



# Brzdové systémy vozidel

## Bakalářská práce

*Studijní program:* B2301 – Strojní inženýrství  
*Studijní obor:* 2301R000 – Strojní inženýrství

*Autor práce:* **Jan Slechan**  
*Vedoucí práce:* doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC  
Faculty of Mechanical Engineering ■

# Design and construction of brake systems

## Bachelor thesis

*Study programme:* B2301 – Mechanical Engineering  
*Study branch:* 2301R000 – Mechanical Engineering

*Author:* **Jan Slechan**  
*Supervisor:* doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan Slechan**  
Osobní číslo: **S12000182**  
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Strojní inženýrství**  
Název tématu: **Brzdové systémy vozidel**  
Zadávací katedra: **Katedra vozidel a motorů**

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

Předmětem bakalářské práce je zpracování případové studie zaměřené na efektivní konstrukce ve stavbě brzdových soustav vozidel.

1. Proveďte rozbor požadavků kladených na brzdy a brzdová ústrojí vozidel a mobilních strojů.
2. Zpracujte rešerši brzdových ústrojí vozidel se zaměřením na variantní řešení a progresivní konstrukce.
3. Proveďte vyhodnocení variant uspořádání s ohledem na využití brzdových systémů pro zlepšení ovladatelnosti vozidla.

Rozsah grafických prací: **podle pokynů konzultanta**  
Rozsah pracovní zprávy: **Textová část 30 - 40 stran**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

**Doporučená literatura:**

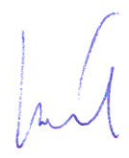
- [1] SIEGERT, E. *Fahrsicherheits-systeme*. 2. Ausgabe 1998, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden 1998, ISBN 3-528-03875-6.  
[2] *Technische Unterrihtung Bosch: Bremssysteme mit ABS-ASR*. 2. Ausgabe 94/95, Stuttgart, VDI 1994.  
[3] VLK, F. *Stavba motorových vozidel*. Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství. 1. vydání. 2003, ISBN 80-238-8757-2.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.**  
Katedra vozidel a motorů

Datum zadání bakalářské práce: **15. listopadu 2015**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **15. února 2017**

  
prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan



  
Ing. Robert Voženilek, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Liberci dne 15. listopadu 2015

## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 7.7.2016

Podpis: 

## **PODĚKOVÁNÍ**

Dovoluji si tímto poděkovat panu doc. Ing. Miroslavu Malému, CSc. Za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi během zpracování této bakalářské práce vždy ochotně poskytoval.

## **ANOTACE**

Obsahem mé bakalářské práce je případová studie brzdových ústrojí vozidel, která uvádí přehled legislativních požadavků kladených na brzdy, rozdělení brzdových soustav nebo také využití protiblokovacích a asistenčních systémů ovlivňující ovladatelnost vozidla. Každý z těchto přehledů je zpracován formou rešerše. Součástí této práce je také návrh brzdových systémů, které jsou následně vystaveny nebezpečným situacím silničního provozu, které by mohli nastat. Na závěr bakalářské práce je vyhodnocení chování navržených brzdových systémů v daných situacích.

**Klíčová slova:** brzdění, brzdová soustava, ABS, asistenční systém, adheze

## **ANNOTATION**

The contents of my bachelor thesis is a case study of the brakes of vehicles, which provides an overview of legislative requirements for brakes, brake systems division or anti-lock and assistance systems that affect the vehicle's handling. Each of these reports is processed in the form of research. Part of this work is also design of braking systems that are subsequently exposed to hazardous traffic situations that could arrive. At the end of bachelor thesis is evaluate the behavior of the proposed braking systems in the situations.

**Key words:** braking, braking system, ABS, assistance systém, adhesion

# Obsah

<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>12</b>
<b>2 POŽADAVKY KLADENÉ NA BRZDY.....</b>	<b>13</b>
<b>3 BRZDĚNÍ .....</b>	<b>17</b>
3.1 Dráha potřebná pro brzdění.....	18
3.2 Druhy brzd: .....	19
3.3 Třecí brzdové soustavy .....	19
3.3.1 Bubnové brzdy.....	19
3.3.2 Kotoučová brzda .....	21
3.3.3 Brzdové obložení .....	25
3.3.4 Brzdová kapalina .....	26
<b>4 BRZDOVÉ SOUSTAVY .....</b>	<b>27</b>
4.1 Hydraulické soustavy.....	28
4.1.1 Uspořádání brzdových soustav.....	28
4.1.2 Brzdová soustava s posilovačem .....	30
4.2 Mechanická soustava.....	32
4.3 Vzduchová soustava .....	33
4.4 Regenerativní elektrická soustava .....	34
4.5 Kombinované brzdové soustavy .....	35
4.5.1 Elektrohydraulický brzdový systém EHB.....	35
4.5.2 Elektromechanický brzdový systém EMB.....	36
<b>5 PROTIBLOKOVACÍ A PROTIPROKLUZOVÉ SYSTÉMY .....</b>	<b>37</b>
5.1 Protiblokovací systém ABS.....	37
5.1.1 Požadavky na ABS .....	38
5.1.2 Regulační cyklus.....	38
5.1.3 Vývoj provedení ABS .....	39
5.2 Protiprokluzový systém ASR.....	40
5.3 Elektronický stabilizační program ESP.....	41
<b>6 PROGRESIVNÍ ASISTENČNÍ SYSTÉMY .....</b>	<b>43</b>
6.1 DISTRONIC PLUS .....	43
6.2 STEERING ASSIST.....	43
6.3 LANE KEEPING ASSIST .....	44
6.4 CROSS-TRAFFIC ASSIST + BAS plus:.....	44



6.5	ADAPTIVE BRAKE .....	45
6.6	CROSSWIND ASSIST .....	45
6.7	PRE-SAFE BRAKE .....	46
<b>7</b>	<b>NÁVRH TESTOVANÝCH SYSTÉMŮ .....</b>	<b>47</b>
<b>8</b>	<b>VYHODNOCENÍ VARIANT.....</b>	<b>50</b>
8.1	První situace .....	50
8.2	Druhá situace .....	52
8.3	Třetí situace.....	53
8.4	Čtvrtá situace .....	54
8.5	Pátá situace .....	55
8.6	Šestá situace .....	56
<b>9</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>58</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....</b>	<b>59</b>

## **SEZNAM OBRÁZKŮ**

- Obr. 3.1 – Síly působící na vozidlo při brzdění [22]
- Obr. 3.2 - Průběh brzdění, a) zrychlení, b) rychlost, c) dráha [5]
- Obr. 3.3 - Schéma bubnové brzdy [8]
- Obr. 3.4 – Druhy bubnových brzd [1]
- Obr. 3.5 – Schéma kotoučové brzdy [8]
- Obr. 3.6 – Kotoučové brzdy [1]
- Obr. 3.7 – Příklady provedení brzdových kotoučů [8]
- Obr. 3.8 - kotoučová brzda s přidavnou bubnovou parkovací brzdou [7]
- Obr. 3.9 - Mercedes-AMG Carbon Ceramic Systém [13]
- Obr. 4.1 - Brzdová soustava osobního automobilu [3]
- Obr. 4.2 – Možné systémy zapojení brzdových okruhů
- Obr. 4.3 - Schéma podtlakového posilovače brzd ve dvoukomorovém provedení [3]
- Obr. 4.4 – Soustava hydraulického posilovače brzd [3]
- Obr. 4.5 - Varianty zdroje podtlaku pro posilovače brzdného účinku [7]
- Obr. 4.6 - Schéma zapojení ruční brzdy [10]
- Obr. 4.7 - Vzduchotlaká brzdová soustava nákladního automobilu s přívěsem [1]
- Obr. 4.8 - Systém regenerativních brzd
- Obr. 4.9 - Systém regenerativních brzd při akceleraci/brždění
- Obr. 4.10 - Elektronické brzdové systémy pro osobní automobily (Bosch)
- Obr. 5.1 - Brzdění bez protiblokovacího systému a s protiblokovacím systémem [3]
- Obr. 5.2 - Protiblokovací regulační systém ABS [6]
- Obr. 5.3 - Regulace brzdění s vysokým součinitelem adheze [6]
- Obr. 5.4 - Vývoj ABS s využitím nejmodernější techniky [3]
- Obr. 5.5 - Zásah ESP při nedotáčivém nebo přetáčivém chování vozidla [6]

Obr. 6.1 – Udržování vzdálenosti před jedoucím vozidlem pomocí systému DISTRONIC PLUS [23]

Obr. 6.2 – Systém LANE KEEPING ASSIST v provozu [24]

Obr. 6.3 – Senzory detekovali možné nebezpečí při průjezdu křižovatkou [25]

Obr. 6.4 – Systém CROSSWIND ASSIST při působení bočního větru [26]

Obr. 7.1 - Hydraulický brzdový systém s ABS a BAS [27]

Obr. 7.2 - Sensotronic brake control – Mercedes-Benz [28]

Obr. 7.3 – Rozložení senzorů a stereo kamery na vozidle [29]

Obr. 8.1 - první situace [30]

Obr. 8.2 - druhá situace [17]

Obr. 8.3 - třetí situace [18]

Obr. 8.4 - čtvrtá situace [19]

Obr. 8.5 - pátá situace [20]

Obr. 8.6 - šestá situace [21]

## **SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK**

ABS – antilock braking system (protiblokovací systém)

ASR – Automatic Skid Regulation (protiprokluzový systém)

BAS – Brake Assist System (posilovač brzdného účinku)

EHB – Elektrohydraulický brzdový systém

EHK - Evropská hospodářská komise

EMB – Elektromechanický brzdový systém

ESP - Electronic Stability Program (Elektronický stabilizační program)

ETS - Electronic Traction System (systém elektronické trakce)

MD – Ministerstvo dopravy

SBC – Sensotronic brake control

# 1 ÚVOD

Počet aut na silnicích na celém světě každým dnem roste. Každým rokem je jen v České republice na sto tisíc nehod v silničním provozu, desetitisíce jsou při nehodě zraněni a stovky usmrceni, a proto i díky této statistice rostou požadavky kladené na bezpečnost osob, které se účastní silničního provozu. Příčinami nehod bývá technický stav vozidla, vliv vnějšího prostředí a v neposlední řadě také lidský faktor.

Začátkem 20. století se v automobilech používaly bubnové brzdy. V 50. letech minulého století se začaly používat v sériové výrobě kotoučové brzdy, které měly lepší odvod tepla a stabilitu brzdného účinku při dlouhodobém používání než brzdy bubnové. V 80. letech vyvinula firma Bosch systém ABS (Antiblock Braking System), který dokázal regulovat brzdnu sílu akčních členů, a tím zamezit skluzu některého z kol a zajistit maximální využití adheze mezi pneumatikou a vozovkou při brždění za kritických podmínek.

V současné době se konstruktéři snaží vybavit vozidla takovými systémy, které napomáhají řidiči s cílem zlepšit ovladatelnost vozidla. V poslední době se používají mechatronické systémy zahrnující jak snímače veličin a vyhodnocovací zařízení, tak i účinné akční členy zlepšující chování vozidla v rozdílných provozních podmínkách. Systémy přispívají nejen ke zlepšení účinku brzdění či tahových schopností kol, ale i ke zlepšení směrové stability a říditelnosti vozidla. K mapování situace v okolí vozidla využívají senzorů (radarů) umístěných ve vozidle.

## 2 POŽADAVKY KLADE NÉ NA BRZDY

Požadavky na brzdové zařízení jsou stanoveny zákonem a vyhláškami, v ČR mj. platí vyhláška Ministerstva dopravy. Tyto požadavky jsou v souladu s homologačními předpisy EHK Č. 13, 78, 90. [7]

Brzdový systém musí být konstruován, vyroben a namontován takovým způsobem, aby v normálních provozních podmínkách mohlo vozidlo vyhovět ustanovením tohoto předpisu, a to i při vibracích, kterým může být vystaveno. Zvláště musí být brzdový systém konstruován, vyroben a namontován tak, aby odolával korozi a stárnutí, kterým je vystaven. [11]

Každé vozidlo musí být vybaveno nejméně dvěma na sobě nezávislými brzdovými zařízeními, z nichž jedno umožňuje dostatečně jemné odstupňovatelné ovládání pohybu vozidla a jeho účinné a spolehlivé zastavení (provozní brzdění), druhé-zajišťuje udržení stojícího vozidla (parkovací brzdění). Brzdová zařízení na vozidlech kategorie M a N musí být taková, aby v případě poruchy soustavy pro provozní brzdění umožňovala zastavit vozidlo nouzovým brzděním. [11]

Systém provozního brzdění musí umožňovat ovládání pohybu vozidla a jeho zastavení bezpečným, rychlým a účinným způsobem, bez ohledu na rychlost, zatížení nebo velikost sklonu stoupání nebo klesání. Toto brzdění musí být odstupňovatelné. Řidič musí být schopen brzdit ze svého sedadla, aniž sejme ruce z ovládacího orgánu řízení. [11]

Systém nouzového brzdění musí v případě poruchy systému provozního brzdění umožňovat zastavit vozidlo na přiměřené dráze. Toto brzdění musí být odstupňovatelné. Řidič musí být schopen brzdit ze svého sedadla a řídit nadále vozidlo alespoň s jednou rukou na ovládacím prvku řízení. Pro účely tohoto ustanovení se má za to, že současně se nemůže vyskytovat více než jedna porucha v systému provozního brzdění. [11]

Systém parkovacího brzdění musí umožňovat udržet vozidlo v nehybném stavu na stoupajícím nebo klesajícím sklonu i v nepřítomnosti řidiče, přičemž brzdící součásti musí být udržovány v poloze pro zabrzdění čistě mechanickým zařízením. Řidič musí mít možnost vykonat toto brzdění ze svého sedadla. Systém vzduchového brzdění přípojného vozidla a systém parkovacího brzdění tažného vozidla se smějí ovládat zároveň za podmínky, že řidič je schopen kdykoli se ujistit, že účinek parkovacího brzdění jízdní soupravy, který je zajišťován systémem parkovacího brzdění výhradně mechanickými částmi, je dostatečný. [11]

Odlehčovací brzdění musí umožnit omezení rychlosti vozidla nebo její udržení při sjíždění svahu, aniž se použije provozního, nouzového nebo parkovacího brzdění motorového vozidla. Jeho úkolem není zastavit vozidlo. Řidič musí mít možnost ovládat toto brzdění ze svého sedadla beze změny polohy trupu, přičemž musí ovládat řízení vozidla nejméně jednou rukou. Brzdová obložení nesmějí obsahovat azbest. [7]

Tab.1 Požadavky na brzdňý účinek podle EHK—R13, ES 71/320 a vyhlášky MD ČR [7]

Kategorie vozidel podle EHK – R 13 (druh, max. hmotnost m)		Převrava osob			Převrava nákladu		
		Osobní automobily M1	Autobusy		Nákladní automobily		
			m≤5 t M2	m>5 t M3	m≤3,5 t N1	3,5>m≤12 t N2	m > 12 t N3
Provozní brzdění	Počáteční rychlost $v_0$	80 km/h	60 km/h		70 km/h	50 km/h	40 km/h
	Max. brzdňá dráha $s$	$0,1 \cdot v_0 + v_0^2/150$ $s=50,7$ m	$0,15 \cdot v_0 + v_0^2/130$ $s=36,7$ m		$0,15 \cdot v_0 + v_0^2/115$		
	Max. nožňí síla $F_a$	500 N	700 N		700 N		
	Max. prodleva $t_l$	0,36 s	0,54 s		0,54 s		
	Zpomalení $a$	5,8 m/s <sup>2</sup>	5 m/s <sup>2</sup>		4,4 m/s <sup>2</sup>		
Nouzové brzdění	Max. brzdňá dráha $s$	$0,1 \cdot v_0 + 2v_0^2/150$ $s=93,4$ m	$0,15 \cdot v_0 + 2v_0^2/130$ $s=64,4$ m		$0,15 \cdot v_0 + 2v_0^2/115$		
	Max. ruční síla $F_r$	400 N	600 N		$S = 95,7$ m	$s=51,0$ m	$s = 33,8$ m
				600 N			

V rozsahu od pohotovostňí do celkové hmotnosti vozidla musí být brzdy vždy schopny zastavit vozidlo nejméň na vzdálenost S uvedenou v tab.1. Hodnoty  $t_l$ , a jsou vypočteny; ostatňí hodnoty jsou podle EHK Č. 13, příp. podle vyhlášky Ministerstva dopravy ČR. Předepsaný brzdňý účinek musí být dosažen bez blokování kol a aniž by vozidlo vybočovalo ze směru jizdy. Účinek provozňího brzdění musí působit na kola téže nápravy souměřně k podélné středňí rovině vozidla. [7]

U vozidel kategorie M (osobňí automobily, autobusy a nákladňí automobily) a 03, 04 (přívěsy a návěsy s hmotností 3,5 až 10 t; pro 04 větší než 10 t) musí být účinek provozňího brzdění rozdělen na jednotlivé nápravy v mezích předepsaných z hlediska bezpečnosti při jakékoliv okamžitě hmotnosti vozidla a za různých adhezních podmínek. [7]

Předpis EHK č. 13 stanovuje mj. také požadavky pro rozdělování brzdňých sil na nápravy různých kategorií vozidel, která nejsou vybavena protiblokovacím zařízením. [7]

Pro všechny kategorie vozidel musí být podle EHK č.13 (příloha II) splněň požadavek

$$z \geq 0,1 + 0,85 \cdot (\mu_v - 0,2) \quad (2.1)$$

Pro  $\mu_v = 0,2$  plyne  $z \geq 0,1$ ; pro  $\mu_v = 0,8$  je  $z \geq 0,6$ . Požadavek (1.1) vyjadřuje podmínku minimálního brzdňého účinku. Z rov. (1.1) plyne pro součinitel přilnavosti [7]

$$\mu_v \leq (z+0,07)/0,85 \quad (2.2)$$

Předpis dále stanoví podmínku zachování stability, a to podle průběhu křivek využívané přilnavosti  $f_p(z)$  a  $f_z(z)$ . Pro všechny stavy zatížení vozidla musí křivka využití přední nápravou  $f_p(z)$  probíhat nad křivkou využití přilnavosti zadní nápravou  $f_z(z)$ , a to:

**a) pro vozidla s počtem míst k sedění až 8 osob kromě řidiče pro poměrná zpomalení v rozsahu [7]**

$$0,15 \leq z \leq 0,8 \quad (2.3)$$

Tento požadavek, včetně podmínky minimálního brzdného účinku (2.2) je znázorněn na obr. 1.1a. Pro vozidlo této kategorie je také v rozsahu

$$0,3 \leq z \leq 0,45 \quad (2.4)$$

přípustný obrácený vzájemný průběh křivek využití přilnavosti ( $f_p < f_z$ ) za podmínky, že křivka  $f_z(z)$  nedosáhne hodnot vyšších než 0,05 nad přímkou ideálního využití přilnavosti  $\mu_v = z$ , tzn.  $f_z < z + 0,05$ , obr. 2.1b.

**b) pro vozidla ostatních kategorií (autobusy, nákladní automobily) musí ležet křivka  $f_p(z)$  nad křivkou  $f_z(z)$  v rozmezí poměrných zpomalení [7]**

$$0,15 \leq z \leq 0,30 \quad (2.5)$$

Grafické vyjádření tohoto požadavku je na obr. 2.2a. Dovoleno je také průběh křivek přilnavosti podle obr. 2.2b. Křivky využití přilnavosti musí ležet v rozsahu podle rov. (2.5) mezi dvěma rovnoběžkami  $\mu_v = z \pm 0,8$  a přitom křivka využití přilnavosti zadní nápravou splňuje pro poměrné zpomalení  $z \geq 0,3$  podmínku

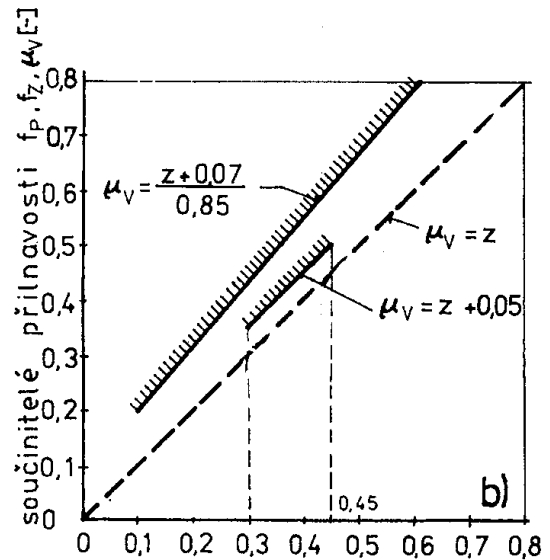
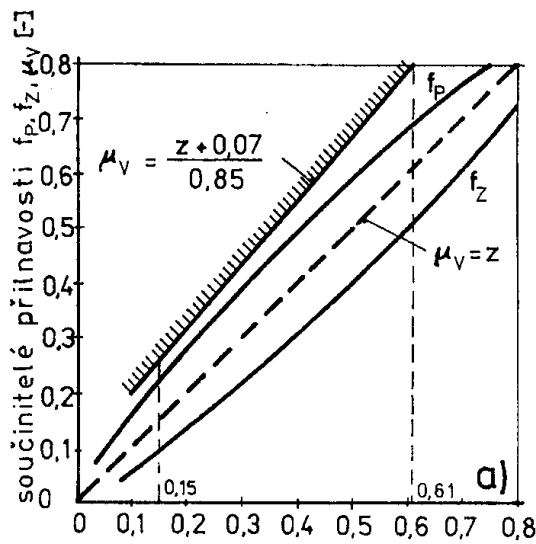
$$z \geq 0,3 + 0,74 \cdot (\mu_v - 0,38) \quad (2.6)$$

Z této podmínky plyne pro součinitel valivé přilnavosti:

$$\mu_v \leq (z - 0,02)/0,74 \quad (2.7)$$

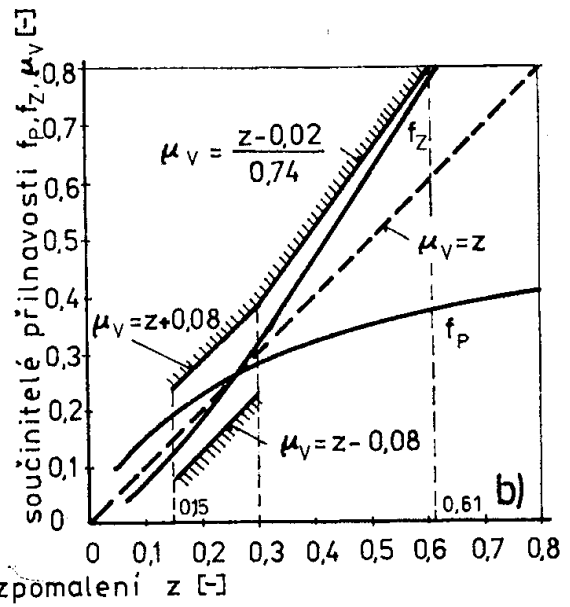
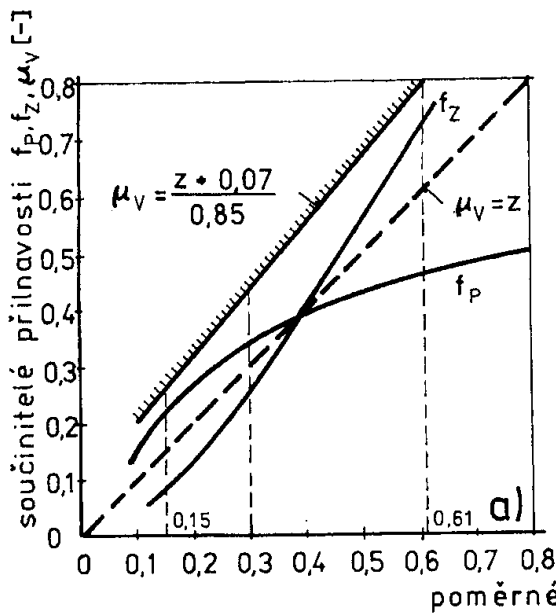
což je znázorněno na obr. 2.2b. [7]





poměrné zpomalení  $z$  [-]

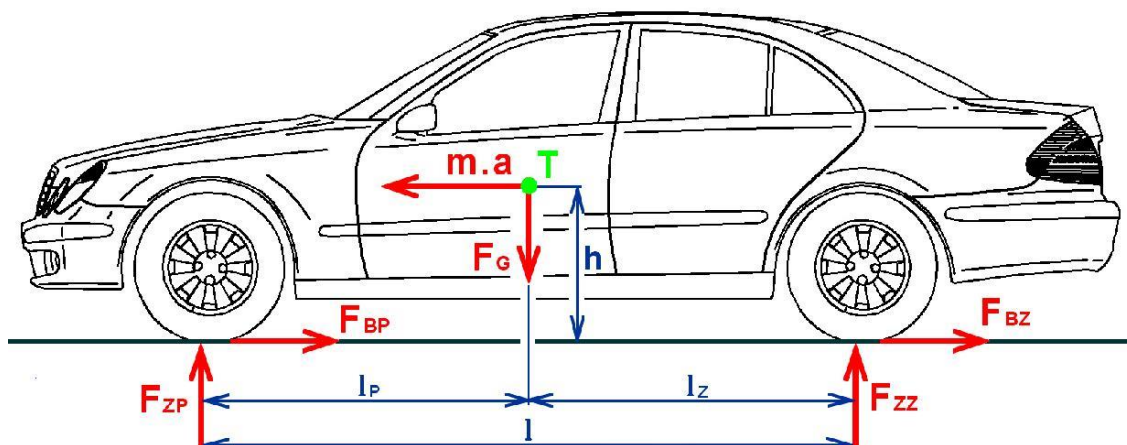
**graf. 2.1** - Požadavky na průběh křivek využívané přílnavosti pro osobní automobily a minibusy (max. 8 cestujících + řidič) [7]



**graf. 2.2** Požadavky na průběh křivek využívané přílnavosti pro vozidla ostatních kategorií (autobusy, nákladní automobily) a) základní požadavek, b) dovolená alternativa [7]

### 3 BRZDĚNÍ

Jedním z nejdůležitějších systémů ve vozidle je jeho brzdový systém, který řadíme mezi prvky aktivní bezpečnosti. Bezpečné zastavení nebo zpomalení vozidla je jeden ze způsobů, jak lze zabránit dopravní nehodě. Úkolem brzd je vyvolat brzdící účinek, který dokáže pohltit významnou část kinetické energie vozidla. Princip činnosti spočívá v brzdícím účinku, který je vyvolán třením brzdových segmentů o ocelový buben nebo kotouč. Brzděním rozumíme záměrné snižování rychlosti vozidla nebo zamezení rozjetí stojícího vozidla. [5]



**Obr. 3.1** – Síly působící na vozidlo při brzdění [22]

Na vozidlo působí statické síly ve směru osy  $z$  a setrvačná síla  $F_s$  daná brzdným zpomalením [14]:

$$m \cdot a = \frac{F_o}{g} \cdot a \quad (3.1)$$

Z rovnováhy momentů k místu dotyku zadní nápravy s vozovkou je možno stanovit statické zatížení přední nápravy [14]:

$$F_{zp} \cdot l - m \cdot a \cdot h - F_o \cdot l_z = 0 \quad (3.2)$$

$$F_{zp} = F_o \cdot \left( \frac{a \cdot h}{g \cdot l} + \frac{l_z}{l} \right) [N] \quad (3.3)$$

Z rovnováhy momentů k místu dotyku přední nápravy s vozovkou je možno stanovit statické zatížení zadní nápravy [14]:

$$-F_{zz} \cdot l - m \cdot a \cdot h + F_o \cdot l_p = 0 \quad (3.4)$$

$$F_{zz} = F_o \cdot \left( \frac{l_p}{l} - \frac{a \cdot h}{g \cdot l} \right) [N] \quad (3.5)$$

Omezení brzdě síly je dáno obvodovou silou, kterou je možno přenést stykem mezi kolem a vozovkou. Tato síla je limitovaná maximální dosažitelnou hodnotou součinitele soudržnosti při brzdění  $\mu_b$  [14].

Brzdná síla náprav se stanoví podle vztahů [14]:

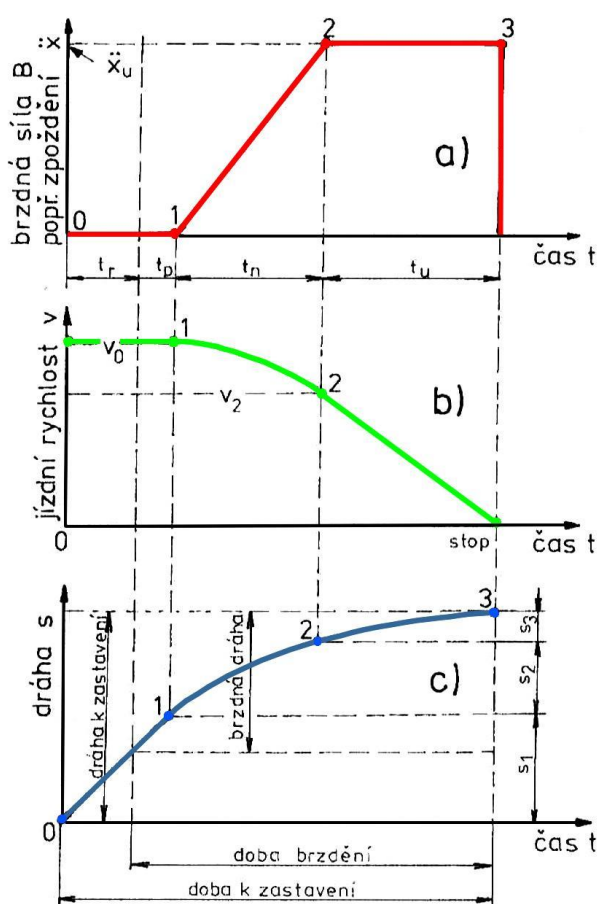
$$F_{BP} = F_{zp} \cdot \mu_b, \text{ resp } F_{AZ} = F_{zz} \cdot \mu_b \quad [N] \quad (3.6)$$

Poměrná brzdná síla se stanoví ze vztahů [14]:

$$b_p = \frac{F_{BP}}{F_o}, \text{ resp } b_z = \frac{F_{AZ}}{F_o} \quad [N] \quad (3.7)$$

### 3.1 Dráha potřebná pro brzdění

Průběh zrychlení, rychlosti a dráhy v závislosti na čase při brzdění je znázorněn na následujících digramech (**obr. 3.2**).



- Čas  $t_r$  je **reakční doba**, což je doba od zpozorováním překážky až po vyvození síly na brzdový pedál.

- Čas  $t_p$  je **doba prodlevy brzd**, což je doba mezi okamžikem, kdy řidič začne působit na brzdový pedál a okamžikem kdy se začne projevovat účinek brzdění. Během této doby se musí překonat vůle v kloubech a ložiskách a brzdové obložení musí dolehnout na třecí plochu brzd.

- Čas  $t_n$  je **doba náběhu brzd**, což je doba kdy se začne projevovat účinek brzdění až do dosažení své maximální hodnoty.

- Čas  $t_u$  je **doba plného brzdění**, což je doba, kdy je zpomalení vozidla konstantní až do zastavení

**obr. 3.2** - Průběh brzdění, **a)** zrychlení, **b)** rychlost, **c)** dráha [5]

Během procesu brzdění ujede vozidlo dráhy jednotlivých časových úseků, které odpovídají počáteční rychlosti, dosaženému zpomalení a době pro zabrzdění vozidla. V součtu časových úseků ujede vozidlo dráhu potřebnou pro zastavení.

## 3.2 Druhy brzd:

- **Provozní brzda** - brzdová soustava ovládaná řidičem vozidla a používaná při obvyklé jízdě vozidla. Účinek provozního brždění musí být odstupňovatelný.
- **Pomocná brzda** - brzdová soustava, která může, je-li třeba, podpořit účinek provozní brzdy.
- **Nouzová brzda** - brzdová soustava ovládaná řidičem vozidla a schopná zastavit vozidlo při selhání provozní brzdy.
- **Parkovací brzda** brzdová soustava určená k tomu, aby zabráňovala stojícímu vozidlu, zejména na svahu, dát se do pohybu, zvláště za nepřítomnosti řidiče.

## 3.3 Třecí brzdové soustavy

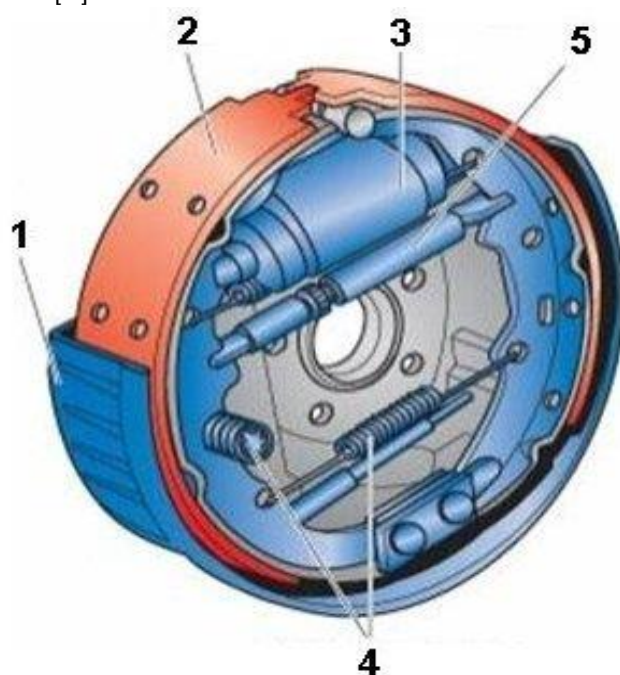
U silničních motorových vozidel se používají třecí brzdy, ve kterých vzniká brzdný moment třením mezi otáčející se částí a pevnou částí, čímž se pohybová energie vozidla mění na teplo. Brzda je umístěna přímo v kole a otáčející se část brzdy je spojena s nábojem kola. U osobních vozidel se používají nejčastěji dva typy třecích brzd: [7]

- bubnové brzdy
- kotoučové brzdy

### 3.3.1 Bubnové brzdy

Bubnové brzdy patří do kategorie radiálních třecích brzd. Přítlačná síla zde působí kolmo k ose rotace bubnu. Ke tření zde dochází mezi vnitřní částí rotujícího bubnu, který je pevně spojen s kolem a vnější stranou čelistí s obložením, které jsou umístěny uvnitř bubnu a jsou spojeny s nápravou vozidla. V důsledku tření mezi těmito částmi se přeměňuje mechanická energie na tepelnou.[7]

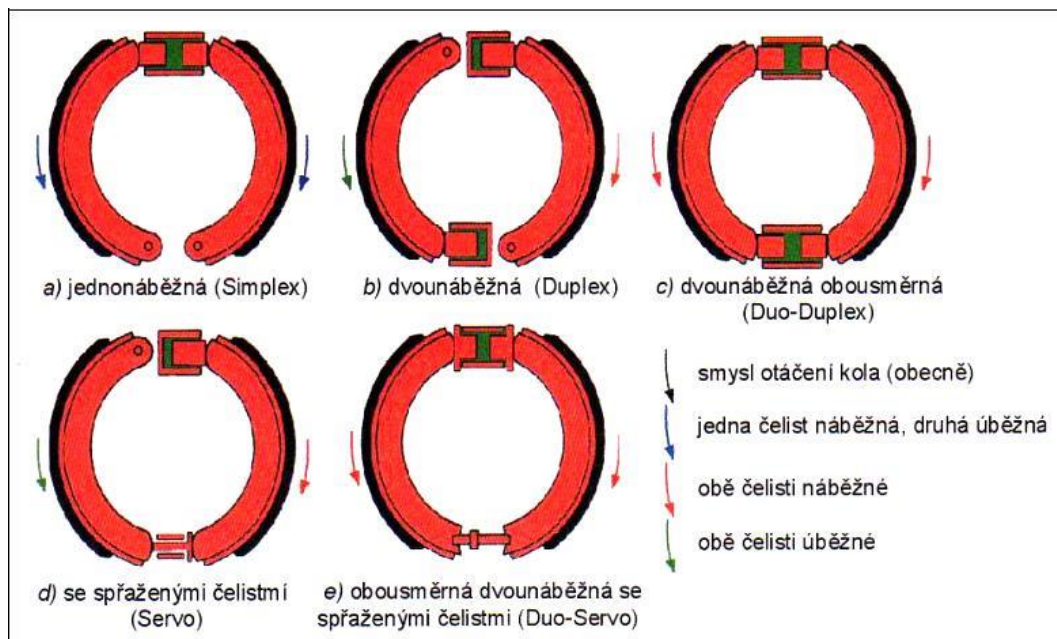
**Obr. 3.3** - Schéma bubnové brzdy (1 - brzdový buben, 2 - čelisti („pakny“), 3 - hydraulický válec s pístem (prasátko) nebo mechanická rozpěrná páka v případě parkovací brzdy, 4 - pružina, která při uvolnění pedálu vrací čelisti zpět, 5 - ruční brzda ovládaná mechanicky). [8]



Bubnová brzda je konstrukčně starší než kotoučová. U vozů dřívějšího data výroby se používala na obou nápravách, dnes již jen na nápravě zadní a to u levnějších vozů. Pracuje na principu tření brzdových elementů - čelistí (1), též se vžil označení „pakny“, na vnitřní stranu brzdového bubnu (2), který je pevně připevněn k náboji a rotuje spolu s kolem. Při uvolnění brzdového pedálu jsou čelisti vráceny zpět pružinou (4). Čelisti jsou k bubnu přitlačovány rozpěrným prvkem (3), který je buď hydraulický - válec s pístem tzv. prasátko, nebo mechanický - rozpěrnou pákou v případě parkovací brzdy. Ruční brzda je ovládána mechanicky (5).[8]

### 3.3.1.1 Provedení bubnových brzd

- a) **Jednonáběžná brzda** (obr. 3.4a) – simplex - je to nejjednodušší typ bubnové brzdy, která je tvořena náběžnou a úběžnou brzdovou čelistí. Přítlačná síla obou čelistí je vytvářena společným rozpěrným zařízením, např. dvoupístkovým brzdovým válečkem, brzdovou vačkou, rozpěrným klínem nebo pákou (klíčem). Každá čelist má svůj otočný čep nebo opěrnou plochu. Brzda má stejnoměrný, ale malý samoposilovací účinek, opotřebení obložení je nerovnoměrné. Brzdný účinek je při jízdě vpřed i vzad stejný. Lze ji jednoduše doplnit o části, které umožní, aby pracovala současně i jako parkovací. [1]
- b) **Dvounáběžná brzda** (obr. 3.4b) – duplex – Při jízdě vpřed má brzda obě čelisti náběžné, což vyžaduje rozpěrné zařízení pro každou čelist zvlášť. Nejčastěji se používají dva jednopístkové brzdové válečky, přičemž každý váleček tvoří současně opěrku pro druhou čelist. Brzdný účinek je při jízdě vpřed větší než u jednonáběžné brzdy, při jízdě vzad pracují však obě čelisti jako úběžné. [1]
- c) **Obousměrná dvounáběžná brzda** (obr. 3.4c) – duo-duplex - tato brzda má podobnou konstrukci jako dvounáběžná brzda, je však vybavena dvěma obousměrně působícími brzdovými válci kola, tzn., že brzdný účinek je v obou směrech jízdy stejný. [1]
- d) **Brzda se spřaženými čelistmi** (obr. 3.4d) – servo – mají jeden ovládací prvek pro jednu čelist (primární). Druhá čelist (sekundární) je s primární čelistí v jejím uložení spojena rozpěrným čepem. Čelisti jsou skloubeny tak, že na sebe působí navzájem. Při jízdě vpřed působí obě čelisti jako náběžné, při jízdě vzad jako úběžné. [1]
- e) **Brzda se spřaženými čelistmi** (obr. 3.4e) – duo-servo – Vzhledem ke směru působení třecí síly a vytvořenému momentu se projeví samoposilovací účinek u obou čelistí. Čelisti jsou spojeny pohyblivou opěrkou a pracují v obou směrech otáčení bubnu jako náběžné. Brzda má při obou směrech jízdy stejný brzdný účinek a vyžaduje pouze malou ovládací sílu. Účinnost brzdy je však značně ovlivňována nečistotami a vlhkostí. Používá se často jako parkovací, v tom případě se jako rozpěrné zařízení používá brzdový klíč ovládaný lankem. [1]



**Obr. 3.4 – Druhy bubnových brzd [1]**

### 3.3.1.2 Vlastnosti bubnových brzd:

- samoposilující účinek (náběžná čelist),
- mechanismus brzdy je umístěn uvnitř bubnu a tudíž chráněn proti nečistotám,
- menší opotřebení,
- jednoduchá konstrukce parkovací brzdy,
- při dlouhodobém brzdění možnost kolapsu brzdového účinku díky přehřátí. [1]

Tření při brzdění vytváří točivý moment, který má tendenci náběžnou čelist vtahovat do bubnu a tím zesilovat brzdový účinek. Vzniká tím tzv. samozesílení. To je částečně výhoda, ale musí se na to pamatovat při konstrukci, aby nedocházelo k přidírání brzdy. [7]

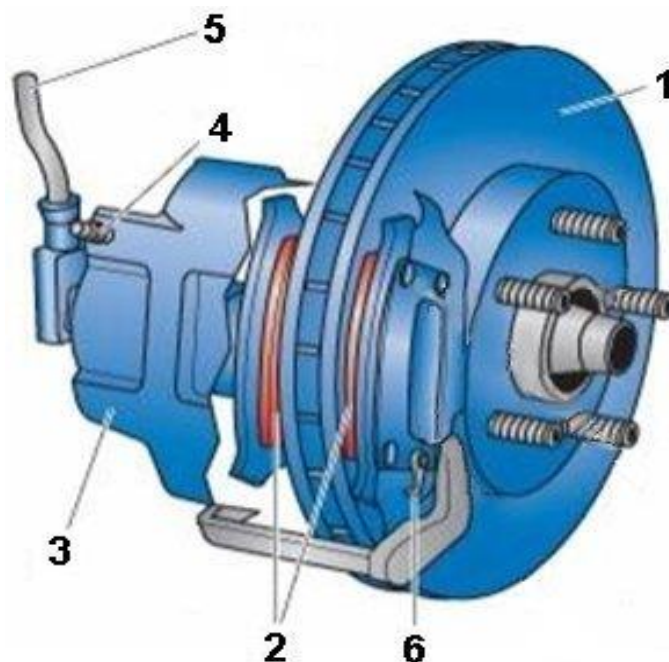
### 3.3.2 Kotoučová brzda

Stejně jako u bubnové brzdy i zde jde o princip tření. Kotouč je spojen s kolem a brzdným elementem je destička, která je k němu přitlačována. Po sešlápnutí brzdového pedálu působí hydraulická kapalina na brzdový píst a ten na destičky.[8]

Kotoučová brzda (obr. 3.5) je sestavena z kotouče (1), destiček (2) někdy se senzorem opotřebení (6) a třmenu (3). V nejvyšším místě třmenu se nachází odzdušňovací ventil (4). Brzdová kapalina je dopravena brzdovou hadičkou (5). Vlivem tření vzniká při brzdění teplo a brzdy, především kotouče se zahřívají. To vedlo ke vzniku kotoučů chlazených. Jde o dva tenké disky spojené žebrováním, kterým proudí chladicí vzduch. Vzhledem k tomu, že většina brzdové síly a tedy i vzniklého tepla je na přední nápravě, používají se chlazené kotouče tam. Na zadní nápravě obvykle najdeme levnější, jednoduché kotouče bez chlazení nebo bubnovou brzdu. Někdy jsou kotouče opatřeny

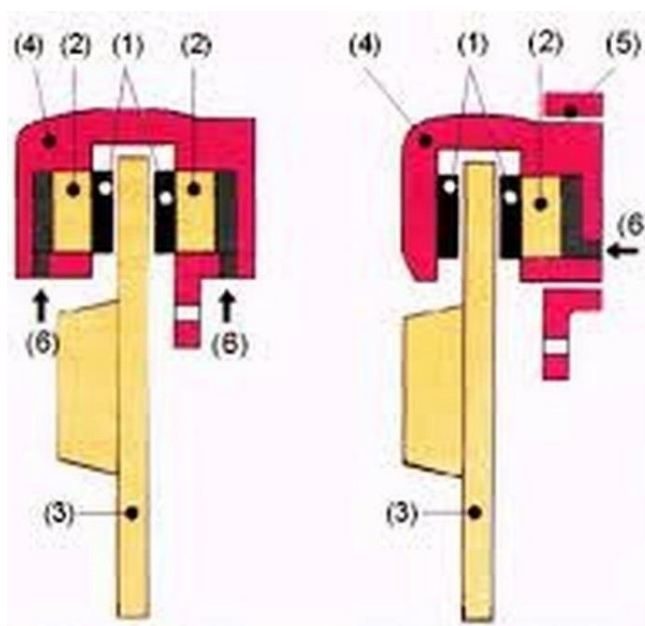


děrováním, které pomáhá za deště odvádět vodu a tím zlepšovat brzdný účinek. Kotouče jsou vyráběny z litiny, popřípadě z keramicko-uhlíkových vláken u sportovních aut. [8]



**Obr. 3.5** – Schéma kotoučové brzdy (1 - brzdový kotouč, 2 - brzdové destičky, 3 - třmen, 4 - odvzdušňovací ventil v nejvyšším místě třmenu, 5 - brzdová hadička, kterou prochází brzdová kapalina, 6 - senzor opotřeбенí brzdových destiček). [8]

### 3.3.2.1 Rozdělení kotoučových brzd



a) brzda s pevným třmenem

b) brzda s plovoucím třmenem

- (1) - třecí segmenty ("brzdové destičky")
- (2) - pístek
- (3) - brzdový kotouč

- (4) - třmen brzdy (pevný nebo plovoucí)
- (5) - držák brzdy
- (6) - brzdová kapalina

**obr. 3.6** Kotoučové brzdy [1]

#### a) Kotoučová brzda s pevným třmenem (obr. 3.6a)

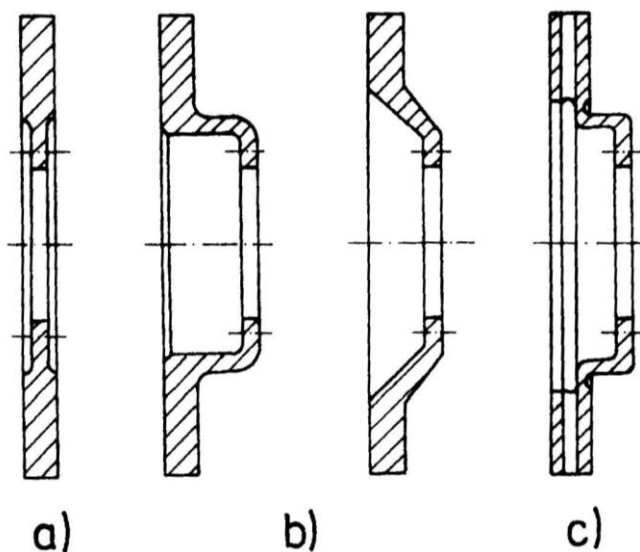
U kotoučové brzdy s pevným třmenem jsou hydraulické válce uspořádány proti sobě po obou stranách kotouče a těleso třmene je nepohyblivé, počet válců bývá 2 (stejněho průměru se společnou osou), 4 (stejněho průměru, každá dvojice má společnou osu), nebo 3 (jeden válec většího průměru na jedné straně a dva válce menšího průměru na druhé straně, přičemž součet ploch pístu na každé straně kotouče je stejný). [7]

#### b) Kotoučová brzda s volným (plovoucím) třmenem (obr. 3.6b)

Kotoučová brzda s volným třmenem má hydraulický válec jen na jedné straně kotouče a těleso třmene je pohyblivé ve směru jeho osy; ovládací síla třecí desky na druhé straně kotouče je v tomto případě reakce shodná co do velikosti s ovládací silou hydraulického válce. [7]

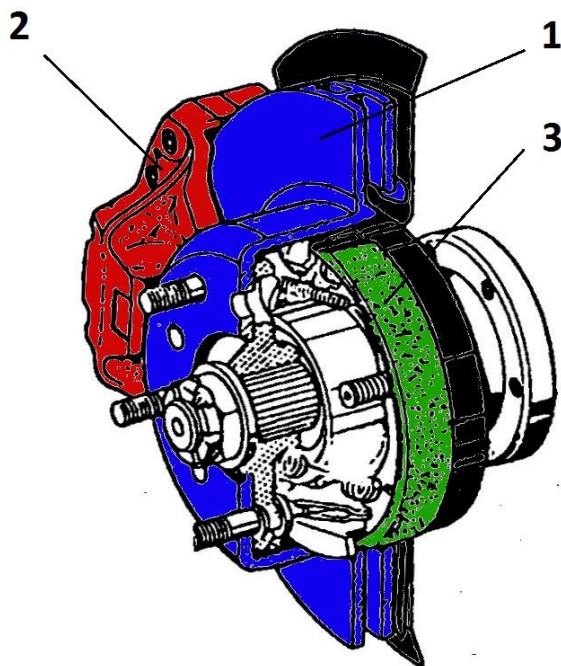
### 3.3.2.2 Konstrukce kotoučových brzd

Vlivem tření vzniká při brzdění teplo a brzdy, především kotouče se zahřívají. To vedlo ke vzniku kotoučů chlazených. Jde o dva tenké disky spojené žebrováním, kterým proudí chladicí vzduch. Kotouče jsou vyráběny z litiny, popřípadě z keramicko-uhlíkových vláken u sportovních aut. Nejjednodušší kotouč je kotouč plochý, má však řadu nedostatků, snadněji se bortí, cesta průchodu tepla ložiskům kola je poměrně krátká, takže ložiska se více zahřívají. Hrncový tvar tyto nedostatky odstraňuje. Pro účinnější chlazení mají kotouče duté prostory s radiálně uspořádanými kanálky (tzv. kotouče s vnitřním chlazením). [7] [8]



**Obr.3.7 [8]**  
Příklady provedení  
brzdových kotoučů:  
a) plochý kotouč;  
b) hrncové kotouče;  
c) odvětraný kotouč

Brzdové kotouče se vyrábí obvykle z legované šedé litiny nebo z ocelolitiny. Jakost povrchu kotouče má značný vliv na opotřebení třecího obložení, a proto jsou třecí plochy kotouče broušeny. Kotouč je přírubou uchycen k náboji kola obvykle šrouby. [7] [8]



V některých případech bývá kotoučová brzda doplněna pro parkovací brzdění malou bubnovou brzdou, jak je vidět na obr. 3.8 (1)–brzdný kotouč, (2)–třmen spolu s brzdovými destičkami, (3)- čelisti („pakny“).

**Obr. 3.8** Kotoučová brzda s přidavnou bubnovou parkovací brzdou [7]



### 3.3.2.3 Vlastnosti kotoučových brzd

- i při dlouhodobém brzdění se součinitel tření mění jen velmi málo, proto brzdná síla kolísá nepatrně a dá se lépe regulovat,
- seřízení vůle mezi kotoučem a obložením je samočinné,
- velikost brzdného účinku nezáleží na smyslu otáčení kola, vlivem odstředivých sil vzniká dobrý samočisticí účinek,
- brzdové obložení se sice rychleji opotřebovává, ale jeho kontrola a výměna je jednoduchá,
- brzdy nemají samoposilující účinek, tak mají brzdové válečky větší průměr (40 až 55mm) než u bubnových brzd, čímž se dosáhne větší přitlačné síly,
- uspořádání pro současnou funkci jako parkovací brzdy je konstrukčně složité a nákladné. Proto se na zadní nápravě používají obvykle brzdy bubnové. V případě použití brzdy kotoučové může být kotouč kombinován s bubnem, ve kterém je umístěna parkovací bubnová brzda [1]

### 3.3.2.4 VÝVOJOVÉ TENDENCE KOTOUČOVÝCH BRZD

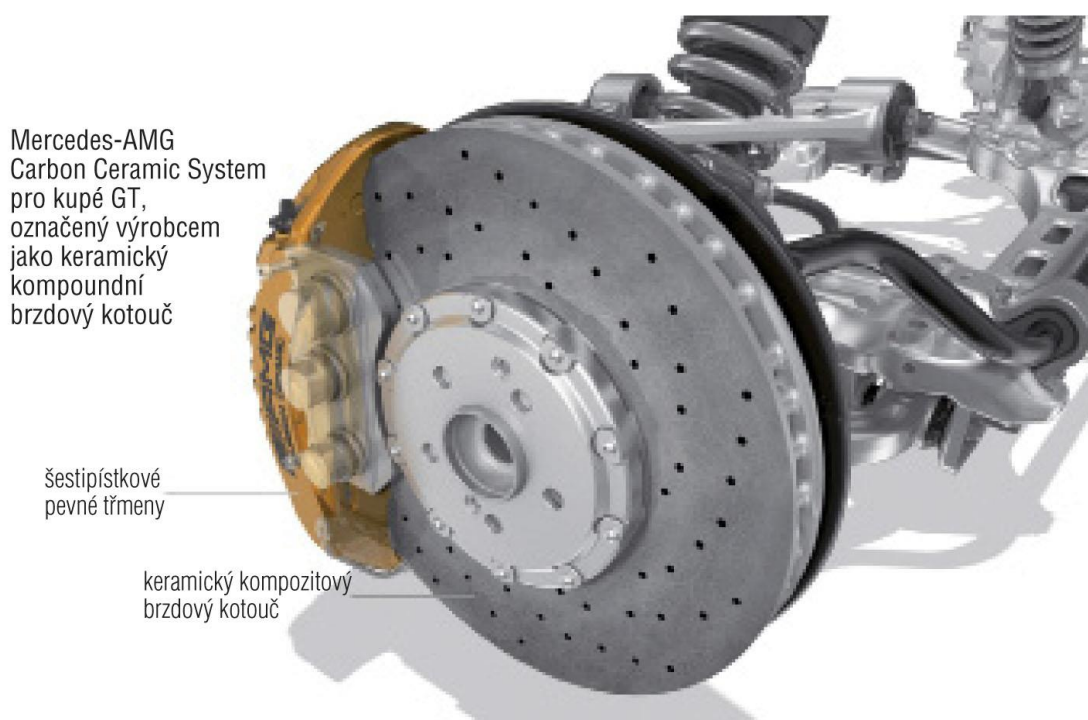
Vývoj automobilového průmyslu jde velice rychle dopředu, vozy jsou stále výkonnější, a proto je kladen velký důraz také na brzdový systém. Pro konstruktéry automobilů (nejen sportovních) je téma brzd velmi důležité. Samozřejmě různé druhy brzd jsou jinak účinné a závisí to na mnoha parametrech.

#### Ceramic & Carbon brzdy

Uhlíková vlákna pro kombinaci nízké hmotnosti a vysoké pevnosti jsou považována za materiál budoucnosti. To platí jak pro výrobu nejrůznějších dílů nebo celých karoserií, tak i pro další komponenty, jako jsou například brzdové kotouče. [13]

Ve srovnání s ocelovými kotouči mají keramické brzdy hned několik předností. Patří mezi ně zejména o cca 50 % nižší hmotnost. Výrobci uvádějí, že sada keramických brzd je zhruba o 20 kg lehčí než konvenční ocelová. Tato redukce neodpružené a rotační hmoty má významný vliv na jízdní dynamiku a chování automobilu. Další předností je zlepšená odezva s lepším pocitem na brzdovém pedálu, vyšší tepelná stabilita, větší odolnost vůči poklesu brzdného účinku (vadnutí), nepodléhání korozi a absence vzniku brzdného prachu. Silnou stránkou je delší životnost. Výrobci automobilů udávají, že při používání výhradně v běžném provozu dosahuje životnost 300 tisíc kilometrů, tedy přibližně stejně, jako je plánovaná životnost vozu. [13]

Samotný keramický kotouč, používaný hlavně u vysokovýkonných vozů, je tvořen karbidem křemíku (SiC), jenž je nejlehčím a současně nejtvrdším keramickým materiálem. Mezi jeho specifické vlastnosti patří vynikající tepelná vodivost, malá tepelná roztažnost a současně odolnost vůči kyselinám a jiným chemickým sloučeninám. Karbid křemíku zůstává stabilní při teplotách nad 1400 °C. [13]



**Obr. 3.9** - Mercedes-AMG Carbon Ceramic Systém [13]

### 3.3.3 Brzdové obložení

U bubnových brzd je brzdové obložení přinýtováno nebo přilepeno na brzdové čelisti, u kotoučových brzd je přilepeno na kovové nosné segmenty.

Požadavky na třecí obložení:

- velká tepelná a mechanická pevnost a vysoká životnost
- stálý součinitel tření při vysokých teplotách a kluzných rychlostech (omezení slábnutí brzd)
- odolnost vůči vodě a nečistotám
- odolnost proti vytváření sklovité vrstvy při vysokém tepelném zatížení.

#### 3.3.3.1 Materiály brzdového obložení

Obložení se většinou používá z organických materiálů. Pro obzvláště vysoké namáhání se vyrábí obložení ze spékaných práškových kovů. U organických brzdových obložení se používají práškové nebo vláknité třecí materiály z minerálních, kovových, keramických nebo organických látek, které jsou vázány organickými pojivy (např. syntetická pryskyřice nebo kaučuk). Dříve používaný azbest je zdraví škodlivý a dnes je nahrazován jinými materiály, např. uhlíkovými, ocelovými nebo skleněnými vlákny. Brzdové obložení má součinitel tření větší než 0,4 a je odolné do teploty asi 800°C. [1]

### 3.3.4 Brzdová kapalina

Brzdové systémy osobních a dodávkových automobilů, motocyklů i některých dalších vozidel používají jako médium pro přenos síly brzdovou kapalinu. Po celém světě se pro její označování vžil termín "kapalina DOT". DOT je zkratka pro americké ministerstvo dopravy (Department of Transportation), které již před dlouhou dobou stanovilo specifikace pro výkonnost brzdové kapaliny (Tab. 2.1). Dnešní automobily s protiblokovacími brzdovými systémy vyžadují ovšem ještě lepší kapalinu - DOT 4. Některé závodní automobily a motocykly potřebují kapalinu, která vydrží teploty v brzdových systémech, jejichž kotouče se během provozu rozzhávají do červeného žáru. Pro ně byla vyvinuta norma DOT 5. [12]

Tab. 2.1 specifikace pro výkonnost brzdové kapaliny [12]

	<b>DOT 2</b>	<b>DOT 3</b>	<b>DOT 4</b>	<b>DOT 5</b>	<b>DOT 5.1</b>
<b>Suchý bod varu</b>	190 °C	205 °C	230 °C	260 °C	270 °C
<b>Mokrý bod varu</b>		140 °C	155 °C	180 °C	190 °C

Brzdová kapalina musí být chemicky neutrální, nesmí působit korozivně na kovové části brzdového systému a chemicky na pryžová těsnění. Obvykle se vyrábí na bázi alkoholu. Nejčastěji je to glykol a glykoléterové směsi se speciálními přísadami. V zásadě splňují požadavky na ně kladené a v mnoha případech je i překračují. Jsou ale silně hygroskopické (pohlcují vzdušnou vlhkost) a při delším působení mohou narušovat lakované povrchy. Vlhkost se do brzdové kapaliny dostává odvzdušňovacími otvory ve vyrovnávací nádobce a brzdách. Pohlčováním vlhkosti se vlastnosti kapaliny zhoršují, protože již při poměrně nízké teplotě se v ní mohou tvořit bublinky vodních par, což může vést i k selhání brzd. Bod varu brzdové kapaliny, která obsahuje 3,5% vody, je asi 140 – 160°C. [1]

## 4 BRZDOVÉ SOUSTAVY

Brzdové soustavy jsou nezbytné k tomu, aby byla motorová vozidla schopna provozu a byla zajištěna jejich bezpečnost v silničním provozu. Podléhají proto přísným zákonným předpisům. Mechanické brzdové soustavy jsou v důsledku zvyšujících se nároků na jízdní bezpečnost neustále zlepšovány. [3]

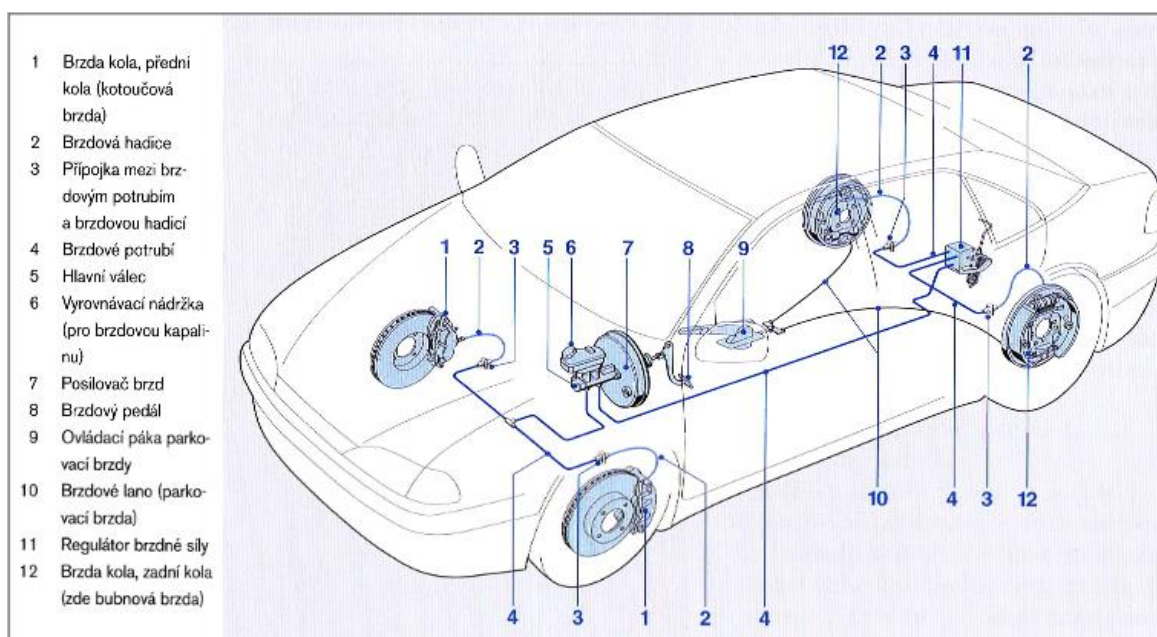
Podle způsobu přenosu energie z ovládacího orgánu (pedál, ruční brzda) nebo z cizího zdroje (strojní brzdové soustavy) na ovládací zařízení brzdových mechanismů lze rozdělit ovládací soustavy na:

- hydraulické,
- mechanické,
- vzduchové,
- regenerativní elektrická soustava
- kombinované.

Podle zdroje energie dělíme brzdové soustavy na:

- Přímočinná brzdová soustava** - brzdná síla je vytvářena vlastní silou řidiče. Tato síla se dále přenáší mechanickým nebo hydraulickým převodem na kola vozidla.
- Brzdová soustava s posilovačem** - jestliže nedostačuje síla řidiče, může být posílena pomocí podtlakového nebo hydraulického posilovače. Posilovač musí být konstruován tak, aby při jeho poruše zůstala brzdová soustava v činnosti a přitom ovládací síla na brzdový pedál nepřesáhla 800 N.
- Nepřímočinná brzdová soustava** - Brzdový účinek je tvořen jiným zdrojem energie (obvykle tlakem vzduchu), který řidič pouze ovládá.

Na obr. 4.1 je standardní brzdová soustava s uspořádáním brzdových okruhů přední/zadní náprava bez elektronického systému jízdní bezpečnosti.



**Obr. 4.1** - Brzdová soustava osobního automobilu [3]

Při brzdění řidič sešlapuje brzdový pedál (8) a tím pohybuje pístní tyčí posilovače brzd (7). Ten zesiluje svalovou sílu řidiče a působí svou tlačnou tyčí na hlavní brzdový válec (6). Hlavní brzdový válec převádí mechanickou sílu tlačné tyče na hydraulický tlak. Oba písty hlavního válce vytlačují brzdovou kapalinu z tlakového prostoru hlavního válce (6) do brzdových potrubí (4), resp. brzdových hadic (2), a takto přenášejí hydraulickou sílu ke kotoučovým brzdám (1) předních kol a k bubnovým brzdám (12) zadních kol. Při výpadku jednoho brzdového okruhu zůstává zbývající okruh plně účinný, čímž je zajištěn účinek nouzové brzdové soustavy. Vyrovnávací nádržka (5) připojená k hlavnímu válci (6) vyrovnává objemové změny v brzdovém okruhu. Regulátor brzdné síly (11) redukuje brzdný tlak na zadních kolech, když při brzdění se vzrůstajícím zpomalením se podíl hmotnosti vozidla přemísťuje ze zadní nápravy na přední (dynamické rozložení zatížení náprav). Takto se zabrání nadměrnému brzdění odlehčené zadní nápravy. Zde se na rozdíl od regulace brzdné síly (u protiblokovacích systémů) jedná o regulaci rozdělování brzdné síly. Soustava parkovací brzdy v brzdách kol zadní nápravy (12) je ovládána ruční pákou (9) prostřednictvím lana brzdy (10). [3]

## 4.1 Hydraulické soustavy

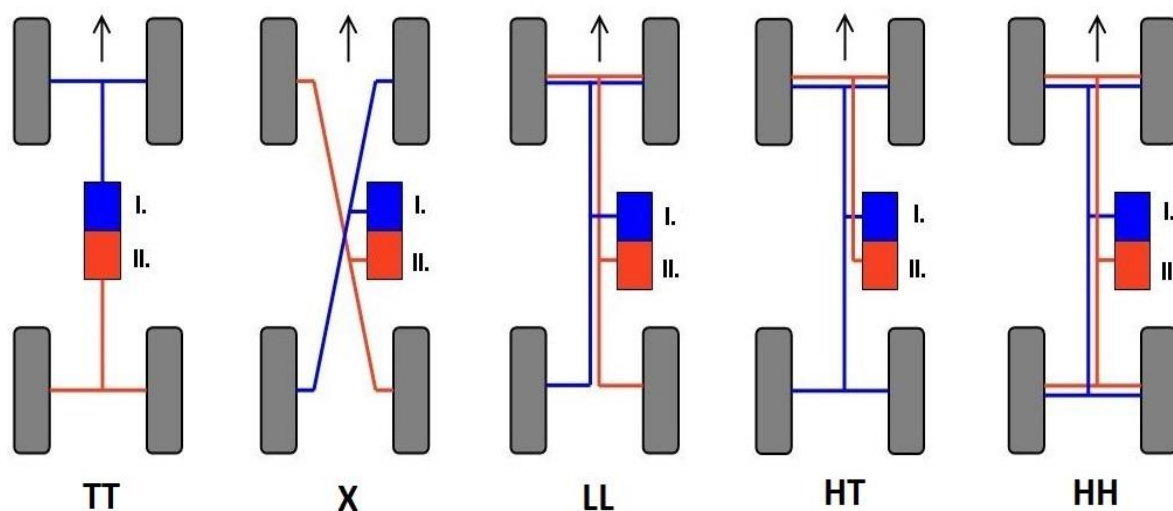
### 4.1.1 Uspořádání brzdových soustav

Předpisy pro brzdový systém vyžadují zvýšení spolehlivosti a zajištění nouzového brzdění při jejich porušení. Dvouokruhový systém zaručuje v případě poruchy jednoho okruhu brzdění druhým okruhem s účinností nouzového brzdění. Podle zákonných předpisů musí mít osobní vozidla dvouokruhovou ovládací soustavu, která splňuje požadavek nouzového brzdění. Jednotlivé upořádání okruhů jsou označena písmeny: **TT**, **X**, **HT**, **LL** a **HH**. Výběr písmen se přibližně podobá uspořádání brzdových vedení mezi hlavním brzdovým válcem a brzdami kol.

Tlak kapaliny se vytvoří pomocí brzdového pedálu, který působí silou na píst v hlavním brzdovém válci. Následně kapalina přenáší vytvořenou tlakovou sílu na pístky v příslušné brzdě na brzdové elementy.

Na obr. 4.2 jsou schémata používaných způsobů zapojení dvouokruhových ovládacích soustav:

- a) **zapojení TT** — v každém okruhu je brzděna jedna náprava;
- b) **zapojení X** — v každém okruhu je brzděno jedno přední a diagonálně protiležící zadní kolo;
- c) **zapojení LL** — každý okruh ovládá přední nápravu a jedno zadní kolo;
- d) **zapojení HT** — jeden okruh ovládá přední a zadní nápravu, druhý okruh ovládá jen přední nápravu;
- e) **zapojení HH** — každý okruh ovládá přední a zadní nápravu.[7]



**Obr. 4.2** – Možné systémy zapojení brzdových okruhů

**a) Zapojení TT** (přední - zadní)

Přední náprava a zadní náprava tvoří oddělené brzdové okruhy. Při použití odstupňovaného dvouokruhového hlavního válce nemá zadní náprava sklon k blokování, protože její brzdné síly jsou sníženy. Dále při poruše brzd přední nápravy lze při nepatrně vyšší síle na pedál dosáhnout dostatečného brzdného účinku s brzdami zadní nápravy. Na všech kolech se mohou použít bubnové nebo kotoučové brzdy, nebo vpředu kotoučové a vzadu bubnové brzdy. [9]

**b) Zapojení X** (diagonální)

Brzdový okruh tvoří vždy jedno přední kolo a jedno protilehlé zadní kolo. Při poruše jednoho brzdového okruhu může vznikat zatáčivý moment, když se kola ještě neporušeného okruhu zablokují. Stabilizačně působí boční vodící síly, které přenášejí kola porouchaného brzdového okruhu. [9]

**c) Zapojení LL** (trojúhelníkové)

Při použití kotoučových dvouválcových brzd s plovoucím třmenem, popř. kotoučových čtyřválcových brzd s pevným třmenem na přední nápravě působí každý brzdový okruh na přední nápravu a na jedno zadní kolo. [9]

**d) Zapojení HT** (čtyři - dvě)

Používají se kotoučové dvouválcové brzdy s plovoucím třmenem, popř. kotoučové čtyřválcové brzdy s pevným třmenem na přední a na zadní nápravě kotoučové jednoválcové brzdy s plovoucím třmenem, popř. kotoučové dvouválcové brzdy s pevným třmenem nebo bubnové brzdy. Jeden okruh působí na přední a zadní nápravu (4 kola), druhý pouze na přední nápravu (2 kola). [9]

**e) Zapojení HH** (čtyři - čtyři)

Je možné, pouze když se použijí na všechna kola kotoučové dvouválcové brzdy s plovoucím třmenem. Vždy jeden pár válců, popř. válce na každém kole tvoří jeden brzdový okruh (4 kola), zbylé páry válců, popř. válce tvoří druhý brzdový okruh (4 kola). [9]

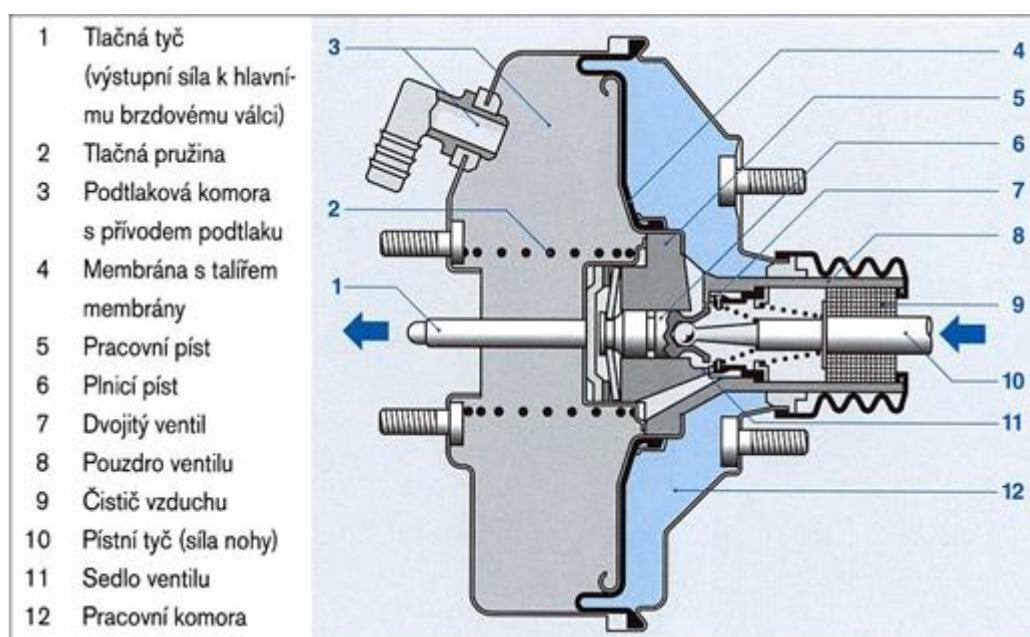


## 4.1.2 Brzdová soustava s posilovačem

Posilovač brzd podporuje sílu nohy při sešlapování pedálu brzdy a snižuje sílu, kterou je k brzdění nutno vynaložit. U většiny brzdových soustav pro osobní automobily je kombinován s hlavním válcem do jednoho celku. Základním technickým požadavkem na posilovač brzd je, aby se zmenšila potřebná síla nohy a přitom se zachovala možnost jemného odstupňování brzdě síly a nebyl nepříznivě ovlivněn cit pro míru brzdění. U obou používaných provedení posilovačů brzd, podtlakového a hydraulického posilovače brzd, se využívá zdrojů energie, které jsou již u vozidla k dispozici: Podtlak v sacím potrubí, příp. hydraulický tlak vytvořený hydraulickým čerpadlem. [3]

### 4.1.2.1 Podtlakový posilovač brzdění

Pro snížení ovládací síly na brzdový pedál se u hydraulických brzdových soustav používá podtlakový posilovač. Zdrojem energie je podtlak, jenž působí pomocí podtlakového posilovače, zařazeného mezi brzdový pedál a hlavní brzdový válec. Podtlak je u zážehových motorů odebírán ze sacího potrubí, u vznětových motorů podtlak vytváří vakuové čerpadlo. Schéma podtlakového posilovače a různé varianty zdroje energie pro podtlakový posilovač znázorňují obr. 4.3 [7]

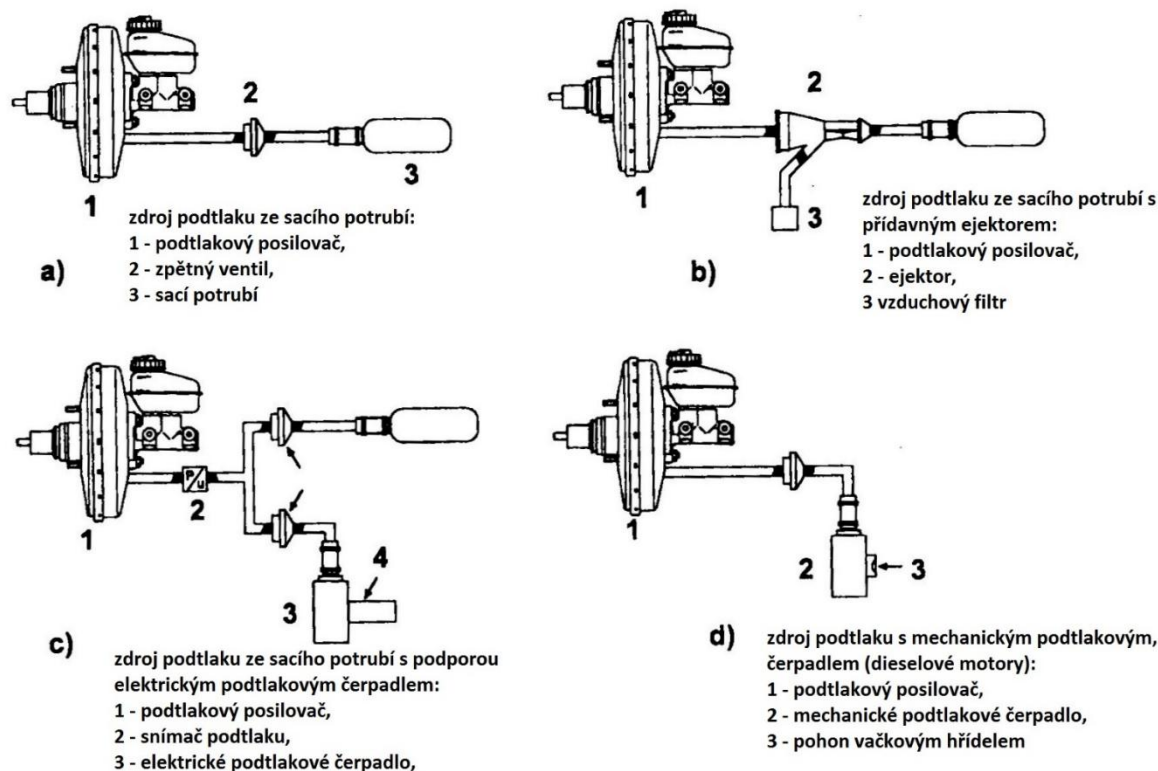


**Obr. 4.3** - Schéma podtlakového posilovače brzd ve dvoukomorovém provedení [3]

Membrána (4) odděluje podtlakovou komoru (3) s podtlakovým přívodem od pracovní komory (12). Pístní tyč (10) přenáší regulovanou sílu nohy na pracovní píst (5), přičemž zesílená brzdě síla působí prostřednictvím tlačné tyče (1) na hlavní brzdový válec. Při nesešlápnuté brzdě jsou podtlaková komora (3) a pracovní komora (12) navzájem propojeny kanály v tělese ventilu (8). Díky připojce podtlaku (3) je v obou komorách podtlak. Když začne brzdění, pohybuje se pístní tyč (10) k podtlakové komoře (3) a přitlačuje manžetu dvojitého ventilu (7) do sedla ventilu (11). Takto jsou podtlaková komora a pracovní komora navzájem odděleny. Při dalším pohybu pístní tyče se oddálí







**Obr. 4.5** - Varianty zdroje podtlaku pro posilovače brzdného účinku [7]

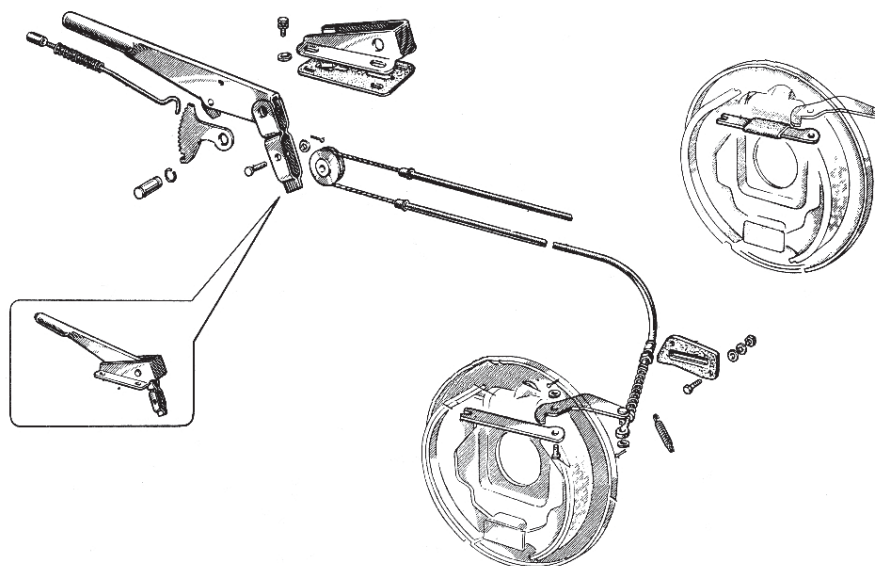
## 4.2 Mechanická soustava

Mechanický přenos je v současnosti používán téměř výhradně pro ovládání parkovacího brzdění. Ovládací soustava je tvořena pákou ruční brzdy a mechanickým převodem (ocelová lanka), který působí obvykle na brzdy zadních kol (obr. 4.6). [7]

Převodový systém musí zaručovat rovnoměrné rozdělení ovládací síly na obě kola i při nerovnoměrném opotřebení třecího obložení; k tomuto účelu jsou v převodu vyrovnávací kladky nebo páky. [7]

Často se používají systémy s proměnným převodem závislým na zdvihu ruční páky, přičemž menší převod slouží k vymezení vůle mezi čelistmi a třecí plochou brzdového bubnu příp. kotouče, zatímco vlastní přitlačení čelistí na třecí plochu se děje s větším převodem, čímž se dosáhnou v brzdovém mechanismu větší ovládací síly. [7]

Poloha ruční páky parkovací brzdy je v zabrzděném stavu mechanicky zajištěna (obvykle ozubeným segmentem s odpruženou západkou); při brzdění se páka ruční brzdy uvolní stisknutím tlačítka, které ovládá západku. K vidlici je připevněno vahadlo, které lanovým převodem ovládá rozpínací mechanismus brzdových čelistí. [7]



**Obr. 4.6** - Schéma zapojení ruční brzdy [10]

### 4.3 Vzduchová soustava

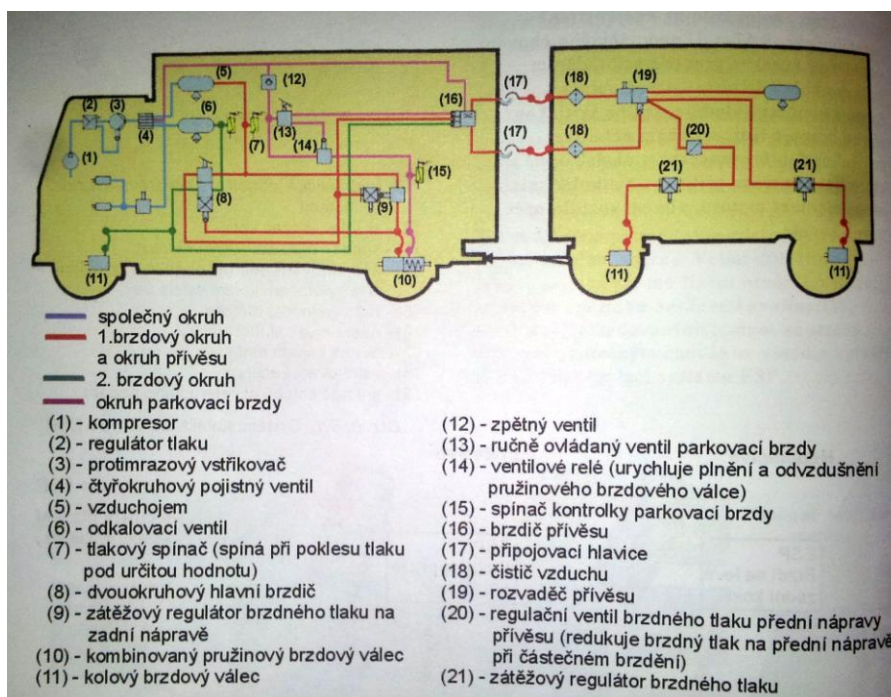
Vzduchové brzdové soustavy se běžně používají u těžších vozidel kategorie N2 a u většiny vozidel kategorie N3. Spodní hranicí použití je zhruba celková hmotnost vozidla 7 t, a to v případě, že se jedná o nejlehčí vozidlo z vyráběné řady. U lehčích vozidel se tato soustava nepoužívá, protože veškeré přístroje a zejména brzdové válce spolu s jejich převodem jsou při běžně používaném jmenovitém tlaku vzduchu 0,8 MPa tak rozměrné, že jejich umístění na vozidle není možné. [7]

Z hlediska druhů nákladních vozidel můžeme zapojení brzdové soustavy rozdělit do čtyř skupin:

- *samostatné vozidlo*
- *tahač přívěsů*
- *tahač návěsů*
- *přívěs nebo návěs*

Základní schéma zapojení vzduchové brzdové soustavy pro návěsovou soupravu je na obr. 4.7

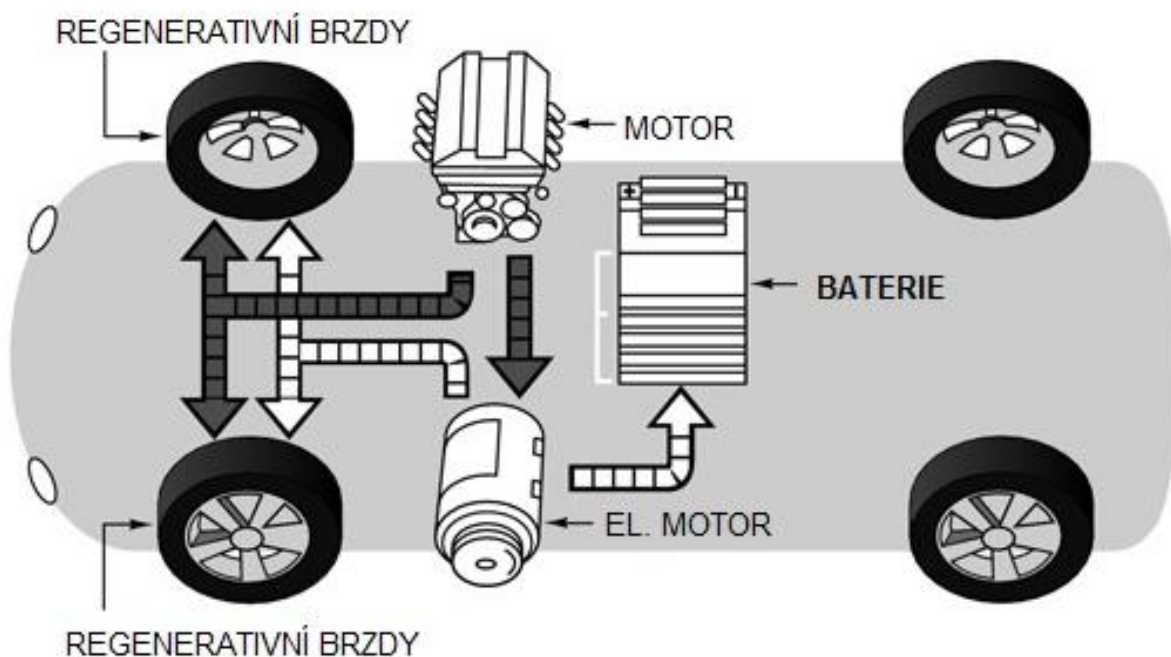
Tzv. plnicí část brzdové soustavy obsahuje kompresor, plnič pneumatik, vyrovnávač tlaku, protimrazové zařízení. Tři přístroje zapojené za kompresorem mohou být sloučeny do tzv. sdruženého přístroje. Stlačený vzduch je dále přiváděn do tzv. mokrého vzduchojemu, který má automatický odvodňovací ventil. Čtyřokruhový zajišťovací ventil zajišťuje rozvod vzduchu do jednotlivých okruhů a zároveň automaticky zajišťuje zásobu vzduchu ve vzduchové soustavě při poruše některého z okruhů. K ovládání dvouokruhové brzdové soustavy slouží dvouokruhový brzdič, který může být přímo ovládán brzdovým pedálem nebo páčkovým mechanismem.[7]



**Obr. 4.7** - Vzduchová brzdová soustava nákladního automobilu s přívěsem [1]

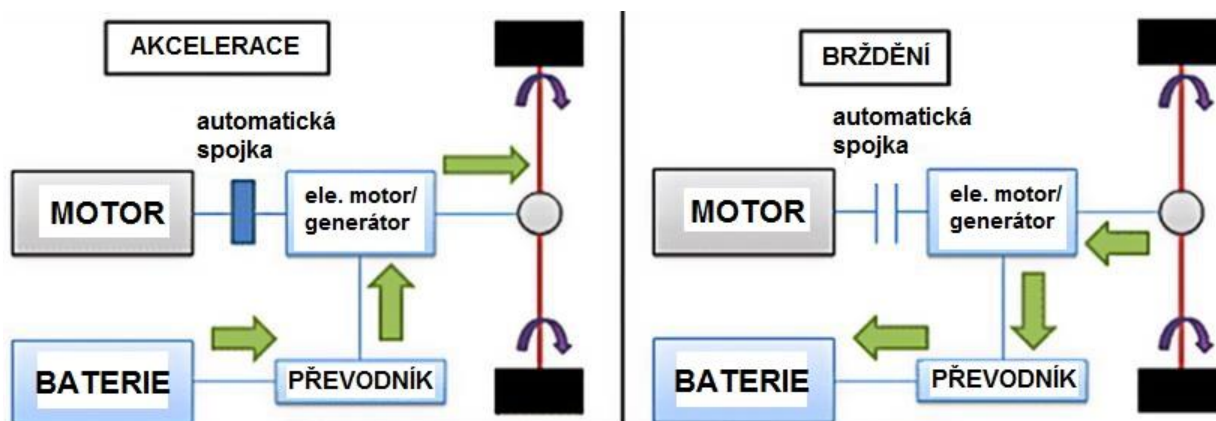
## 4.4 Regenerativní elektrická soustava

Princip brzdění u klasických automobilů spočívá v maření kinetické energie vozidla a její přeměně na tepelnou energii prostřednictvím třecích brzd. K tomuto účelu jsou obvykle využívány kotoučové či bubnové brzdy. Nicméně všechny tyto „klasické“ brzdy přeměňují kinetickou energii na tepelnou, bez možnosti jejího dalšího využití. Dokonce je nutné tuto tepelnou energii z brzd odvádět čili brzdy chladit. [15]



**Obr. 4.8** - Systém regenerativních brzd

Při deceleraci je posílena funkce alternátoru, který mechanickou energii přeměňuje na elektrickou. Při deceleraci alternátor jednoduše odebírá více mechanické energie, čili brzdí, a tím vytváří přebytek napětí, který je dále využíván nebo uchován. Při akceleraci nebo ustálené jízdě je tomu naopak, alternátor v tomto případě může pracovat s nižší zátěží. V tomto případě se energie odebírá z akumulátoru, tím se ulehčí práce spalovacímu motoru a uspoří se palivo. Část energie se do akumulátoru opět získá při brzdění.[15]



**Obr. 4.9** - Systém regenerativních brzd při akceleraci/brzdění

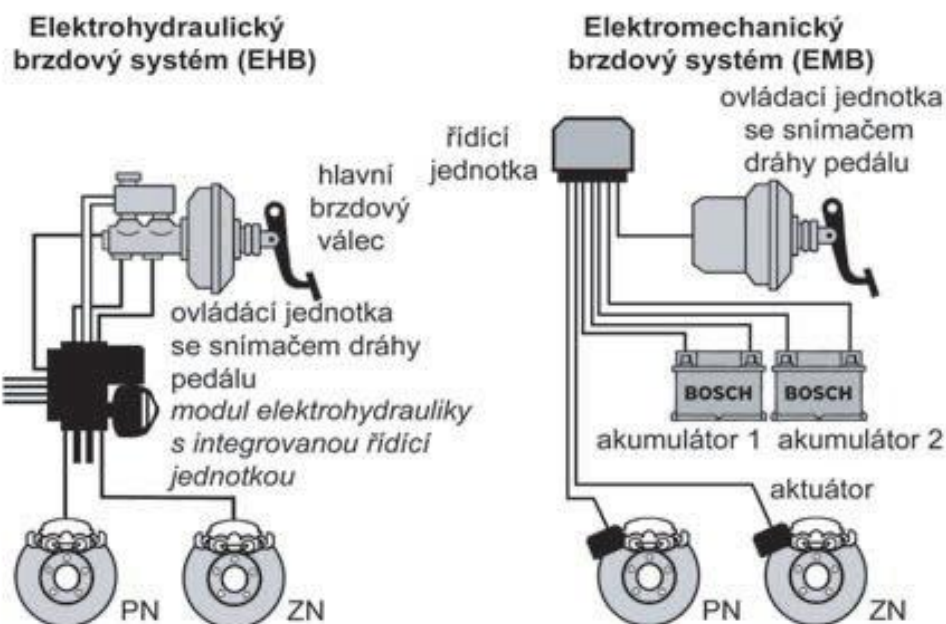
## 4.5 Kombinované brzdové soustavy

Elektronické brzdové soustavy se skládají ze dvou navzájem odlišných brzdných systémů. Jedním z nich je brzdný systém **elektrohydraulický EHB** a druhým systémem je systém **elektromechanický EMB**. Brzdové soustavy přenášejí impuls od brzdového pedálu řidiče k brzdám hydraulicky prostřednictvím brzdové kapaliny. Používá se posilovač brzd. Brzdná síla je tím větší, čím větší je síla vynaložená řidičem na brzdový pedál.

### 4.5.1 Elektrohydraulický brzdový systém EHB

Tento systém (Sensotronic, Bosch) zachovává hydraulické brzdy kol, které však nejsou přímo při standardním režimu provozu hydraulicko-mechanicky propojeny s brzdovým pedálem (obr. 4.10 vlevo). Řídicí jednotka zjišťuje sílu působící na brzdový pedál, což znamená pokyn řidiče k brzdění, a pro každé jednotlivé kolo vypočítá potřebný brzdný tlak. Do tohoto výpočtu jsou zahrnuty charakteristické údaje o chování vozidla, o prokluzu a o jízdních veličinách. V případě výpadku systému EHB je síla, kterou řidič působí na brzdový pedál, přenášena klasickým způsobem přes hydraulický válec na brzdy kol [6].





**Obr. 4.10** - Elektronické brzdové systémy pro osobní automobily (Bosch): PN – přední náprava, ZN – zadní náprava

#### 4.5.2 Elektromechanický brzdový systém EMB

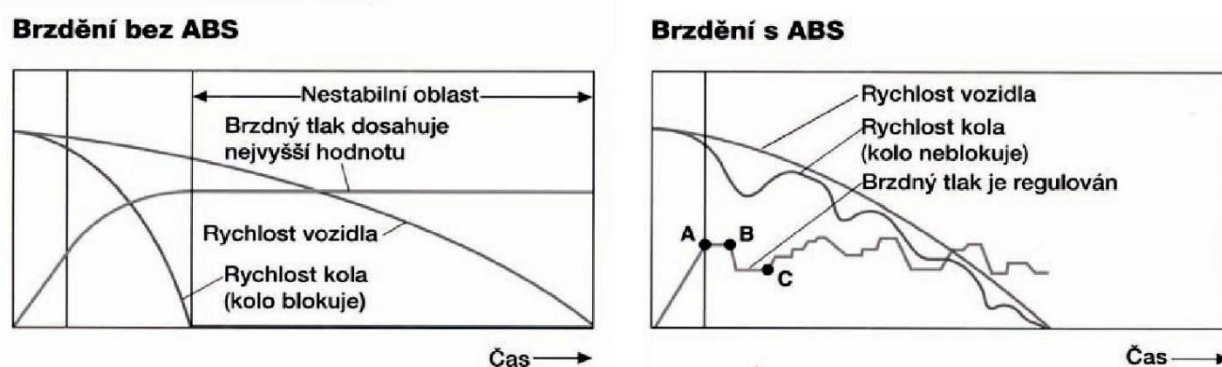
U systému EMB zcela odpadá celý hydro-pneumatický okruh a impulzy z pohybu brzdového pedálu jsou elektrickým okruhem přenášeny přímo do výkonové jednotky na každém kole tzv. aktuátory (obr. 4.10 vpravo). Elektromotory, vestavěné do kol, vyvíjejí brzdou sílu přímo tam, kde je zapotřebí. Zdrojem energie potřebné k činnosti brzd je palubní síť vozidla, pro její přenos se využívají signálové a výkonové vodiče. Největším problémem systému EMB je, že na rozdíl od EHB zde neexistuje možnost hydraulického přenosu sil při případném výpadku systému. Z tohoto důvodu jsou vyžadovány dva nezávislé elektronické brzdové okruhy. Elektromotory musí být lehké a kompaktní, aby je bylo možno umístit do stěsnaných prostor uvnitř ráčku. Zde ovšem na brzdové moduly kol působí extrémní mechanické a teplotní zatížení vyžadující robustní konstrukční provedení. [6]

Systém EMB se skládá ze čtyř brzdových aktuátorů umístěných přímo na disku kotoučové brzdy (jako běžné třmeny), které předávají impulzy do elektromotoru integrovaného ve stejném konstrukčním celku. Každý z těchto motorů je řízen samostatnou elektronickou jednotkou a přímo vyvolává brzdou sílu. Systém EMB je vybaven dvěma proudovými okruhy, aby byly splněny bezpečnostní požadavky. Při výpadku jednoho z okruhů je brzda na každém kole stále funkční. Na rozdíl od současných brzd nevytváří systém EHB brzdou tlak v tandemovém hlavním brzdovém válci, ale v hydraulické jednotce. Tato jednotka se skládá z hydraulické řídicí jednotky s ventily pro okruhy brzd na jednotlivých kolech (HCU = Hydraulic Control Unit) a z agregátu motor-čerpadlo-zásobník (MPSA = Motor-Pumpe-Speicher-Aggregat), ve kterém se vytváří a udržuje hydraulický tlak. Příkazy vydává elektronická řídicí jednotka (ECU = Electronic Control Unit) [6].

## 5 PROTIBLOKOVACÍ A PROTIPROKLUZOVÉ SYSTÉMY

### 5.1 Protiblokovací systém ABS

ABS (antilock braking system) za kritických jízdních poměrů může při brzdění dojít k blokování kol. Příčinou může být např. mokrá nebo kluzká vozovka nebo také reakce řidiče při leknutí (výskyt nepředvídané překážky). Vozidlo se přitom může stát neovladatelným, může se dostat do smyku nebo sjet z vozovky. Protiblokovací systém (ABS) zjistí u brzd včas náchylnost k blokování jednoho nebo více kol a postará se okamžitě o to, aby se brzdný tlak udržoval konstantní nebo se snížil. Kola se nezablokují a vozidlo zůstane ovladatelné. Tak lze vozidlo bezpečně a rychle zabrzdit. [3]



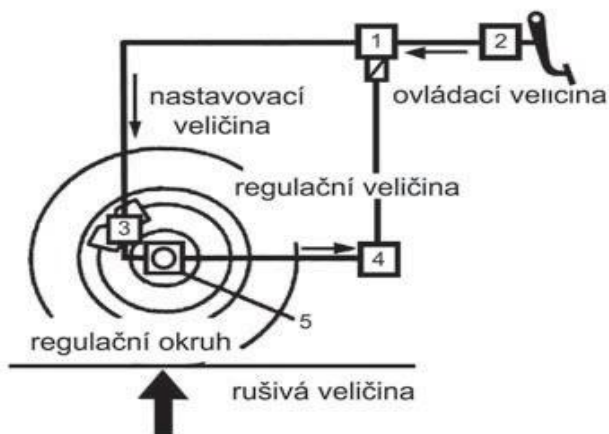
**Obr. 5.1** - Brzdění bez protiblokovacího systému a s protiblokovacím systémem [3]

Systém ABS se skládá ze:

- snímače otáček jednotlivých kol,
- hydraulické jednotky,
- řídicí jednotky ABS,
- signalizace funkčnosti ABS řidiči.[3]

Regulační okruh (obr. 5.2) ABS se skládá ze:

- **regulačního okruhu** – vozidlo s brzdou, kolo a třecí část tj. pneumatika – vozovka,
- **rušivé veličiny** – stav brzd, zatížení vozidla, stav pneumatik, nízký profil apod.
- **regulátoru** – snímač otáček a řídicí jednotka,
- **regulační veličiny** – otáčky a z nich odvozené obvodové zpoždění a zrychlení zároveň se skluzem,
- **ovládací veličiny** – tlak na brzdový pedál, řidičem určený brzdny tlak,
- **nastavovací veličiny** – velikost brzdneho tlaku.[6]



**Obr. 5.2** - Protiblokovací regulační systém ABS: (1 - hydraulický agregát s magnetickými ventily, 2 - hlavní brzdový válec, 3 - brzdový kolový válec, 4 - řídicí jednotka, 5 - snímač otáček).[6]

### 5.1.1 Požadavky na ABS

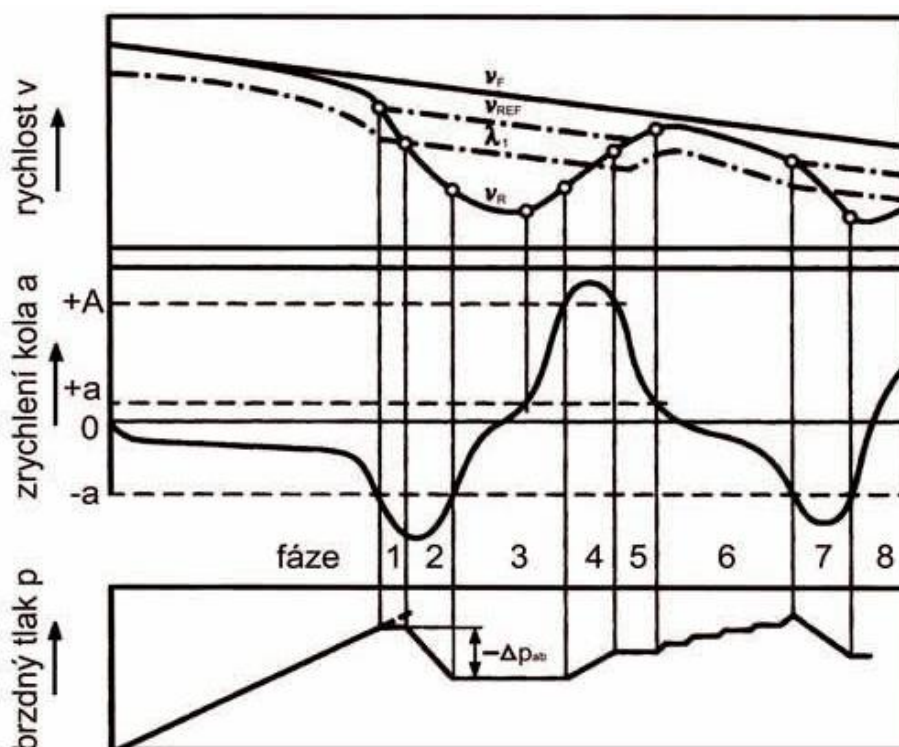
- regulace brzdění musí zajistit stabilitu a říditelnost vozidla při všech stavech jízdní dráhy (od suché vozovky až po náledí),
- ABS musí při brzdění maximálně využívat součinitele tření (adheze a boční síly) mezi vozovkou a koly vozidla,
- regulace brzdění musí pracovat v celé rychlostní oblasti vozidla až do minimální rychlosti (obvykle 4 km/h),
- při brzdění v zatáče musí zůstat vozidlo stabilní a říditelné s nejkratší možnou brzdou dráhou,
- regulace brzdění musí rozeznat aquaplaning a vhodně na něj reagovat. Vozidlo musí zůstat stabilní a pohybovat se stále v přímém směru,
- bezpečnostní obvody musí neustále kontrolovat bezchybnou funkci systému ABS. Jestliže kontrolní systém zjistí závadu, která by mohla ovlivnit průběh brzdění, ABS se vypne. Kontrolka ABS okamžitě informuje řidiče, že má k dispozici pouze základní brzdovou soustavu - bez ABS.[1]

### 5.1.2 Regulační cyklus

Celý regulační cyklus je rozdělen na 8 fází (obr. 5.3):

- 1. Fáze** - kdy řidič zvyšuje brzdny tlak vzrůstá úhlové zpoždění kola (a) v důsledku skluzu klesá obvodová rychlost kola  $V_r$  rychleji než rychlost vozidla  $V$ . Na konci fáze 1 překročí obvodové zpoždění danou hranici  $(-a)$ . Tím se přepne ventil pro do polohy „udržovat tlak“. V této fázi nesmí být snižován, protože by došlo k překročení prahové hodnoty  $(-a)$  ve stabilní části charakteristiky adheze/skluz. Došlo by k prodloužení brzdny dráhy vozidla. Současně se zmenší referenční rychlost  $V_{ref}$ . Z referenční rychlosti je odvozena prahová hodnota skluzu  $\lambda_1$ .
- 2. Fáze** - tlak v této fázi není snižován, protože by mohla být překročena prahová hodnota zpoždění  $(-a)$  ve stabilní části charakteristiky přilnavost/skluz a tím by se prodlužovala brzdny dráha. Během fáze 2 klesá referenční rychlost  $V_{ref}$ . Na konci fáze 2 překročí obvodová rychlost kola  $V_k$  prahovou hodnotu skluzu  $\lambda_1$ .

3. **Fáze** - magnetický ventil se přesune do polohy „snížení tlaku“, takže brzdný tlak začne klesat a klesá tak dlouho, až obvodové zpoždění překročí prahovou hodnotu (-a).
4. **Fáze** - udržení tlaku p na dané hodnotě p. Během této doby se výrazně zvýší obvodové zrychlení kola nad hodnotu (+a). Tlak p je nadále konstantní. Na konci 4 fáze překročí obvodové zrychlení kola vysokou hodnotu (+A). Brzdný tlak se začne zvyšovat po celou dobu pohybu zrychlení nad tuto hodnotu.
5. **Fáze** - brzdný tlak se začne zvyšovat a stoupá tak dlouho, až obvodové zrychlení kola je opět menší než mez (+A).
6. **Fáze** - tlak p je opět udržován na konstantní hodnotě až do doby, než je překročena hodnota (+a). Na konci této fáze se opět dostává pod hranici (+a) a to je signálem, že kolo je ve stabilní fázi části charakteristiky adheze/skluz. Brzdění je lehké.
7. **Fáze** - brzdový tlak je stupňovitě zvyšován až do hodnoty překročení prahové hodnoty zpoždění kola (-a) na konci této fáze.
8. **Fáze** - nastává okamžité snížení brzdového tlaku [3][6]



**Obr. 5.3** - Regulace brzdění s vysokým součinitelem adheze:  $V_F$  – rychlost vozidla,  $V_{REF}$  – referenční rychlost,  $V_R$  – obvodová rychlost pneumatiky,  $\lambda$  – prahová hodnota skluzu, spouštěcí signály: (+A), (+a) – prahová hodnota obvodového zrychlení pneumatiky, (-a) – prahová hodnota obvodového zpoždění pneumatiky,  $p_{ab}$  – snížení brzdového tlaku. [6]

### 5.1.3 Vývoj provedení ABS

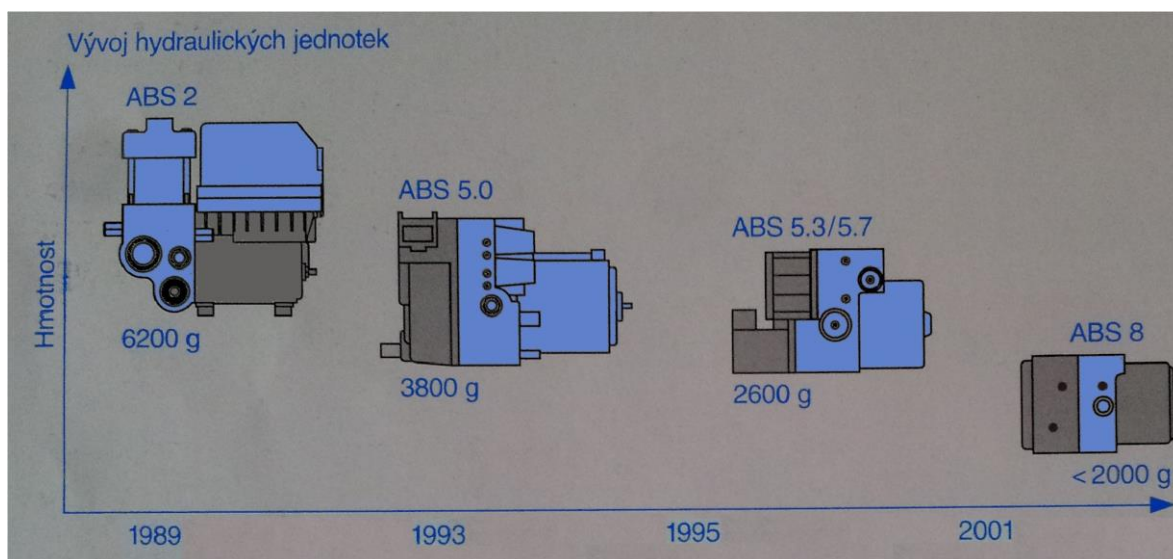
Vývoj ABS probíhal díky dalším technologickým inovacím v oblasti:

- elektromagnetických ventilů a výrobních procesů,
- techniky montáže a integrace komponentů,



- elektronických obvodů (diskrétní obvody byly nahrazeny hybridními a integrovanými obvody s mikrokontrolérem),
- zkušební techniky (možnost odděleného testování elektronických a hydraulických dílů před zamontováním do hydraulické jednotky),
- techniky snímačů a relé

Postupem času bylo možno snížit hmotnost a rozměry ABS od první generace ABS2 o více než polovinu (obr. 5.4). Tyto systémy lze proto zabudovat i do nejmenších použitelných montážních prostorů ve vozidle. Díky dalším inovacím bylo možno náklady na ABS snížit tak, že dnes patří ABS k standardnímu vybavení všech typů vozidel.[3]



**Obr. 5.4** - Vývoj ABS s využitím nejmodernější techniky (nižší hmotnost a vyšší výkonnostní výkonnost) [3]

## 5.2 Protiprokluzový systém ASR

Systém regulace prokluzu ASR (Antriebsschlupfre gelung, Anti Skid Regulation), který jako rozšíření ABS má především za úlohu zajistit stabilitu a říditelnost vozidla při akceleraci.[7]

Regulace prokluzu musí zabránit protáčení kol při rozjezdu nebo zrychlení na vozovce s náledím na jedné nebo obou stranách vozidla, obou zrychlení v zatáčce, ale i při jízdě do kopce (u automobilu s předním pohonem). Kromě toho napomáhá regulace prokluzu v následujících situacích. Stejně jako zablokovaná mohou prokluzující kola přenášet pouze malé boční síly vozidlo je nestabilní a jeho zádř (popř. předř) vybočuje. ASR udržuje vozidlo pod kontrolou a zvyšuje bezpečnost. Situace, kde kola prokluzují, vede k vysokému opotřebení pneumatik a hnacího ustrojí (např. diferenciálu). ASR toto nebezpečí snižuje. ASR samočinně zasáhne, kdykoliv to situace vyžaduje. Z rozdílu prokluzů na hnacích kolech může ASR rozlišovat mezi průjezdem zatáčkou a prokluzem kola.[7]

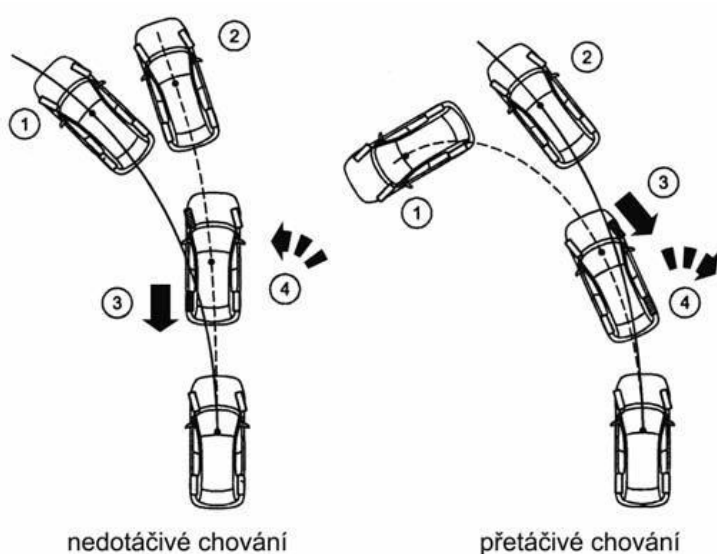
Řidič při akceleraci zvyšuje točivý moment motoru, tím se současně zvyšuje hnací moment na kolech vozidla. Má-li se tento zvýšený moment o co „opřít“ (vysoký součinitel adheze), lze vozidlo bez problémů zrychlit. Překročí-li ale tento hnací moment fyzikálně maximální přenositelný hnací moment (daný zatížením kola  $Z_K$  a součinitelem adheze  $\mu_v$ ) dojde k prokluzu hnacího kola. Tím se snižuje přenositelná hnací síla a vozidlo je díky ztrátě boční síly nestabilní. ASR snižuje prokluz hnacích kol během zlomku sekundy na nejlepší možnou hodnotu.[7]

### 5.3 Elektronický stabilizační program ESP

Při jízdě vozidla existují určité hraniční oblasti, kde je vozidlo již velmi těžce ovladatelné. Často jsou tyto kritické situace zkušenými řidiči nesprávně odhadnuty, a dochází tak například díky silným pohybům volantu ke smyku vozidla. Zvládnout situaci pomáhá systém regulace dynamiky jízdy ESP (Electronic Stability Program). Tento systém doplňuje známé funkce protiblokovacího brzdového systému ABS, regulace prokluzu ASR, elektronického rozdělení brzdné síly EBV a jiné. [6]

Systémy stabilizace jízdy vozidla jsou určitým rozšířením systémů ABS a ASR. Ty umožňují ovládat skluz nebo prokluz pneumatiky (při brzdění nebo zrychlení) pouze v podélném směru vozidla. ESP reguluje skluz pneumatiky také v příčném směru. Příliš velký příčný skluz pneumatiky vede ke ztrátě bočního vedení a k „vybočení“ vozidla do strany. ESP zvyšuje stabilitu vozidla ve stopě při průjezdu zatáčkou a zároveň snižuje nebezpečí smyku při brzdění, zrychlení i při volném pohybu vozidla. Kompletní regulační technika systémů ESP vyžaduje velmi výkonnou elektroniku a snímače. [6]

Stabilizace jízdy vozidla je dosaženo samočinnými zásahy do brzd jednotlivých kol a hnacího momentu motoru bez zásahu řidiče. 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, popř. přetáčivý pohyb vozidla. [6]



**Obr. 5.5** - Zásah ESP při nedotáčivém nebo přetáčivém chování vozidla:

vlevo:

1 – s ESP, 2 – bez ESP, 3 – brzdná síla, 4 – vyrovnaní nedotáčivosti,

vpravo:

1 – bez ESP, 2 – s ESP, 3 – brzdná síla, 4 – vyrovnaní přetáčivosti. [6]

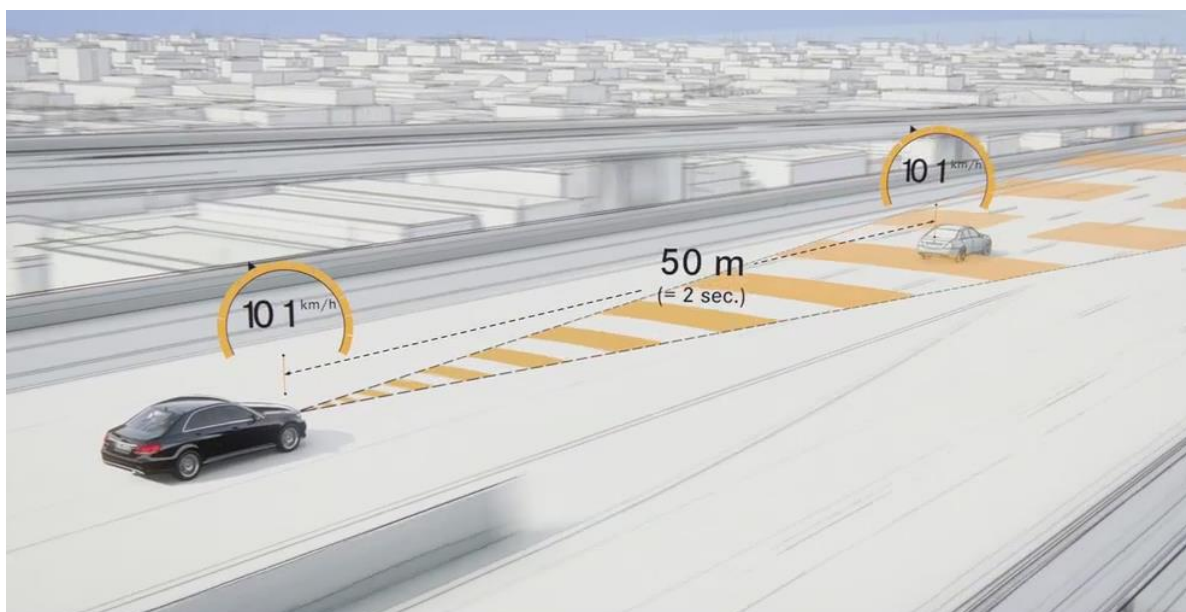
Současně se sníží točivý moment motoru na hodnotu odpovídající dané situaci. Tímto způsobem dosažené zpomalení vozu má stabilizační účinek. Hrozí-li např. vybočení zadní části u přetáčivého pohybu vozidla, jsou přibrzděna kola na vnější straně zatáčky, přičemž největší brzdná síla působí na přední vnější kolo (obr. 4.6 vpravo). U nedotáčivého chování vozidla se korekce provede přibrzděním kol na vnitřní straně zatáčky, přičemž převážný podíl brzdné síly působí na zadním vnitřním kole (obr. 4.6 vlevo). Systém současně sleduje, jak na kritickou chybu reaguje řidič a během několika milisekund mikroprocesor určí, jak silně a o kolik snížit hnací moment motoru a které kolo je třeba přibrzdit, aby se vozidlo opět stabilizovalo.[6]

## 6 PROGRESIVNÍ ASISTENČNÍ SYSTÉMY

Jedním z hlavních témat pro společnost je bezpečné a současně uvolněné dojetí do cíle. Abychom toho dosáhli, jsou k dispozici progresivní asistenční systémy, které vám pomohou s nástrahami každodenního provozu. Například ve tmě, nebo při změně jízdního pruhu, při jízdě na dálnici nebo v přetížené dopravě.

### 6.1 DISTRONIC PLUS

Asistent, který pomáhá vozidlu udržovat optimální vzdálenost od vozidla před ním. Stereo kamera za čelním sklem a přední radarové senzory sledují prostor před vozidlem a předávají tyto informace do systému elektronické řídicí jednotky. Při pomalé jízdě, například v hustém provozu, umí ovládací jednotka využít vozidla před vámi jako orientačního bodu a upravit chování vozidla v jízdnímu pruhu. Systém dokáže pracovat až do rychlosti 200 km/h.



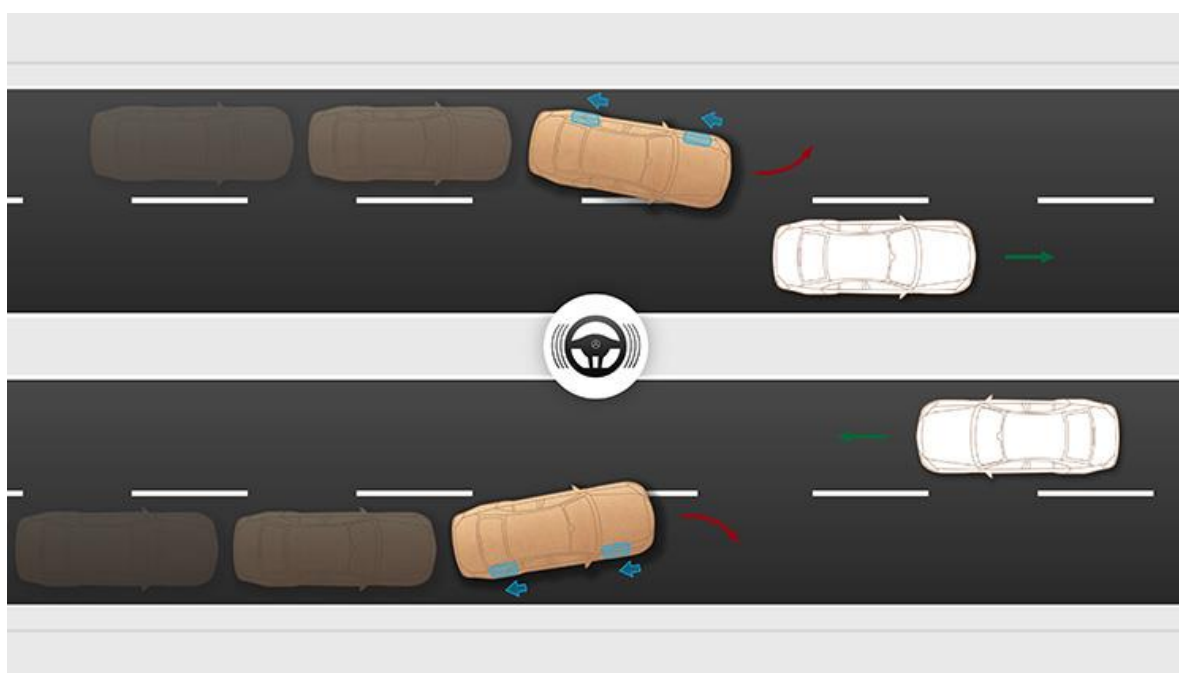
**Obr. 6.1** – Udržování vzdálenosti před jedoucím vozidlem pomocí systému DISTRONIC PLUS [23]

### 6.2 STEERING ASSIST

Systém STEERING ASSIST zajišťuje, že vozidlo nevybočí ze svého jízdního pruhu nejen na rovných silnicích, ale i v mírných zatáčkách. Stereo kamera za čelním sklem sleduje vodorovné značení na vozovce a předává tuto informaci do systému elektronické řídicí jednotky. Systém umí detekovat, zdali má řidič ruce na volantu. V případě, že ne, tak se objeví v případě nebezpečí vyjetí z jízdního pruhu nejprve vizuální výstraha. Pokud řidič ve vozidle nezareaguje ani potom, tak zazní výstražný zvuk a systém STEERING ASSIST vozidlo vyrovná samočinně.

## 6.3 LANE KEEPING ASSIST

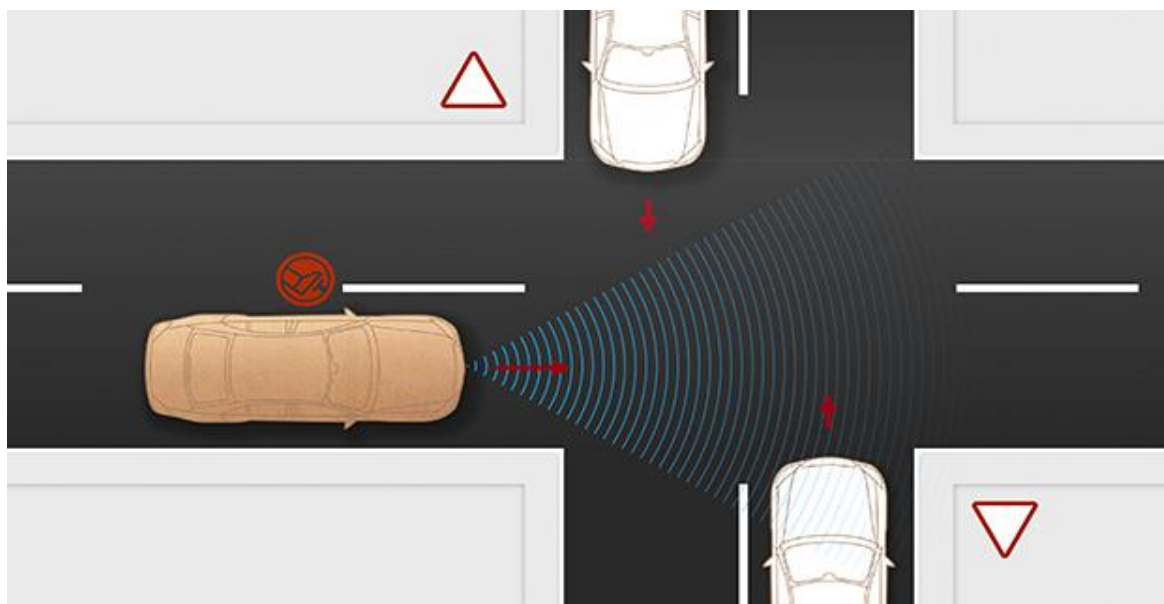
System LANE KEEPING ASSIST je založen na monitorování provozu kolem vozidla a monitorování vozovky pomocí radarového systému, který zaznamenává činnost ostatních účastníků silničního provozu a povrch vozovky, tyto údaje jsou odeslány do elektronické řídicí jednotky, která z těchto snímků podle kontrastních rozdílů identifikuje čáry na vozovce. Řídicí jednotka také určí polohu vozidla, a dokáže tak poznat, když vozidlo opouští jízdní pruh, dále analyzuje aktivitu řidiče a podle ní pozná, zda vozidlo vyjíždí z pruhu chtěně či nechtěně. V případě, že jednotka vyhodnotí vybočení z jízdního pruhu jako nechtěně, tak prostřednictvím vibrací ve volantu varuje řidiče, jakmile detekuje, že vozidlo nechtěně vyjíždí z jízdního pruhu, tak systém LANE KEEPING ASSIST zasáhne přes ESP, které koriguje směr jízdy pomocí brzdy na jedné straně vozidla a vozidlo zařadí zpět do jízdního pruhu.



**Obr. 6.2** – Systém LANE KEEPING ASSIST v provozu [24]

## 6.4 CROSS-TRAFFIC ASSIST + BAS plus:

System, který pomáhá řidiči v případě, že existuje riziko kolize na křižovatkách. Pomocí stereo kamery a radarových senzorů, které monitorují dopravní podmínky kolem vozidla, a předává tuto informaci do systému elektronické řídicí jednotky. Pokud tento předběžný systém rozpozná nebezpečnou situaci během průjezdu křižovatkou, vyzve řidiče k zahájení nouzového brzdění vizuálním a akustickým varováním. V případě, že řidič sešlápne brzdový pedál nedostatečně, tak systém BAS PLUS automaticky zvýší brzdový tlak, na takovou hodnotu, aby bylo nouzové brzdění dostatečně efektivní. System se při brzdění snaží využít veškerou brzdnou dráhu, kterou má k dispozici, aby nebyl ohrožen vozidly za sebou. System CROSS-TRAFFIC ASSIST je v provozu při rychlostech až do 72 km/h, zatímco BAS PLUS dokáže pomoci řidiči situacích při jakékoliv rychlosti.



**Obr. 6.3** – Senzory detekovali možné nebezpečí při průjezdu křižovatkou [25]

## 6.5 ADAPTIVE BRAKE

System ADAPTIVE BRAKE rozšiřuje rozsah ESP, o funkci HOLD a HILL START ASSIST, které automaticky brání neúmyslnému pohybu vozidla dopředu nebo dozadu z nehybné polohy neboli asistent rozjezdu do kopce. System ADAPTIVE BRAKE zaměstnává system ESP, který je součástí systémů protiblokovacího brzdového systému (ABS), System regulace prokluzu kol (ASR) a brzdového asistentu BAS.

## 6.6 CROSSWIND ASSIST

System CROSSWIND ASSIST využívá přesných snímačů elektronického stabilizačního systému ESP ke korekci směru vozidla, v případech, když system elektronické řídicí jednotky s využitím snímačů detekuje změnu směru vozidla díky působení boční síly v podobě větru, který negativně ovlivňuje ovladatelnost vozidla, tak system přibrzdí kola na straně působícího bočního větru, tím zajistíme otáčivý pohyb kolem svislé osy proti směru bočního větru, což snižuje posunutí vozidla ve směru působícího větru.



**Obr. 6.4** – Systém CROSSWIND ASSIST při působení bočního větru [26]

## 6.7 PRE-SAFE BRAKE

Systém PRE-SAFE BRAKE je závislý na sběru dat od stereo kamery a radarových senzorů, které monitorují dopravní podmínky kolem vozidla a předává tuto informaci do systému elektronické řídicí jednotky. V případě, že systém detekuje možnost hrozícího nárazu do vpředu jedoucího vozidla systém PRE-SAFE BRAKE cca 2,6 sekundy před nárazem, vybídne řidiče vozidla k reakci prostřednictvím vizuálního a zvukového signálu. Pokud řidič nereaguje, tak systém PRE-SAFE BRAKE cca 1,6 sekundy před nárazem, po třech výstražných zvukových signálech, vydá signál prostřednictvím vibrace, kterým řidiče varuje a systém dokáže zahájit částečné brzdění za účelem zpomalení vozidla, pokud řidič sešlápně brzdový pedál, systém BAS PLUS vyhodnotí odpovídající potřebný brzdový tlak pro efektivní zpomalení či zastavení, takovým způsobem, aby vozidlo využilo maximální brzdovou dráhu. Pokud řidič stále nereaguje, systém PRE-SAFE BRAKE cca 0,6 sekundy před nárazem dokáže spustit nouzové brzdění těsně před nevyhnutelnou srážkou, a výrazně tak zmírnit sílu nárazu. Systém je aktivní při rychlosti od 30 do 200 km/h.

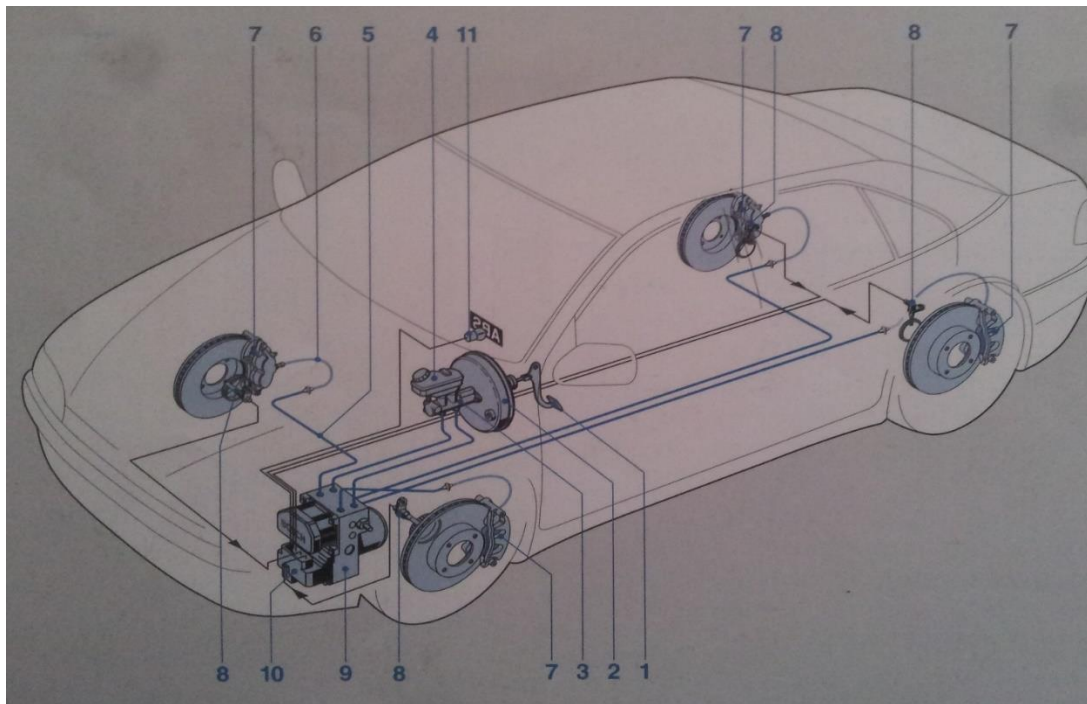


## 7 NÁVRH TESTOVANÝCH SYSTÉMŮ

### 1. Hydraulický brzdový systém (Obr. 7.1)

Komponenty tohoto hydraulický systém jsou:

- Dvouokruhový systém se zapojením X
- Kotoučové brzdy vnitřně chlazené s plovoucími třmeny
- BAS
- ABS



**Obr. 7.1** - Hydraulický brzdový systém s ABS a BAS [27]

(1)-Brzdový pedál, (2)-BAS, (3)-Hlavní válec, (4)-Vyrovňovací nádržka, (5)-Brzdové potrubí, (6)-Brzdové hadice, (7)-Brzda kola, (8)Snímač otáček kola, (9)-Hydraulická jednotka, (10)-ABS, (11)-Kontrolka ABS

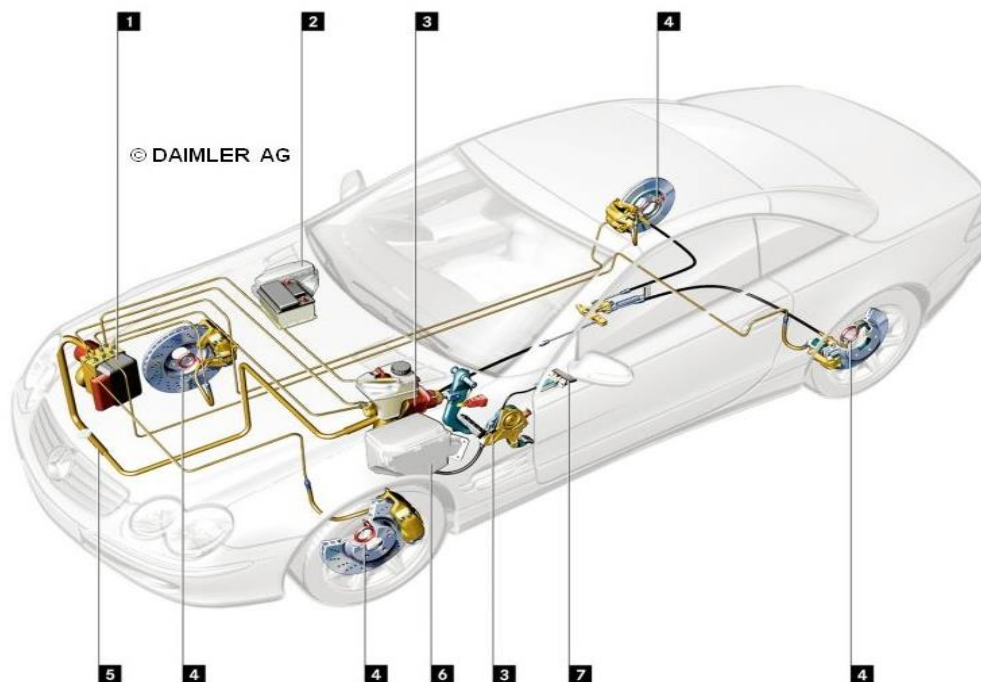
### 2. Elektrohydraulický brzdový systém (obr. 7.2)

Elektrohydraulický systém oproti hydraulickému systému není ovládán přímo pedálem řidiče, ale je založen na zjištění síly působící na brzdový pedál. Ovládací jednotka poté tento pokyn vyhodnotí na základě signálů z elektronických snímačů a odešle je do řídicí jednotky a následně tyto povely zpracovává hydraulická jednotka, kde pro každé jednotlivé kolo vytvoří potřebný brzdný tlak, který je přenášen přes brzdné členy na brzdové kotouče. Takovéto řešení umožňuje přesné dávkování brzdného účinku v reálném čase pro různé zpomalení, adhezní podmínky a dnes také v závislosti na aktuálním brzdění pohonnou jednotkou, která také zajišťuje regeneraci brzdné energie. Při výpadku systému je síla, kterou působí řidič na pedál, přímo přenášena přes hydraulický válec na brzdy kol a nehrozí tak ztráta ovladatelnosti brzd vozů.



Komponenty elektrohydraulického brzdového systému:

1. Hydraulická jednotka s řídicí jednotkou SBC
2. Pojistky
3. Ovládací jednotka
4. Snímač otáček kola
5. Hydraulické vedení
6. Řídicí jednotka ESP
7. Snímač úhlu zatáčení



**Obr. 7.2** - Sensotronic brake control – Mercedes-Benz [28]

Součástí tohoto elektrohydraulického brzdového systému jsou dále i tyto systémy:

- *ABS (Anti lock Brake system)*
- *ASR (Automatic Slip Regulation)*
- *ETS (Electronic Traction System)*
- *ESP (Electronic Stability Program)*
- *BAS (Brake Assist System)*

### 3. Elektrohydraulický systém obohacený o progresivní asistenční systémy

Komponenty tohoto brzdového systému:

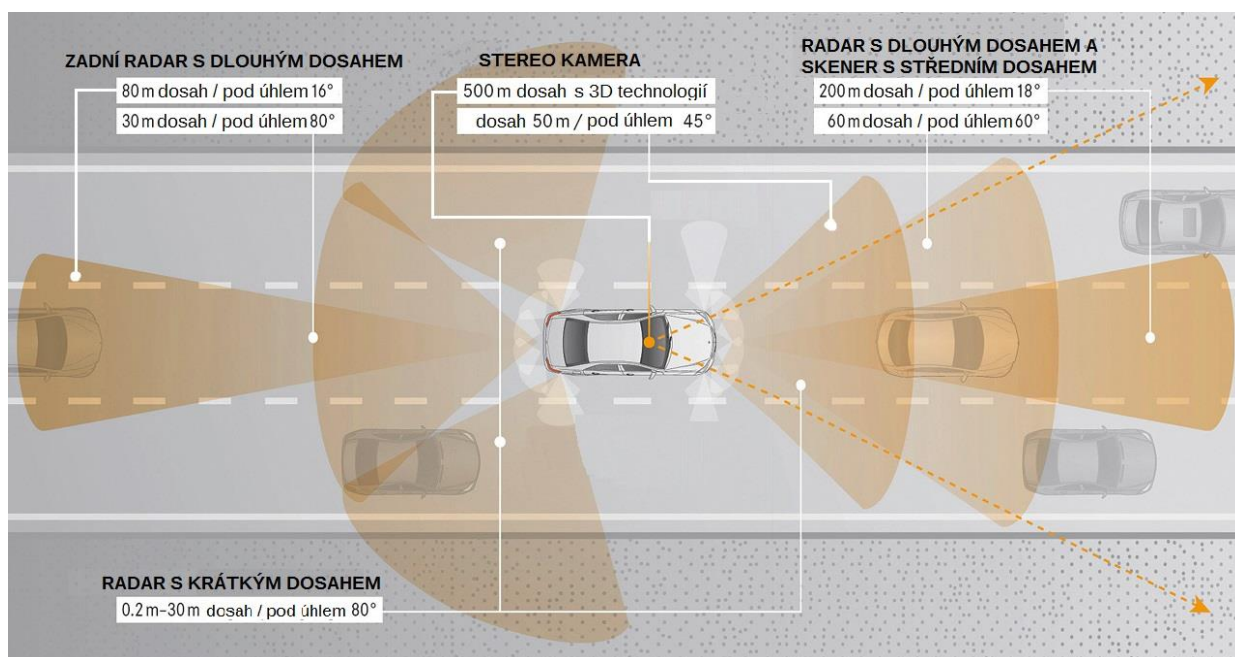
Oproti elektrohydraulickému systému popsanému výše, tedy:

- *ABS (Anti lock Brake system)*
- *ASR (Automatic Slip Regulation)*
- *ETS (Electronic Traction System)*
- *ESP (Electronic Stability Program)*
- *BAS (Brake Assist System),*

tento systém navíc obsahuje:

- *Senzory (radary, skenery)*
- *Stereo kamera*

Na základě těchto komponentů dokáže automobil mapovat prostory kolem sebe a tím i předcházet nehodám. Systém používá celkem 6 radarových senzorů, plus jeden s dlouhým a jeden s krátkým dosahem. Tyto radarové senzory slouží k detekci příslušných překážek, jako jsou vozy nebo lidé v oblasti před, vedle i za vozem.



**Obr. 7.3** – Rozložení senzorů a stereo kamery na vozidle [29]

Progresivní asistenční systémy, které využívají data z těchto komponentů a pomáhají nám s ovladatelností vozidla jsou:

- DISTRONIC PLUS
- STEERING ASSIST
- LANE KEEPING ASSIST
- CROSS-TRAFFIC ASSIST + BAS PLUS
- ADAPTIVE BRAKE
- CROSSWIND ASSIST

Tyto asistenční systémy jsou popsány výše v kapitole 6. Progresivní asistenční systémy.

## 8 VYHODNOCENÍ VARIANT

Jízdní stabilita a ovladatelnost vozidla při kritických situacích patří k hlavním předpokladům aktivní bezpečnosti vozidla a posádky v něm. Při vyhodnocování variant jsem se zaměřil na práci brzdových systémů, které podporují ovladatelnost a stabilitu vozidla při jízdě na vozovkách. Základní podmínkou je přilnavost kol vozidla k vozovce. Na vozidlo a na jeho ovladatelnost působí několik faktorů:

- *momenty, které se snaží otočit vozidlo kolem jeho svislé osy*
  - *většinou jde o přetáčivost nebo nedotáčivost*
- *momenty kol, které se snaží způsobit prokluz kol*
  - *při nedostatečné adhezi kol vozidla s vozovkou, při akceleraci, aj.*
- *jiné síly*
  - *povětrnostní vlivy, odstředivá síla*

*Velikost adheze kol k vozovce ovlivňuje:*

- *druh povrchu vozovky (asfalt, štěrk, beton, aj.)*
- *přírodní podmínky (led, listí, voda)*
- *materiál pneumatiky kol*
- *velikost dezénu pneumatiky*
- *teplota vozovky, pneumatik*

Pro porovnání výše uvedených brzdových systému jsem navrhl několik situací, při kterých budu posuzovat chování jednotlivých variant řešení brzdového ústrojí.

### 8.1 První situace

#### **Popis situace:**

Řidiče vozidla, jedoucího rychlostí 20 km/h po komunikaci v pěší zóně, překvapí dítě náhlým vběhnutím do vozovky.

#### **Cíl:**

Vozidlo jedoucí je potřeba zastavit před překážkou dříve, než se vozidlo čelně střetne s překážkou.



**Obr. 8.1 - první situace [30]**

**Popis chování brzdových systémů během situace:**

1. brzdový systém

Zastavení vozidla je závislé na řidiči, který se pomocí brzdového pedálu snaží zastavit vozidlo dříve, než dojde ke kolizi, při sešlápnutí pedálu mu pomáhá posilovač brzdného účinku (BAS), a řidič tak nemusí vyvinout tak velkou sílu na pedál. V případě, že dojde ke skluzu kola, tedy i riziku prodloužení brzdné dráhy, tak se systém ABS snaží kola odblokovat a docílit dostatečné adheze mezi brzdícím kolem a vozovkou. Včasné zastavení je také závislé na reakční době řidiče, v případě selhání řidiče dochází ke kolizi. Při prudkém brzdění dále hrozí nebezpečí nárazu od vozidel jedoucích za námi.

2. brzdový systém

Zastavení vozidla je opět závislé na řidiči, kde průběh brzdění a rizika s ním spojené jsou stejné jako u 1. brzdového systému.

3. brzdový systém

Zastavení vozidla u tohoto systému už není jen v rukách řidiče, ale díky senzorům a radarům mapujících prostor a situaci kolem vozidla, je vozidlo schopno, při nedostatečné reakci řidiče, nejprve vizuálně či pomocí vibrací upozornit řidiče na hrozící nebezpečí nebo může vozidlo zasáhnout samostatně a zastavit vozidlo. Navíc je schopno zjistit potřebnou brzdovou sílu pro zastavení na dráze před hrozící překážkou a zastavit vozidlo na bezpečné vzdálenosti, a tím neohrozit vozidla jedoucí za ním.

## 8.2 Druhá situace

### Popis:

Řidiče vozidla, jedoucího po parkovišti s příčným parkováním, ohrozí vozidlo vyjíždějící ze svého parkovacího místa, jak je vidět na obr. 8.2. Mezi vozidlem jedoucím rychlostí 30 km/h a vozidlem opouštějícím své parkovací místo, hrozí nebezpečí kolize.

### Cíl:

Je potřeba této kolizi zabránit zastavením vozidla či úhybným manévrem okolo vyjíždějícího vozidla, a tím se vyvarovat škodě na vozidlech či možným zraněním účastníků možné nehody.



**Obr. 8.2** - druhá situace [17]

### Popis chování brzdových systémů během situace:

#### 1. brzdový systém

Zastavení vozidla nebo úhybný manévr vozidlu vyjíždějícího z parkovacího místa je zcela závislé na reakci a schopnosti řidiče vozidla. Při brždění řidiči vypomáhá řidiči BAS, při skluzu kola zasahuje systém ABS a snaží se docílit dostatečné adheze mezi koly a vozovkou, při úhybném manévru řidičovy nenapomáhají žádné asistenty.

#### 2. brzdový systém

Zastavení vozidla nebo úhybný manévr je opět závislý na řidiči, kde průběh brždění a rizika s ním spojené jsou stejné jako u 1. brzdového systému.



### 3. brzdový systém

Informace o vyjíždějícím vozidle z parkovacího stání je díky sensorům a radarům zpracovávána elektronickou řídicí jednotkou, dále vyhodnocováno a data předána ovládací jednotce. V případě, že řidič nereaguje, tak je vizuálně a pomocí vibrací varován na hrozící nebezpečí, a dále když řidič stále nereaguje, tak řídicí jednotka zasáhne sama a pomocí systému LANE KEEPING ASSIST se vyjíždějícímu vozidlu samo vyhne nebo tuto možnost vyhodnotí jako rizikovou a zvolí možnost brždění a zastaví vozidlo před vyjíždějícím vozidlem.

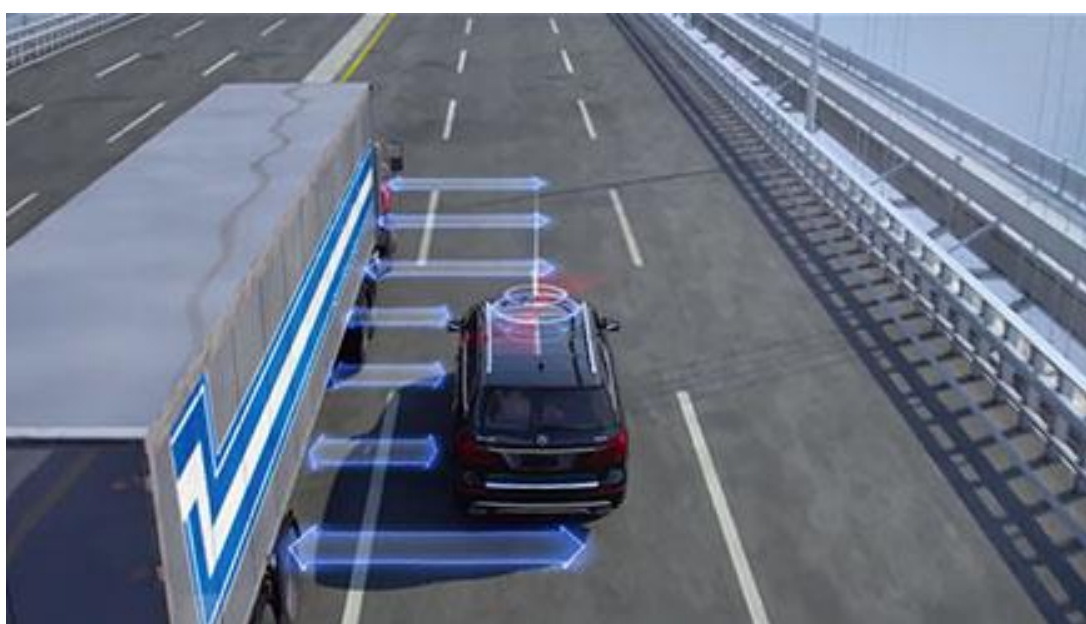
## 8.3 Třetí situace

### Popis:

Vozidlo jedoucí po víceproudé komunikaci je ovlivňováno boční silou, která je vyvolána účinkem silného bočního větru. Boční síla negativně ovlivňuje ovladatelnost vozidla a snaží se vozidlo posouvat po vozovce ve směru větru nebo dokonce se snaží vozidlo převrátit. Vozidlo na víceproudé komunikaci předjíždí nákladní vozidlo a tím prochází třemi stavy se dvěma mezistavy působení boční síly na vozidlo. Kde nejprve nežli se vozidlo přiblíží k nákladnímu vozidlu, tak na něj působí boční síla, dále při předjíždění dochází k postupnému zákrytu vozidla za nákladní vozidlo a tím proměnlivému působení boční síly na vozidlo až je vozidlo v plném zákrytu a nepůsobí na něj téměř žádná boční síla a následně se začíná vozidlo dostávat před nákladní vozidlo a začíná na něj od přední části postupně opět působit boční síla, nejprve na přední kolo a posléze na obě do fáze, kde boční síla působí opět na celé vozidlo.

### Cíl:

Vozidlo je třeba zachovat přes všechny tyto fáze stále ovladatelným.



**Obr. 8.3** - třetí situace [18]

## Popis chování brzdových systémů během situace:

### 1. brzdový systém

Ovladatelnost vozidla je závislá na řidiči, v případě bočního větru musí řidič na boční posuv vozidla po vozovce reagovat sám pomocí ovládacího členu - volantu.

### 2. brzdový systém

Vozidlo ve fázích mezistavů je díky silovému účinku bočnímu větru otáčeno kolem své svislé osy. V této situaci řidiči pomáhá systém ESP, kde díky snímači úhlu zatáčení dokáže systém ESP, na základě dat obdrženy od snímačů, vyrovnat vozidlo přibrzděním příslušných kol a tím vyvolat potřebný moment, který bude v rovnováze s tím, co působí na vozidlo od větru. Systém ESP pracuje i ve fázi, kdy na vozidlo působí boční síla na celou plochu vozidla a snaží se ho z původně určené dráhy vychýlit.

### 3. brzdový systém

Podobně jako u 2. brzdového systému je zde využíváno systému ESP, snímačů úhlu natočení a otáček kol, které předávají informace systému CROSSWIND ASSIST, jenž vyhodnotí situaci a optimalizuje zásah jednotlivých brzd pro řešení dané situace – silový účinek brzd vytváří opačný moment proti momentu způsobeném boční silou od větru a snaží se tedy vyrovnat vozidlo.

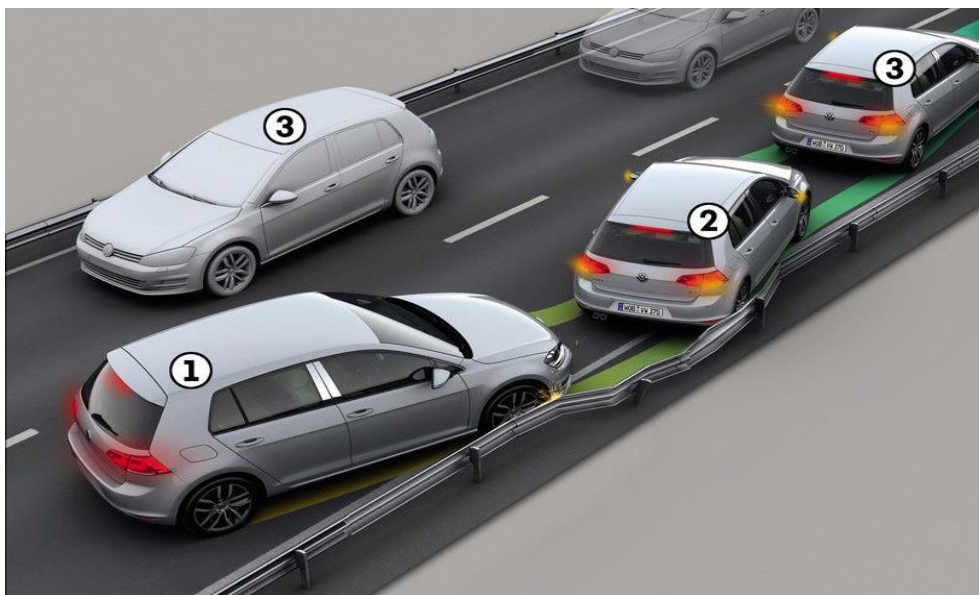
## 8.4 Čtvrtá situace

### Popis:

U řidiče vozidla jedoucího po rychlostní komunikaci či dálnici dochází k mikrosnánku, vozidlo se nekontrolovatelně pohybuje po komunikaci.

### Cíl:

Vozidlo je potřeba i přes spánek řidiče udržet i nadále ve svém jízdním pruhu, a tak neohrozit účastníky jízdního provozu kolem sebe.



**Obr. 8.4** - čtvrtá situace [19]



### **Popis chování brzdových systémů během situace:**

#### 1. brzdový systém

V případě mikrospánku řidiče a nekontrolovatelnému pohybu vozidla po vozovce, tento systém nijak nemůže pomoci zabránit nehodě.

#### 2. brzdový systém

Stejně jako u 1. brzdového systému tento systém není schopný zabránit či upozornit řidiče na blížící se nehodu.

#### 3. brzdový systém

U tohoto systému je řidičova aktivita sledována a v případě, že systémy vyhodnotí, že řidič usnul a vozidlo tím vyjíždí ze svého jízdního pruhu nebo ohrožuje vozidlo před sebou nedostatečnou vzdáleností, což vozidlo vyhodnotí pomocí sonarů a radarů, které mapují okolí kolem vozidla, tak systémy DISTRONIC ASSIST, LANE KEEPING ASSIST a STEERING ASSIST zajistí to, že systémy nejprve řidiče vizuálně upozorní, když řidič stále nereaguje, tak je upozorněn pomocí vibrací a když ani toto nepřinutí řidiče reagovat, tak se tento brzdový systém postará o vozidlo a udrží ho ve svém jízdním pruhu a udrží dostatečnou vzdálenost před jedoucím vozidlem a tím zabráni nehodě.

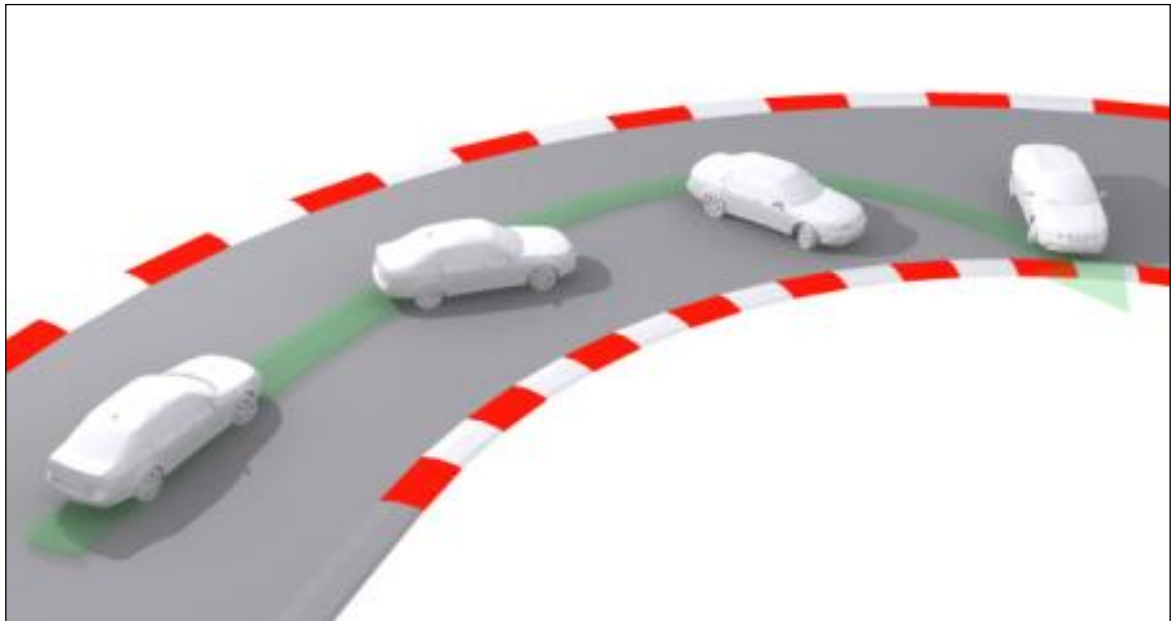
## **8.5 Pátá situace**

### **Popis:**

Vozidlo jedoucí po zmrzlé vozovce rychlostí 60 km/h vjíždí do zatáčky, při průjezdu zatáčkou dochází, díky zmrzlé vozovce, ke ztrátě adheze na kolech zadní nápravy a tím se vozidlo dostává do přetáčivého stavu a kola zadní nápravy se snaží předjet kola přední nápravy a tím dochází k rotaci vozidla podle svislé osy.

### **Cíl:**

Vozidlo je třeba dostat do stavu, kdy je opět plně ovladatelné, tedy vyrovnat přetáčivý účinek.



**Obr. 8.5** - pátá situace [20]

**Popis chování brzdových systémů během situace:**

1. brzdový systém

V případě přetáčivého pohybu vozidla, je ovladatelnost vozidla závislá na schopnostech řidiče, tento systém nijak nemůže pomoci zabránit přetáčení.

2. brzdový systém

V případě přetáčivého pohybu vozidla, vozidlu pomáhá systém ESP, který díky snímačům úhlů zatočení dokáže rozpoznat přetáčivost vozidla a snaží se ji pomocí přibrzdění vnějších kol korigovat a tím zlepšuje ovladatelnost vozidla projíždějící zatáčkou.

3. brzdový systém

Podobně jako u 2. brzdového systému i u tohoto systému se při přetáčivém pohybu snaží systém ESP korigovat přetáčivost vozidla a tím zlepšit ovladatelnost.

## **8.6 Šestá situace**

**Popis:**

Vozidlo jedoucí z kopce rychlostí 80 km/h po vozovce, znečištěné šterkem a spadlým listím přijíždí na křižovatku, kde kvůli přednosti v jízdě je třeba vozidlo zastavit. Vozidlo při brzdění díky snížené adhezi způsobené nečistotami dochází ke skluzu některých kol vozidla a tím k prodlužování brzdné dráhy. Kvůli možné rozdílné adhezi na jednotlivých kolech vozidla může působit točivý moment kolem svislé osy vozidla.

## Cíl:

Vozidlo je třeba včas bezpečně a kontrolovaně zastavit.



**Obr. 8.6** - šestá situace [21]

### **Popis chování brzdových systémů během situace:**

#### 1. brzdový systém

Zastavení vozidla je závislé na řidiči, který se pomocí brzdového pedálu snaží zastavit vozidlo dříve, než dojde ke kolizi, při sešlápnutí pedálu mu pomáhá posilovač brzdného účinku (BAS), a řidič tak nemusí vyvinout tak velkou sílu na pedál. V případě, že dojde ke skluzu kola, tedy i riziku prodloužení brzdné dráhy, tak se systém ABS snaží kola odblokovat a docílit dostatečné adheze mezi brzdícím kolem a znečištěnou vozovkou. Kvůli rozdílné adhezi na každém kole, ale dochází k otáčivému účinku vozidla, který musí řidič pomocí řídicího členu korigovat.

#### 2. brzdový systém

Zastavení vozidla je opět závislé na řidiči, kde průběh brždění a rizika s ním spojené jsou stejné jako u 1. brzdového systému, ale na rozdíl od 1. brzdového systému tento brzdový systém obsahuje systém ESP, který se snaží korigovat možné otáčivé účinky způsobené rozdílnou adhezí na každém kole vozidla a tím zlepšit ovladatelnost vozidla.

#### 3. brzdový systém

V případě, že řidič sešlápne brzdový pedál nedostatečně, tak systém BAS PLUS automaticky zvýší brzdný tlak, na takovou hodnotu, aby bylo nouzové brždění dostatečně efektivní. Systém se při brždění snaží využít veškerou brzdnu dráhu, kterou má k dispozici, aby nebyl ohrožen vozidly za sebou. V případě prokluzu pomáhají systémy ABS a ESP, které se snaží udržet vozidlo ovladatelné a zkrátit brzdnu dráhu, tak aby vozidlo včas zastavilo.

## 9 ZÁVĚR

V úvodu bakalářské práce jsou popsány legislativní požadavky na brzdy a brzdňý účinek podle EHK č. 13, kterými se musí výrobce vozidel řídit. Brzdový systém patří k nejdůležitějším prvkům aktivní bezpečnosti a zásadně ovlivňuje jízdní vlastnosti vozidla.

V práci uvádím přehled a rozdělení brzdových soustav, kde se zabývám jejím uspořádáním a popisem jednotlivých brzdových soustav. V dnešní době se vozidla neobejdou bez systémů, které napomáhají řidiči s ovládatelností vozidla v kritických situacích, a tak dále popisují asistenční systémy, jejichž součástí jsou protiblokovací a protipokluzové systémy, ale díky technologickému vývoji už nyní ve vozidlech využíváme i některých progresivních asistenčních systémů, které jsem popsal v šesté kapitole mé práce.

V další části v sedmé a osmé kapitole předkládám studii zaměřenou na ovladatelnost vozidla, ve které jsou jednotlivé brzdové systémy porovnány s ohledem na jejich chování v kritických situacích. Členění jsem provedl s myšlenkou rozdělit varianty uspořádání podle generačního vývoje a uvedl jsem 3 typy brzdových systémů. 1. brzdový systém můžeme považovat za technologicky nejstarší a 3. brzdový systém za technologicky novodobý. Systémy byly posuzovány s ohledem ke kritickým situacím, které mohou v provozu nastat.

Součástí studie je i vyhodnocení chování jednotlivých systémů v dané situaci. Ty byly navrženy tak, aby se vozidla dostala do takových situacích, které ovlivňují jejich ovladatelnost a brzdou dráhu, a bylo možné na jejich základě popsat chování navržených systémů. Z vyhodnocení uvedených variant brzdových systémů vyplývá, že 3. progresivní brzdový systém doplněný inovativními asistenčními systémy pozitivně ovlivňuje ovladatelnost vozidla v kritických situacích. S ohledem na bezpečnost je systém obsahující tyto asistenční systémy, využívající radarů a senzorů mapující okolí vozidla, velmi účinný a řidiči poskytuje vysokou míru ovladatelnosti vozidla.

Domnívám se, že rozvoj technické úrovně brzdových systémů se bude stále více opírat o progresivní akční členy a elektronické systémy. V dnešní době se daří částečně nahrazovat lidský faktor, a proto si myslím, že tyto tendence budou i nadále pokračovat nežli se dočkáme vozidla, které bude v ovládání zcela zbaveno lidského faktoru, a které bude řízeno na základě velmi rychlé a přesné analýzy provozních podmínek pomocí mechatronických systémů na takové úrovni, že nehodovost téměř vymizí a s tím i spojené ztráty na zdraví či na životech.

## 10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Jan, Z.; Ždánský, B. *Automobily 1. Podvozky*; Avid s.r.o.: Brno, [online]. [cit. 2016-06-11], 2006., ISBN 80-903671-3-5.
- [2] *Brzdy a brzdové soustavy* [online]. [cit. 2016-06-11], Dostupné z: <http://www.brzdy.websnadno.cz/>
- [3] POST, Wulf. *Konvenční a elektronické brzdové soustavy*. 1. české vyd. Překlad Stanislav Hanák, Tomáš Kampán. Praha: Robert Bosch, [online]. [cit. 2016-06-11], 2004. Technické vzdělávání. ISBN 80-903132-6-4.
- [4] BRZDY A BRZDNÁ ZA ŘÍZENÍ AUTOMOBILŮ. [online]. [cit. 2016-06-14]. Dostupné z: [http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-teo-10.0-brzdyabrzdnaazarizeniautomobilu\\_zakladnipojmy.pdf](http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-teo-10.0-brzdyabrzdnaazarizeniautomobilu_zakladnipojmy.pdf)
- [5] VLK, F.: *Dynamika motorových vozidel*. Brno: František Vlk, [online]. [cit. 2016-06-11], 2000,
- [6] VLK, František. *Elektronické systémy motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: František Vlk, [online]. [cit. 2016-06-11], 2002. ISBN 80-238-7282-6.
- [7] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*. 3., přeprac., rozš. a aktualiz. vyd. Brno: František Vlk, [online]. [cit. 2016-06-11], 2006. ISBN 80-239-6464-X.
- [8] Brzdy [online]. [cit. 2016-06-11], Dostupný z: <http://www.autoznanosti.cz/index.php/podvozek-a-kola/33-brzdyi.html>
- [9] GSCHEIDLE, Rolf. *Přručka pro automechanika*. Praha: Sobotáles, [online]. [cit. 2016-06-11], 2001. ISBN 80-85920-76-X.
- [10] Mechanismus ruční brzdy. *Katalog náhradních dílů* [online]. [cit. 2016-06-11], Dostupné z: [http://oldfiat.wz.cz/servis/knd/nd\\_43.gif](http://oldfiat.wz.cz/servis/knd/nd_43.gif)
- [11] Předpis Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK/OSN) č. 13. *Přístup k právu Evropské unie* [online]. [cit. 2016-06-11], Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:257:0001:0196:CS:PDF>
- [12] Brzdová kapalina. *Fuchs* [online]. [cit. 2016-06-11], Dostupné z: <http://www.fuchs-oil.cz/index.php/automotive/brzdova-kapalina.html>
- [13] Brzdové systémy Carbon & Ceramic – Superbrzdy. *Automobil* [online]. 2015 [cit. 2016-06-08]. Dostupné z: [http://www.automobilrevue.cz/rubriky/automobily/technika/brzdove-systemy-carbon-ceramic-superbrzdy\\_43832.html](http://www.automobilrevue.cz/rubriky/automobily/technika/brzdove-systemy-carbon-ceramic-superbrzdy_43832.html)

- [14] Brzdění silničních vozidel. *Vysoká škola báňská* [online]. [cit. 2016-06-14]. Dostupné z: [http://homen.vsb.cz/~s1i95/mvd/Moodle/6\\_1.pdf](http://homen.vsb.cz/~s1i95/mvd/Moodle/6_1.pdf)
- [15] *Regenerativní brzdění* [online]. [cit. 2016-06-11]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/regenerativni-brzdeni/>
- [16] [online]. [cit. 2016-06-21]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/auto/387009-narazove-testy-budou-zkousel-i-elektronicke-hlidace.html>
- [17] [online]. [cit. 2016-06-22]. Dostupné z: <http://dotnewsin.com/cars/18-innovative-features-in-audis-newest-suv/>
- [18] [online]. [cit. 2016-06-22]. Dostupné z: <https://www.mbusa.com/mercedes/technology/videos/detail/title-safety/videoId-e84b9423c67a7410VgnVCM100000ccec1e35RCRD>
- [19] [online]. [cit. 2016-06-22]. Dostupné z: [http://www.caricos.com/cars/v/vw/2013\\_volkswagen\\_golf/1024x768/100.html](http://www.caricos.com/cars/v/vw/2013_volkswagen_golf/1024x768/100.html)
- [20] [online]. [cit. 2016-06-22]. Dostupné z: <https://ziontech.wordpress.com/2009/01/07/driving-on-ice-and-snow/>
- [21] [online]. [cit. 2016-06-24]. Dostupné z: <https://www.myfordmag.com/service/ford-service-leaves-enemy>
- [22] [online]. [cit. 2016-06-24]. Dostupné z: [http://www.mercedesbenz.de/content/germany/mpc/mpc\\_germany\\_website/de/home\\_mpc/passengercars/home/\\_used\\_cars/technical\\_data/saloons/c-class\\_w203.html](http://www.mercedesbenz.de/content/germany/mpc/mpc_germany_website/de/home_mpc/passengercars/home/_used_cars/technical_data/saloons/c-class_w203.html)
- [23] [online]. [cit. 2016-06-24]. Dostupné z: [https://techcenter.mercedes-benz.com/en/distronic\\_plus\\_steering\\_assist/detail.html](https://techcenter.mercedes-benz.com/en/distronic_plus_steering_assist/detail.html)
- [24] [online]. [cit. 2016-06-24]. Dostupné z: [https://techcenter.mercedes-benz.com/en/active\\_lane\\_keeping\\_assist/detail.html](https://techcenter.mercedes-benz.com/en/active_lane_keeping_assist/detail.html)
- [25] [online]. [cit. 2016-06-24]. Dostupné z: [https://techcenter.mercedes-benz.com/en/bas\\_plus\\_cross\\_traffic\\_assist/detail.html](https://techcenter.mercedes-benz.com/en/bas_plus_cross_traffic_assist/detail.html)
- [26] [online]. [cit. 2016-06-24]. Dostupné z: [https://techcenter.mercedes-benz.com/en/crosswind\\_assist/detail.html](https://techcenter.mercedes-benz.com/en/crosswind_assist/detail.html)
- [27] POST, Wulf. Konvenční a elektronické brzdové soustavy. 1. české vyd. Překlad Stanislav Hanák, Tomáš Kampán. Praha: Robert Bosch, 2004. Technické vzdělávání. ISBN 80-903132-6-4.
- [28] [online]. [cit. 2016-06-24]. Dostupné z: <http://atlanticmotorcar.com/mercedes-sensotronic-brake-control-sbc-faults-2/>

[29] [online]. [cit. 2016-06-27]. Dostupné z:

<http://www.extremetech.com/extreme/161832-2014-mercedes-s-class-review-the-best-most-technologically-advanced-car-you-will-ever-drive>