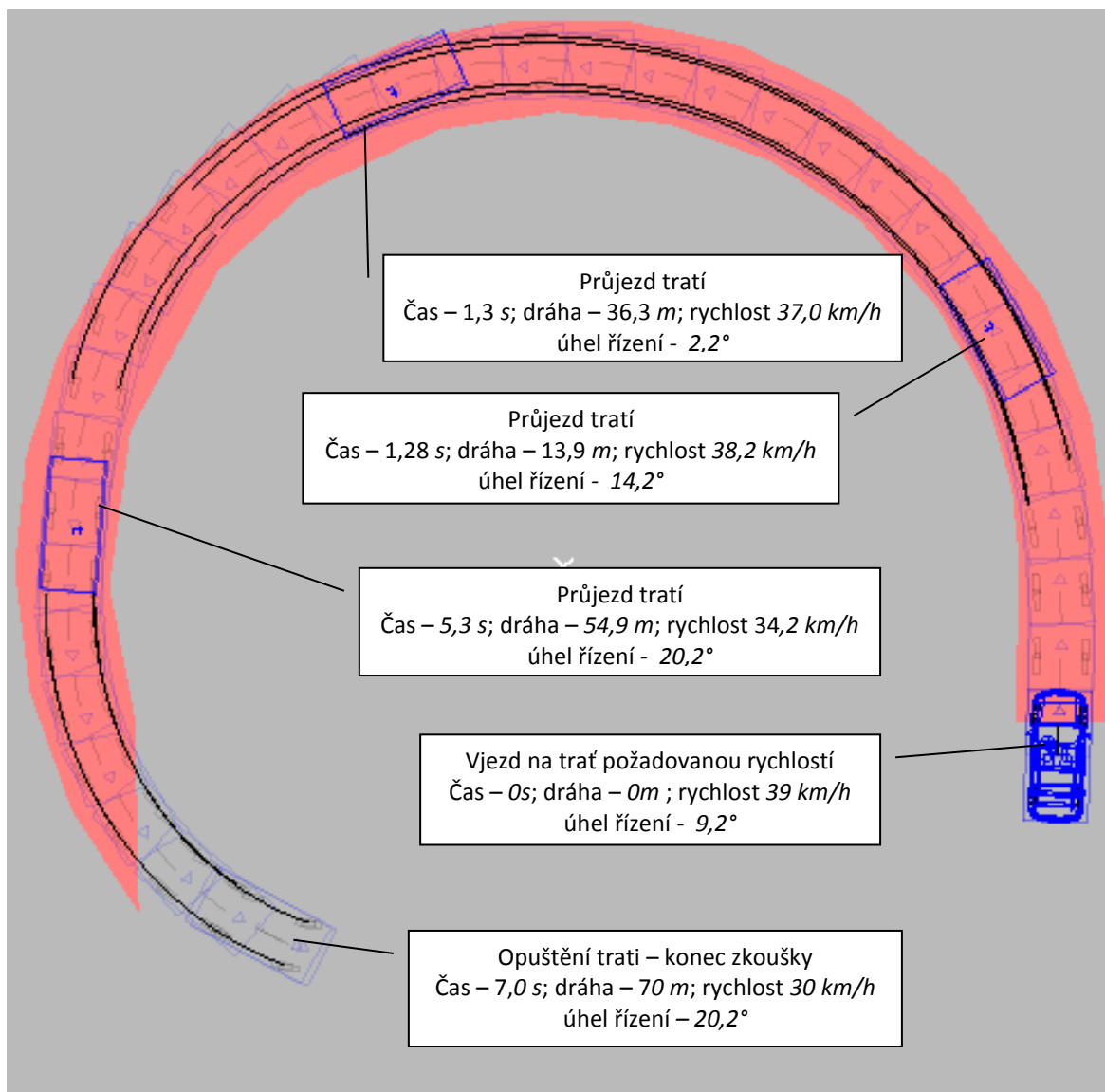


Obr. 74: Simulace měření číslo 7 v programu Virtual Crash

Provedená simulace odpovídá průběhu reálně provedené zkoušky ze dne 19. 5. 2011

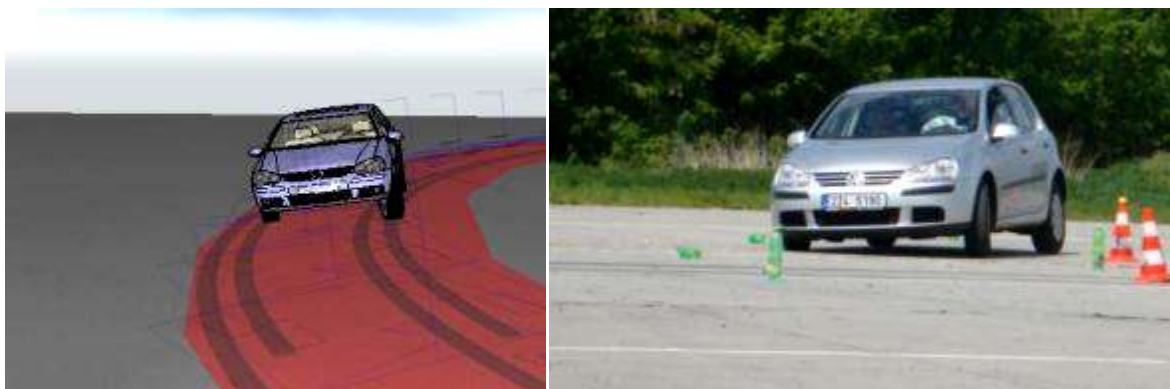
8.2 SIMULACE JÍZDY MEZNÍ RYCHLOSTÍ ZA MOKRA

Při této simulaci bylo cílem vytvořit co nejvěrnější podmínky měření za snížené adheze s pořadovým číslem 19, které je podrobně popsáno v kapitole 7.3.2, nájezdová a zároveň mezní rychlost byla 39 km/h. Výsledek celé simulace a její jednotlivé sekvence jsou znázorněny na následujícím obrázku.



Obr. 75: Simulace měření číslo 19 v programu Virtual Crash

Provedená simulace odpovídá reálnému průběhu zkoušky, jak byl zaznamenán pomocí kamer a fotoaparátů. Správným nastavením hodnot všech parametrů je možné docílit stejného výsledku – stopy pneumatik jsou v simulaci viditelné o několik metrů dříve, než tomu bylo ve skutečnosti.



Obr. 76: Srovnání simulace a reálného průjezdu¹¹³

Srovnání

Z porovnání provedených simulací měření a skutečných měření, lze konstatovat, že simulace je velmi vhodná při plánování měření. Provedení simulace výsledků lze definitivně doporučit před provedením nebezpečnějších měření – například pro vyšší překročení mezní rychlosti.

9 VYHODNOCENÍ

Na základě teoretického rozboru problematiky elektronických stabilizačních systémů podvozku vozidla byl navržen způsob, jakým lze provést praktický experiment vedoucí ke zjištění vlivu těchto systémů na jízdní dynamiku vozidla. Podle navržené metodiky (kapitola 6.4.1) byly měření dne ve dnech 13. a 19. 5. 2011 realizovány.

Na základě provedení srovnání naměřených parametrů z jízdních zkoušek s funkčním a vypnutým systémem ESP lze určit okamžik zásahu systému ESP. Ze srovnání naměřených hodnot vyplývá, že u zkoumaného osobního vozidla Volkswagen Golf fungují elektronické stabilizační systémy způsobem odpovídajícím teoretickému popisu – konkrétně: při vypnutém systému ESP se tento vůz v zatáčce chová jako nedotáčivý, při jízdě s aktivovaným systémem ESP, však tento systém vytvoří vhodný moment a tím pomůže řidiči k bezpečnému projetí požadovaným poloměrem.

Z provedených měření ovšem vyplynula zajímavá vlastnost zanechaných stop pneumatik po průjezdech se systémem ESP a bez něj. Při aktivním systému ESP zůstaly po průjezdu méně výrazné, ale ostré stopy pneumatik, ze kterých byl rozpoznatelný i vzorek dezénu. Naopak po průjezdu stejnou nájezdovou rychlostí bez systému ESP, zůstaly na ploše

¹¹³ Galerie ÚSI VUT

výrazné stopy, ze kterých ovšem nebyl rozpoznatelný vzorek dezénu. Zásahem systému je tedy zabráněno smýkání pneumatik a je dosaženo jejich odvalování.

Dalším zajímavým zjištěným poznatkem ze zanechaných stop bylo i zjištění že při rychlostech nájezdu nepatrně vyšších než mezní rychlost v projížděném oblouku, je reakce systému ESP zkoumaného vozidla na vzniklou situaci výraznější, než by daná situace vyžadovala. Pro potvrzení či vyvrácení obecné planosti těchto zjištění však ještě bude potřeba provést další měření a experimenty.

V simulačním prostředí programu Virtual Crash byly následně nasimulovány podmínky provedení měření číslo 7 a 19. Nájezdová rychlost při těchto měřeních byla stanovena mezní rychlosti pro dané podmínky. Protože „nasimulovat lze téměř všechno“ jsou průběhy zkoušek v simulačním programu srovnatelné s průběhy reálných zkoušek zaznamenaných dne 13. 5. 2011. Lze tedy potvrdit a doporučit vhodnost provedení počítačové simulace před samotným provedením reálného testu.

10 ZÁVĚR

Tato práce pojednává o možnostech zjišťování vlivu elektronických stabilizačních systémů podvozku na jízdní dynamiku vozidla. V úvodních kapitolách je tedy proveden rozbor jak samotné jízdní dynamiky, tak především rozbor jednotlivých druhů stabilizačních systémů. U každého stabilizačního systému je uveden popis jeho základních součástí a stručný přehled jeho funkce a úkonů při stabilizaci vozidla. Dále jsou také uvedeny obecné možnosti, jakými lze zjišťovat hodnotit stabilitu vozidla a parametry jeho jízdní dynamiky.

Na základě těchto rozborů jsou v kapitole šest představeny základní přístupy k možnostem zjišťování vlivu, nebo též zásahu, stabilizačních systémů. Pro účely této práce byl zvolen, jako možnost zjištění vlivu stabilizačního systému na jízdní dynamiku vozidla, reálný způsob – tedy provedení reálných experimentů. V rámci podkapitol je pak proveden popis a návrh metodiky měření, dále popis měřené soustavy a popis potřebných měřících přístrojů a dalšího vybavení.

V sedmé kapitole je proveden podrobný popis části provedených měření, které byly v rámci vypracovávání práce realizovány. Kompletní přehled všech provedených měření a podmínek, za kterých byla uskutečňována, je umístěn v příloze 1 této práce. Naměřené data jsou pak dostupná na přiloženém CD. V jednotlivých podkapitolách jsou tedy provedeny popisy a rozborů pouze několika měření, která byla z hlediska možností jejich vzájemného srovnávání považována za důležitá.

Výsledkem analýzy naměřených hodnot je potvrzení, že zvolený způsob provedení experimentu je jednou z možností zjištění vlivu stabilizačního systému na jízdní dynamiku vozidla čímž došlo k naplnění tématu práce a zároveň splnění jedno cíle. Z hlediska vylepšování navržené metodiky zjišťování vlivu elektronického stabilizačního systému na jízdní dynamiku lze doporučit snahu o vytváření postupů, ve kterých bude maximálně snížen vliv nejméně předvídatelného článku celé soustavy, kterým je člověk.

Při provedení navržených experimentů a zpracování dat byly zjištěny dvě zajímavé skutečnosti: V situacích, které bychom mohli označit jako mírně kritické, tedy takové kdy mezní rychlost průjezdu zatáčkou nebyla významně překročena (například o 2 km/h), byl u zkoumaného vozidla zásah jeho stabilizačního systému nepřiměřený skutečným podmínkám. Dle subjektivního hodnocení řidiče, tedy systém ESP několikrát „pomohl“ řidiči více než bylo v daný okamžik skutečně potřeba.

Další velmi zajímavou skutečností byly vlastnosti zanechaných stop pneumatik – stopy po průjezdu bez systému ESP byly „plné“ a velmi výrazné, zatímco stopy po průjezdu se systémem ESP byly méně výrazné, ale bylo z nich možné rozpoznat vzorek dezénu pneumatik. Prokázání či zamítnutí obecné platnosti tohoto zjištění lze považovat jako vhodný námět pro další pokračování v budoucnu. Význam tohoto potvrzení by byl především v oblasti analýzy nehod – na základě zanechaných stop pneumatik by bylo možné rozhodnout, zad-li stabilizační systém měl vliv na nehodu či nikoliv.

V rámci této práce byl proveden experiment s jedním vozidlem na jedné ploše a dvěma součiniteli adheze. Přičemž snížená adheze byla vyvolávána uměle pomocí mýdlové vody. Pro zmíněné potvrzení způsobu zanechávání stop pneumatik je však nutné provést experimentální měření poněkud komplexněji – více povrchů, více vozidel, více řidičů a především ideálně vždy za reálných podmínek.

Navržená metodika zjišťování vlivu elektronických stabilizačních systémů je postavena na zjištění zásahu systému s maximálním možným bezpečím pro osádku vozidla. Jejím provedením, za dodržení všech zásad bezpečnosti, by tedy například „zvědavý uživatel“ z šesté kapitoly této práce, mohl poměrně bezpečně zjistit, jaký má stabilizační systém v jeho vozidle vliv na jízdní dynamiku jeho vozidla.

11 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] VLK, F. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel/:* výkon vozidla, brzdné vlastnosti, převodová ústrojí, řízení, geometrie kol, tlumiče a pružiny, řiditelnost a ovladatelnost, životnostní zkoušky, motor, zapalování, elektronické systémy. 1. vyd. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2001. 576 s. ISBN 80-238-6573-0
- [2] VLK, F. *Automobilová technická příručka*. 1. vyd. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., 2003. 791 s. ISBN 80-238-9681-4
- [3] VLK, F. *Elektronické systémy motorových vozidel*. 1. a 2. díl 1. vyd. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., 2002. 592 s. ISBN 80-238-7282-6
- [4] VLK, F. *Dynamika motorových vozidel: Jízdní odpory. Hnací charakteristika. Brzdění. Odpružení. Řiditelnost, ovladatelnost. Stabilita*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000. 434 s. ISBN 80-238-5273-6
- [5] VLK, F. *Podvozky motorových vozidel: pneumatiky a kola, zavěšení kol, nápravy, odpružení, řídicí ústrojí, brzdové soustavy*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000. 392 s. ISBN 80-238-5274-4
- [6] VLK, F. *Automobilová elektronika 1: asistenční a informační systémy*. 1. vyd. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., 2006. 269 s. ISBN 80-239-6462-3
- [7] VLK, F. *Automobilová elektronika 2: systémy řízení podvozku a komfortní systémy*. vyd. 1. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2006. 308 s. ISBN 80-239-7062-3
- [8] JAN, Z.; ŽDÁNSKÝ, B.; ČUPERA, J. *Automobily I.: Podvozky* 2. vyd. Brno: Nakladatelství Avid s.r.o., 2009. 228 s. ISBN 978-80-87143-03-2
- [9] PANÁČEK, V.: *Vybrané asistenční systémy vozidel*. In *Konference Junior Forensic Science Brno '10. Sborník anotací - uvnitř CD s plným zněním příspěvků*. Brno 2010: ÚSI VUT v Brně, 2010. ISBN: 978-80-214-4090-6.
- [10] VÉMOLA, A. *Diagnostika automobilů I.* Vyd. 1. Brno: Littera, 2006. 127 s. ISBN 80-85763-31-1 (brož.).

- [11] VÉMOLA, A.: *Diagnostika automobilů II.*. Vyd. 1. Brno: Littera, 2006. 82 s. ISBN 80-85763-32-X (brož.).
- [12] *Uživatelská příručka pro vozidlo Volkswagen Golf*, vyd. 2004
- [13] *www stránky serveru autolexicon.cz* [Online], Dostupné z: www.autolexicon.net [Citováno 15. 2. 2011]
- [14] *www stránky společnosti Robert Bosch, GmbH*, [Online], Dostupné z: www.bosch.com (www.rb-kwin.bosch.com) a www.bosch.de [Citováno 8. 2. 2011 a 15. 1. 2011]
- [15] *www stránky společnosti Škoda auto, a.s.* [Online], Dostupné z: www.skoda-auto.com [Citováno 3. 4. 2011]
- [16] *www stránky českého zastoupení společnosti Volkswagen.* [Online], Dostupné z: www.volkswagen.cz [Citováno 12. 4. 2011]
- [17] *Prezentace výsledků disertační práce*, [Online text], Dostupné z: http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz_soubor.php?id=478 [Citováno 25. 4. 2011]
- [18] *Návod k použití XL Meteru.* [Online], Dostupné z: <http://www.nehodar.cz/docs/XLMPUSRCZ.pdf> [Citováno 12. 4. 2011]
- [19] *Obrázky kamer Cannon a Funbeat*, [Online], Dostupné z: www.tsbohemia.cz [Citováno 10. 5. 2011]
- [20] *Diagnostická sada VAG-COM PROFI*, [Online], Dostupné z: <http://www.pc-autodiagnostika.cz/zbozi/vag-com-profi> [Citováno 27. 3. 2011]
- [21] *Vlastní galerie autora*
- [22] *Galerie ÚSI VUT*

12 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a	zrychlení / zpomalení
ABS	protiblokovací systém brzd
ACC	adaptivní kontrola vzdálenosti
AFS	aktivní stabilizace podvozku
APS	automatický parkovací systém
ASR	protiskluzový systém
BA	brzdový asistent
CAN	controlled area network
EDS	elektronická uzávěrka diferenciálu
$EGAS$	"elektronický plyn"
EMS	elektronické řízení výkonu motoru
$EOBD$	European on board diagnostics
ESP	elektronický stabilizační systém
J	součinitel valivého odporu
F_k	hnací síla vozidla
g	gravitační konstanta
G	tíha vozidla
GPS	globální poziční systém
K	faktor stability
m	hmotnost
$Mbox2$	Memory box 2
M_k, M_a	hnací moment
M_v	moment volantu
OBD	on board diagnostics
O_f	valivý odpor
O_s	odpor stoupání
O_z	odpor zrychlení
P_k	hnací výkon
r_d	dynamický poloměr kola
S_x	čelní plocha vozidla
t	čas
t_p	prodleva brzdění
t_r	reakční doba
v	rychlost
v_{mez}	mezí rychlost v obluku
VW	Volkswagen
Y_k	boční vodící síla kola
Z_{ki}	radiální zatížení kola
α	úhel stoupání
α_k	úhel směrové úchylky kola
β	úhel klopení zatáčky
μ_V	součinitel valivé přilnavosti
μ	součinitel adheze

13 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Protokol o provedeném měření + tabulka podmínek prováděných měření.

Příloha 2: Protokoly ze simulací provedených v programu Virtual Crash

Příloha 3: Kompletní data zkoušeného vozidla VW Golf

