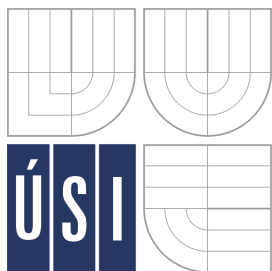


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

VLIV VYBRANÝCH ELEKTRONICKÝCH SYSTÉMŮ PODVOZKU NA JÍZDNÍ DYNAMIKU VOZIDLA

IMPACT OF CHOSEN CHASSIS ELECTRONIC SYSTEMS ON DRIVING DYNAMICS OF A
VEHICLE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JAN SCHEJBAL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Doc. Ing. ALEŠ VÉMOLA, Ph.D.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství

Ústav soudního inženýrství

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student: Bc. Jan Schejbal

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

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

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

Vliv vybraných elektronických systémů podvozku na jízdní dynamiku vozidla

v anglickém jazyce:

Impact of Chosen Chassis Electronic Systems on Driving Dynamics of a Vehicle

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Diplomová práce pojedná o základních elektronických systémech podvozků moderních vozidel a bude doplněna případnými měřeními.

Cíle diplomové práce:

Vytvoření základní metodiky posuzování silničních nehod s vlivem elektronických systémů.

Abstrakt

Předkládaná práce se zabývá vlivem vybraných elektronických systémů podvozků moderních vozidel na jejich jízdní dynamiku. Hlavním cílem této práce je zformulování základní metodiky pro posuzování nehod s vlivem těchto systémů. V práci je u systému u protiblokovačního a stabilizačního systému podvozku popsána funkce a jejich vliv na dynamiku vozidla. Dále jsou uvedeny možné metody a postupy zjištění vlivu těchto systémů na nehodový děj. Jako součást práce bylo provedeno měření vlivu protiblokovacího systému na vozidlo. Výsledkem této práce je základní metodika postupu při analýze silničních nehod za účasti vozidel s elektronickými systémy podvozku.

Abstract

This work deals with the impact of selected electronic chassis systems of modern vehicles, their driving dynamics. The general aim of this work is to create the basic methodology for assessing casualties of the influence of these systems. The thesis is describing functions and effects antilock and stability systems on vehicle dynamics. Below are possible methods and systems for determining the influence on accident plot. As part of the study was performed measuring the impact of anti-lock system on the vehicle. The result of this work is the basic methodology to the analysis of road accidents involving vehicles with electronic chassis systems.

Klíčová slova

Protiblokovací systém, elektronický stabilizační systém, dynamika vozidla, data nehodového děje, metodika.

Keywords

Anti-lock system, electronic stability system, vehicle dynamics, crash data, methodology.

Bibliografická citace

SCHEJBAL, Jan. *Vliv vybraných elektronických systémů podvozku na jízdní dynamiku vozidla: diplomová práce*. Brno, 2010. 58 s. Vysoké učení technické v Brně. Ústav soudního inženýrství. Vedoucí diplomové práce Doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.

Prohlášení

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

V Brně dne

.....

podpis diplomanta

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce Doc. Ing. Aleši Vémolovi Ph.D. za metodické a cíleně orientované vedení při zpracování diplomové práce. Dále pak Ing. Vladimíru Panáčkovi za cenné rady a připomínky.

OBSAH

1	ÚVOD DO PROBLEMATIKY JÍZDNÍ DYNAMIKY VOZIDEL.....	11
2	FYZIKÁLNÍ ZÁKLADY	12
3	PROTIBLOKOVACÍ SYSTÉMY VOZIDEL	15
3.1	Systém ABS.....	15
3.1.1	<i>Požadavky na systém ABS</i>	16
3.2	Vliv systému ABS na jízdní dynamiku vozidla	17
3.3	Funkční složky systému ABS.....	18
3.4	Konstrukce jednotlivých částí a jejich činnost	19
3.4.1	<i>Elektronická řídicí jednotka</i>	19
3.4.2	<i>Hydraulická jednotka</i>	20
3.4.3	<i>Senzory systému</i>	23
3.5	Výrobci systémů ABS	26
4	SYSTÉMY REGULACE JÍZDNÍ DYNAMIKY VOZIDEL	27
4.1	Elektronický stabilizační systém	27
4.1.1	<i>Označení systému</i>	28
4.2	Vliv systému ESP na jízdní dynamiku vozidla	29
4.3	Funkční složky systému ESP.....	31
4.4	Konstrukce jednotlivých částí a jejich činnost	33
4.4.1	<i>Elektronická řídicí jednotka</i>	33
4.4.2	<i>Hydraulická jednotka</i>	33
4.4.3	<i>Senzory systému</i>	38
5	DIAGNOSTIKA FUNKČNOSTI A VLIVU SYSTÉMŮ.....	42
5.1	Crash data retrieval system.....	42
5.2	Data z řídicí jednotky ABS / ESP	45
6	METODIKA POSTUPU PŘI ANALÝZE NEHOD	46
7	PRAKTICKÉ JÍZDNÍ TESTY	48

7.1 Protiblokovací systém	48
8 VÝVOJ SYSTÉMŮ DO BUDOUCNA	55
9 ZÁVĚR	57
10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	58

1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY JÍZDNÍ DYNAMIKY VOZIDEL

Tato práce pojednává o základních elektronických systémech podvozků moderních vozidel. Je zaměřena na vliv protiblokovacího systému a elektronického stabilizačního systému na chování vozidla. Cílem práce je vytvoření základní metodiky posuzování silničních nehod s vlivem elektronických systémů podvozku.

Moderní vozidla jsou vybavena mnoha elektronickými systémy. Komfortními systémy počínaje, přes systémy řízení funkce motoru až po systémy podvozku, mající vliv na jízdní dynamiku vozidla, potažmo na aktivní bezpečnost vozidla. Základní dva systémy podvozku, které nejvýrazněji ovlivňují dynamiku vozidla jsou protiblokovací a stabilizační systém. A právě těmito dvěma systémy a jejich vlivem na vozidlo se tato práce zabývá.

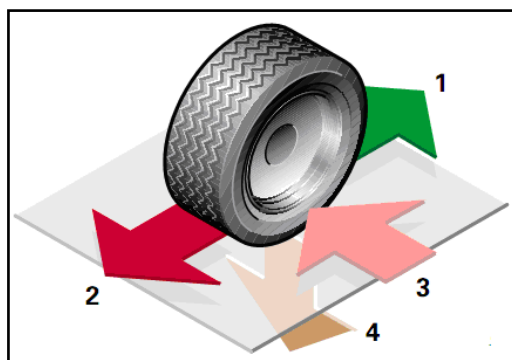
Vliv výše uvedených systémů je také nutno uvažovat z hlediska případné dopravní nehody vozidla, které je těmito systémy vybaveno. Proto je také třeba se zabývat možnostmi zpětného zjištění vlivu takového systému na nehodový děj a vypracovat metodiku možného postupu při řešení takovéto nehody.

Pro demonstraci a ověření funkce systému a jeho vlivu na dynamiku vozidla obsahuje práce také praktické jízdní zkoušky zaměřené na testování protiblokovacího systému vozidla.

2 FYZIKÁLNÍ ZÁKLADY

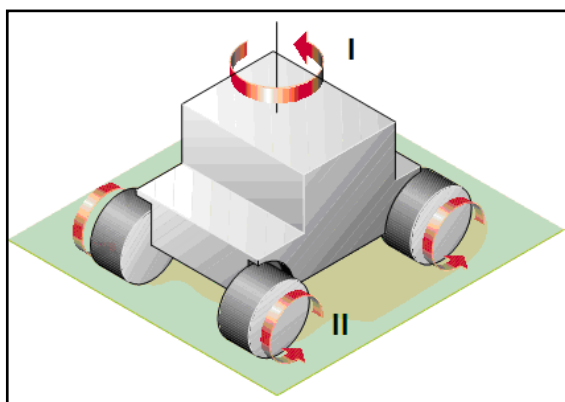
Základní podmínkou dobré jízdní stability a ovladatelnosti vozidla je přilnavost kol k vozovce, tedy adheze. Ta je za jízdy ovlivněna silami působícími na plochu styku kola s vozovkou:

1. hnací síla
2. brzdná síla, působící proti hnací síle
3. stranové vodící síly, zajišťující říditelnost vozu
4. tíha, spolu s třením umožňují působení ostatních sil



Obr. 2.1 Síly působící na vozidlo [12]

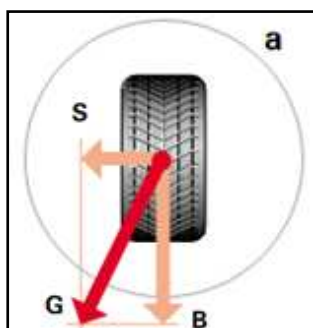
Mimo to na vozidlo také působí momenty, které mají tendenci vozidlem otáčet kolem svislé, příčné i podélné osy (obr. 2.2); například rotační moment setrvačnosti I, momenty setrvačnosti kol II, které se snaží udržet vozidlo ve stávajícím směru a další síly, jako například odpor vzduchu, boční vítr, nebo odstředivá síla.



Obr. 2.2 Momenty působící na vozidlo [16]

Vzájemné působení jednotlivých sil lze dobře popsat pomocí Kammova kruhu tření. Poloměr uvažovaného kruhu je dán silou, která znázorňuje adheze mezi povrchem vozovky a pneumatikou. To znamená, že velikost poloměru kruhu bude přímo úměrná velikosti adheze, tedy bude ovlivněna vlastnostmi povrchu vozovky (obr. 2.5), i samotné pneumatiky. Ve skutečnosti mají pneumatiky větší přilnavost v podélném směru, takže by Kammův kruh tření připomínal spíše elipsu.

Pro jednoduchost uvažujme jen silové poměry na jednom kole. Základem kruhu tření je rovnoběžník sil tvořený stranovou vodící silou S (boční síla vznikající vlivem působení odstředivé síly nebo vlivem sklonu vozovky) a brzdou silou B (podélná síla vznikající hnacím momentem motoru nebo brzděním). Výslednice těchto sil je síla G .

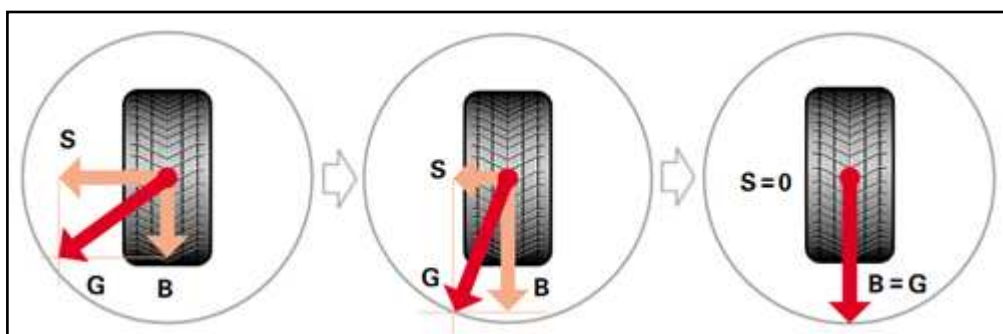


Obr. 2.3 Závislost velikosti výslednice sil (G) na poloměru Kammova kruhu tření (a) [13]

Pokud leží výslednice uvnitř Kammova kruhu tření, nachází se vozidlo ve stabilním stavu. Jestliže však je výslednice větší, než poloměr kruhu tření, dostává se vozidlo do neovladatelného stavu (obr. 2.3). Podmínka stability (velikost Kammova kruhu) tedy bude:

$$a \geq \sqrt{S^2 + B^2}$$

Při jízdě se poměr jednotlivých sil, jakožto i adheze, neustále mění. Na obr. 2.4 je znázorněn vývoj sil při brzdění.



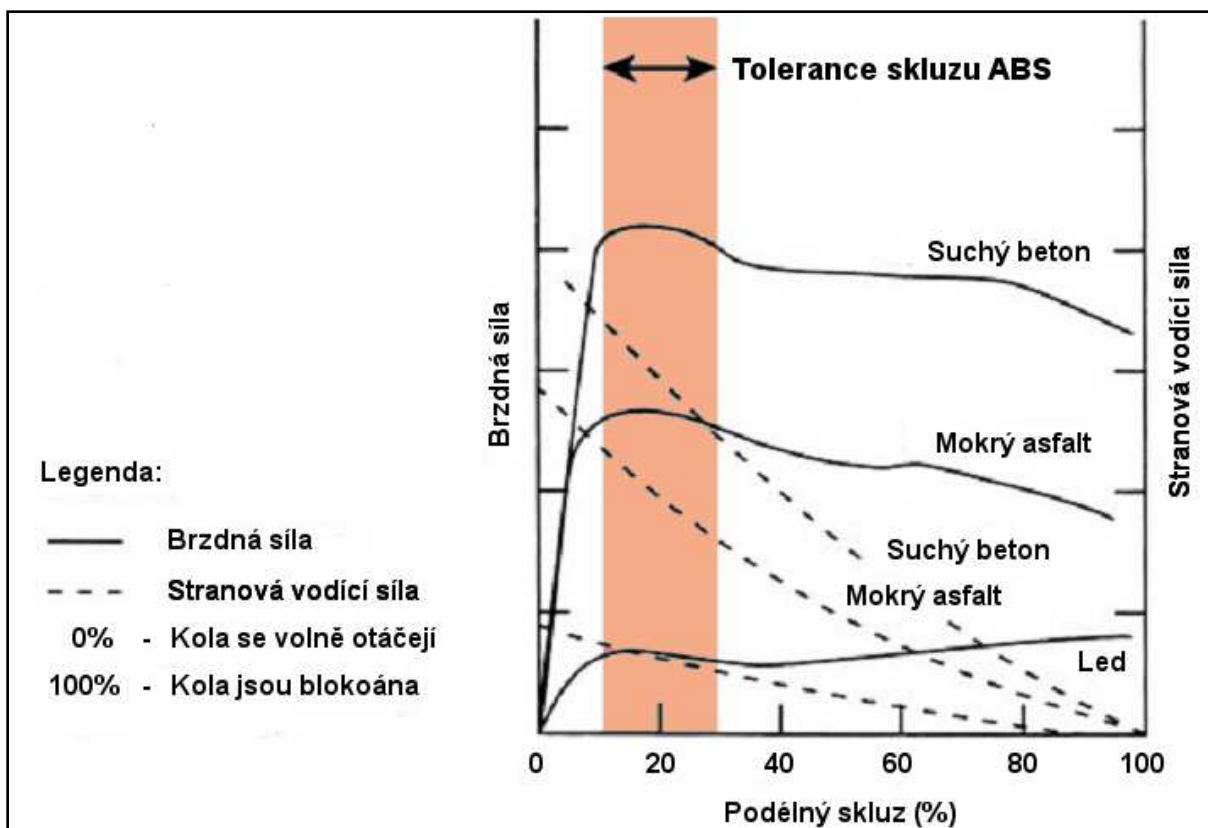
Obr. 2.4 Závislost mezi brzdou silou (B) a stranovou vodící silou (S) [13]

Se zvětšující-se brzdou silou B se zmenšuje stranová vodící síla S . Ve chvíli, kdy se velikost výsledné síly G vyrovná velikosti brzdě síly B , nedostatek stranové vodící síly způsobí zablokování kola, následkem čehož se vozidlo stává neřiditelné. Podobná situace nastává nejen při brzdění ale také při prudké akceleraci, kdy dojde k protočení hnacího kola. Proto je podélný skluz pneumatiky definován pro hnací i brzděné kolo [2]. Skluz samotným se tedy rozumí rozdíl mezi rychlostí kola a rychlosti vozidla, vztažený na rychlost kola (pohon), nebo na rychlost vozidla (brzdění).

Vozidlo tedy ztrácí ovladatelnost z hlediska adheze ze dvou důvodů:

- ztrátou stranové vodící síly S způsobenou příliš velkým nárůstem brzdě síly B (obr. 2.4)
- překročením vektoru výsledné síly G hranici Kammova kruhu tření, tedy velikosti adheze odpovídající danému povrchu (obr. 2.3)

Snahou moderních elektronických systémů podvozku je oba tyto důvody pokud možno v co nejvyšší míře eliminovat a zajistit tak ovladatelnost vozidla za všech okolností.



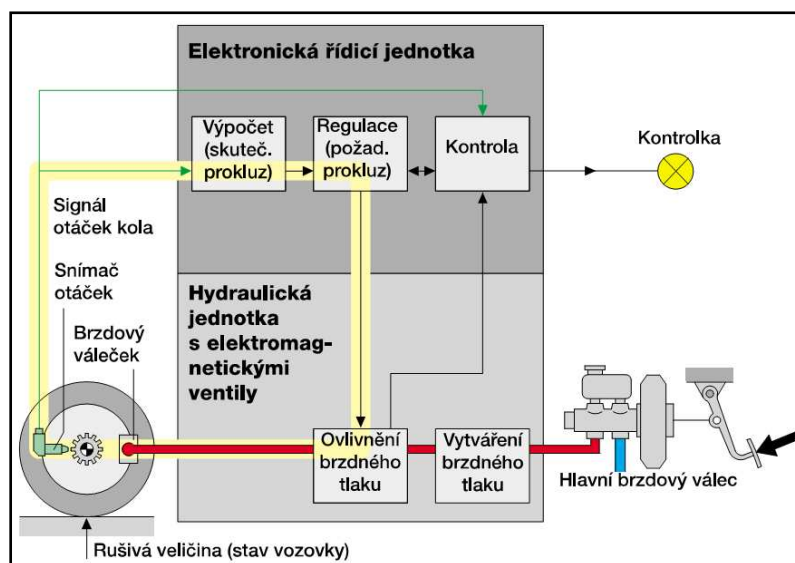
Obr. 2.5 Závislost mezi brzdou silou (B), stranovou vodící silou (S) a podélným skluzem pro různý povrch [9]

3 PROTIBLOKOVACÍ SYSTÉMY VOZIDEL

Jak je již popsáno v předchozí kapitole, pro dobrou ovladatelnost vozidla je nutné minimalizovat skluz jednotlivých kol vozidla. Je třeba především zabránit zablokování daného kola. Toto si uvědomovali odborníci již od sestrojení prvních automobilů. Již v roce 1936 byl koncernem BOSCH ohlášen první patent na „Zařízení k zabránění silného brzdění kol motorového vozidla“. Další pokrok následoval v roce 1964, kdy byl společností Teldix vyvinut první elektronicky řízený systém ABS1, jehož základní koncept lze nalézt i u dnešních protiblokovacích systémů. Poslední velký zlom ve vývoji protiblokovacího systému nastal v roce 1978, kdy se začala první sériová výroba tohoto systému. Dostal pojmenování ABS2 a stal se součástí výbavy luxusnějších automobilů, například vozů Mercedes Benz S. Další vývoj protiblokovacího systému již přinesl pouze postupné zdokonalování jednotlivých prvků systému a také výrazné snížení jeho hmotnosti.

3.1 SYSTÉM ABS

ABS je soustava, která při brzdění automaticky reguluje velikost skluzu jednoho nebo více kol vozidla. Schéma regulačního okruhu ABS je na obr. 3.1. Systém ABS zabraňuje zablokování kol při brzdění. ABS automaticky reguluje brzdnu sílu působící na jednotlivá kola vozidla tak, aby nedošlo k jejich zablokování a s tím související ztrátou ovladatelnosti vozidla. V krajním případě, když hrozí zablokování kol, systém snižuje a následně zvyšuje tlak v brzdové soustavě 12 až 16-krát za sekundu, čímž zajistí soustavné otáčení kol a ovladatelnost vozidla.



Obr. 3.1 Schéma regulačního okruhu ABS [10]

Regulaci otáček kol lze provádět různými způsoby. Jednotliví výrobci využívají v zásadě tří základních variant regulace ABS:

- a) reguluje se přední kolo společně s úhlopříčně umístěným zadním kolem:
- b) přední kola se regulují odděleně a zadní společně. V tomto případě se hovoří o regulaci select-low, tzn. že se vždy reguluje kolo, které se nachází nejbližší mezi zablokování:
- c) třetí možností je regulace brzdného tlaku pro každé kolo samostatně. Tento systém představuje optimální, ale zároveň i nejdražší řešení.

3.1.1 Požadavky na systém ABS

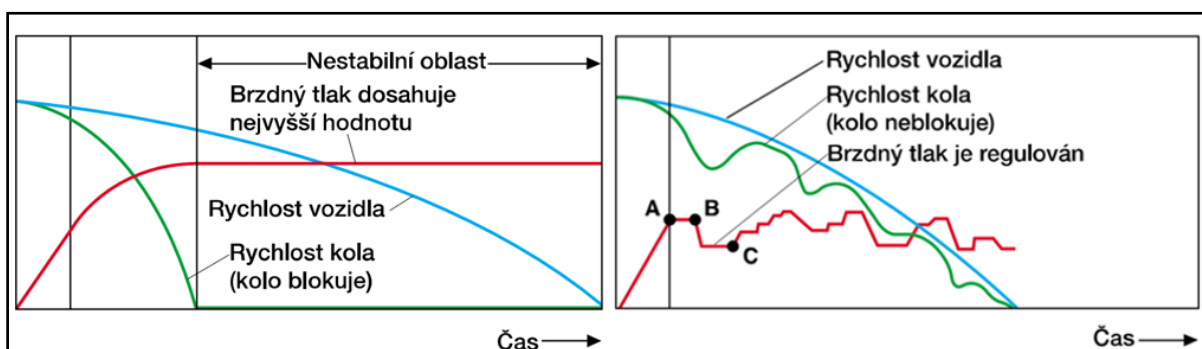
System ABS musí splňovat tyto požadavky [4]:

- Regulace brzdění musí zajistit stabilitu jízdy vozidla a jeho ovladatelnost na všech druzích povrchu
- ABS musí maximálně využívat součinitel adheze mezi vozovkou a koly, přičemž stabilita a ovladatelnost vozidla je důležitější než jeho brzdná dráha. Síla kterou řidič působí na brzdový pedál a rychlost jeho reakce jsou hodnoty, které neovlivní výsledný tlak, působící na brzdové segmenty.
- Regulace brzdění musí probíhat při všech rychlostech vozidlem dosažitelných
- Regulace se musí rychle přizpůsobit změnám přilnavosti v co nejkratším čase tak, aby neovlivnila ovladatelnost a stabilitu vozidla. Na suché vozovce musí umožnit maximální možné hodnoty ovládací síly brzd.
- Minimalizovat tzv. gyroskopické momenty - při brzdění na vozovce s rozdílnou přilnavostí kol na pravé a levé straně vozidla má vozidlo tendenci vychylovat se příčně
- Při brzdění v zatáčce musí vozidlo zůstat stabilní, ovladatelné a s co nejkratší brzdnou drahou. To samé platí i pro vozovky s nerovným povrchem.
- Regulace brzdění musí rozeznat aquaplaning (ztráta přilnavosti pneumatiky k vozovce vlivem vrstvy vody, která se dostala mezi povrch pneumatiky a vozovku) a podle toho vhodně reagovat. Musí zachovat přímou jízdní stabilitu.

- Brzdění po uvolnění pedálu brzdy (hystereze) a vliv brzdění motorem se musí projevit na brzdění co nejméně
- Bezpečnostní obvody musí stále kontrolovat bezchybnou funkci systému ABS
- Řidič je kontrolkou okamžitě informován o poruše a o tom, že má k dispozici pouze základní funkční systém brzd

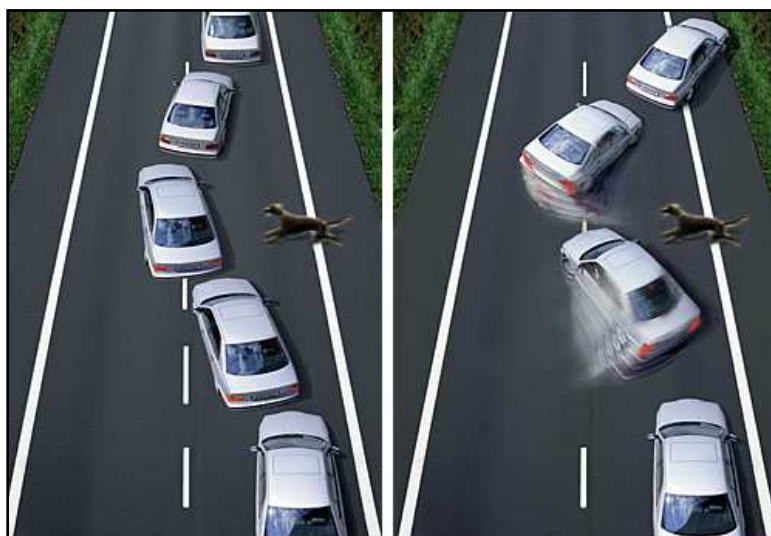
3.2 VLIV SYSTÉMU ABS NA JÍZDNÍ DYNAMIKU VOZIDLA

Systém ABS má vliv především na podélnou dynamiku vozidla. Tuto ovlivňuje snahou o maximální využití fyzikálně daných mezí stability vozidla v situacích, kdy dochází k prudkému brzdění. Systém je navržen tak, aby zachoval říditelnost vozidla při brzdění na jakémkoliv povrchu vozovky. Na obr. 3.2 je znázorněn průběh rychlosti vozidla při brzdění



Obr. 3.2 Průběh velikosti brzděného tlaku, rychlosti kol a vozidla se systémem ABS (vlevo) a bez něj [10]

v závislosti na čase, spolu s dalšími ukazateli a to pro vozidlo s ABS a vozidlo bez tohoto systému. Příklad vlivu ABS na dynamiku vozidla v reálné situaci je potom znázorněn na obr. 3.3.



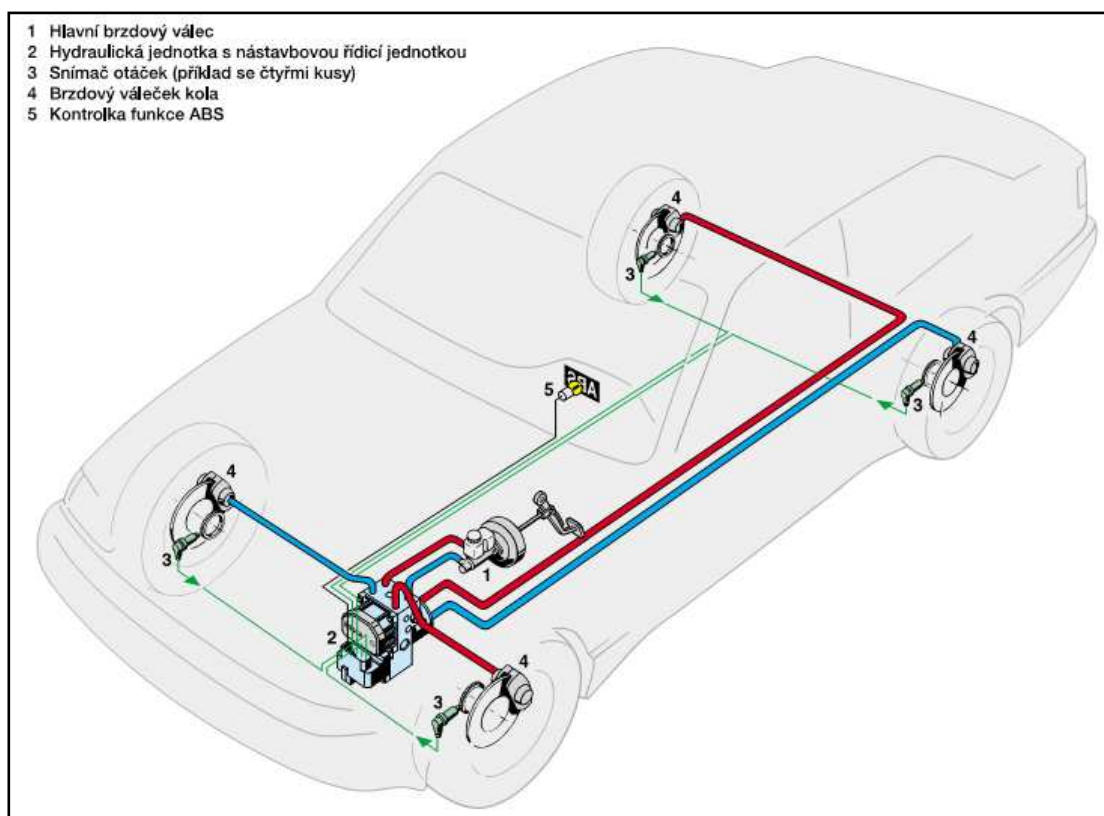
Obr. 3.3 Příklad vlivu ABS na chování vozidla v konkrétní situaci. Vlevo vozidlo s ABS, vpravo bez něj. [13]

3.3 FUNKČNÍ SLOŽKY SYSTÉMU ABS

Součásti systému ABS jsou:

- snímače otáček jednotlivých kol a další případné senzory
- elektronická řídicí jednotka
- akční členy (hydraulická jednotka brzd)

Rozmístění komponent systému ABS ve vozidle je znázorněno na obr. 3.4. Řídicí jednotka nepřetržitě navzájem porovnává údaje ze snímačů otáček na jednotlivých kolech. V případě zjištění náhlé změny otáček, například prudké zpomalení sledovaného kola, vydá pokyn hydraulické jednotce, aby dané kolo odbrzdila. Tím se kolo začne opět otáčet a snímač otáček vyšle opět do řídicí jednotky signál, že dané kolo je zase v pohybu. Kolo je tak opět schopno přenášet brzdnou sílu a proto je řídicí jednotkou vydán pokyn k jeho opětovnému přibrzdění. Tento cyklus se může opakovat až 16krát za sekundu až do minimální rychlosti asi 4km/h, kdy se systém ABS sám odpojí.

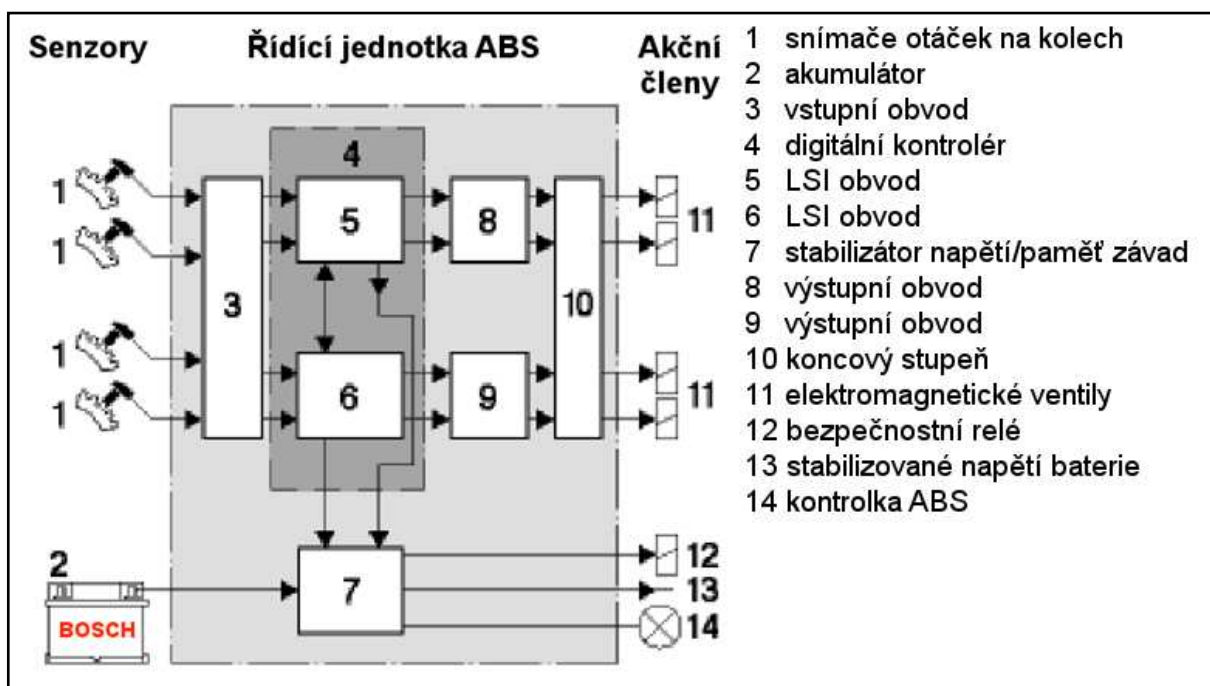


Obr. 3.4 Schéma umístění komponent systému ABS na vozidle [10]

3.4 KONSTRUKCE JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ A JEJICH ČINNOST

3.4.1 Elektronická řídicí jednotka

Řídicí jednotka systému ABS neustále vzájemně porovnává frekvenci signálů z jednotlivých snímačů kol, čímž zjišťuje aktuální rychlost každého kola. Z rychlostí dvou diagonálně umístěných kol zjišťuje tzv. referenční rychlost vozidla, kterou porovnává s otáčkami kol. Tímto neustálým porovnáváním je zjišťováno aktuální zrychlení, zpomalení a skluz každého kola. V případě potřeby jednotka aktivuje potřebné akční členy v hydraulické jednotce.

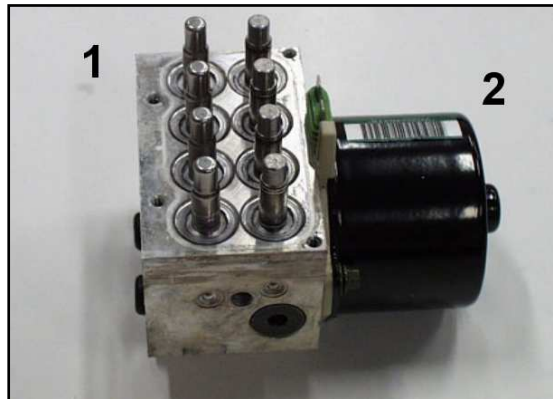


Obr. 3.5 Blokové schéma elektronické řídicí jednotky ABS [5]

Na počátku procesu (nastartování vozidla) provádí systém samostatně kontrolu funkce všech jeho částí – jsou kontrolovány části obvodů a zapojení, které nejsou při jízdě bez regulace brzdění aktivní. Posléze systém provádí vlastní sebekontrolu, jejímž účelem je zabránění vzniku tzv. „spících závad“ v kontrolních okruzích. Řídicí jednotka sama simuluje závady a prověřuje reakce na ně. V případě, že je závada detekována a rozeznána, dojde k vypnutí systému ABS a kontrolka na přístrojové desce signalizuje, že je v činnosti pouze základní brzdová soustava. Detekovaná závada zůstane uložena v paměti závad jednotky například pro potřeby následné diagnostiky.

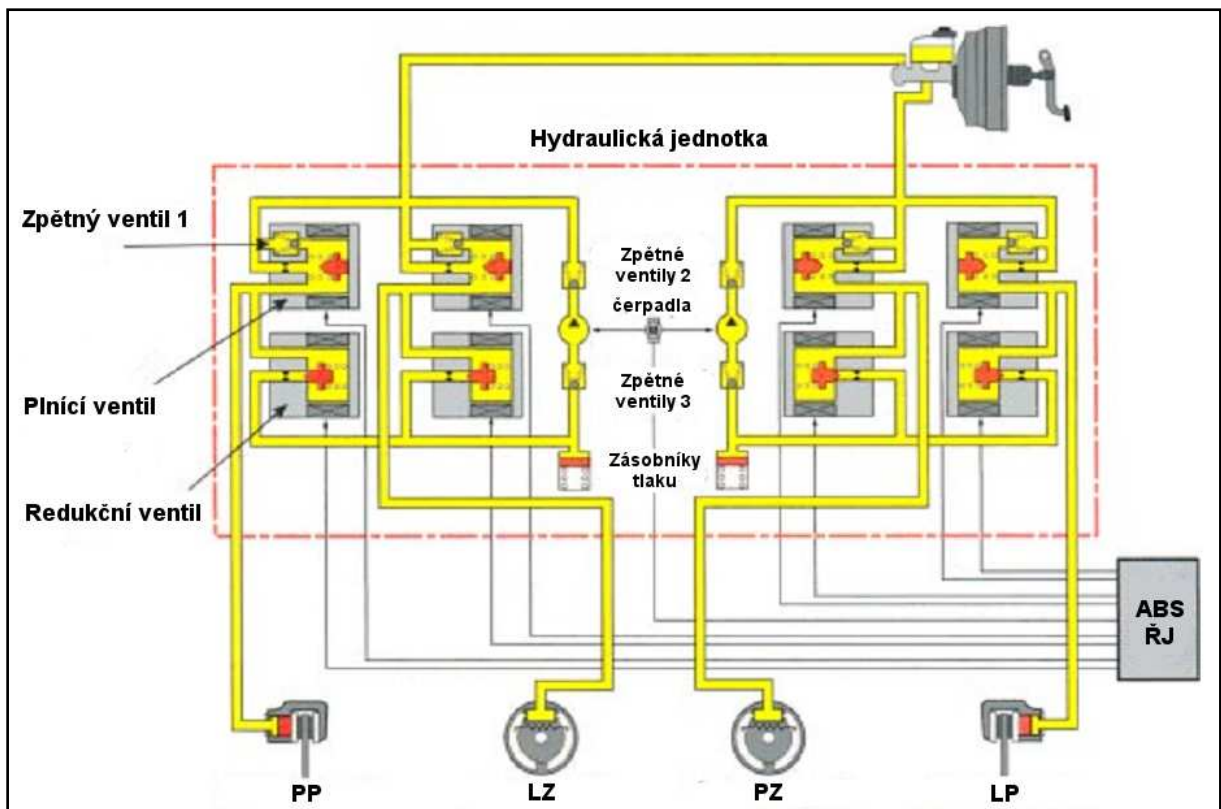
3.4.2 Hydraulická jednotka

Hydraulická jednotka převádí elektrické signály z řídicí jednotky systému na hydraulické procesy. Vytváří hydraulické propojení mezi hlavním brzdovým válcem a brzdami jednotlivých kol.



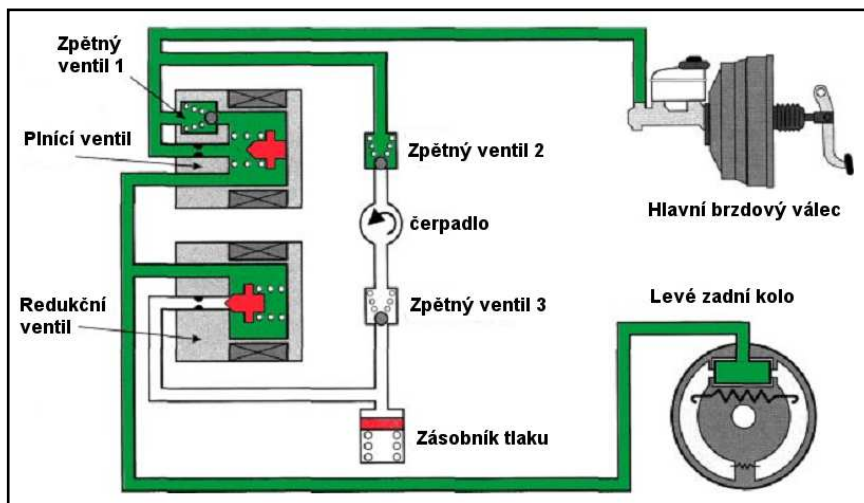
Obr. 3.6 Hydraulická jednotka obsahující akční členy (1) s čerpadlem (2) [14]

Skládá se z osmi (4 kanálový systém) 2 polohových elektromagnetických ventilů, zásobníku tlaku pro každý okruh a čerpadla. V některých případech se dodává jako jeden celek společně s elektronickou řídicí jednotkou. Každé kolo je řízeno dvěma elektromagnetickými ventily. Plnicím ventilem, který slouží pro zvyšování tlaku a redukčním ventilem pro jeho snižování.



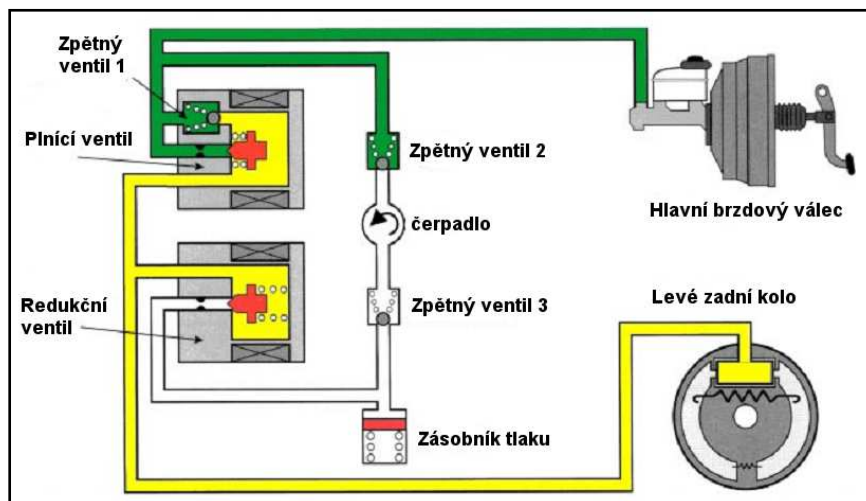
Obr. 3.7 Hydraulický okruh diagonální brzdové soustavy uzavřeného 4kanálového systému ABS (Teves) [9]

Během normálního brzdění (obr. 3.8) nejsou akční členy napájeny, takže plnicí ventil zůstává otevřen a redukční uzavřen (ABS neaktivní nebo nefunkční). Při tlaku na brzdový pedál kapalina z hlavního brzdového válce protéká přes plnicí ventil přímo k brzdovému válci kola, kde dochází ke zvyšování brzdného tlaku. Redukční ventil zabraňuje kapalině proudit do zásobníku tlaku.



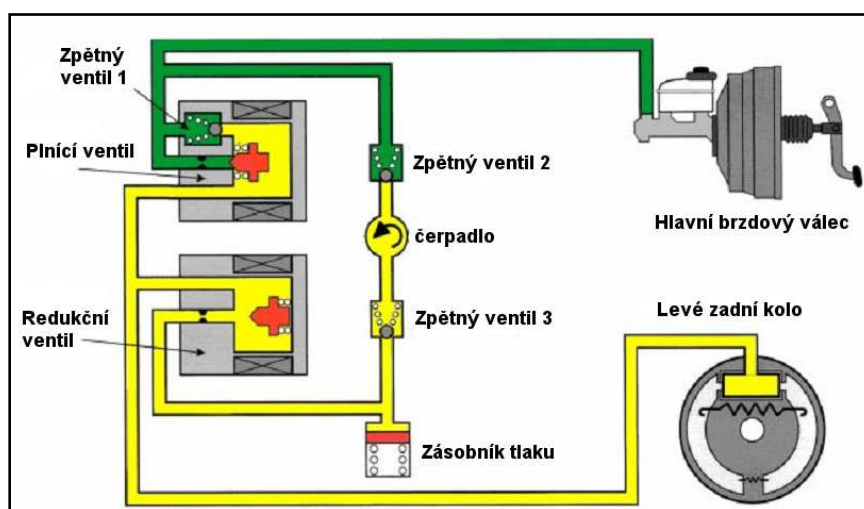
Obr. 3.8 ABS - Zvyšování tlaku – normální stav [9]

Pokud začne libovolné kolo blokovat, jednotka ABS bezprostředně vydá pokyn k přechodu do stavu udržování tlaku (obr. 3.9), aby zabránila dalšímu zvyšování brzdného tlaku. Zatímco redukční ventil zůstává uzavřen, uzavře se i plnicí ventil aby nemohla k brzdovému válečku kola proudit další brzdová kapalina.



Obr. 3.9 ABS - Udržování tlaku [9]

Po počátečním stavu udržování tlaku přechází systém do stavu snižování tlaku (obr. 3.10), kdy plnicí ventil zůstává uzavřen, čímž brání zvyšování tlaku od hlavního brzdového válce, a otevírá se redukční ventil. Ten umožní brzdové kapalině proudit od brzdového válečku do zásobníku tlaku a snížit tak brzdový tlak. Je aktivováno čerpadlo, které čerpá brzdovou kapalinu zpět do hlavního brzdového válce. Tento proces způsobuje pulzování brzdového pedálu a poskytuje tak řidiči zpětnou vazbu o právě prováděné regulaci.



Obr. 3.10 ABS - Snižování tlaku [9]

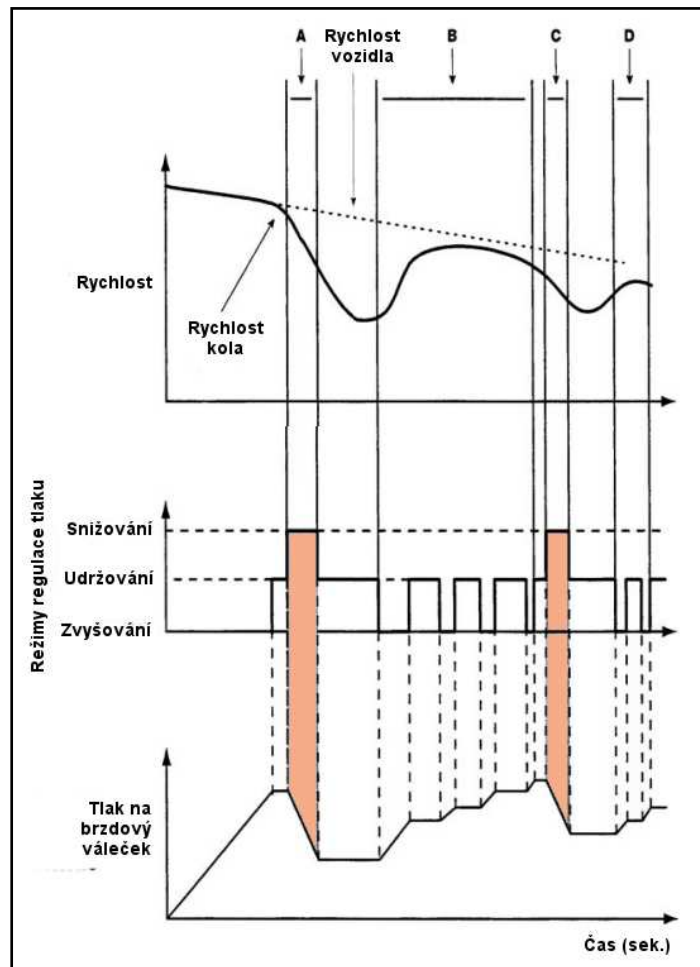
Průběh snižování rychlosti kola (vozidla) a hydraulický tlak v brzdovém válečku v závislosti na režimech ABS je znázorněn na obr. 3.11.

Úsek A – na základě rychlosti kola nastaví ŘJ (řídící jednotka) režim snižování tlaku. Po poklesu tlaku přenastaví ventily do polohy udržování tlaku a monitoruje změnu otáček kola. Pokud usoudí, že je třeba tlak snižovat i nadále, přejde opět do režimu snižování tlaku.

Úsek B – snížení tlaku v brzdovém válečku (úsek A) umožní zablokovanému kolu opět zrychlovat. Zatímco byl tlak snižován, stala se brzdná síla příliš malá. Pro korekci tohoto stavu, přechází ventily střídavě do plnicího a udržovacího stavu a kolo začíná opět zrychlovat.

Úsek C – s postupně se zvyšujícím tlakem v brzdovém válečku má kolo opět tendenci začít blokovat. Jako odpověď nastaví ŘJ elektromagnetické ventily opět do režimu snižování tlaku.

Úsek D – vzhledem k tomu, že hydraulický tlak v brzdovém válečku se opět snížil, ŘJ opět začíná zvyšovat tlak (jako v úseku B). Cyklus udržování, snižování a zvyšování je ještě mnohokrát opakován, dokud nebude mít kolo menší skluz než 30 %.



Obr. 3.11 Rychlost kola v závislosti na okamžitých režimech systému ABS [9]

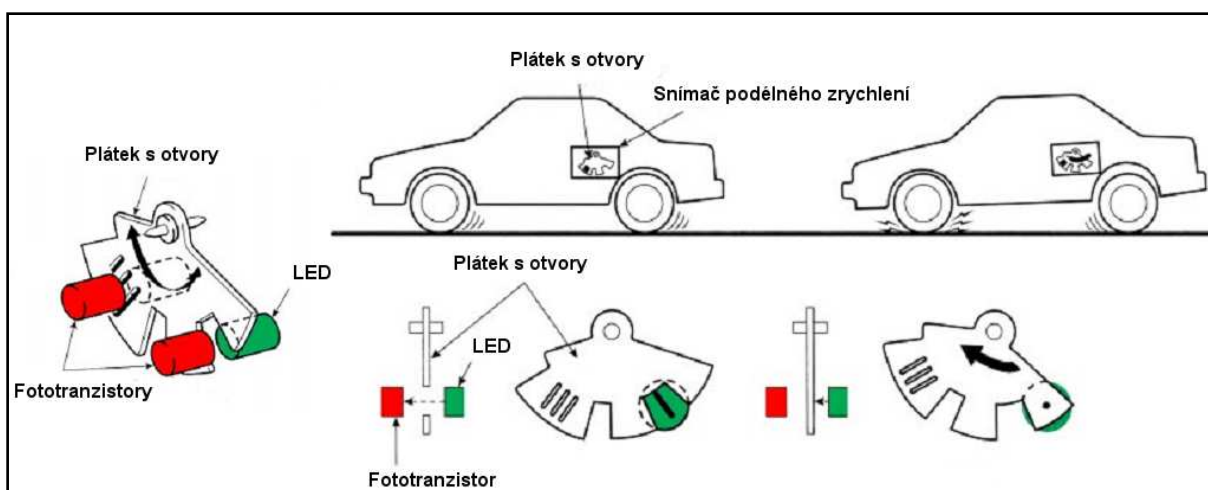
3.4.3 Senzory systému

Snímač podélného zrychlení

Při použití systému ABS ve vozidlech s náhonem na všechna kola, jsou tato mechanicky pevně propojena. Pokud se jedno z nich například vlivem nízké adheze vozovky zablokuje, může dojít k zablokování všech ostatních a z nastalé situace by systém ABS nedokázal vyhodnotit skutečnou rychlost vozidla, v extrémním případě by ji vyhodnotil jako stání vozidla. Aby se zabránilo tomuto stavu, instaluje se do vozidel, která jsou vybavena náhonem na všechna 4 kola doplňkový snímač podélného zrychlení či zpomalení. Díky tomuto snímači je pak systém schopný rozpoznat, zda se jedná o blokování všech kol, či pouze o stojící vozidlo. Někteří výrobci doplňují své protiblokovací systémy, pro zlepšení jejich přesností a výkonnosti tímto snímačem standardně, bez ohledu na druh vozidla, pro které je systém určen. Nejčastěji se u těchto snímačů používají dva funkční principy:

Optoelektronický princip

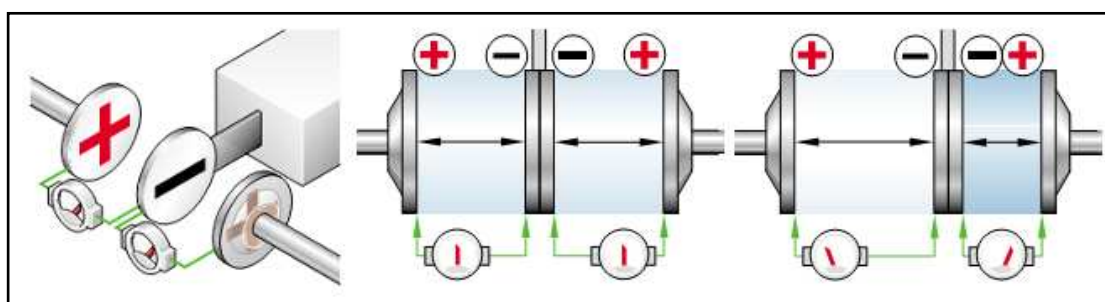
Tento druh provedení senzoru se skládá ze dvou párů LED diod a fototranzistorů, které jsou odděleny plátkem z neprůhledného materiálu, a doplněn elektronikou pro zpracování takto vzniklého signálu. Při zrychlování nebo zpomalování vozidla se pohybuje i plátek s otvory a mění tak intenzitu světla, dopadajícího z LED diod na fototranzistory, na kterých tak vzniká proměnný elektrický signál – princip tzv. „světelné závory“.



Obr. 3.12 Princip optoelektronického snímače zrychlení [9]

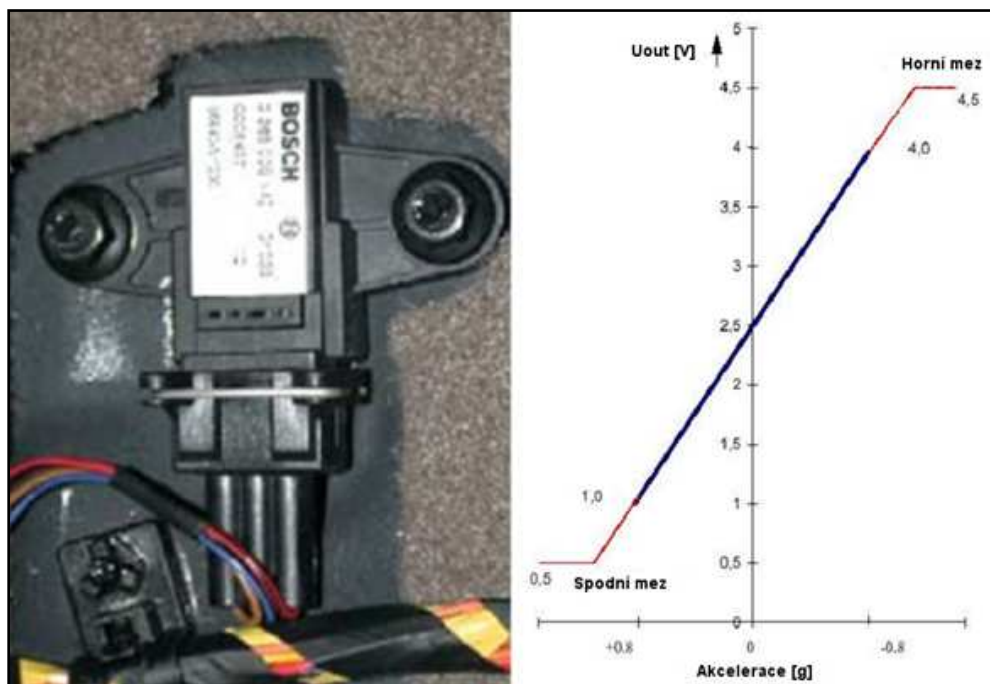
Kapacitní princip

Snímač pracuje na principu dvou kondenzátorů se společným pohyblivým záporným pólem, který se pohybuje působením síly – v tomto případě zrychlení či zpomalení vozidla. Deska středního pólu se vychyluje ze středové polohy, čímž se mění vzájemný poměr kapacit obou kondenzátorů (obr. 3.13).



Obr. 3.13 Princip kapacitního snímače zrychlení [16]

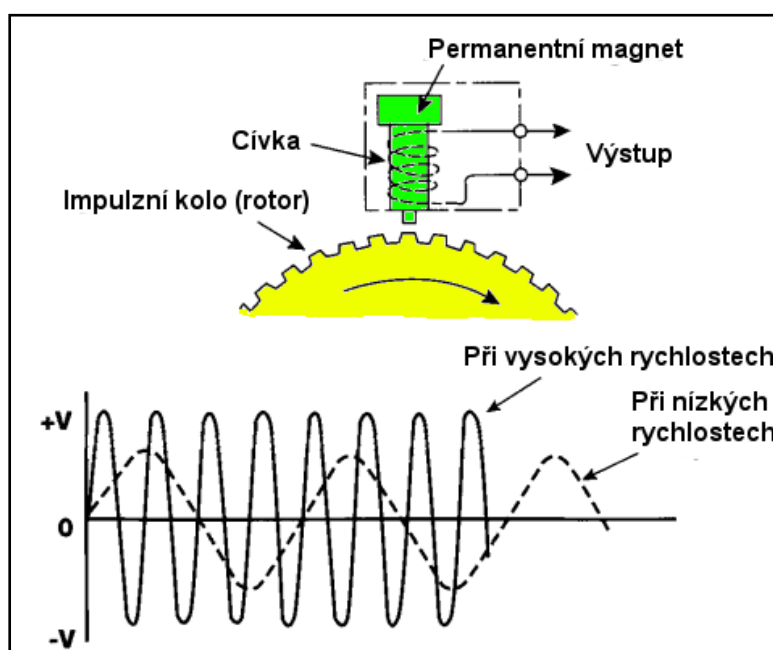
Vliv akcelerace na výstupní napětí tohoto senzoru (obr. 3.14) bude potom dán mírou vychýlení středového pólu, tedy změnou výstupního napětí senzoru oproti klidovému.



Obr. 3.14 Kapacitní snímač podélného zrychlení a závislost jeho výstupního napětí na akceleraci [14]

Snímače otáček (impulzů) na kolech

Snímače otáček pracují na principu elektromagnetické indukce. Každý snímač tvoří cívka, navinutá na permanentním magnetu a impulzní kolo, pevně spojené s kolem vozidla (obr. 3.15). Pokud se impulzní kolo otáčí, indukuje se v cívce střídavé elektrické napětí, jehož frekvence je přímo úměrná rychlosti otáčení kola. S rostoucí rychlostí otáčení roste velikost i frekvence napětí indukovaného na cívce, z čehož dokáže řídicí jednotka přesně spočítat rychlost kola.



Obr. 3.15 Princip indukčního snímače otáček [9]

V systémech se používají dva typy snímačů:

- Pasivní typ - jeden „zub“ na impulsním kole odpovídá jednomu impulzu na výstupu a tedy i změně výstupní frekvence.
- Aktivní typ - senzor je doplněn o AD převodník a výstupem je pak rovnou digitální obdélníkový signál přímo s danými logickými úrovněmi. Tento typ je schopen snímat otáčky již od klidového stavu (význam pro systém ASR).



Obr. 3.16 Náboj kola s impulzním kolem [19]

3.5 VÝROBCI SYSTÉMŮ ABS

Hlavní skupiny dodavatelů systémů ABS na trh a jejich nejpoužívanější systémy jsou:

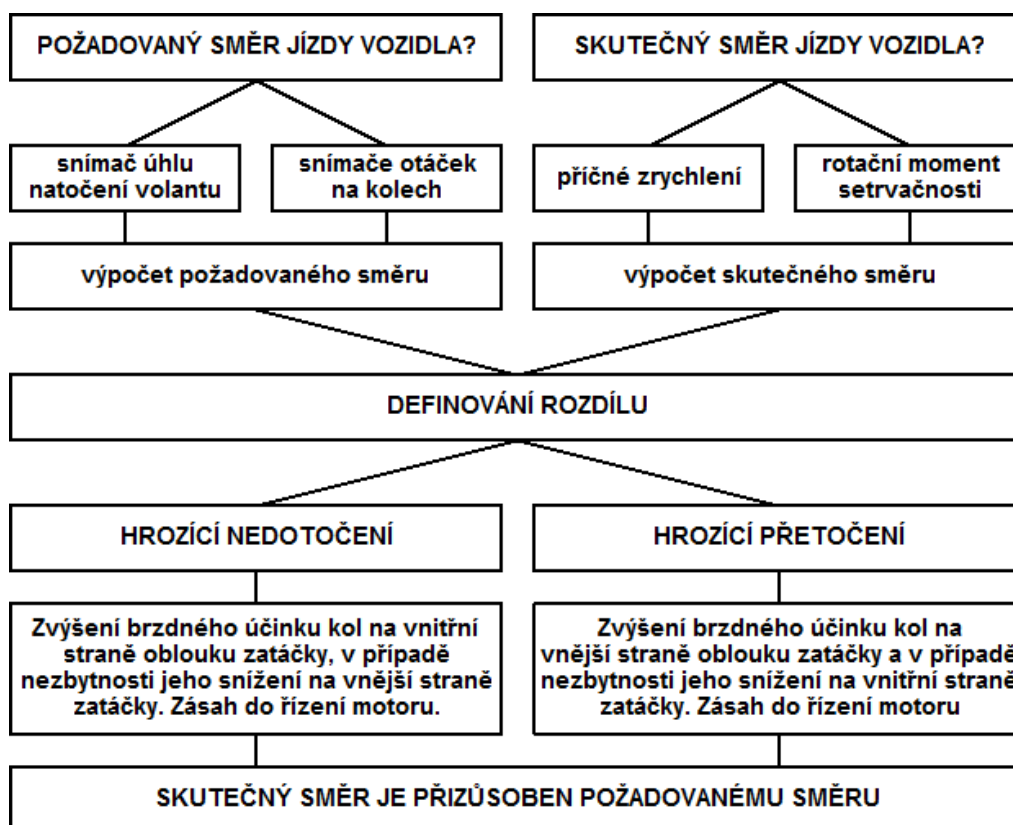
- AC – DELCO (Delphi) - ABS VI, DBC 7
- Continental Teves - MKII, MKIV, MK20
- Kelsey – Hayes (Lucas Varsity) - RWAL, 4WAL, EBC
- Allied Signal Automotive - BENDIX III, BENDIX 6, BENDIX 9, ABX-4, MECA II
- BOSCH - BOSCH 2S, 2U, BOSCH 3, BOSCH 5, BOSCH 5.3

4 SYSTÉMY REGULACE JÍZDNÍ DYNAMIKY VOZIDEL

Vyhodnocení statistik nehodovosti ukazuje, že příčinou zhruba 1/6 všech dopravních nehod je vynesení automobilu odstředivými silami ze zatáčky, o to více pak v případech, kdy má vozovka nižší součinitel adheze, tedy pokud povrch jízdní dráhy vozidla pokrývá led, sníh nebo déšť. Regulace jízdní stability pak zasahuje především při rychlých úhybných manévrech, panické reakci řidiče nebo v případě přetáčení či nedotáčení automobilu. Svě nezastupitelné místo má i v případě náhlé změny stavu vozovky (součinitele tření) pod některým z kol.

4.1 ELEKTRONICKÝ STABILIZAČNÍ SYSTÉM

Elektronický systém stabilizace vozidla je vlastně určité rozšíření výše popsaného systému ABS. Zatímco systém ABS se aktivuje pouze při prudkém brzdění, tedy na povel řidiče, systém stabilizace vozidla zasahuje samočinně do brzd jednotlivých kol a hnacího momentu motoru bez zásahu a vlivu řidiče.



Obr. 4.1 Princip funkce systému stabilizace vozidla [19]

Řídicí jednotka systému řízení jízdní stability brzdí jednotlivá kola individuálně a zasahuje i do řízení motoru, čímž automobil stabilizuje ve směru, který zvolil řidič pomocí volantů.

System stabilizace vozidla neustále vyhodnocuje a porovnává dva hlavní ukazatele. Požadovaný směr jízdy vozidla (kam si přeje jet řidič) a skutečný směr jízdy vozidla. Pokud systém zjistí rozdíl mezi těmito dvěma stavy, zareaguje odpovídajícím způsobem tak, aby případný rozdíl vyrovnal a pokud možno přizpůsobil skutečný směr jízdy vozidla tomu požadovanému (obr. 4.1).

4.1.1 Označení systému

Obchodní označení elektronických stabilizačních systémů bývá různé. Jejich seznam je uveden například ve standartu SAE J2564 vydaném organizací SAE International:

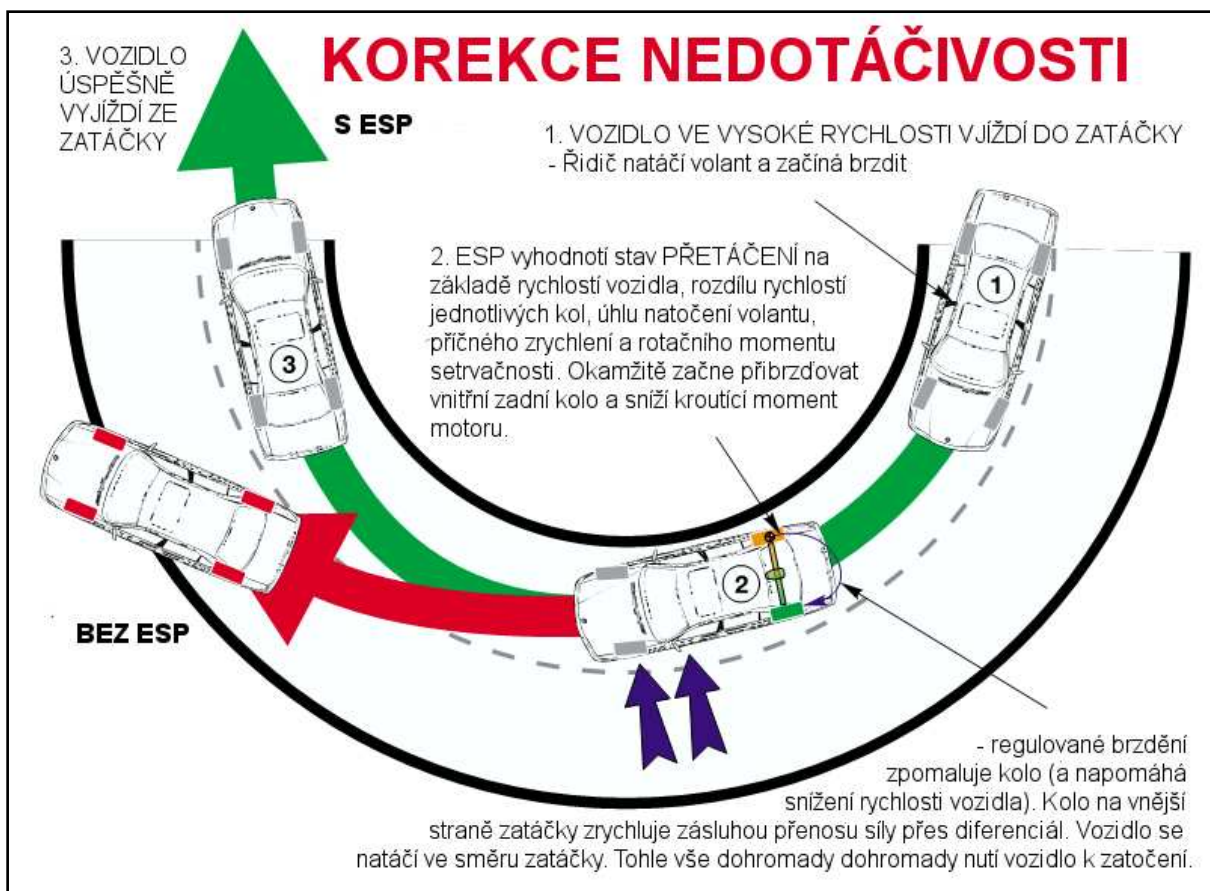
- ASC (Automotive Stability Control)
- ASR (Automatic Stability Regulation)
- AH (Active Handling System)
- ASMS (Automotive Stability Management System)
- CBC (Cornering Brake Control)
- DSC (Dynamic Stability Control) – BMW, Jaguar, Land Rover, Mazda, Mini, Rover,
- EDS (Electronic Differential-lock System)
- DSTC (Dynamic Stability and Traction Control) - Volvo
- ESC (Electronic Stability Control) – Hyundai, Honda
- ESP (Electronic Stability Program) – Audi, Chrysler, Dodge, Fiat, Honda, Jeep, Kia, Mercedes, Opel, Peugeot, Renault, Saab, Seat, Škoda, VW
- ICCS (Integrated Chassis Control System)
- IVD (Integrated Vehicle Dynamics) - Ford
- PCS (Precision Control System) - Oldsmobile
- PSM (Porsche Stability Management) - Porsche
- StabiliTrak – Buick, Cadillac, Chevrolet, GM, Mercury, Pontiac, Saturn,

- STC (Stability and Traction Control System)
- VDC (Vehicle Dynamics Control) – Alfa Romeo, Fiat, Infiniti, Nissan, Subaru,
- VSA (Vehicle Stability Assist) - Acura
- VSC (Vehicle Stability Control) – Lexus, Toyota
- VSES (Vehicle Stability Enhancement System)
- YCS (Yaw Control Stability)

Všechny výše uvedené systémy přitom fungují na stejném nebo podobném principu. Zpravidla se liší jen formou zpracování a vlastním označením. V této práci bude, vzhledem k jeho největšímu rozšíření, používáno označení ESP.

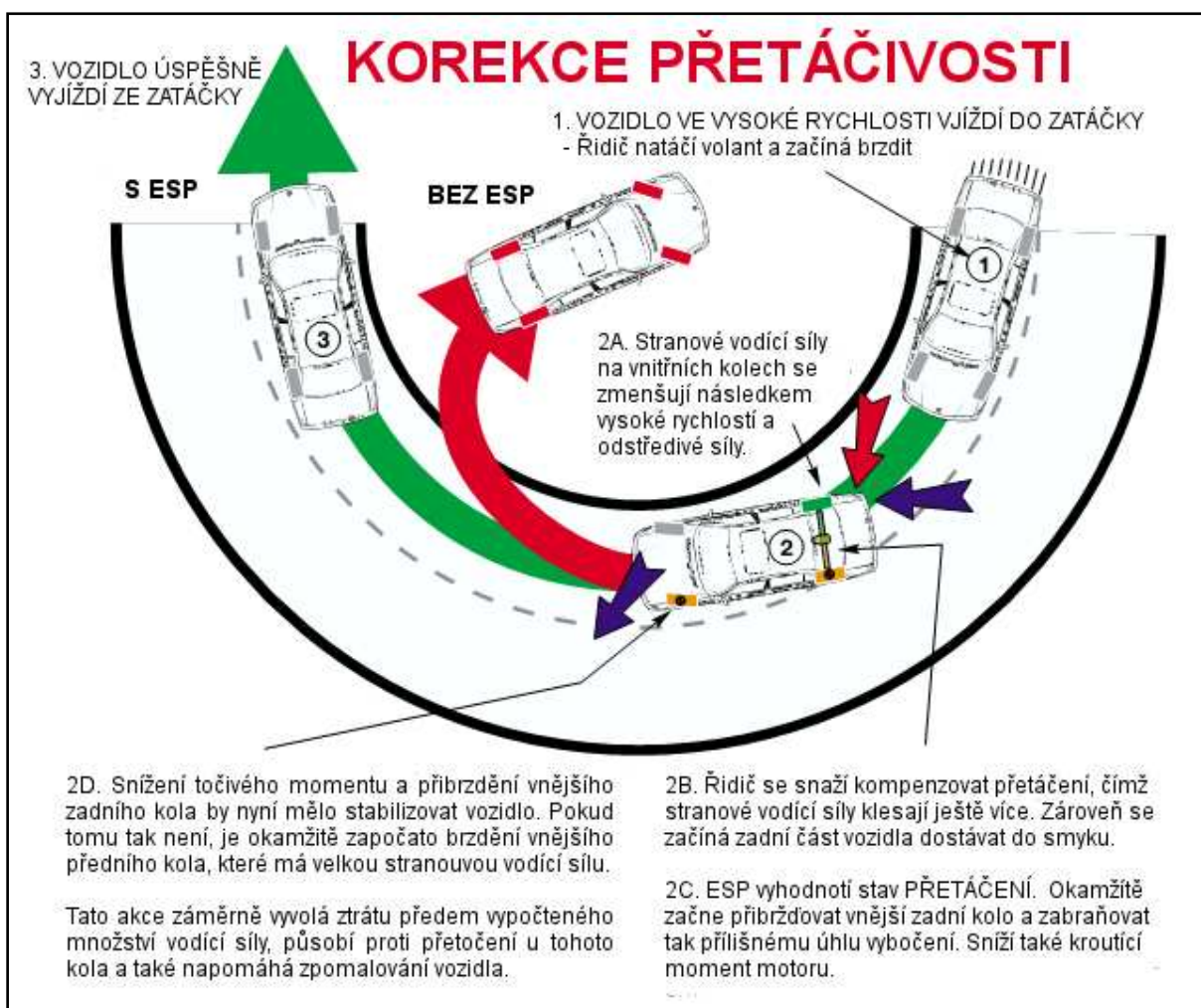
4.2 VLIV SYSTÉMU ESP NA JÍZDNÍ DYNAMIKU VOZIDLA

Zatímco systém ABS zasahuje především v dynamice podélné osy vozidla, regulace jízdní stability má doplňkovou funkci stabilizace vozidla v příčném směru. Mluví se zde proto o regulaci momentu zatáčení, kterým se rozumí otáčení kolem svislé osy automobilu.



Obr. 4.2 Reakce systému ESP u hrozícího nedotočení [11]

Zjistí-li systém prostřednictvím snímačů příčně dynamický kritický stav vozidla, dochází k přibrzdění příslušných kol. Tím se vytvoří točivý moment kolem svislé osy vozidla, který kompenzuje nežádoucí nedotáčivý, případně přetáčivý pohyb vozidla. Současně se sníží točivý moment motoru na hodnotu odpovídající dané situaci. Tímto způsobem dosažené zpomalení vozu má stabilizační účinek [3]. Pokud hrozí například vybočení zadní části vozidla u přetáčivého pohybu, jsou přibrzděna kola na vnější straně zatáčky, přičemž největší brzdná síla působí na přední vnější kolo (obr. 4.3). U nedotáčivého chování vozidla se korekce provede přibrzděním kol na vnitřní straně zatáčky, přičemž převážný podíl brzdné síly působí na zadním vnitřním kole (obr. 4.2).



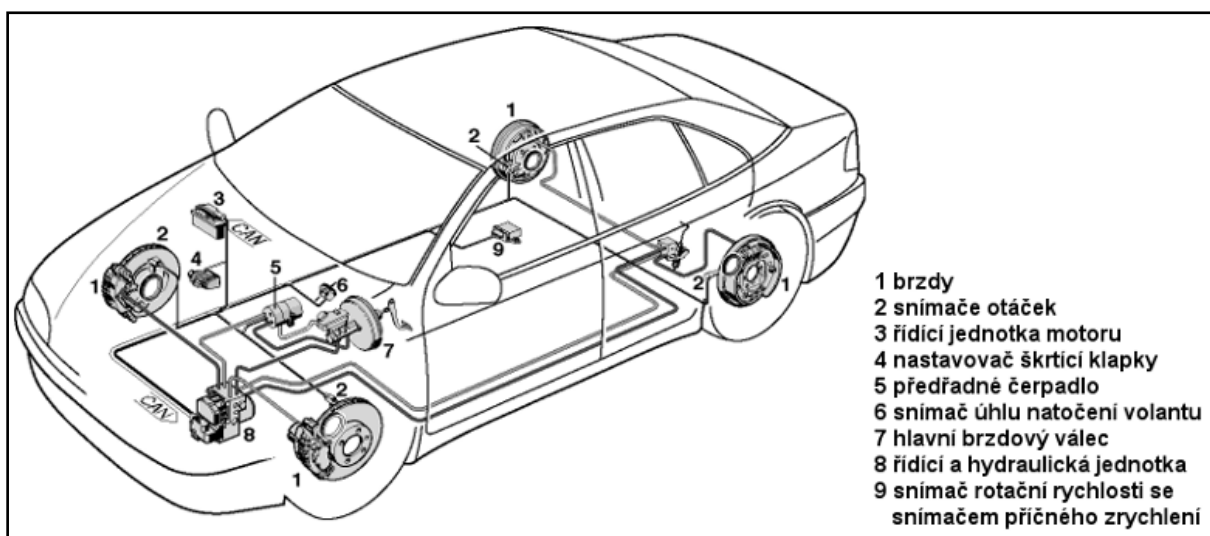
Obr. 4.3 Reakce systému ESP u hrozícího přetočení [11]

4.3 FUNKČNÍ SLOŽKY SYSTÉMU ESP

System ESP se skládá z následujících částí:

- 1) Snímačů:
 - a) otáček na kolech
 - b) úhlu natočení volantu
 - c) příčného zrychlení (případně i podélného, pokud má vozidlo pohon 4x4)
 - d) rotační rychlosti
 - e) brzdných tlaků v okruzích (pro každý okruh, umístěny na hl. brzdovém válci)
- 2) Elektronické řídicí jednotky
- 3) Akčních členů (hydraulická jednotka brzd, řídicí jednotky motoru a převodovky)

Z uvedených snímačů systém vypočítává podélnou rychlost vozidla, boční síly na kolech, úhly směrových úchylek kol a těžiště vozidla a příčnou rychlost vozidla. Z těchto veličin vyhodnotí skutečný směr pochybu vozidla. Z rychlosti, úhlu natočení vozidla a polohy akceleračního nebo brzdového pedálu poté vyhodnotí požadovaný směr pohybu vozidla. Veškeré hydraulické akční členy jsou umístěny v hydraulické jednotce systému, zbývající elektronické akční členy jsou umístěny v řídicí jednotce a komunikují přes sběrnici CAN-BUS s řídicími jednotkami motoru a případně také automatické převodovky. Umístění součástí brzdového systému se systémem ESP na vozidle znázorňuje obr. 4.4.



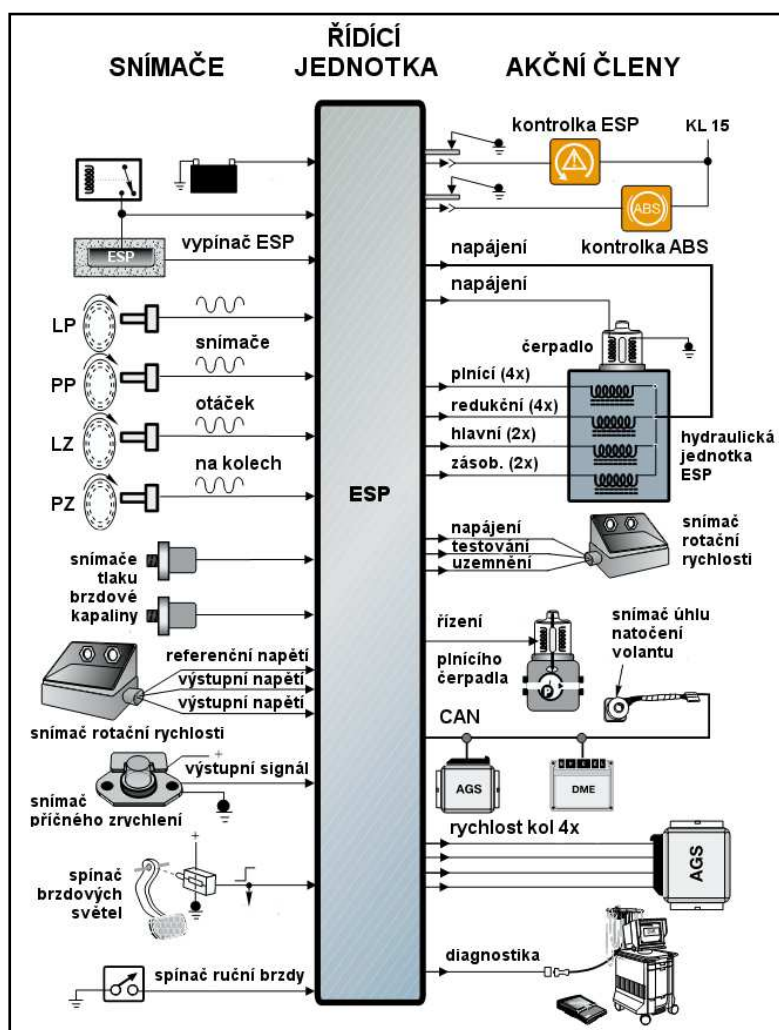
Obr. 4.4 Schéma umístění komponent systému ESP na vozidle (Bosch) [5]

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. 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 zabránit nedokáže [7].

4.4 KONSTRUKCE JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ A JEJICH ČINNOST

4.4.1 Elektronická řídicí jednotka

Řídicí jednotka systému ESP funguje obdobně jako u systému ABS (viz kap. 3.4.1). Pouze pro správné vyhodnocení situace slouží větší počet snímačů (senzory otáček kol, brzdného tlaku, úhlu natočení volantu, rotační rychlosti a příčného zrychlení), i větší počet akčních členů (dva páry elektromagnetických ventilů, výstup k řídicím jednotkám motoru a převodovky) (obr. 4.5).



Obr. 4.5 Schéma systému ESP a napojení jeho částí na ŘJ [11]

4.4.2 Hydraulická jednotka

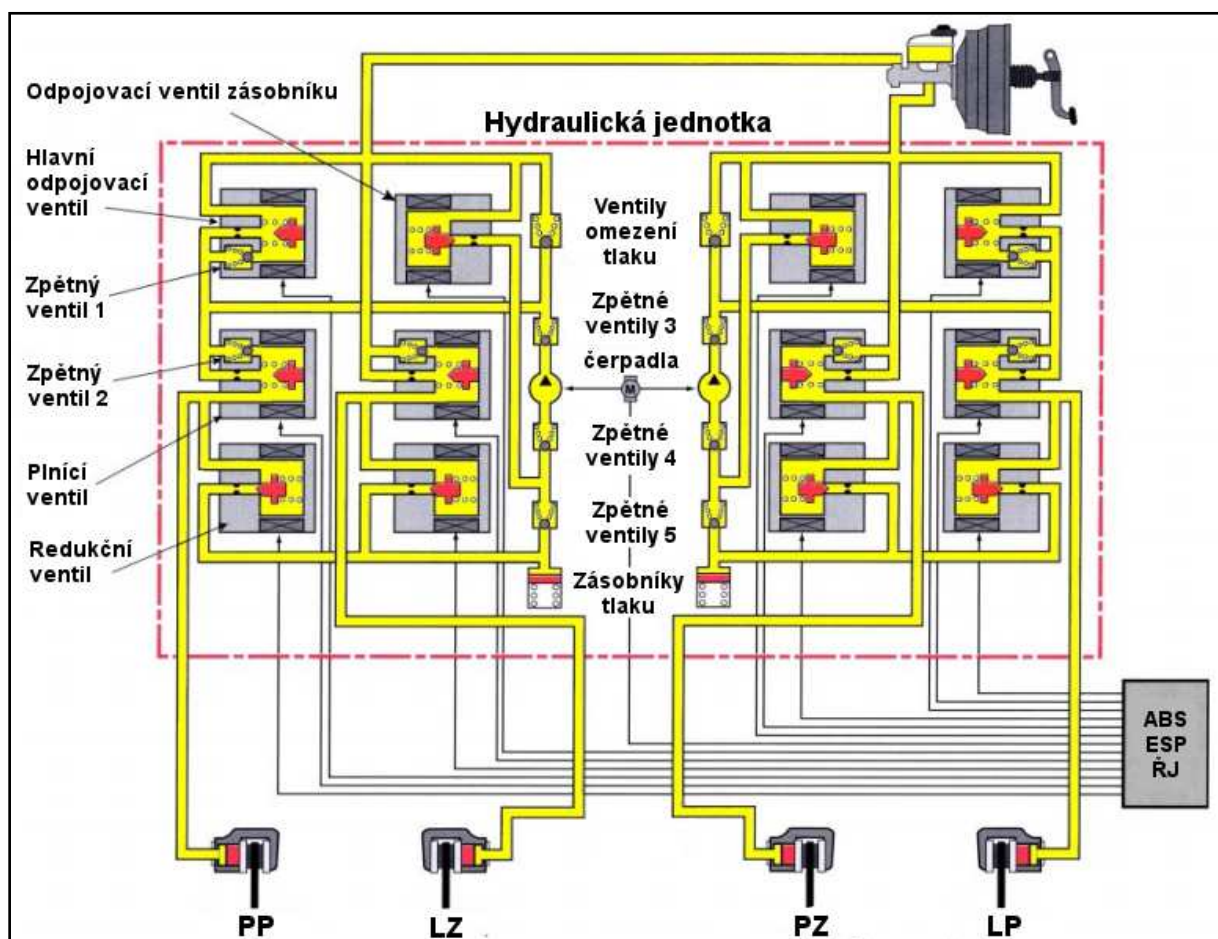
Všechny hydraulické akční členy systémů ABS a ESP jsou uloženy společně v hydraulické jednotce, která pracuje se dvěma diagonálně uspořádanými brzdovými okruhy. Obsahuje 12 elektromagnetických ventilů, ovládajících tlak působící v brzdách jednotlivých

kol. Navíc obsahuje dvě čerpadla, poháněná společným motorem a dva tlakové zásobníky. Z těchto dvanácti ventilů jsou:

- Dva hlavní odpojovací ventily (ESP)
- Dva odpojovací ventily zásobníku (ESP)
- Čtyři plnicí ventily (ABS)
- Čtyři redukční ventily (ABS)

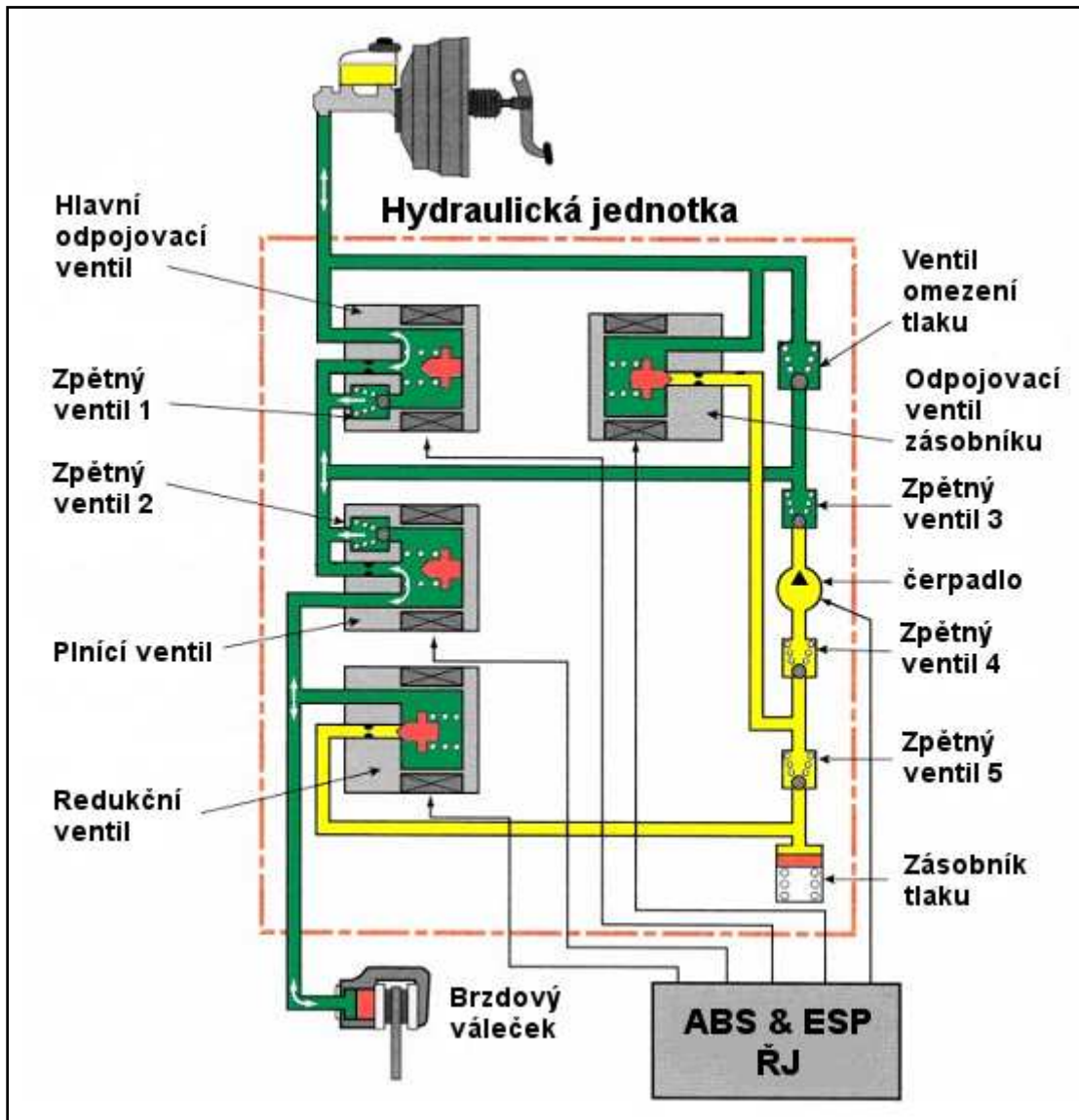
Hlavní odpojovací ventil otevírá a uzavírá hydraulický obvod mezi hlavním brzdovým válcem a plnicím ventilem ABS. V neaktivním stavu je přidržován pružinou v otevřené poloze. Jeho konstrukce a činnost je obdobná jako u plnicího ventilu.

Odpojovací ventil zásobníku otevírá a uzavírá hydraulický obvod mezi hlavním brzdovým válcem a čerpadlem/zásobníkem. Jeho konstrukce a činnost je obdobná jako u redukčního ventilu a za normálního stavu je pružinou přidržován v uzavřené poloze.



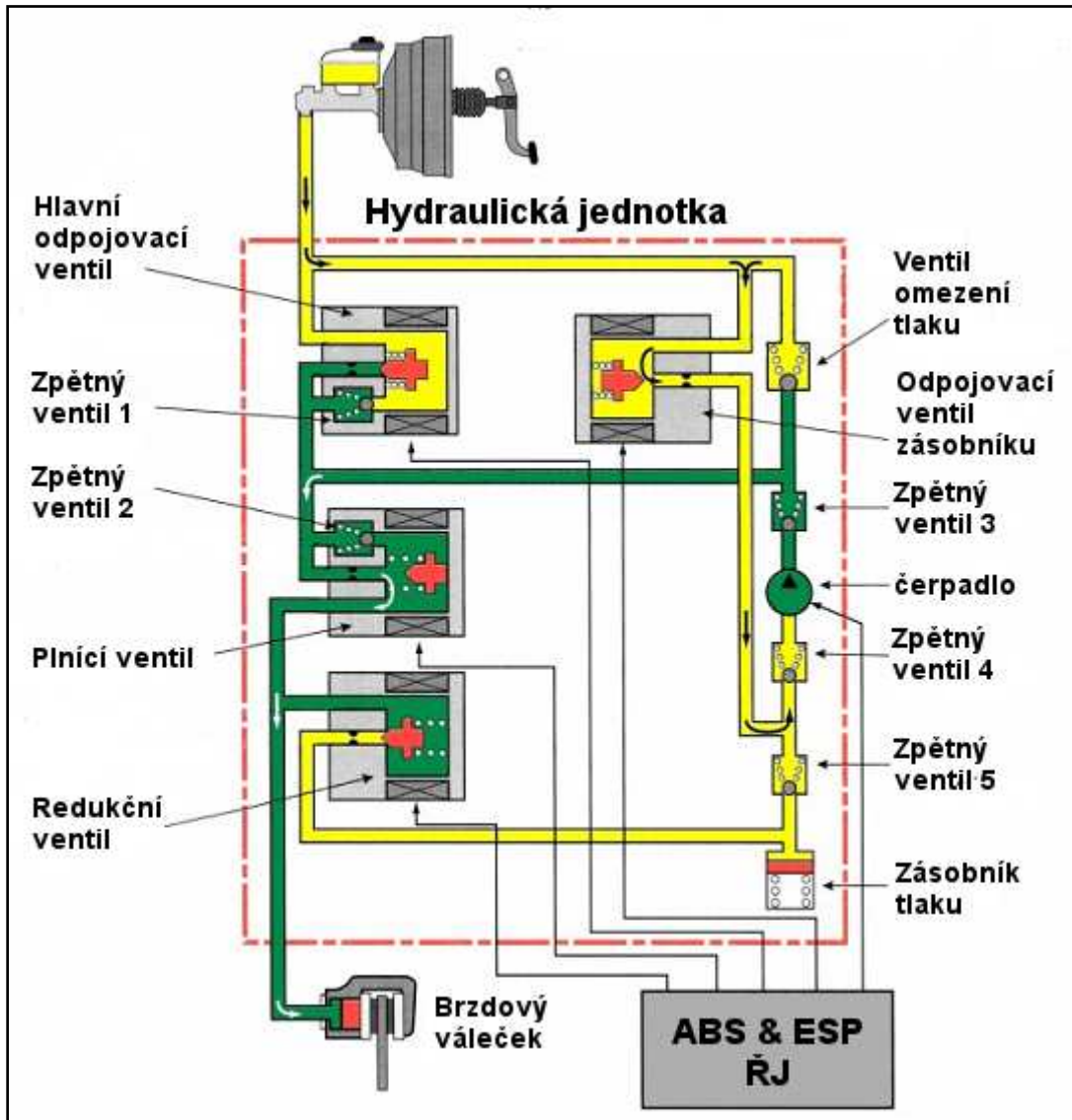
Obr. 4.6 Hydraulický okruh systému ABS a ESP (Teves MK20) [9]

Za normálního stavu (obr. 4.7), kdy není systém ESP aktivní, jsou hlavní odpojovací ventil i plnicí ventil otevřeny a brzdová kapalina z hlavního brzdového válce může volně proudit k brzdovým válečkům kol. V tomto režimu fungují brzdy běžným způsobem, jako systém bez přítomnosti ABS a ESP.



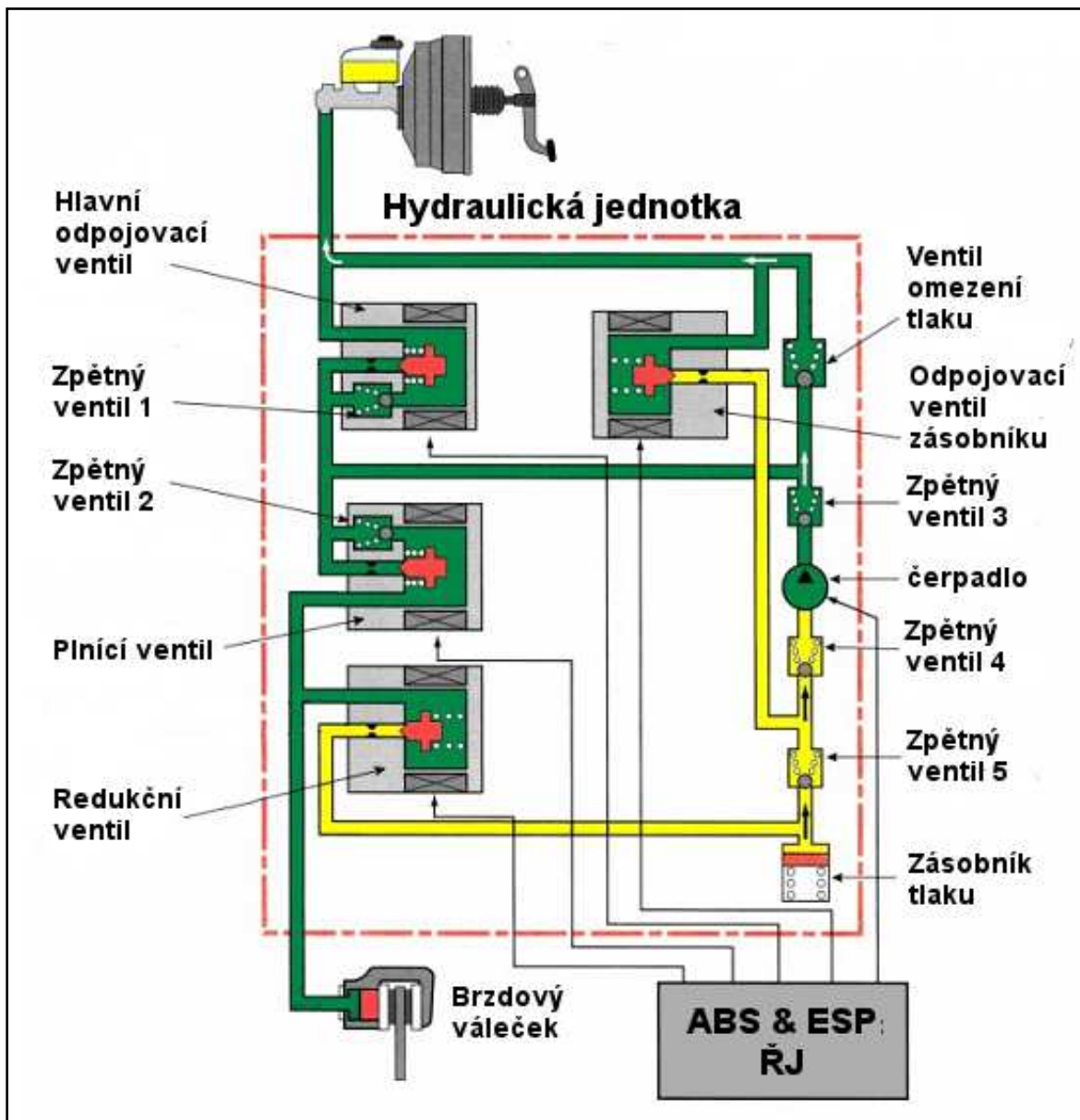
Obr. 4.7 ESP - normální stav [9]

V případě náhlého zrychlení nebo zatáčení na klzkém povrchu, pokud řídící kola začnou klouzat, vydá řídicí jednotka pokyn k přechodu do režimu zvyšování tlaku (obr. 4.8). Hlavní odpojovací ventil se uzavře, čímž odpojí od obvodu hlavní brzdový válec. Odpojovací ventil zásobníku se otevře a kapalina z hlavního brzdového válce proudí k čerpadlu, které vytváří potřebný tlak, a dále přes plnicí ventil k brzdám kol.



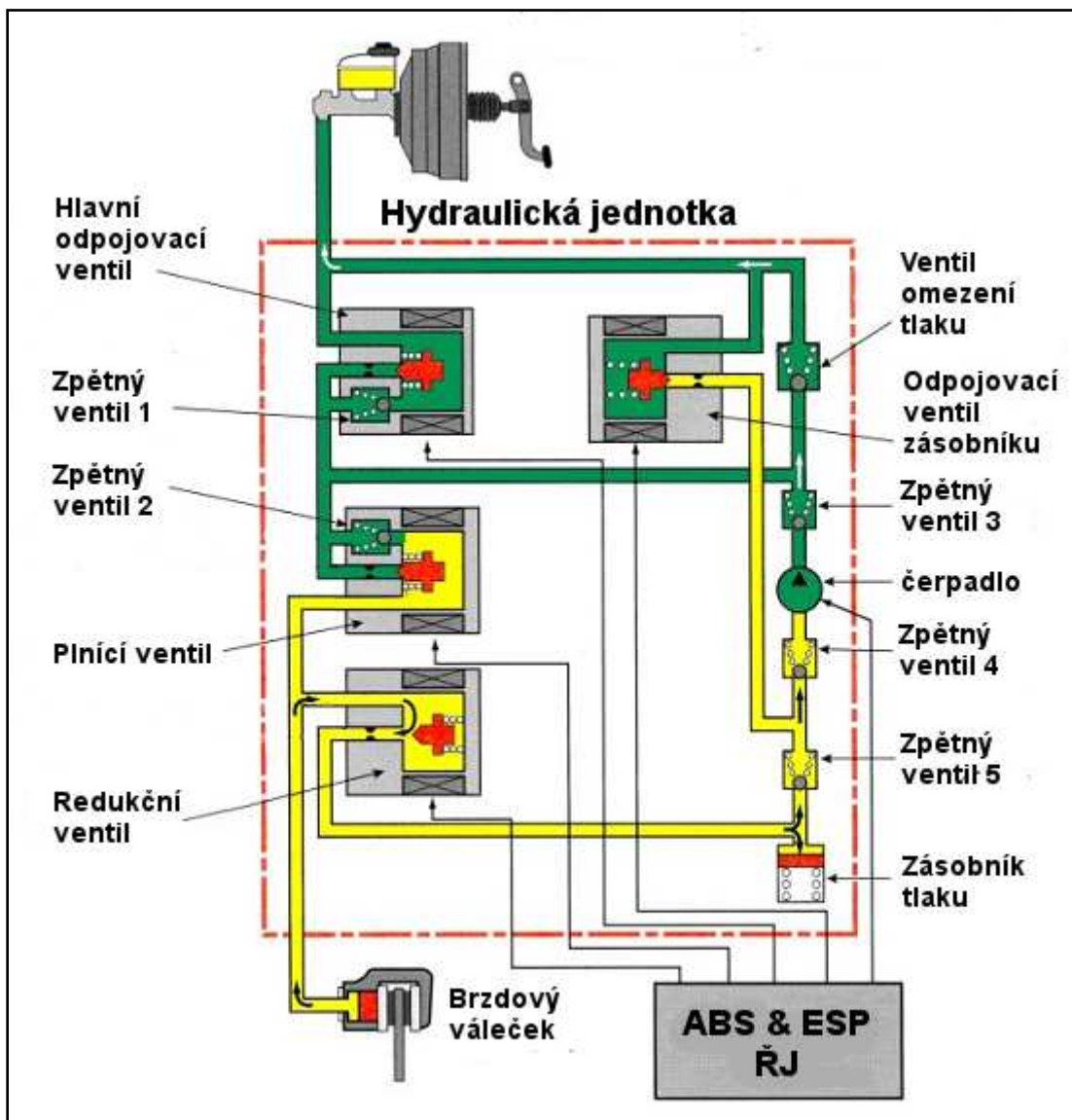
Obr. 4.8 ESP - Zvyšování tlaku [9]

Když je tlak kapaliny v brzdovém válečku optimalizován, uzavře plnicí ventil přívod tlaku od čerpadla. Odpojovací ventil zásobníku se uzavře a znemožní tak přitékání další kapaliny z hlavního brzdového válce, zatímco čerpadlo zůstává i nadále v činnosti. Systém je ve stavu udržování tlaku (obr. 4.9).



Obr. 4.9 ESP - Udržování tlaku [9]

Pokud je třeba tlak brzdové kapaliny v brzdovém válečku snížit (obr. 4.10), uzavře se hlavní odpojovací ventil, odpojovací ventil zásobníku a plnicí ventil, čímž znemožní proudění kapaliny z hlavního brzdového válce k brzdovým válečkům i čerpadlu. Otevře se redukční ventil a kapalina začne proudit od brzdových válečků do zásobníku tlaku a k čerpadlu, čímž odblokuje kolo.



Obr. 4.10 ESP - Snižování tlaku [9]

4.4.3 Senzory systému

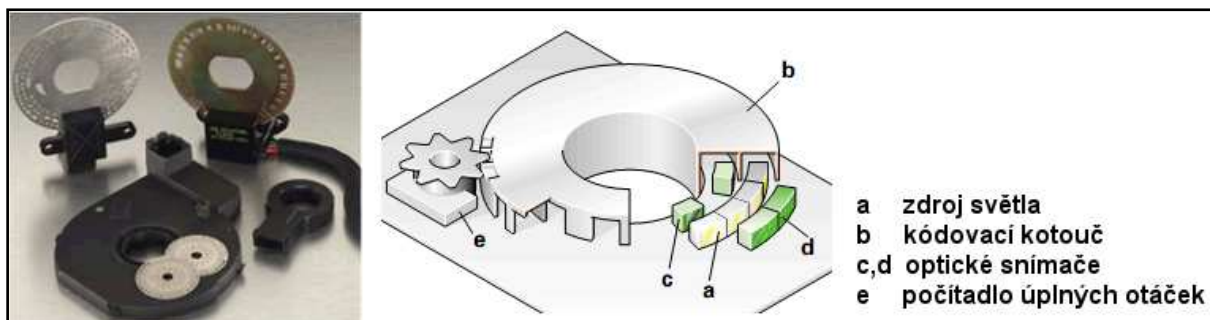
Senzory, které má systém ESP společné se systémem ABS jsou popsány v kapitole 3.4.3. Tento systém však obsahuje navíc další senzory, a to jsou:

- Snímač úhlu natočení volantu
- Snímač příčného zrychlení

- Snímač rotační rychlosti
- Snímače tlaku brzdové kapaliny

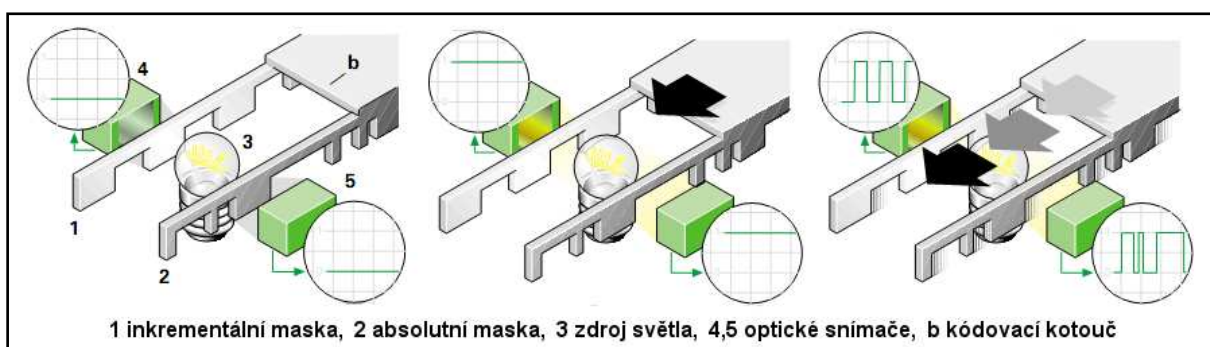
Snímač úhlu natočení volantu

Z tohoto snímače získává ESP systém údaj o směru a úhlu natočení volantu, a to v rozmezí $\pm 720^\circ$. Jako jediný ze všech snímačů systému obsahuje mikroprocesor pro komunikaci se sběrnicí CAN-BUS, po které posílá naměřené údaje do ŘJ systému.



Obr. 4.12 Konstrukce snímače úhlu natočení volantu [16]

Snímač pracuje na optoelektronickém principu, tedy obdobně jako snímač podélného zrychlení v kapitole 3.4.3, pouze je zde složitější konstrukce z důvodu požadavku větší přesnosti. Je tvořen zdrojem světla 3 a dvěma páry fototranzistorů, mezi kterými se pohybují dvě „stínící“ masky (inkrementální a absolutní), pevně spojené s pohybem volantu (obr. 4.11). Inkrementální maska 1 s pravidelnými otvory dodává při pohybu volantu pravidelný signál 4, kdežto absolutní maska 2 s nestejně širokými otvory dodává nerovnoměrný signál 5. Porovnáním obou takto vzniklých signálů je systém schopen vypočítat přesnou vzdálenost a směr pohybu volantu.



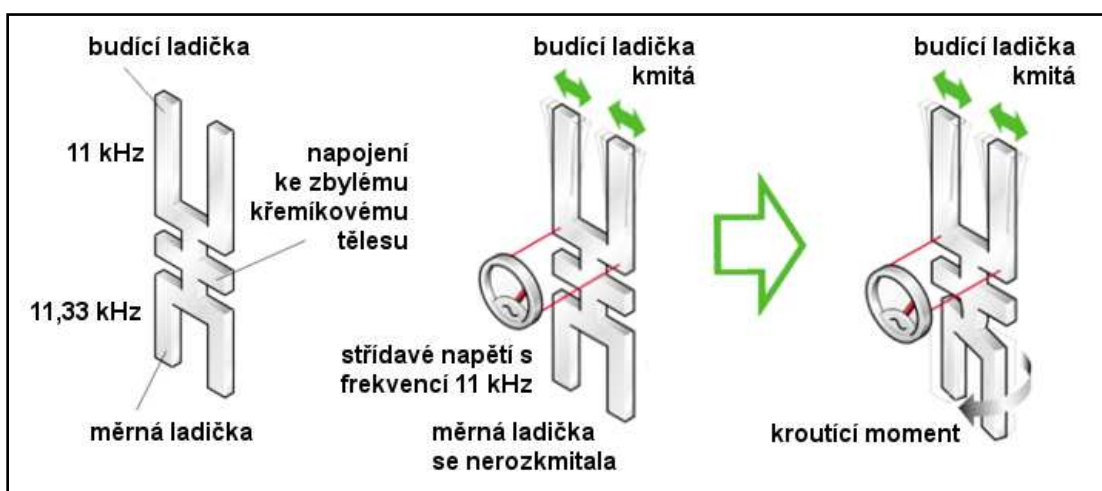
Obr. 4.11 Princip funkce snímače úhlu natočení volantu [16]

Snímač příčného zrychlení

Konstrukce a funkce tohoto snímače je obdobná jako u kapacitního snímače podélného zrychlení – viz kapitola 3.4.3

Snímač rotační rychlosti

Má za úkol měřit míru rotačního momentu setrvačnosti, tedy zda se vozidlo neotáčí kolem svislé osy. Snímač obsahuje mikromechanický systém s dvojitou ladičkou z monokrystalu křemíku. Dvojitá ladička je tvořena měrnou a budící ladičkou (obr. 4.12).



Obr. 4.13 Princip funkce snímače rotační rychlosti [16]

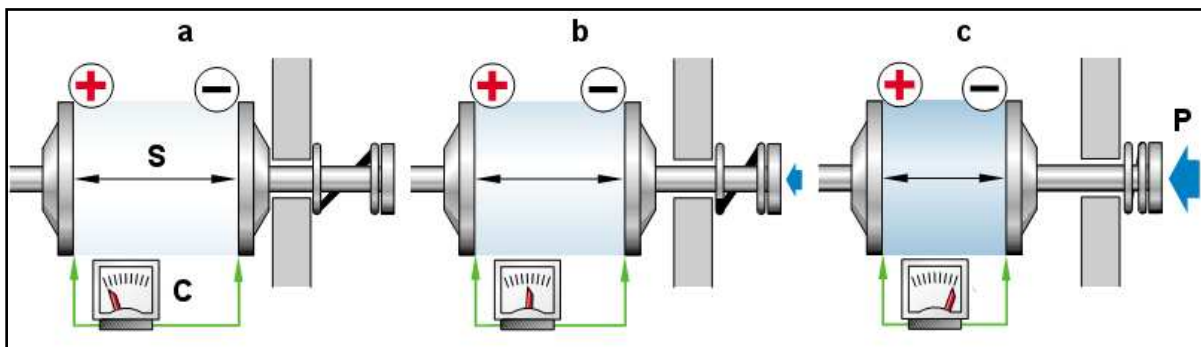
Budící ladička je naladěna na frekvenci 11 kHz, zatímco měrná ladička na frekvenci 11,33 kHz. Je-li na ni přivedeno střídavé napětí o frekvenci 11 kHz, budící ladička se rozkmitá na tuto frekvenci, zatímco měrná nikoliv. Protože kmitající hmota reaguje na působení síly pomaleji než hmota která nekmitá, pohybuje se měrná ladička spolu s vozidlem, zatímco kmitající budící ladička za tímto pohybem zaostává. Dochází ke zkroucení dvojitě ladičky, což vyvolá změnu rozložení nábojů v ladičce, která je měřena a vyhodnocována.

Snímače tlaku brzdové kapaliny

Dva snímače tlaku jsou umístěny na hlavním brzdovém válci a každý má za úkol snímat tlak v jednom z brzdových okruhů, sloužící např. pro výpočet brzdných sil, či předplňovacího tlaku.

Snímače pracují také na kapacitním principu, obdobně jako snímače podélného a příčného zrychlení - viz kapitola 3.4.3. Pro představu snímač obsahuje deskový kondenzátor, kde tlak brzdové kapaliny působí na jednu z desek kondenzátoru, čímž vyvolá její pohyb

směrem ke druhé z desek (obr. 4.14). Se zmenšující-se vzdáleností pólů kondenzátoru S se snižuje i jeho kapacita C, která je měřena a vyhodnocována. Při snížení tlaku brzdové kapaliny P, tlačí pružina záporný pól kondenzátoru zpět do výchozí polohy, čímž se opět zvětšuje vzdálenost desek kondenzátoru a tedy i jeho kapacita.



Obr. 4.14 Princip funkce kapacitního snímače tlaku [16]

5 DIAGNOSTIKA FUNKČNOSTI A VLIVU SYSTÉMŮ

5.1 CRASH DATA RETRIEVAL SYSTEM

Jediná, v současné době veřejně dostupná, možnost jak exaktně zjistit vliv a průběh zásahu některého z výše uvedených elektronických systémů, je systém CDR společnosti Robert Bosch GmbH.

Tento systém je výsledek spolupráce společnosti Vetronix (koupené v r.2003 společností BOSCH) a koncernů GM a Ford. Tyto společnosti jej instalují do většiny jimi vyráběných vozidel pro americký kontinentální trh od r. 1994, přičemž počet modelových řad, vybavených tímto systémem neustále narůstá (aktuální přehled viz příloha č.1).

Systém funguje na principu tzv. černé skříňky (Ebeny Data Recorder), která je integrována do řídicí jednotky airbagu (Airbag Control Module – obr. 5.1). Ta je přes rozhraní CAN-BUS propojena s hlavní řídicí jednotkou vozidla a průběžně nahrává do zabudované paměti aktuální informace o stavu vozidla. V momentě nárazu vozidla, tj. když jednotka ACM zaznamená překročení nastavené meze přetížení, jsou data která jednotka aktuálně obsahuje uložena do paměti, případně nahrána ještě doplňková z ponehodového děje.



Obr. 5.1 Řídicí jednotka airbagu (ACM) obsahující EDR [17]

Tyto informace se liší dle typu vozidla a dělí se na skupinu povinných (rychlost vozidla, aktivace brzd apod.) a skupinu doplňkových dat (osvětlení vozidla, bezpečnostní pásy, rychlostní stupeň). Instalovaná EDR se také liší délkou záznamu dat. U starších verzí bylo běžně k dispozici pouze 5 sekund přednehodového děje s frekvencí ukládání 1Hz. Dnes

je již běžně k dispozici 20 sekund přednehodového a 5 sekund ponehodového děje a vše s frekvencí 5Hz a 20ti sledovanými parametry vozidla, například:

- Rychlost vozidla
- Otáčky motoru
- Poloha plynového pedálu
- Stav brzd, bezpečnostních pásů, airbagů, osvětlení vozidla
- Úhel natočení volantu
- Delta-V
- Aktivace systémů ABS, ESP

Data se z jednotky ACM stahují přes CDR diagnostické zařízení do PC (obr. 5.2) připojením přes diagnostickou zásuvku OBD/OBDII. V případě vážnější nehody a poškození elektroinstalace vozidla je také možno data stáhnout připojením přímo k samotné jednotce.

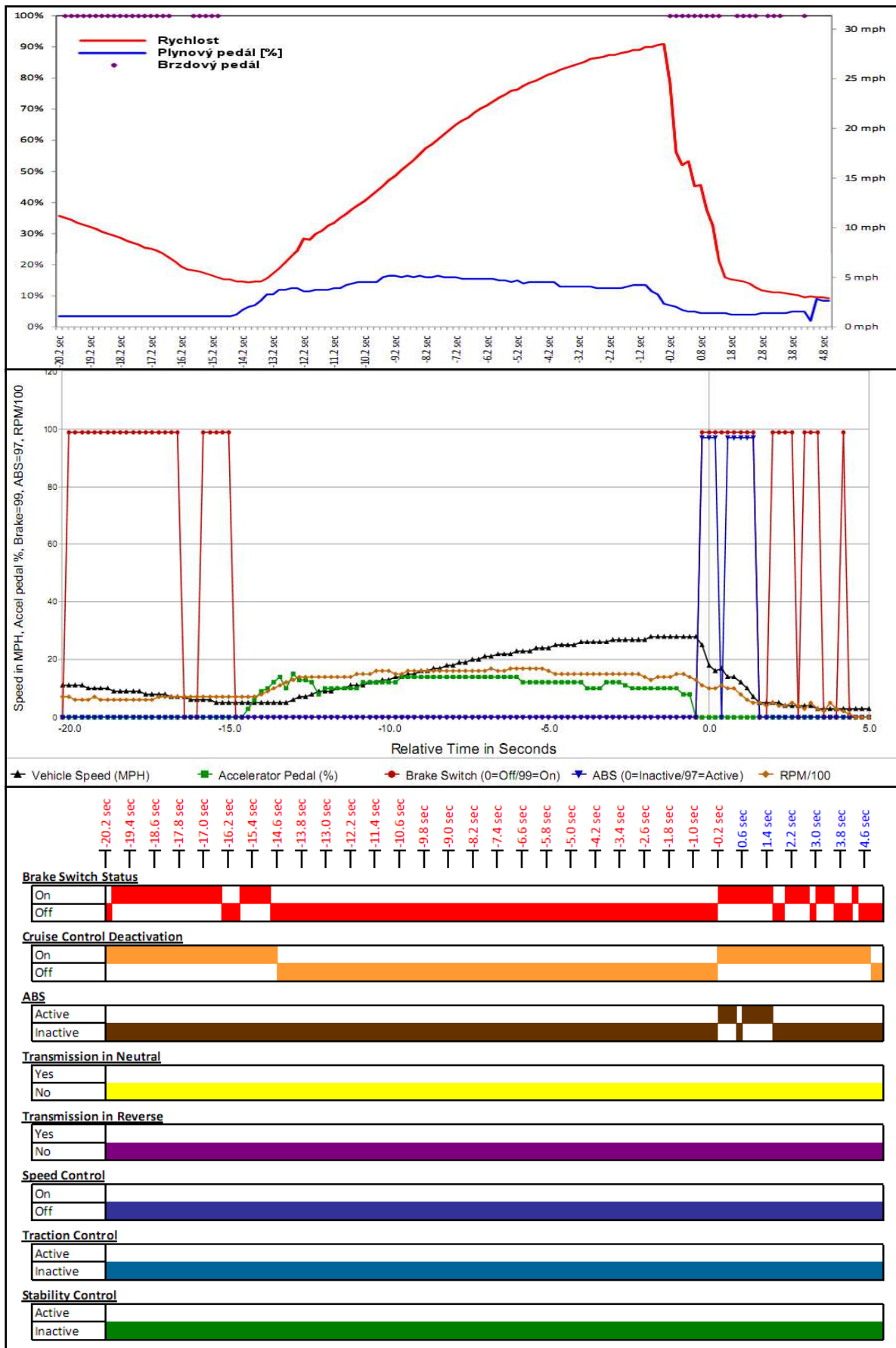


Obr. 5.2 Diagnostické zařízení BOSCH Crash Data Retrieval [8]

Takto například vypadá část grafických dat (obr. 5.4), zpracovaných obslužným programem pro diagnostiku Cash Data Retrieval Tool v3.4. Data jsou konkrétně z nehody vozidla Mercury Grand Marqui model 2006 (obr. 5.3).



Obr. 5.3 Mercury Grand Marqui model 2006 [15]



Obr. 5.4 Grafický výstup dat z nehody vozidla Mercury Grand Marqui [15]

Americké automobilky vedly k zavedení tohoto systému časté stížnosti řidičů na selhání bezpečnostního vybavení, například nechtěné vystřelení airbagu apod. Rozhodující roli však sehrály pojišťovny, jejichž tlak na výrobce i zákonodárce nakonec umožnil použití EDR modulů v sériové výrobě. Následně podle policejních zpráv klesla s rozšířením těchto systémů nehodovost o 25 %. Obdobné snížení nehodovosti v návaznosti na instalaci černých skříněk prokazuje i mnoho dalších studií po celém světě.

Bohužel v České Republice, potažmo v EU zabraňuje v rozšíření těchto jednotek legislativa. Zásah do soukromí řidiče je zatím pro kontinentální právní systém nepřekonatelný problém a vůle k jeho odstranění chybí. Přitom by stačila legislativní úprava inspirovaná tou již existující, která se týká digitálních tachografů. V USA tento argument přestal mít valný význam po precedenčním výroku soudu v New Jersey, podle něhož je shromažďování údajů o jízdě přípustné. Silnice je veřejným místem, kde člověk nemůže dělat, co se mu zlíbí.

5.2 DATA Z ŘÍDICÍ JEDNOTKY ABS / ESP

Zjistit relevantní data o vlivu elektronického systému podvozku na dynamiku a případnou nehodu vozidla z běžné řídicí jednotky ABS je již poněkud obtížnější. Každá řídicí jednotka obsahuje paměť závad, která je přístupná přes diagnostickou zásuvku OBD/OBDII, potažmo sběrnici CAN-BUS.

V rámci průzkumu bylo osloveno několik náhodně vybraných společností, které se zabývají opravami řídicích jednotek, zda by byli ochotni a schopni vyčíst alespoň tyto uložené závady přímo z řídicí jednotky ABS/ESP, či případně další uložená data. Bohužel veškeré odpovědi byly negativní.

Jediná možnost, jak tedy zjistit případnou funkčnost systému před nehodou pomocí běžné diagnostiky v autorizovaném servisu, je vyčíst chybové kódy uložené v ŘJ přes diagnostickou zásuvku OBD/OBDII. Při funkční, nebo opravitelné elektroinstalaci vlastního vozidla toto není problém. Pokud je elektroinstalace vozidla příliš poškozena, ale samotná ŘJ je v pořádku, je možnost tuto z poškozeného vozidla vymontovat a použít ve vozidle jiném, které má stejný typ ŘJ a zároveň funkční elektroinstalaci. Poté lze chybu uloženou v původním vozidle ve většině případů vyčíst. Pravděpodobnost vyčtení uložené závady závisí na typu vozidla, typu řídicí jednotky a zkušenostech konkrétního technika v autorizovaném servisu.

6 METODIKA POSTUPU PŘI ANALÝZE NEHOD

Hlavním cílem této práce bylo vytvoření metodiky, která by mohla být využita případně i ve znalecké praxi. Návrh základní metodiky postupu při analýze silničních nehod za účasti vozidel s elektronickými systémy:

Všechny současné systémy ABS i systémy ESP obsahují pokročilé autodiagnostické obvody, které během jejich činnosti neustále prověřují bezchybnou funkci všech systémových částí. Jakmile systém vyhodnotí jakýkoliv nefunkční prvek či jakoukoliv jinou závadu, která by mohla zapříčinit nesprávnou funkci či dokonce selhání systému, uloží tuto závadu do energeticky nezávislé paměti řídicí jednotky a systém se deaktivuje.

V případě systému ESP je možnost, že pokud se vyskytne závada v části nutné pro funkci systému ESP ale ne nezbytné pro funkci systému ABS, deaktivuje se pouze systém regulace jízdní dynamiky vozidla, ale protiblokovací systém zůstane i nadále funkční.

Oba tyto stavy jsou indikovány rozsvícením příslušných varovných kontrolků v zorném poli řidiče, čímž ho informují, že je k dispozici pouze běžná funkce provozního brzdného systému. Umístění a vzhled těchto kontrolků, jakožto i způsob indikace poruchy se liší dle výrobce a modelu vozidla a je uveden v uživatelské příručce k příslušnému vozidlu.

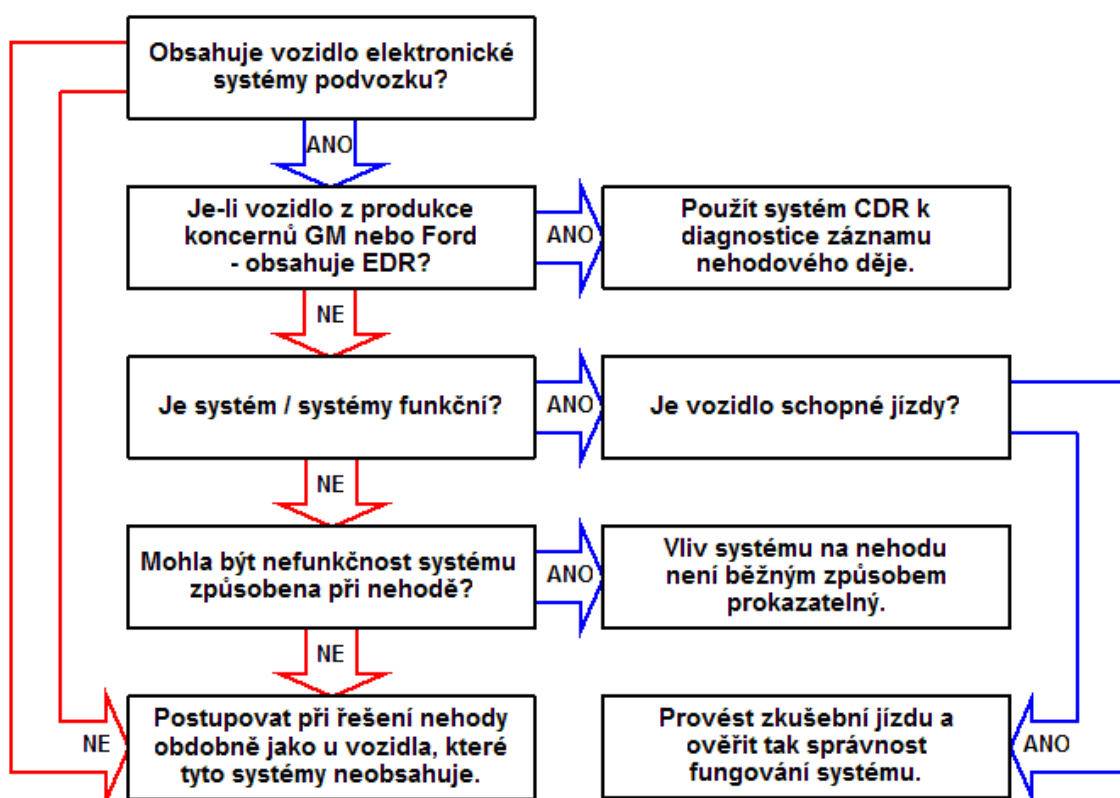
Při nutnosti posoudit vliv systému na dopravní nehodu lze postupovat následovně:

1. Zjistit, jaké elektronické systémy podvozku, mající vliv na dynamiku vozidla zkoumané vozidlo obsahuje.
2. Je-li vozidlo z produkce koncernů GM nebo Ford, ověřit zda neobsahuje jednotku EDR (seznam modelů vozidel viz příloha 1 na přiloženém CD).
3. Pokud vozidlo obsahuje některý z výše uvedených systémů, zjistit jeho funkčnost.
4. Pokud je systém po nehodě nefunkční, zjistit příčinu tohoto stavu a zda tato mohla být způsobena během nehodového děje (mechanické poškození odpovídá chybě v paměti závad řídicí jednotky). Pokud ne, je pravděpodobné že byl systém nefunkční již před nehodou – neuvažovat vliv tohoto systému při řešení nehodového děje.
5. Pokud je systém funkční a vozidlo je schopné jízdy, ověřit jeho správnou funkci zkušební jízdou.

Pokud není splněna podmínka v bodě 2 postupu výše, nelze konkrétní vliv systému na nehodu vozidla běžně dostupným způsobem prokázat, pouze lze ověřit jeho funkčnost.

Pokud je funkčnost systému neznámá, nebo ji nelze ověřit zkušební jízdou, je třeba použít ke zjištění jeho funkčnosti diagnostické zařízení k tomu určené. Vzhledem k nutnosti připojení zařízení přes zásuvku OBD/OBDII, je třeba k provedení samotné diagnostiky alespoň částečně funkční elektronika automobilu – potažmo sběrnice CAN-BUS.

Jestliže je elektronika nefunkční nebo neopravitelná a zároveň je samotná řídicí jednotka v pořádku, je třeba tuto jednotku z poškozeného vozidla vyjmout a připojit do vozidla stejného výrobce, modelu a výbavy (co se elektronických systémů podvozku týče). V tomto vozidle poté provést přes zásuvku OBD/OBDII diagnostiku této jednotky a zjistit z výpisu uložených závad příčinu případné nefunkčnosti.



Obr. 6.1 Blokový diagram návrhu postupu při analýze silniční nehody vozidla, vybaveného elektronickými systémy podvozku. [19]

7 PRAKTICKÉ JÍZDNÍ TESTY

Pro ověření vlivu systému ABS na jízdní dynamiku vozidla byl v rámci této práce proveden test tohoto systému, jehož průběh a výsledky jsou uvedeny v kapitole 7.1. Na konci této kapitoly je z každého typu měření jeden výsledný graf (obr. 7.5 - 7.10). Pro úplnost jsou grafy ze všech měření, jako výstupní soubor z měřicího přístroje, uloženy na přiloženém CD (Příloha 2).

7.1 PROTIBLOKOVACÍ SYSTÉM

Podmínky měření

- Datum měření 23. 4. 2010
- Teplota vzduchu 15 °C
- Vozovka suchá, povrch beton
- Testovací vozidlo – Mercedes-Benz C200 CDI se systémy ABS, ESP, BAS, s pneumatikami s letním vzorkem
- Měřicí zařízení – XL meterTM od společnosti Inventure Inc.

Průběh měření

Test se skládal ze dvou hlavních částí, z nich měla každá tři samostatné složky. Nejdříve bylo měřeno vozidlo s funkčním systémem ABS, a to na suché vozovce. Poté na vozovce s rozdílnou přilnavostí, kdy vozidlo brzdilo levými koly na mokré vozovce a nakonec celé vozidlo na mokré vozovce. Následně byla odpojována řídicí a hydraulická jednotka ABS a celý test byl opakován bez zásahu tohoto systému. U každé jednotlivé části testu byly provedeny nejméně čtyři měřicí jízdy.

Samotné měření probíhalo dle následujících bodů:

- Příprava měřicího úseku
- Fixace a kalibrace měřicího zařízení na čelním skle vozidla
- Zkušební jízdy vozidla před zahájením samotného měření
- Měřicí jízdy - rozjezd, ustálení rychlosti na hodnotě 50 km/h, následované prudkým brzděním (prudkým sešlápnutím brzdového pedálu) až do úplného zastavení vozidla

- Stažení naměřených dat do PC a jejich následné zpracování

Výsledky měření

Průměrný čas brzdění do zastavení vozidla u jednotlivých druhů měření je uveden v tab. 7.1. V tab. 7.2 je uvedena průměrná brzdňá dráha. Oba tyto údaje vycházejí z dat získaných XL metrem, protože při použití systému ABS vozidlo nezanechalo na vozovce žádné brzdňé stopy (obr. 7.3).

Z naměřených časů i brzdňých drah je patrný značný vliv systému ABS na čas i dráhu, kterou vozidlo potřebuje k zastavení při plném brzdění. I při tak nízké rychlosti je rozdíl poměrně markantní.

Mezi suchou vozovkou a vozovkou s rozdílnou přilnavostí není v čase brzdění ani brzdňé dráze téměř žádný rozdíl, pouze na vozovce s rozdílnou přilnavostí s deaktivovanými systémy podvozku má vozidlo mírnou tendenci ke stáčení se směrem k suché straně vozovky. U mokré vozovky se oproti prvním dvěma výrazně prodloužil čas brzdění i jeho dráha, bez systému ABS však mnohem výrazněji.

Subjektivní změna v chování vozidla z pohledu řidiče je poměrně výrazná. Protože se jedná o vozidlo se zadním pohonem, řídící elektronika podvozku výrazně mění charakter chování tohoto vozidla za jízdy. Při náhlém neočekávaném ukončení činnosti všech elektronických systému podvozku, navíc v nevhodné situaci (zvláště je-li vozidlo vybaveno také systémem ESP jako toto), by mohl řidič nad vozidlem velice snadno ztratit kontrolu.

	Suchá vozovka	Vozovka s rozd. přiln.	Mokrá vozovka
Se systémem ABS	1,71 s	1,72 s	1,94 s
Bez systému ABS	2,10 s	2,08 s	2,53 s

Tab. 7.1 Doba brzdění nutná k zastavení vozidla

	Suchá vozovka	Vozovka s rozd. přiln.	Mokrá vozovka
Se systémem ABS	11 m	11 m	13 m
Bez systému ABS	14 m	14 m	18 m

Tab. 7.2 Brzdňá dráha vozidla



Obr. 7.1 Vozidlo použité pro testování s upevněným měřicím zařízením [19]



Obr. 7.2 Řídicí a hydraulická jednotka systému ABS a ESP ve vozidle [19]



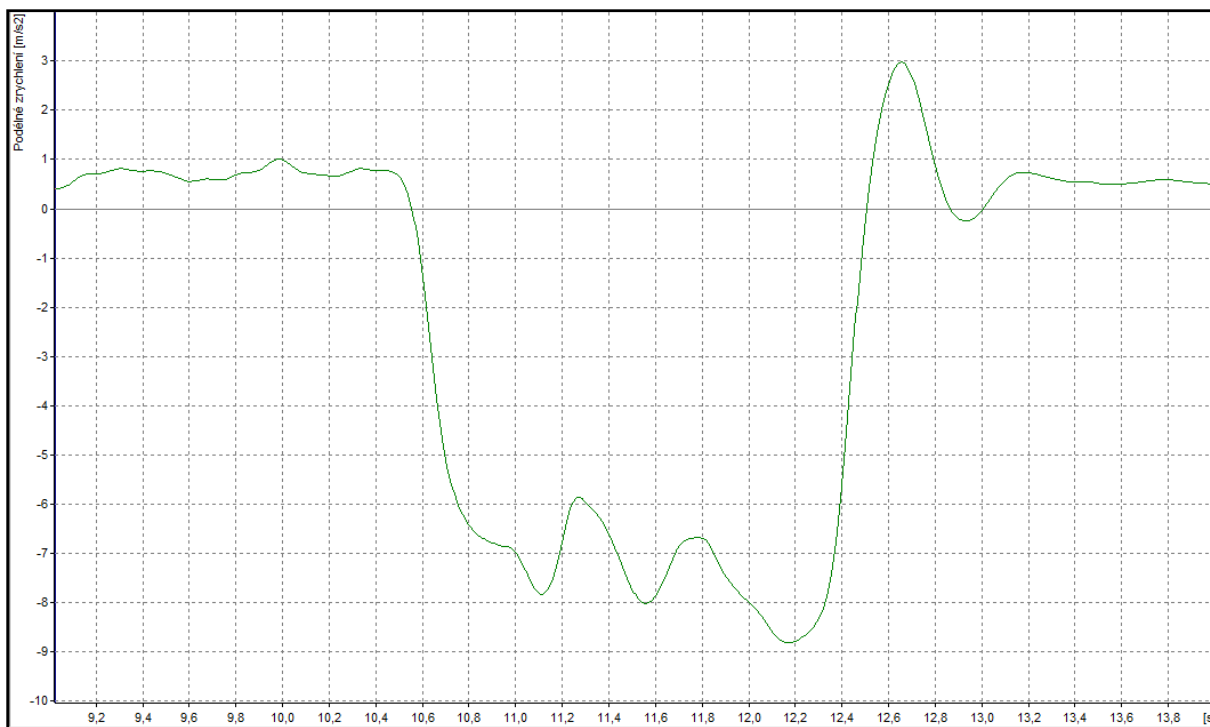
Obr. 7.3 Měřicí úsek před začátkem testů [19]



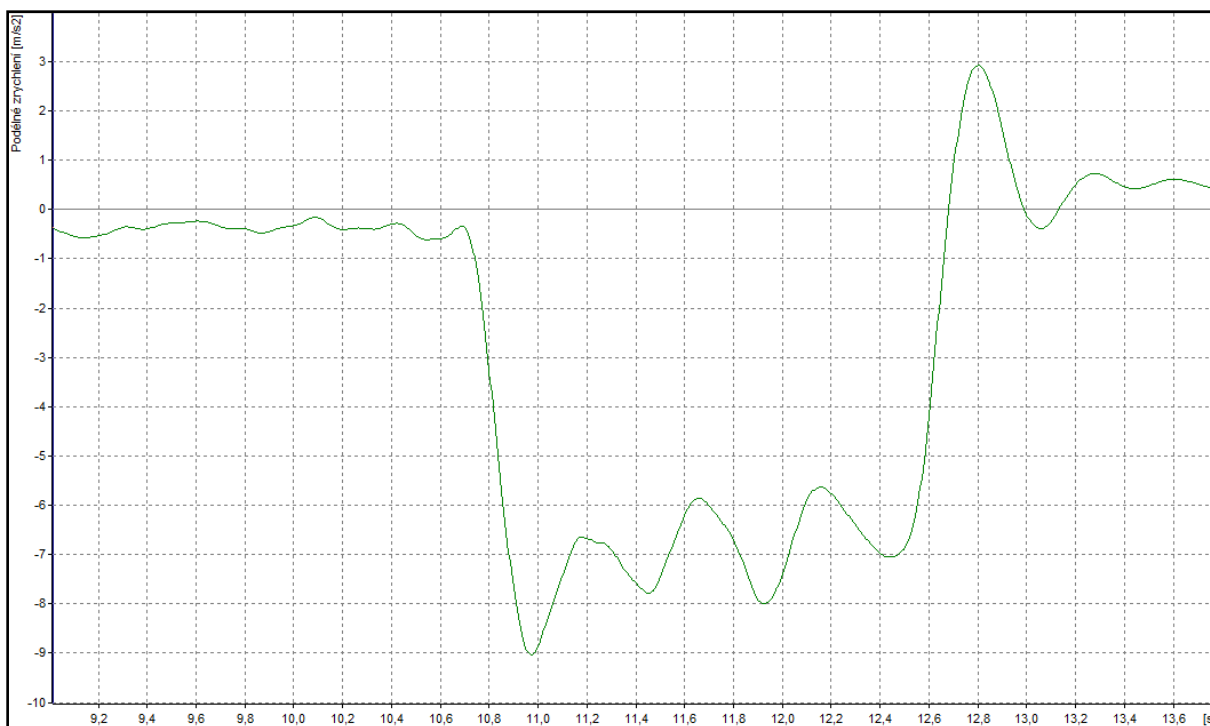
Obr. 7.3 Měřicí úsek po testech se systémem ABS [19]



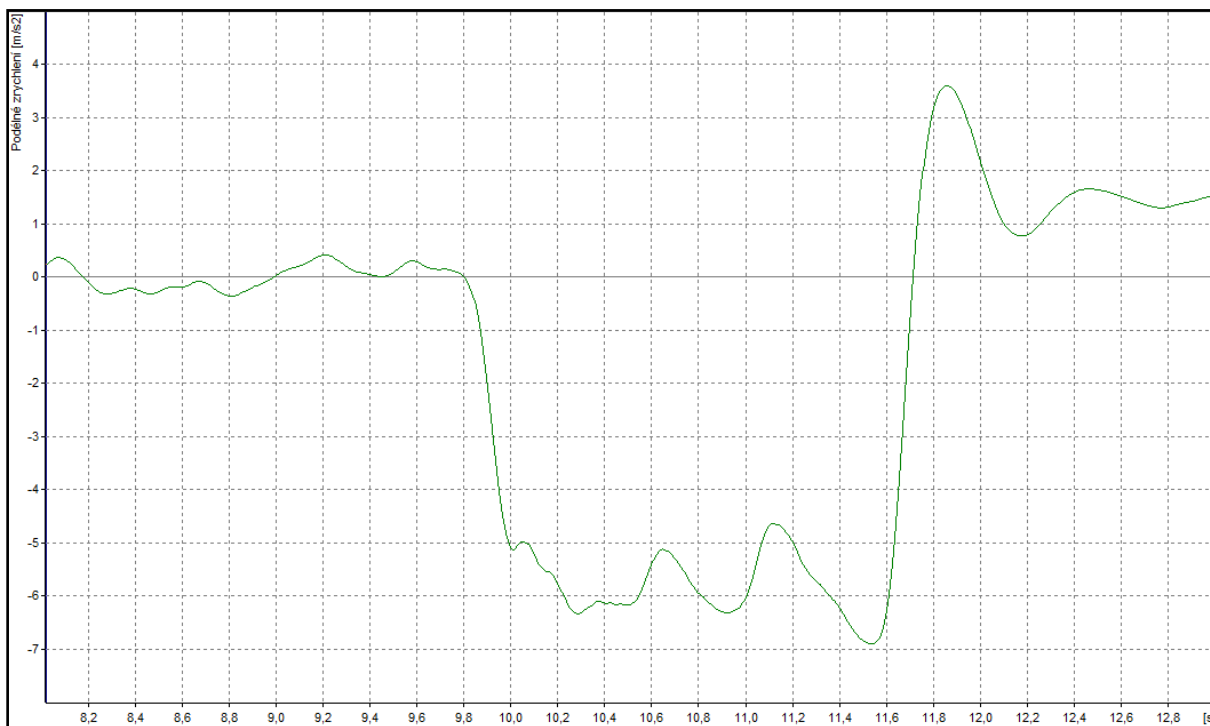
Obr. 7.5 Měřicí úsek po testech bez systému ABS [19]



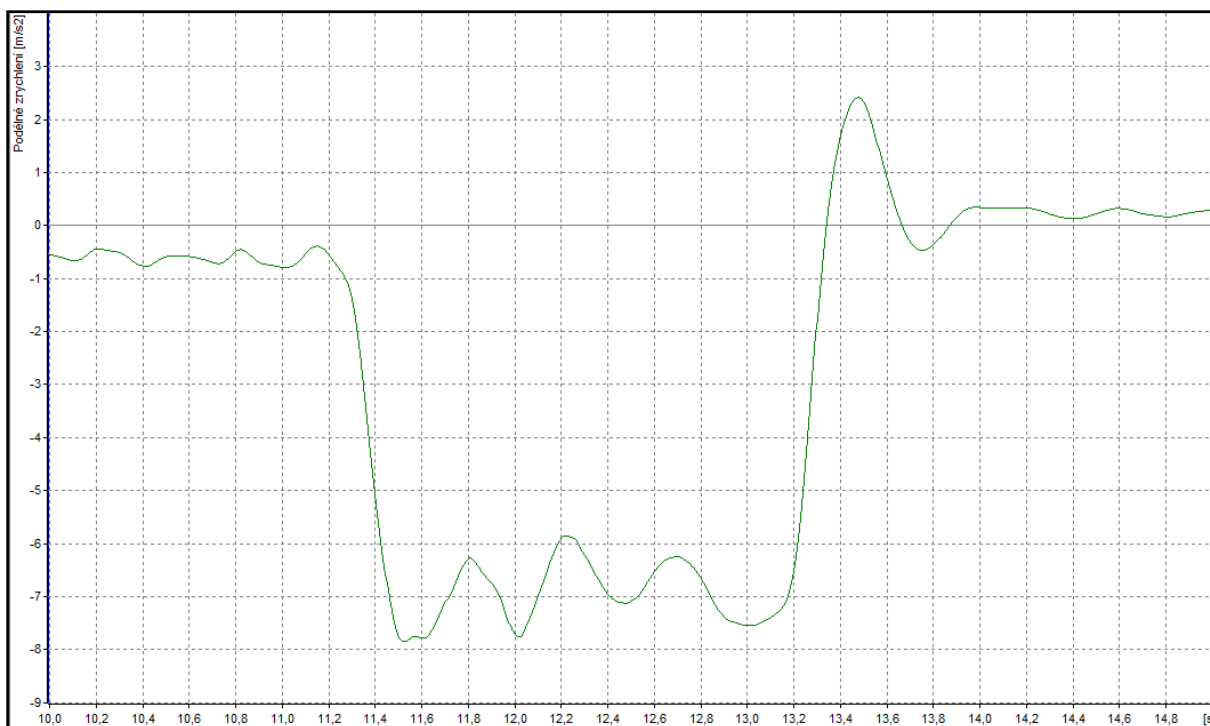
Obr. 7.5 Suchá vozovka se systémem ABS



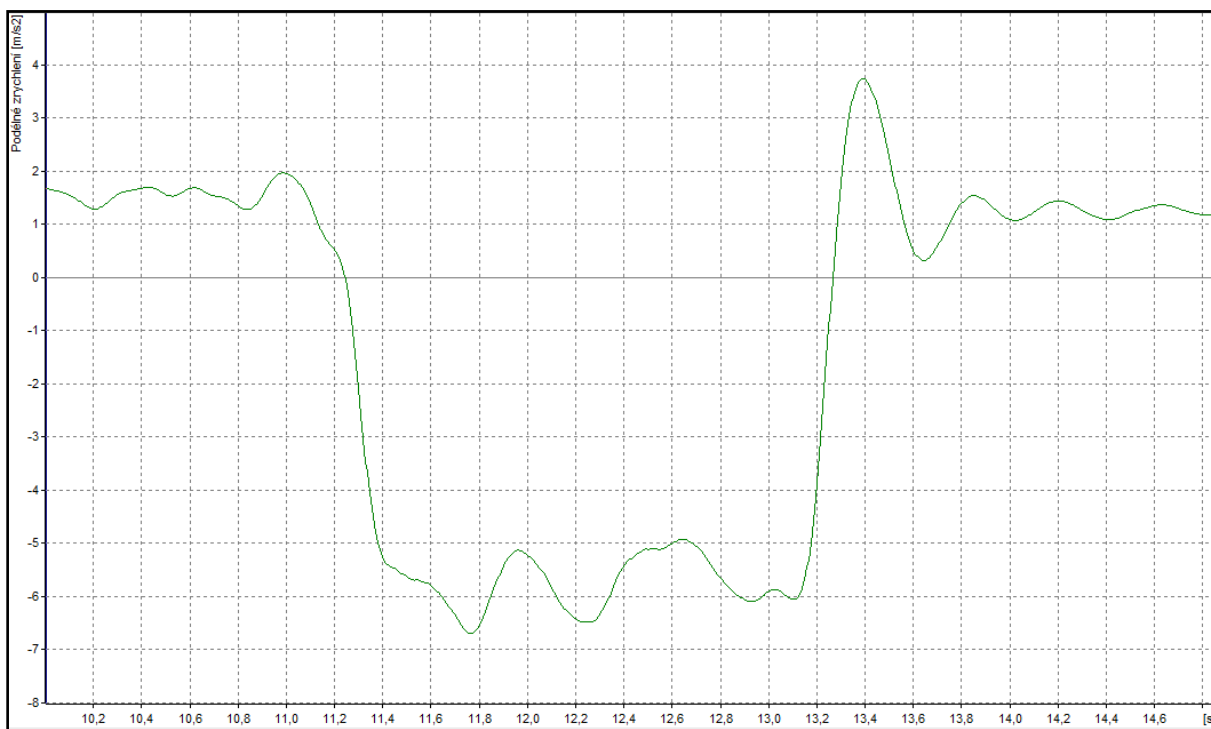
Obr. 7.4 Suchá vozovka bez systému ABS



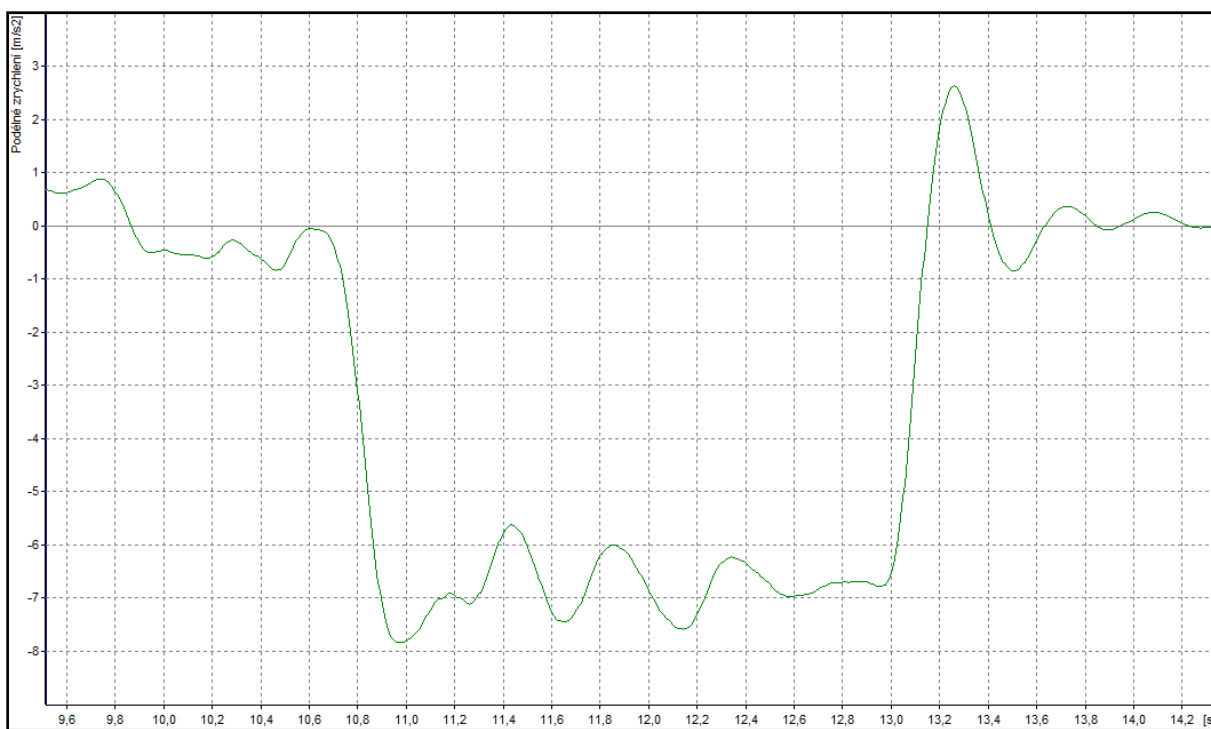
Obr. 7.7 Polo-mokrý vozovka se systémem ABS



Obr. 7.6 Polo-mokrý vozovka bez systému ABS



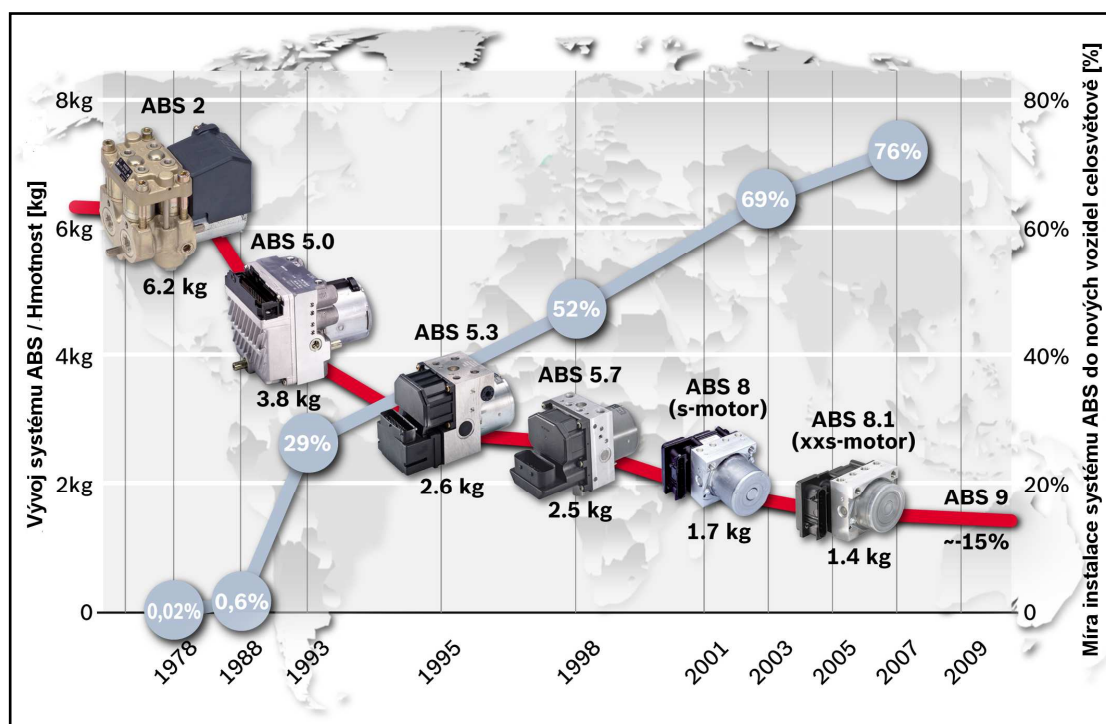
Obr. 7.9 Mokrá vozovka se systémem ABS



Obr. 7.8 Mokrá vozovka bez systému ABS

8 VÝVOJ SYSTÉMŮ DO BUDOUCNA

Vývoj protiblokovacího systému se na samotné jeho funkci již výrazně neprojevuje. Pouze se technologicky a konstrukčně zdokonalují jeho jednotlivé části, čímž se podstatně snižuje hmotnost a spolehlivost celého systému (obr. 8.1). Na jeho samotnou funkci, potažmo na dynamiku vozidla to však nemá již výrazný vliv.



Obr. 8.1 Vývoj systému ABS (BOSCH) [10]

Naopak systémy regulace jízdní dynamiky vozidel se stále zdokonalují a rozšiřují, například pro stabilizaci celých jízdních souprav vozidel, osobních i nákladních vozidel s přívěsem. Systémy se také vyvíjejí z hlediska propojení s ostatními soustavami ve vozidle. Systém například varuje řídicí jednotku airbagu o možném hrozícím nebezpečí.

Další zajímavý směr naznačuje například systém IESP [6], který využívá algoritmus systému ESP upravený pro možnost náhlého defektu pneumatiky. Reakce takto upraveného systému v závislosti na konkrétní situaci jsou následovné:

- Defekt přední pneumatiky: IESP zabrání roztočení vozidla. Bohužel nedokáže zabránit kontaktu vozidla s okrajem vozovky, ale počet a míru zranění způsobených takovou nehodou výrazně sníží.
- Defekt zadní pneumatiky: Při nízké rychlosti tuto situaci zvládne i průměrný řidič. Při vysoké rychlosti je i pro zkušeného řidiče velmi obtížné zabránit roztočení

vozidla. IESP zabrání tomuto nežádoucímu roztočení a stabilizuje trajektorii vozidla během 1 m pro rychlosti do 250 km/h.

Po vzoru systému ABS, který je povinný pro všechna vozidla vyrobená na území Evropské Unie od 1. 6. 2006, odsouhlasil evropský parlament 10. 3. 2009 povinné vybavení všech nových vozidel systémem ESP. V souladu s nařízením musí být od listopadu 2011 veškeré nové modely osobních a užitkových vozidel registrovaných v Evropské unii vybaveny systémem aktivní bezpečnosti ESP. Od listopadu 2014 bude toto pravidlo platit již pro všechny nové automobily. Například Národní úřad pro dálniční provoz a bezpečnost v USA, NHTSA, již v roce 2007 vydal zákonné nařízení, podle kterého musí být od modelového roku 2012 všechny osobní automobily do celkové hmotnosti 4,5 tuny vybaveny systémem ESP [18].

9 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo vytvoření základní metodiky posuzování silničních nehod s vlivem elektronických systémů, jež je uvedena v kapitole 7.

Práce obsahuje teoretické pojednání o protiblokovacím systému a stabilizačním systému podvozku. Dále se zabývá vlivem těchto systémů na jízdní dynamiku vozidla a případně také na silniční nehodu za účasti vozidel, která jsou těmito systémy vybavena. Také shrnuje dostupné metody zjištění vlivu systému na nehodový děj, nebo alespoň jeho případnou funkčnost během nehodového děje.

Součástí práce je také měření vlivu protiblokovacího systému na dynamiku vozidla. Hlavním výstupem tohoto měření, které má o činnosti systému největší praktický vypovídací charakter, je délka brzdné dráhy a čas brzdění do zastavení vozidla. Zkouška probíhala se systémem ABS i bez něj, a to na dvou typech přilnavosti povrchu vozovky a jejich vzájemné kombinaci. Vozidlo s funkčním systémem ABS mělo na všech testovaných typech povrchu kratší brzdnu dráhu a jeho stabilita nebyla brzděním ovlivněna, narozdíl od vozidla, které mělo tento systém deaktivovaný.

V návaznosti na tuto práci by bylo, pro usnadnění zjišťování závad z paměti řídicí jednotky systémů ABS a ESP, velmi přínosné vyvinout diagnostické zařízení (adaptér) s možností připojení přímo k samotné řídicí jednotce. Tím by odpadla velmi komplikovaná demontáž řídicí jednotky z havarovaného vozidla a její následná montáž v jiném vozidle pouze z důvodu přístupu do její paměti přes funkční diagnostickou zásuvku OBD/OBDII.

Protože vybavení nových vozidel systémem ABS je v současné době v Evropské Unii již čtyři roky povinné a za další čtyři roky bude povinné vybavení všech vozidel rovněž systémem ESP, bude problematika vlivu těchto systémů na silniční nehody stále více aktuální. Tato nařízení jsou vydávána z hlediska bezpečnosti silničního provozu, ale souběžně by mělo také být pamatováno na nařízení, týkající se posouzení jejich vlivu na bezpečnosti silničního provozu, potažmo na silniční nehody. Ideální, i když z jistého pohledu poměrně kontroverzní variantou by byla legislativní úprava, inspirovaná již existujícím nařízením o záznamových zařízeních ve vozidlech č. 3821/85/EHS, která by umožnila (vynutila) použití systému EDR pro vozidla také v Evropské Unii.

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] VÉMOLA, A. *Diagnostika automobilů I*. Brno: nakladatelství Littera, 2006 ISBN 80-85763-31-1
- [2] VLK, F. *Dynamika motorových vozidel*. Brno: nakladatelství a vydavatelství vlk, 2000. ISBN 80-238-5273-6.
- [3] VLK, F. *Podvozky motorových vozidel – 3. vydání*. Brno: nakladatelství a vydavatelství vlk, 2006. ISBN 80-239-6464-X.
- [4] Maxim, V., Kováč, J., Kudláč, E. *Transfer inovací 8/2005 – Systém ABS v motorových vozidlech*. s. 162 – 164.
- [5] BOSCH *Automotive Handbook, 6th Edition*. Professional Engineering Publishing 2004. ISBN 1860584748
- [6] Piancastelli, L., Castelli, S. *An ESP Fuzzy Control Algorithm optimized for tyre burst control*. Università degli Studi di Bologna, Italia, DIEM, II Facoltà di Ingegneria
- [7] PANÁČEK, V. *Vybrané asistenční systémy vozidel*. Brno: In Konference Junior Forensic Science, 2010. Sborník anotací - uvnitř CD s plným zněním příspěvků. ÚSI VUT v Brně, 2010. ISBN: 978-80-214-4090-6.
- [8] <http://www.boschdiagnostics.com> [cit. 23-03-2010].
- [9] <http://www.toyota.com/> [cit. 24-03-2010].
- [10] <http://www.bosch.cz/aa> [cit. 24-03-2010].
- [11] <http://www.kinmak.com/> [cit. 26-03-2010].
- [12] <http://www.autolexicon.net/> [cit. 26-03-2010].
- [13] <http://euler.fd.cvut.cz> [cit. 03-04-2010].
- [14] <http://worldwide.hyundai.com/> [cit. 03-04-2010].
- [15] <http://www.crashdataservices.net/> [cit. 30-04-2010].
- [16] <http://www.skoda-auto.cz> [cit. 20-03-2010].
- [17] <http://www.cdr-system.com/> [cit. 23-03-2010].
- [18] <http://www.uamk.cz/> [cit. 06-05-2010].
- [19] Vlastní galerie diplomanta