

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
AGRONOMICKÁ FAKULTA**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BRNO 2017

MARTIN KUCÍN



Hodnocení funkčních vlastností brzdových systémů motorových vozidel

Bakalářská práce

Vedoucí práce:
Prof. Ing. František Bauer, CSc.

Vypracoval:
Martin Kucín

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci:.....

.....vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....
podpis

Poděkování

Děkuji panu Prof. Ing. Františkovi Bauerovi, CSc. za cenné rady o odborné vedení při psaní bakalářské práce.

ABSTRAKT

Ve své bakalářské práci jsem se zaměřil na rozdělení a popis brzd a elektronických systémů motorových vozidel. Práce se zaměřuje na osobní automobily a na problematiku s tím spojenou. V jednotlivých kapitolách jsou popsány základní pojmy k pochopení problematiky, popis jednotlivých součástí a způsob funkce. Podstatnou kapitolou práce je popis jednotlivých elektronických systémů u brzd, především ABS, ESP, ASR a brzdový asistent, kde jsou popsány jednotlivé části a funkce daného systému. V závěru práce je porovnáváno vozidlo se systémem ABS a bez ABS.

Klíčová slova: základní pojmy, konstrukce brzd, princip činnosti, ABS

ABSTRACT

In my bachelor thesis I focused on the divided and described brakes and electronic systems in motor vehicle. The work focuses on cars and the problems associated with it. In each chapters I described the basic concepts for understanding, description of each component and method of working. Main chapter is a description electronic systems for brakes, especially ABS, ESP, ASR and braking assistant, which I described the parts and function of systems. The conclusion is compared vehicle with ABS and without ABS.

Keywords: basic concepts, construction of brakes, working brakes, ABS

Obsah

1	ÚVOD	9
2	CÍL PRÁCE	10
3	ZÁKLADNÍ POJMY	11
3.1	Doba brzdění	11
3.2	Brzdné zpomalení	12
3.3	Dráha brzdění	12
3.4	Přípustná brzdná dráha	13
3.5	Základní fyzikální podmínky při brzdění	14
3.6	Druhy brzdových soustav	17
3.6.1	Provozní brzdová soustava	17
3.6.2	Nouzová brzdová soustava	17
3.6.3	Parkovací brzdová soustava	17
3.6.4	Zpomalovací brzdová soustava	17
4	KAPALINOVÉ BRZDY	17
4.1	Hlavní brzdový válec	19
4.1.1	Hlavní brzdový válec s centrálním ventilem	19
4.2	Posilovač brzd	20
4.2.1	Podtlakový posilovač brzd	21
4.2.2	Hydraulický posilovač brzd	22
5	KOLOVÉ BRZDY	24
5.1	Bubnové brzdy	25
5.1.1	Vlastnosti bubnových brzd	25
5.1.2	Princip činnosti	26
5.2	Kotoučové brzdy	27
5.2.1	Vlastnosti kotoučových brzd	27
5.2.2	Princip činnosti	27
6	ELEKTRONICKÉ SYSTÉMY BRZD	28
6.1	Protiblokovací systém ABS	28

6.1.1	Požadavky na ABS	29
6.1.2	Princip činnosti	29
6.2	Protiprokluzový systém (ASR)	32
6.2.1	Požadavky na ASR	32
6.2.2	Princip činnosti	32
6.3	Systém dynamické stabilizace vozidla (ESP)	33
6.3.1	Požadavky na ESP	33
6.3.2	Princip činnosti	33
6.4	Brzdový asistent (BA)	35
6.4.1	Požadavky na brzdový asistent	36
7	POROVNÁNÍ VOZIDLA SE SYSTÉMEM ABS A BEZ ABS	38
7.1	Metodika měření brzdné dráhy a součinitele tření	38
7.1.1	Stanovení brzdného zpomalení vozidla	40
7.1.2	Výpočet brzdných drah	42
7.2	Metodika měření brzdného zpomalení	43
7.3	Zhodnocení výsledků obou měření	43
8	ZÁVĚR	45
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	47
	SEZNAM OBRÁZKŮ	49

1 ÚVOD

S prvním vývojem vozidla bylo potřeba také dané vozidlo bezpečně zastavit. Nejdříve jsme k tomuto účelu používali brzdy mechanické, které se ovládali pomocí pák a táhel.

V dnešní době, kdy se zvyšuje rychlost vozidel je potřeba vozidla zpomalit a zastavit rychleji než tomu bylo dříve.

Za tímto účelem bylo potřeba vymyslet nové brzdové systémy, které by splňovali dané požadavky na zpomalení a zastavení vozidla. Bylo nutné vymyslet brzdy do podoby, jak je známe dnes a to především bubnové a kotoučové brzdy.

Samořejmě samotné brzdy by již v dnešní době nestačili, tak se začali rozšiřovat o elektronické systémy, které velkým způsobem přispěly ke zvýšení bezpečnosti na silnicích.

V dnešní době jsou elektronické systémy již standartní výbavou motorových vozidel.

2 CÍL PRÁCE

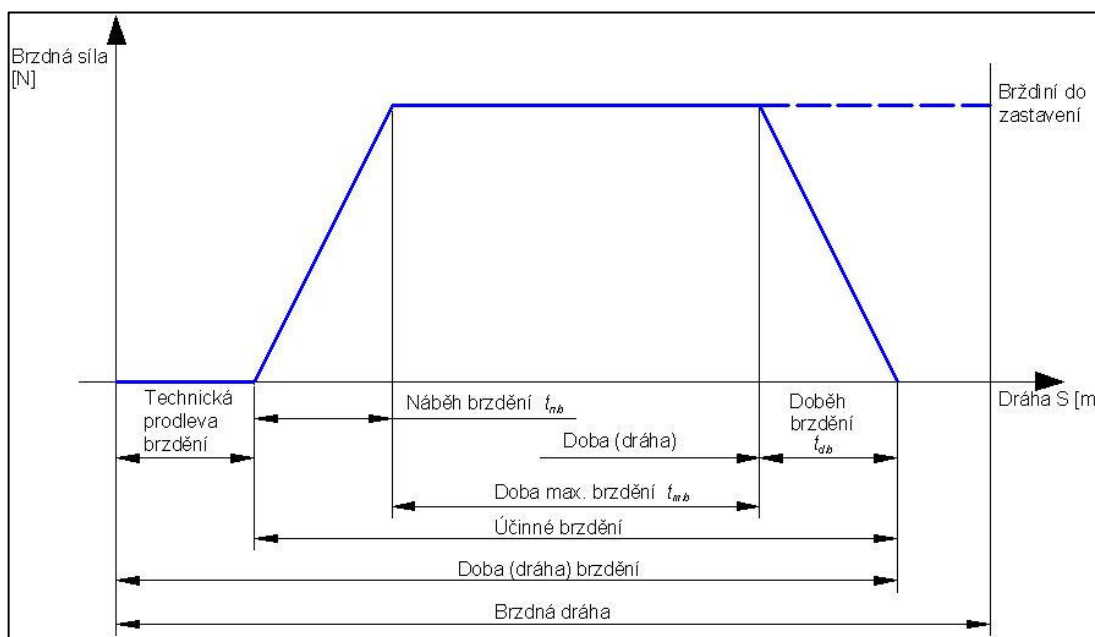
Cílem bakalářské práce je uvést současný stav funkčních systémů motorových vozidel. Dalším cílem bylo shromáždit technické parametry vybraných brzdových systémů, tabulkově a graficky zpracovat a ze získaných hodnot provést analýzu a závěr.

3 ZÁKLADNÍ POJMY

Brzdy patří mezi jedny z nejdůležitějších prvků ovlivňující bezpečnost provozu motorových vozidel, taktéž jsou nejvýkonnějším zařízením na vozidle. Je nutné, aby brzdy svou spolehlivostí a funkcí zabezpečily zpomalení vozidla na požadovanou rychlost, popřípadě vozidlo úplně zastavili a to při plném zachování směrové stability a ovladatelnosti vozidla. Brzdného účinku je dosahováno nejčastěji pomocí tření mezi stojícími a otáčejícími se součástmi brzdového systému, přičemž požadovaná velikost brzdného účinku je řízena řidičem. Při tomto způsobu brzdění vzniká brzdný účinek mezi pneumatikou a vozovkou, díky tomu je brzdný účinek omezen adhezí pneumatiky vůči vozovce [1].

3.1 Doba brzdění

Je doba, kdy řidič začne působit na brzdu vozidla, až do doby kdy brzdný účinek skončí nebo dojde k zastavení vozidla [1].



Obr. 1 Doba brzdění a její složky [12]

- **Doba technické prodlevy brzdy:** doba, která uplyne od okamžiku, kdy řidič začne působit na brzdu, až do doby, kdy se začne projevovat brzdny účinek [1].
- **Doba náběhu brzdění:** doba, která uplyne od okamžiku, kdy se začne brzdny účinek projevovat, až do doby, kdy dosáhne svého maxima [12].
- **Účinná doba brzdění:** doba, která uplyne od okamžiku, kdy se začne projevovat brzdny účinek, až do doby, kdy brzdny účinek zmizí nebo dojde k zastavení vozidla [1].
- **Doba náběhu brzdění:** doba, která uplyne od okamžiku, kdy řidič přestane působit na brzdu vozidla, až do doby, kdy účinek brzd pomine [1].

3.2 Brzdné zpomalení

Je snížení rychlosti vozidla za 1 sekundu způsobený brzdou nebo odlehčovací brzdou. Brzdné zpomalení se dělí na okamžité a střední. Okamžité brzdné zpomalení zjistíme pomocí přímého měření a střední brzdné zpomalení vypočítáme jako podíl rychlosti vozidla [$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$] a brzdné dráhy [m] [1]:

$$a = \frac{v^2}{25,9 \cdot s} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-2}]$$

3.3 Dráha brzdění

Představuje dráhu, kterou vozidlo ujede v průběhu brzdění [1].

- **Dráha technické prodlevy brzd:** dráha, kterou vozidlo ujede v době prodlevy brzd [1].
- **Dráha náběhu brzd:** dráha vozidlem ujetá v době náběhu brzd [1].
- **Dráha účinného brzdění:** dráha vozidlem ujetá v účinné době brzdění [1].
- **Dráha doběhu brzd:** dráha vozidlem ujetá v době doběhu brzd [1].

3.4 Přípustná brzdná dráha

Podle mezinárodního předpisu *EHK* č. 13 jsou stanoveny přípustné dráhy pro provozní a nouzové brzdění různých kategorií vozidel. Zde budou uvedeny pouze dráhy pro osobní automobily [3].

Požadavek na délku brzdné dráhy při provozním brzdění je dán vztahem:

$$s = 0,1 \cdot v_0 + \frac{v_0^2}{150} \text{ [m]}$$

kde: v_0 – počáteční rychlost vozidla [$\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$]

Pro osobní automobily je počáteční rychlost, ze které je prováděno měření účinku brzdění stanovena na hodnotu $v_0 = 80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ [3].

Po dosazení dostaneme:

$$s = 0,1 \cdot 80 + \frac{80^2}{150} = 50,7 \text{ m}$$

Z výsledku vyplývá, že maximální přípustná dráha pro provozní brzdění je 50,7 m.

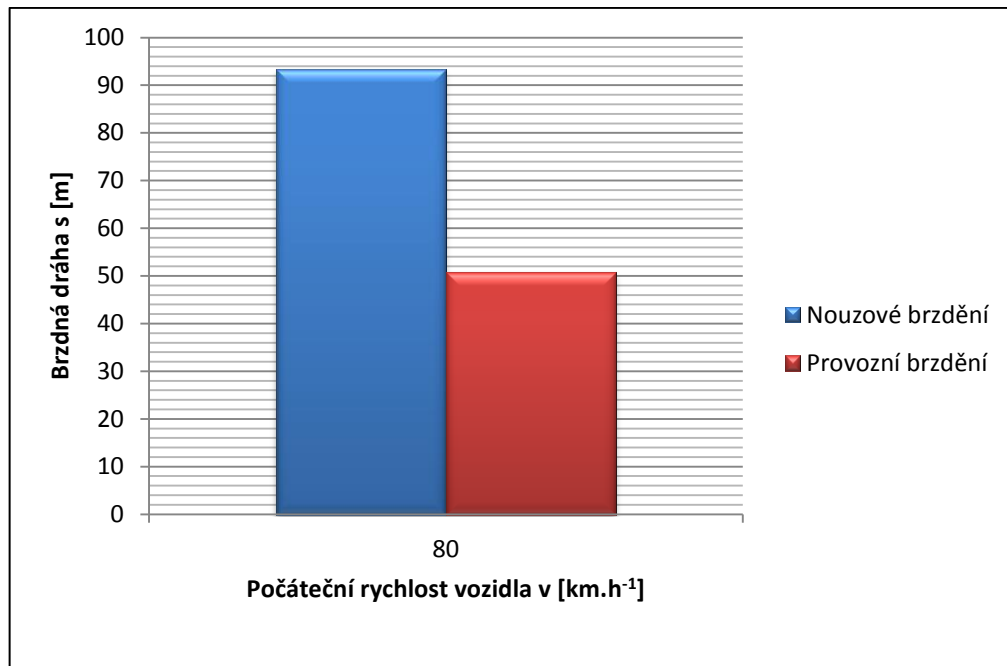
Požadavek na délku brzdné dráhy při nouzovém brzdění:

$$s = 0,1 \cdot v_0 + 2 \cdot \frac{v_0^2}{150} \text{ [m]}$$

Po dosazení dostaneme:

$$s = 0,1 \cdot 80 + 2 \cdot \frac{80^2}{150} = 93,3 \text{ m}$$

Z výsledku vyplývá, že maximální přípustná dráha při nouzovém brzdění je 93,3 m.



Obr. 2 Požadavky na brzdnou dráhu

Je zřejmé, že brzdná dráha při nouzovém brzdění je delší než při provozním brzdění. Jelikož nouzové brzdění se používá v případě, že dojde k selhání provozních brzd a může dojít k poruše jednoho brzdového okruhu a tím k prodloužení brzdné dráhy.

3.5 Základní fyzikální podmínky při brzdění

Kinetická energie pohybujícího se vozidla závisí na jeho hmotnosti a rychlosti. Při brzdění se přeměňuje pohybová energie vozidla na energii tepelnou [2].

Pohybovou energii vozidla můžeme vyjádřit pomocí vztahu:

$$E_K = \frac{m \cdot v^2}{2} \text{ [J]}$$

kde: E_K – kinetická energie vozidla [J]

m – hmotnost vozidla [kg]

v – pojezdový rychlost vozidla [$m \cdot s^{-1}$]

Ze vztahu vyplývá, že kinetická energie vozidla roste úměrně s hmotností a se čtvercem rychlosti. Při brzdění vzniká setrvačná síla F_s , která se rovná brzdě síle F_b na obvodu kola [2].

$$F_s = m \cdot a = F_b \text{ [N]}$$

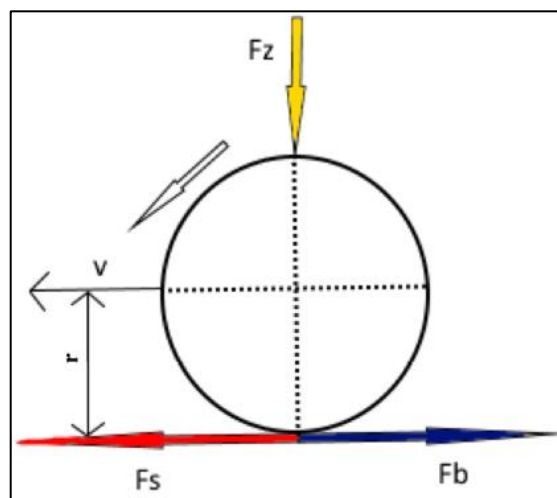
kde: a – zpoždění brzděného vozidla [$m \cdot s^{-2}$]

Maximální brzděná síla závisí na zatížení kola F_z a na velikosti tření mezi pneumatikou a vozovkou (součinitel záběru) μ . Můžeme ji určit ze vztahu[2]:

$$F_b = F_z \cdot \mu = m \cdot g \cdot \mu \text{ [N]}$$

kde: g – tíhové zrychlení [$m \cdot s^{-2}$]

μ – součinitel záběru, který závisí na povrchu a na pneumatikách [–]



Obr. 3 Brzděné síly na kole

F_z – zatížení kola, F_s – setrvačná síla, F_b – brzděná síla, v – pojezdová rychlost vozidla, r – dynamický poloměr kola

Pro zastavení vozidla na dráze se musí kinetická energie vozidla rovnat práci vykonané brzděnou silou F_b na dráze S_B [2].

$$E_K = F_b \cdot S_B \text{ [J]}$$

Po úpravě dostaneme vztah:

$$S_B = \frac{v^2}{2 \cdot g \cdot \mu} \text{ [m]}$$

Je zřejmé, že délka brzdné dráhy na zastavení vozidla je přímo závislá na čtverci rychlosti a nepřímo závislá na součiniteli záběru. To platí v případě, že jsou všechna kola brzděna stejným účinkem. V případě, že je brzděna pouze jedna náprava závisí síla F_b na hmotnosti připadající na tuto nápravu [2].

$$F_{b1} = m_1 \cdot g \cdot \mu \text{ [N]}$$

kde: m_1 – hmotnost vozidla připadající na brzděnou nápravu [kg]

Brzdná dráha bude:

$$S_B = \frac{v^2}{2 \cdot g \cdot \mu} \cdot \frac{m}{m_1} \text{ [m]}$$

Poměr hmotnosti m a m_1 pro brzděnou nápravu je > 1 , proto bude brzdná dráha delší. Celková brzdná dráha vozidla je však složena z dráhy, kterou vozidlo ujede v reakční době řidiče (1 s) S_1 , dráhy ujeté v reakční době brzd (0,2-0,3 s) S_2 , a vlastní dráhy brzdění S_B [2].

$$S = S_B + S_1 + S_2 = \frac{v^2}{2 \cdot g \cdot \mu} + v \cdot t_1 + v \cdot t_2 \text{ [m]}$$

kde: S_1 – dráha ujetá v reakční době řidiče t_1 [m]

S_2 – dráha ujetá v reakční době brzd t_2 [m]

Jelikož platí, že $F_s = F_b$ pak je $m \cdot a = m \cdot g \cdot \mu$, takže maximální zpomalení vozidla při brzdění závisí na tíhovém zrychlení a součiniteli záběru a platí [2]:

$$a_{\max} = g \cdot \mu \text{ [m]}$$

3.6 Druhy brzdových soustav

3.6.1 Provozní brzdová soustava

Má za úkol snížit rychlost vozidla nebo jeho úplné zastavení a to za všech podmínek, to znamená bez ohledu na rychlost, zatížení a velikost stoupání nebo klesání vozovky, přičemž musí vozidlo zůstat v přímém směru. Provozní brzdy jsou ovládány pouze nohou řidiče a jejich účinek musí být regulovatelný a rozdělený mezi kola jedné nápravy symetricky vůči podélné rovině souměrnosti vozidla [4] [18].

3.6.2 Nouzová brzdová soustava

Má za úkol zastavení vozidla v případě poruchy provozních brzd a musí působit alespoň na jedno kolo z každé strany vozidla. Soustava nemusí být samostatná, může to být neporušený okruh dvoukruhových provozních brzd nebo parkovací brzda [4].

3.6.3 Parkovací brzdová soustava

Má za úkol zajištění vozidla v nehybném stavu na klesající nebo stoupající vozovce a to i za nepřítomnosti řidiče [1].

3.6.4 Zpomalovací brzdová soustava

Má za úkol snížit rychlost vozidla podle potřeby při sjíždění dlouhých svahů a to bez použití provozní brzdy, nouzové nebo parkovací. Úkolem není vozidlo zastavit [4] [19].

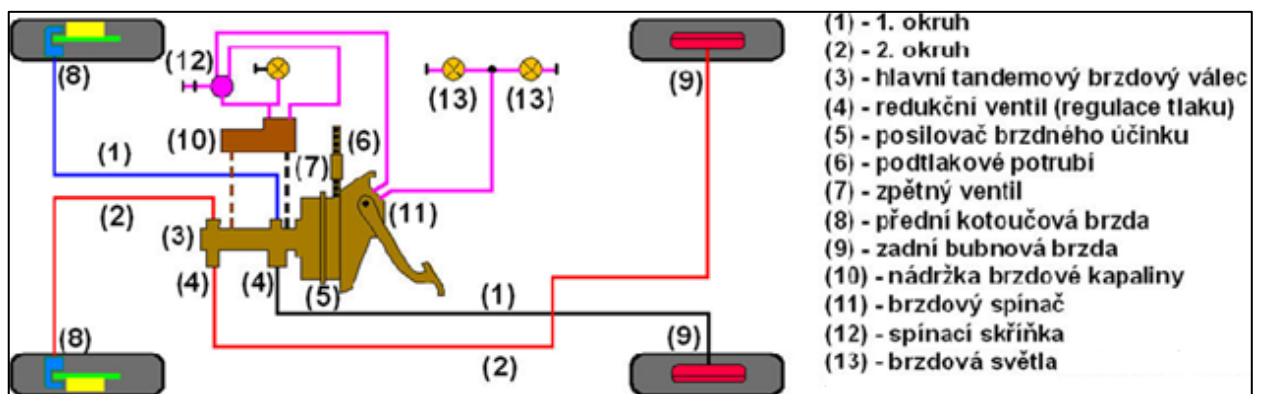
4 KAPALINOVÉ BRZDY

Kapalinová brzdová soustava (*obr. 4*) se skládá z hlavního brzdového válce (3), na který působí síla brzdového pedálu, která může být zvýšena posilovačem brzd (5). V určité části brzdné soustavy mohou být regulátory tlaku brzdové kapaliny (4) [4].

Jako kolové brzdy se nejčastěji používají u předních a zadních kol kotoučové brzdy (8), ale je možné použít u zadních bubnové brzdy (9). Dále se skládá z brzdového potrubí, brzdových hadiček a kolovými brzdovými válečky [4].

V dnešní době jsou brzdové soustavy tvořeny dvěma brzdovými okruhy kvůli bezpečnosti. U kapalinových brzd vyžaduje taková soustava použití dvojitého tandemového hlavního brzdového válce (3). V případě poruchy jednoho brzdového okruhu, zůstane v druhém brzdovém okruhu plný tlak a vozidlo může být zabrzděno [4] [15].

Kapalinové brzdové soustavy pracují na principu Pascalova zákona: „ Tlak vyvolaný vnější silou, která působí na povrch kapaliny v uzavřené nádobě, je ve všech místech kapaliny stejný. “ Pomocí brzdového pedálu je vytvořen tlak, který působí silou na píst v hlavním brzdovém válci. Kapalina přenáší tlakovou sílu na pístky v kolových brzdových válečkách. Pístky mají různě velké plochy. Na menší plochu pístku působí menší tlaková síla kapaliny a na větší plochu větší síla, přičemž tlak kapaliny je stejný. Kapalinové brzdy pracují s tlakem 120 bar, krátkodobě až 180 bar, a díky tomu můžou mít jednotlivé součásti malé rozměry. Při malých vůlích v kapalinových brzdách se po stlačení brzdového pedálu dá do pohybu malé množství kapaliny, tlak vzroste a brzdy začnou účinkovat [4] [16].



Obr. 4 Dvouokruhová brzdová soustava [4]

4.1 Hlavní brzdový válec

Úkolem hlavního brzdového válce je vytvořit tlak v každém brzdovém okruhu, převést sílu vytvořenou řidičem na hydraulickou brzdou sílu a umožnění rychlého snížení tlaku v systému v případě rychlého uvolnění brzdového pedálu. Podle předpisu musí být vozidlo vybaveno dvěma oddělenými brzdovými okruhy. Dosahuje se toho pomocí tandemového hydraulického válce se dvěma válci, které jsou za sebou. Jsou možná různá provedení hlavního válce, zde bude pouze popsán hlavní brzdový válec s centrálním ventilem [5].

4.1.1 Hlavní brzdový válec s centrálním ventilem

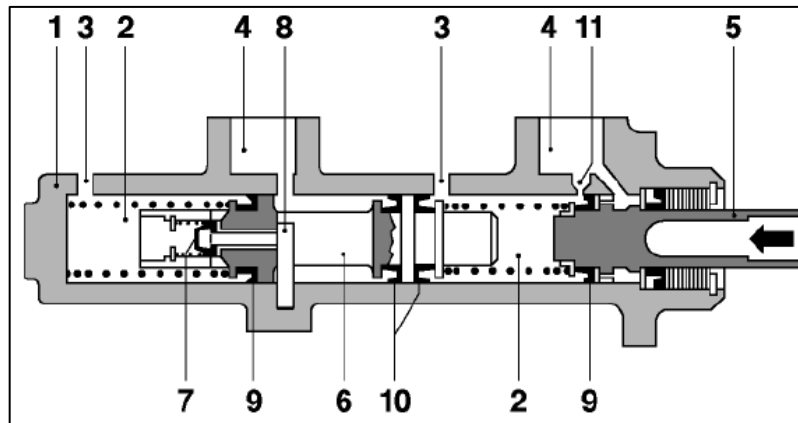
Hlavní (*obr. 5*) brzdový válec s centrálním ventilem se používá u vozidel s protiblokovacím systémem (ABS).

Důležitou součástí brzdového válce je plovoucí píst s integrovaným centrálním ventilem, který umožňuje brzdové kapalině při nebrždění přitékat otvorem pro dřík ventilu. V sekundárním otvoru není vyrovnávací otvor, protože jeho funkci zajišťuje centrální ventil. U vozidel s ABS hrozí nebezpečí, že při přejetí vyrovnávacího otvoru (11) dojde k poškození primární manžety (9) vlivem působení velkého tlaku, proto jsou hydraulické válce vybaveny dvěma centrálními ventily [5].

4.1.1.1 Princip činnosti

Síla, kterou působí řidič na pedál, působí přímo na tlačnou tyč pístu (5) a posouvá ji doleva. Zároveň dochází k přejíždění vyrovnávacího otvoru (11) a kapalina může tlačit plovoucí píst (6) doleva. Jakmile se plovoucí píst posune o 1 mm vlevo, dřík ventilu nedosedá na upínací pouzdro (8) a těsnění ventilu (7) utěsní tlakový prostor (2). Když se zvyšuje síla působící na brzdový pedál, dochází také ke zvyšování tlaku v obou tlakových prostorech.

Při uvolnění síly na pedálu se oba písty (5 a 6) pohybují doprava, až dojde k uvolnění vyrovnacího otvoru. Nyní může kapalina proudit zpátky do vyrovnávací nádržky [5].



Obr. 5 Hlavní brzdový válec s centrálním ventilem [6]

1 – těleso válce, 2 – tlakový prostor, 3 – připojení k brzdovému okruhu, 4 – připojení k vyrovnávací nádržce, 5 – tyč pístu, 6 – plovoucí píst, 7 – těsnění ventilu, 8 – opěrné pouzdro, 9 – primární manžeta, 10 – oddělovací manžeta, 11 – plnicí otvor

4.2 Posilovač brzd

Úkolem posilovače brzd je zvýšit sílu, kterou řidič působí na pedál při brzdění. Základním požadavkem na posilovače brzd je co nejmenší potřebná síla nohy na pedál a přitom musí zůstat možnost jemně odstupňovat brzdovou sílu. Dále také nesmí být ovlivněn cit pro míru brzdění [4] [15].

Rozlišujeme dvoje provedení posilovačů brzd: podtlakové, které využívá podtlak v sacím potrubí nebo kapalinové, které využívají tlak vytvořený v hydraulickém čerpadle [4].

4.2.1 Podtlakový posilovač brzd

Používá se převážně pro osobní automobily, u zážehových motorů je podtlak odebírán ze sacího potrubí. U vznětových motorů je podtlak vytvářen podtlakovým vakuovým čerpadlem, které je poháněno motorem [7].

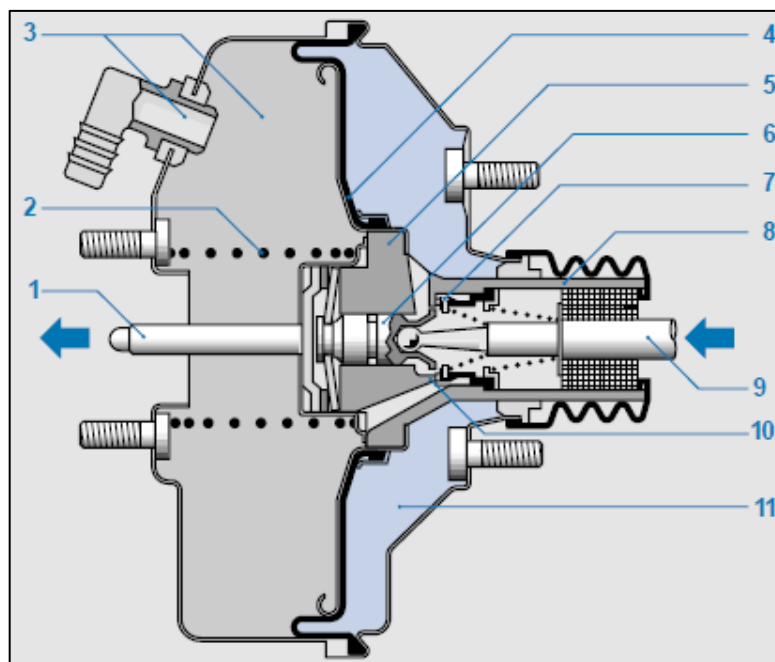
4.2.1.1 Konstrukce

Pomocí membrány (*obr. 6*) je oddělena podtlaková komora (3) a pracovní komora (11). Pístní tyč (9) přenáší řidičovu sílu nohy na pracovní píst (5), přičemž zesílená brzdná síla působí pomocí tlačné tyče (1) na hlavní brzdový válec [5].

4.2.1.2 Princip činnosti

Při brzdění se pohybuje pístní tyč k podtlakové komoře a přitlačuje manžetu dvojitého ventilu (7) do sedla ventilu (10). Tím dochází k oddělení podtlakové a pracovní komory. Při dalším pohybu pístní tyče se oddálí plnicí píst (6) od manžety dvojitého ventilu a do pracovní komory začne proudit atmosférický vzduch, tím vznikne v pracovní komoře vyšší tlak než v podtlakové komoře. Atmosférický tlak působí přes membránu (4) na talíř membrány [5].

Těleso ventilu (8) je unášeno talířem membrány ve směru k podtlakové komoře, což vede k podpoření síly nohy. Obě síly (síla nohy a posilující síla) tlačí talíř membrány proti síle tlačné pružiny (2). Díky tomu se tlačná tyč pohybuje a přenáší výstupní sílu na hlavní válec [5].



Obr. 6 Podtlakový posilovač brzd [5]

1 – tlačná tyč, 2 – tlačná pružina, 3 – podtlaková komora s přívodem, 4 – membrána s talířem, 5 – pracovní píst, 6 – plnící píst, 7 – dvojitý ventil, 8 – těleso ventilu, 9 – pístní tyč, 10 – sedlo ventilu, 11 – pracovní komora

4.2.2 Hydraulický posilovač brzd

Používá se u vozidel, která jsou vybavena posilovačem řízení s vysokotlakým hydraulickým čerpadlem, kde se využívá tlaku oleje i pro vytvoření posilovacího brzdného účinku a která mají motor s nízkým podtlakem v sacím potrubí. Oproti podtlakovému posilovači brzd je hydraulický méně náročný na prostor a dodává vyšší výstupní tlak (160 bar).

V případě, že dojde k poruše nebo dojde k poklesu tlaku v zásobníku, zůstávají brzdy v činnosti bez posilovacího účinku [4] [5].

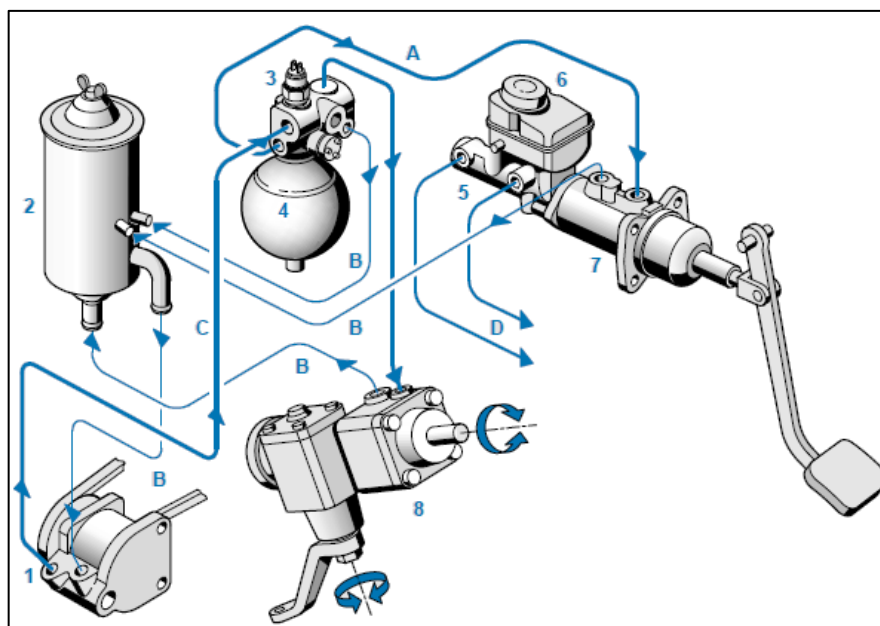
4.2.2.1 Konstrukce

System hydraulického posilovače brzd (7), (obr. 7) se skládá z vysokotlakého hydraulického čerpadla (1), zásobníku tlakového oleje (4), regulátoru průtoku oleje (3) a zásobníku olejové nádrže (2) [4].

4.2.2.2 Princip činnosti

Pomocí membrány je zásobník tlaku (4) rozdělen na dvě komory. Jedna komora obsahuje dusík a ve druhé je natlakovaný olej. Pomocí oleje je dusík za membránou stlačován a dochází k akumulaci tlaku. Regulátor průtoku oleje (3) usměrňuje do zásobníku 10 % z celkového objemu oleje vytlačovaného čerpadlem [4].

Po dosažení tlaku 55 bar v zásobníku, regulátor uzavře přívod oleje do zásobníku. Při brzdění dochází k proudění regulovaného množství oleje na píst posilovače a vytváří se posilovací síla na tlačítko hlavního brzdového válce. Zároveň působí tlak na řídicí píst v posilovači, který umožňuje řidiči posoudit, jak intenzivně má brzdit. Z posilovače (7) proudí olej zpátky do nádrže (2). Odebíráním oleje dochází ke snižování tlaku v zásobníku a díky tomu se snižuje přepínací tlak v regulátoru a regulátor začne opět přepouštět olej do zásobníku [4].



Obr. 7 Hydraulický systém posilovače brzd [5]

1 – vysokotlaké hydraulické čerpadlo, 2 – olejová nádrž, 3 – regulátor průtoku oleje, 4 – hydraulický zásobník tlaku, 5 – hlavní brzdový válec, 6 – vyrovnávací nádržka, 7 – hydraulický posilovač brzd, 8 – převodka řízení, A – okruh k posilovači řízení, B – okruh k zásobníku olejové nádrže, C – okruh od čerpadla k převodce řízení, D – zpětné vedení

5 KOLOVÉ BRZDY

Rozlišujeme dva typy brzd, bubnové a kotoučové brzdy. Pro přední kola se používají výhradně kotoučové brzdy a je tendence používat kotoučové brzdy pro zadní kola místo bubnových. Na brzdy kol jsou kladeny vysoké nároky a to hlavně krátká brzdná dráha, krátká technická prodleva, krátká doba náběhu, rovnoměrný účinek. Aby se dosáhlo těchto požadavků i z hlediska hospodárnosti, tak se pro malé vozy a částečně také pro vozy střední třídy používají bubnové brzdy na zadní nápravě. Pro vozy vyšší střední třídy, luxusní a sportovní vozy se využívají kotoučové brzdy [5] [17].

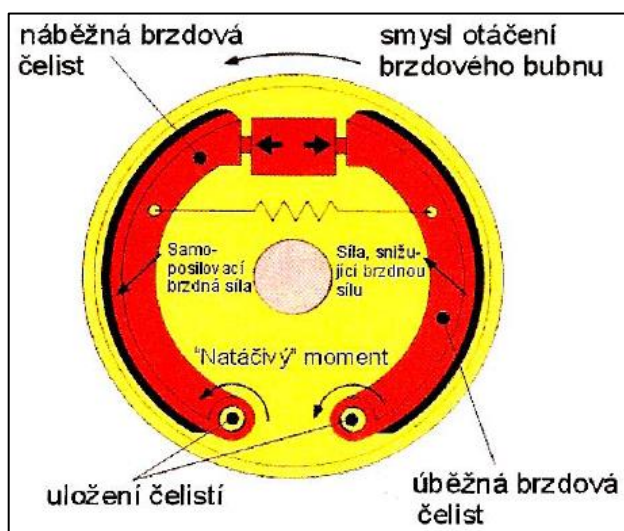
5.1 Bubnové brzdy

Bubnové brzdy pro osobní automobily jsou třecí s vnitřními brzdovými čelistmi, protože vytvářejí brzdnu sílu na vnitřním povrchu brzdového kotouče [5].

5.1.1 Vlastnosti bubnových brzd

Bubnové brzdy mají samoposilující účinek, který závisí na uspořádání brzdových čelistí (*obr. 8*) a díky kterému je účinná brzdná síla větší než síla působící přímo z hlavního brzdového válce. Samoposilující efekt vzniká třením, díky kterému dochází k vytváření momentu, který náběžnou čelist přitlačuje k bubnu a posiluje její brzdny účinek. Brzdny účinek úběžné brzdové čelisti se zmenšuje. Pouze u brzdy Simplex vzniká natáčivý moment, který přitlačnou sílu oslabuje [4] [5].

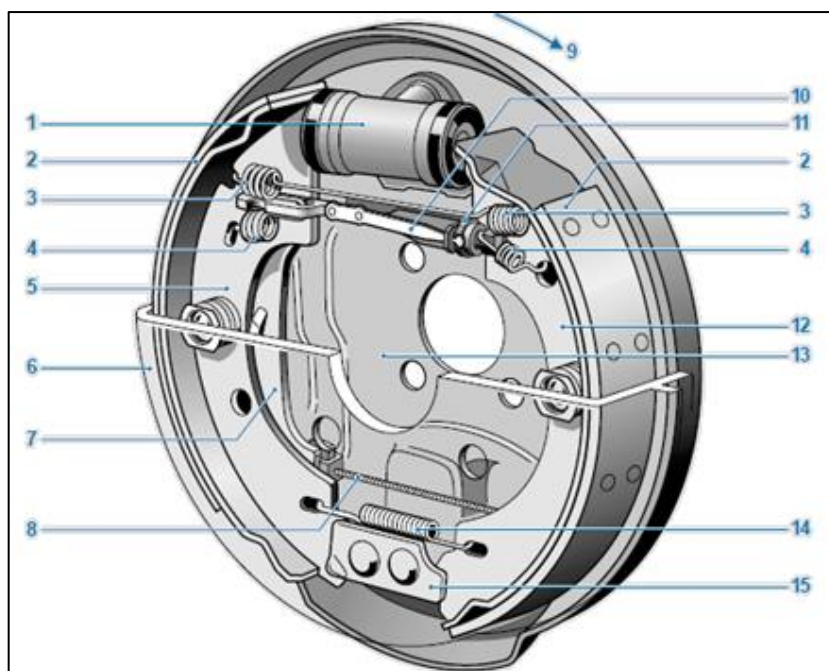
Mezi další vlastnosti bubnových brzd patří snadné připojení parkovací brzdy, vysoká ochrana proti nečistotám díky umístění celé brzdy uvnitř bubnu a při dlouhodobém brzdění, při kterém dochází k zahřátí, nastává pokles brzdneho účinku.



Obr. 8 Samoposilovací účinek brzdy Simplex [4]

5.1.2 Princip činnosti

Brzdový buben (6), (*obr. 9*) je pevně spojen s kolem a otáčí se s ním. Brzdové čelisti (5,12) jsou ovládány dvojčinným brzdovým válečkem (1) a spolu s částmi pro vytváření přitlačné síly jsou uloženy na štítu brzdy (13), který je pevně spojen s nápravou a neotáčí se. Brzdové čelisti jsou přitlačovány rozpěrným ústrojím na vnitřní plochu brzdového bubnu. Požadovaná brzdová síla vzniká pomocí tření, které vzniká při přitlačení čelistí na vnitřní plochu bubnu. Pomocí brzdového lana (8) a páky ruční brzdy (7) je možno bubnovou brzdou ovládat jako parkovací brzdou [4] [5].



Obr. 9 Bubnová brzda [5]

1 – brzdový váleček, 2 – brzdové obložení, 3 – tažná pružina brzdové čelisti, 4 – tažná pružina seřizovacího ústrojí, 5 – úběžná brzdová čelist, 6 – brzdový buben, 7 – páka ruční brzdy, 8 – brzdové lano, 9 – směr otáčení bubnu, 10 – bimetalový prvek, 11 – seřizovací pastorek, 12 – náběžná brzdová čelist, 13 – štít brzdy, 14 – tažná pružina brzdové čelisti, 15 – opěrné lůžko

5.2 Kotoučové brzdy

Kotoučové brzdy pro osobní automobily vytvářejí brzdnu sílu na povrchu brzdového kotouče, který se otáčí zároveň s kolem, přičemž brzdový třmen je uchycen na neotáčejících se částech automobilu. Kotoučové brzdy jsou ve dvou provedeních, můžou být buď s pevným třmenem, nebo s plovoucím třmenem.

V současné době jsou používány téměř výhradně brzdy s plovoucím třmenem, které zajišťují rovnoměrný a stejný přítlak brzdových destiček na obě strany kotouče [1].

5.2.1 Vlastnosti kotoučových brzd

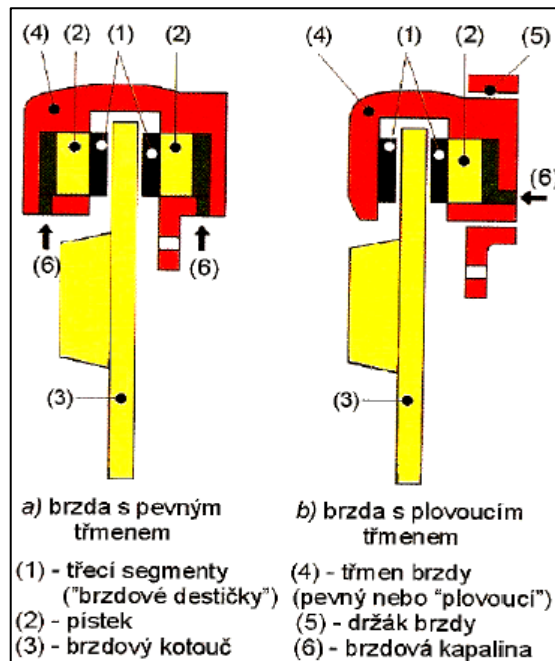
Na rozdíl od bubnových brzd nemají kotoučové brzdy samoposilující účinek, proto mají brzdové válečky větší průměr než u bubnových brzd, díky čemuž se dosáhne větší přítlačné síly. Dále jsou kotoučové brzdy výkonnější a jednodušší než bubnové a při dlouhodobém brzdění dochází pouze k velmi malé změně součinitele tření a díky tomu brzdná síla kolísá minimálně a lze ji lépe regulovat [4].

Mezi další vlastnosti kotoučových brzd patří samočisticí efekt od prachových nečistot, který vzniká vlivem odstředivých sil, rychlejší opotřebení třecích segmentů, složitější konstrukce pro funkci parkovací brzdy a riziko vzniku parních bublin v brzdové kapalině z důvodu nadměrného prostupu tepla.

5.2.2 Princip činnosti

Princip činnosti spočívá u obou provedení v přítlačování třecích ploch brzdových obložení na obě strany rotujícího kotouče, který je pevně spojen s nábojem kola. Potřebný přítlak brzdových destiček s brzdovým obložení zajišťuje pístek nebo pístky, které jsou uloženy ve třmenu brzdy a ovládány brzdnu kapalinou [1]

U kotoučových brzd s pevným třmenem (obr. 10a) jsou na obou stranách třmenu (4), válečky, ve kterých se pohybují pístky (2). Při brzdění jsou přitlačovány brzdové destičky (1) z obou stran na brzdový kotouč (3). U brzd s plovoucím třmenem (obr. 10b) je třmen (4) posuvně v pevném držáku (5). Brzdové destičky (1) jsou přitlačovány k brzdovému kotouči (3) pístkem umístěným ve válečku (2) [4].



Obr. 10 Kotoučové brzdy [4]

6 ELEKTRONICKÉ SYSTÉMY BRZD

Použití elektronických brzdových systémů ve vozidle vede ke zvýšení bezpečnosti řidiče a ostatních účastníků dopravního provozu a dále ke zvýšení jízdního pohodlí.

6.1 Protiblokovací systém ABS

Provozní podmínky vyžadují rychle a bezpečně snížit rychlost vozidla popřípadě vozidlo zastavit při kritických situacích. Příčinou vzniku těchto kritických situací může být: mokrá vozovka nebo kluzká vozovka, namrzající

povrch vozovky popřípadě prudká reakce řidiče na náhodnou překážku. V těchto případech se vozidlo může stát neovladatelným vlivem blokování kol, které je provázeno smykem kol. Jako zařízení, které zabrání blokování jednoho nebo více kol se používá systém ABS. Při použití tohoto systému se vozidlo stává za všech kritických situací plně ovladatelné a stabilní [1] [10].

6.1.1 Požadavky na ABS

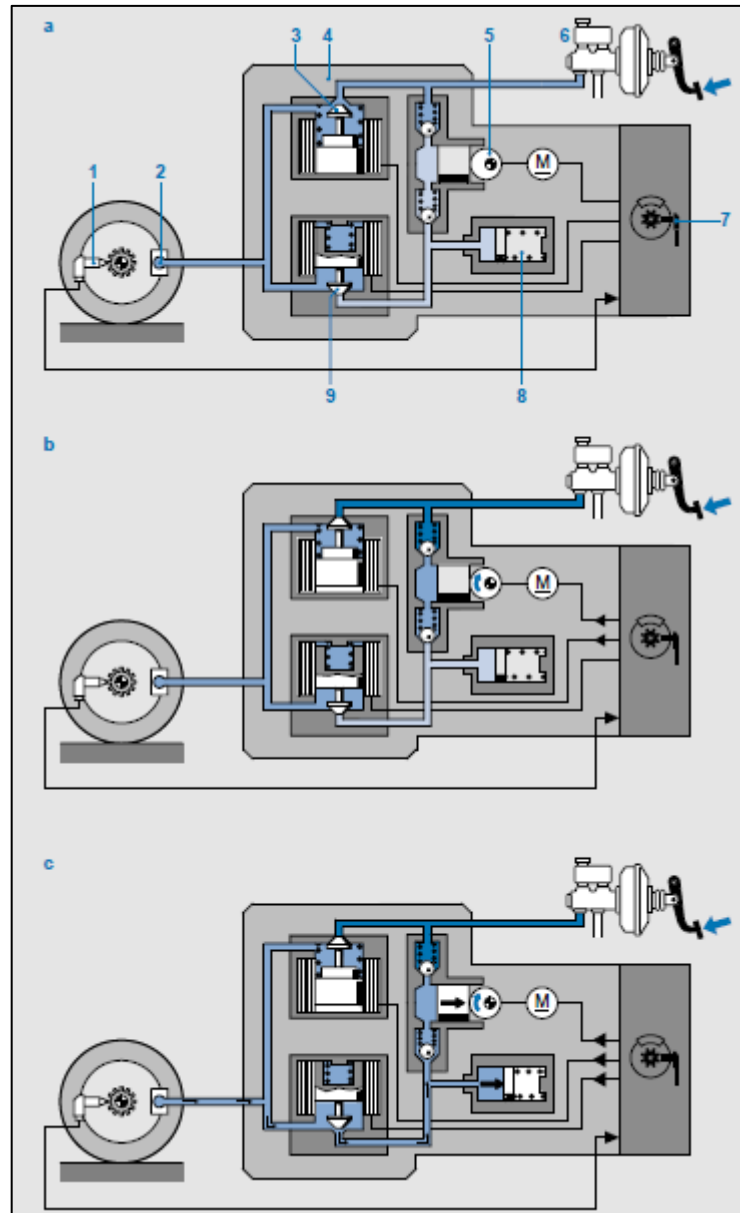
Systém ABS je složen z několika částí musí splňovat určité požadavky: regulace brzdění musí zajistit stabilitu jízdy vozidla a jeho ovladatelnost na všech druzích povrchu, při brzdění na vozovce s rozdílnými povrchy na levé a pravé straně vozidla vznikají stáčivé momenty (otáčivé momenty, které se snaží vozidlo otočit kolem svislé osy), vznik a zvětšování těchto momentů musí být pomalé, aby i nezkušení řidiči byli schopni na tento stav vozidla jednoduše reagovat otáčením volantu do protisměru a situaci zvládnout. ABS musí využívat součinitele tření mezi vozovkou a koly vozidla, přičemž stabilita jízdy a ovladatelnost vozidla má přednost před zkrácením brzdě dráhy, regulace brzdění musí pracovat v celé rychlostní oblasti až do minimální rychlosti, která bývá 4 km.h⁻¹. Mezi další požadavky patří stabilita vozidla v zatáčce při brzdění, rozeznávání aquaplaningu a reakce na něj, hystereze brzd (brzdění po uvolnění brzdové pedálu) musí minimálně ovlivňovat brzdění a musí se zabránit rozkývání vozidla [4].

6.1.2 Princip činnosti

Jelikož existuje více systémů ABS (systém ABS 2 S, ABS 2 E, ABS 5, ABS 5.3 a další), bude zde uveden pouze systému ABS 5.0.

System ABS se skládá ze tří základních prvků: z elektronické řídicí jednotky ABS, snímače otáček kol a hydraulické jednotky ABS s 2/2 cestnými (dvě přípojky, dvě polohy ventilu) elektromagnetickými ventily. Během jízdy měří snímače otáček kol, které jsou umístěny na každém kole, počet otáček kol. Signály ze snímačů otáček slouží řídicí jednotce k výpočtu obvodového zpomalení nebo zrychlení kola, skluzu kola, referenční rychlosti a zpomalení vozidla. Zaznamená-li řídicí jednotka, že by mohlo dojít k zablokování kol, aktivuje elektromagnetické ventily příslušného kola. Každé přední kolo je ovlivňováno pomocí elektromagnetického ventilu tak, že přenáší největší možný brzdový účinek nezávisle na ostatních kolech (individuální regulace). Na zadní nápravě určuje kolo s nižším součinitelem adheze společný tlak v obou brzdách zadní nápravy. Řídicí jednotka spíná elektromagnetické ventily do tří různých poloh: zvýšení, udržení a snížení tlaku [4].

Na *obr. 11a* je vstupní ventil (3) hydraulické jednotky otevřen a výstupní ventil (9) uzavřen. Tlak v hlavním válci je tentýž, jako tlak v brzdovém válečku kola, takže lze vytvořit brzdový tlak, dostáváme polohu zvýšení tlaku. V případě, že jeden ze snímačů otáček kol zaznamená silné zpomalení kola (riziko zablokování), nesmí se brzdový tlak na příslušném kole dále zvýšit. Vstupní a výstupní ventily jsou uzavřeny, brzdový tlak zůstává konstantní (*obr. 11b*), dostáváme polohu udržení tlaku. Při delším nárůstu zpomalení kola se musí otevřít výstupní ventil. Brzdová kapalina je odčerpávána zpětným čerpadlem k hlavnímu válci. Tlak v brzdovém válečku se sníží a kolo je brzděno menší silou (*obr. 11c*), dostáváme polohu snížení tlaku [5].



1 – snímač otáček, 2 – brzdový váleček, 3 – vstupní ventil, 4 – hydraulická jednotka, 5 – zpětné čerpadlo, 6 – hlavní brzdový válec, 7 – řídicí jednotka, 8 – komora zásobníku, 9 – výstupní ventil, a – zvýšení tlaku, b – udržování tlaku, c – snížení tlaku

Obr. 11 Regulace brzdného tlaku systému ABS 5.0 [5]

6.2 Protiprokluzový systém (ASR)

Systém regulace prokluzu ASR (Anti Skid Regulation), je rozšířením systému ABS a má za úkol zajistit stability a říditelnost vozidla při akceleraci. Regulace prokluzu má za úkol přizpůsobit podle potřeby točivý moment motoru přesně na hodnotu, kterou je možné přenést na vozovku [9].

6.2.1 Požadavky na ASR

Systém ASR musí zamezit prokluzu kol při rozjezdu nebo zrychlení a to především na vozovce s náledím na jedné nebo obou stranách vozidla, při zrychlení v zatáčce, při jízdě do kopce (u automobilů s předním pohonem) [1].

Zároveň musí napomáhat při určitých situacích, jako je udržování vozidla pod kontrolou vlivem prokluzujících kol respektive prokluzující kola mohou přenášet pouze malé boční síly a díky tomu je vozidlo nestabilní a jeho záď nebo před' vybočuje. Dále protáčející kola vedou k vysokému opotřebením pneumatik a pohonu diferenciálu, díky ASR je toto nebezpečí snižováno [4].

6.2.2 Princip činnosti

Při akceleraci se zvyšuje točivý moment motoru a tím se zároveň zvyšuje hnací moment na kolech vozidla. Jestliže má tento zvýšený moment vysoký součinitel adheze, lze vozidlo bez problému zrychlit. V případě, že tento hnací moment fyzikálně překročí maximálně přenositelný hnací moment (který je dán zatížením kola F_z a součinitelem záběru μ), dojde k prokluzu hnacího kola.

Tím se snižuje přenositelná hnací síla a vozidlo je díky ztrátě boční síly směrově nestabilní. ASR sníží prokluz hnacích kol na nejnižší možnou hodnotu. U vozidel se zážehovým motorem probíhá řízení hnacího momentu na kolech pomocí nastavení škrťící, popřípadě změnou okamžiku zážehu.

U vozidel se vznětovým motorem je hnací moment na kolech ovlivněn omezením množství vstřikované nafty [4].

6.3 Systém dynamické stabilizace vozidla (ESP)

Při jízdě vozidla existují určité hraniční oblasti, kde je vozidlo velice těžko ovladatelné. V případě, že je kritická situace řidičem špatně odhadnuta tak může například dojít ke smyku vozidla vlivem silného pohybu volantů. Zvládnout situaci pomáhá systém regulace dynamiky jízdy ESP. Systém ESP je určitým rozšířením systémů ABS a ASR. Tyto systémy umožňují ovládat skluz nebo prokluz pneumatiky pouze v podélném směru vozidla. Systém ESP reguluje skluz pneumatiky také v příčném směru. Příliš velký příčný skluz pneumatiky vede ke ztrátě bočního vedení a k vychýlení vozidla do strany [9].

6.3.1 Požadavky na ESP

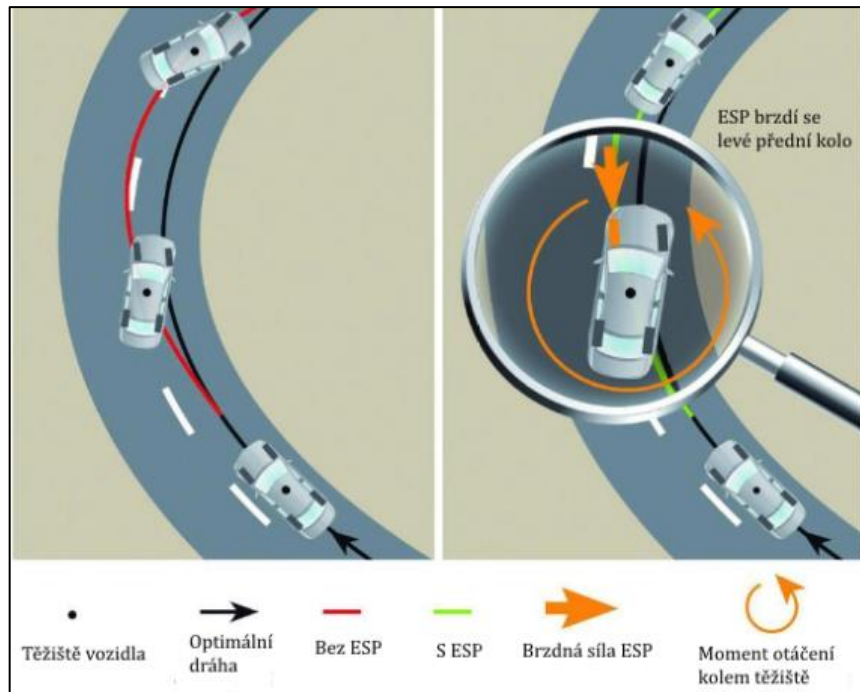
Systém ESP musí aktivně podporovat řidiče při řízení v kritických situacích, kdy na vozidlo působí boční síly, dále musí udržovat jízdní stopu a směr jízdy ve všech jízdních stavech. Zvyšuje jízdní stabilitu při extrémních jízdních manévrech, které mohou být zapříčiněny reakcí ze strachu popřípadě panickou reakcí [9] [20].

6.3.2 Princip činnosti

Stabilizace jízdy vozidla je dosaženo samočinnými zásahy do brzd jednotlivých kol a hnacího momentu motoru bez zásahu řidiče.

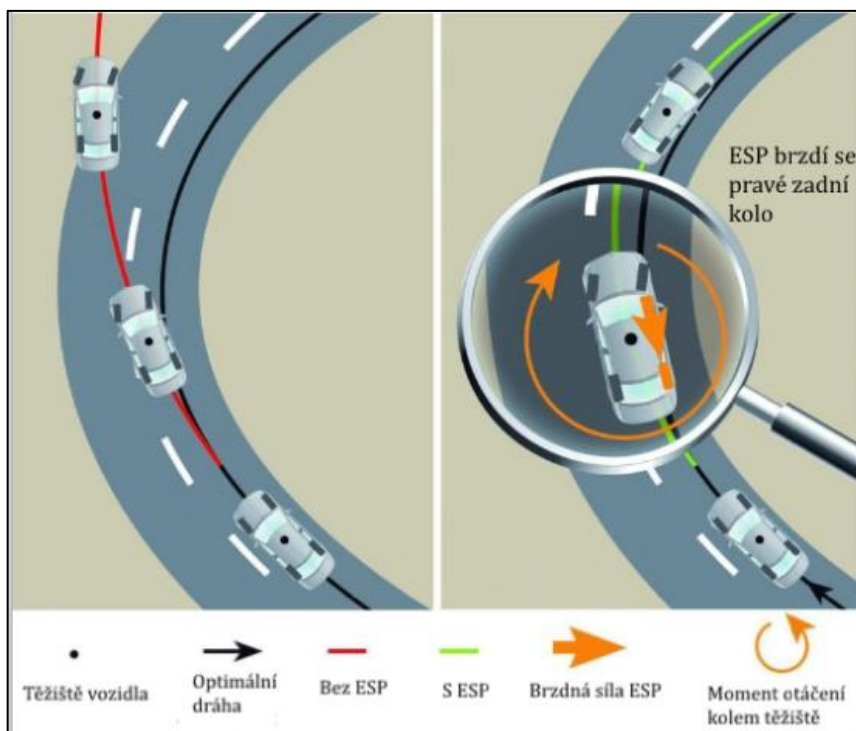
V případě, že systém zjistí prostřednictvím snímačů kritický stav vozidla, dochází k přibrzdění příslušných kol, tím se vytvoří moment otáčení kolem těžiště vozidla, který kompenzuje nežádoucí nedotáčivý, popřípadě přetáčivý pohyb vozidla. Zároveň se sníží točivý moment motoru na potřebnou hodnotu a dosažené zpomalení vozu má stabilizační účinek.

V případě, že by hrozilo vybočení zadní části u přetáčivého vozidla, bude přibrzděno přední kolo na vnější straně zatáčky Obr. 12 [4].



Obr. 12 Regulace u přetáčivého vozidla pomocí ESP [13]

V případě nedotáčivého vozidla se korekce provede přibrzděním zadního kola na vnitřní straně zatáčky Obr. 13. Systém zároveň sleduje, jak na kritickou situaci reaguje řidič a během několika milisekund určí jak silně, a které kolo je potřeba přibrzdit. A zároveň o kolik je potřeba snížit haníc moment motoru, aby se vozidlo opět stabilizovala [4].



Obr. 13 Regulace u nedotáčivého vozidla pomocí ESP [13]

6.4 Brzdový asistent (BA)

Úkolem brzdového asistentu (BA) je při panickém brzdění zvýšit brzdný tlak vyvolaný řidičem skokově na maximální hodnotu. Panické brzdění může nastat při náhlém objevení překážky řidičem, kdy řidič sešlápně brzdový pedál sice rychle ale nedostatečnou silou, pak se může stát, že vozidlo před překážkou nezastaví, ačkoliv by to bylo při optimálním brzdění možné. V této situaci jej podpoří brzdový asistent tím, že zvýší brzdný tlak na maximální hodnotu [5].

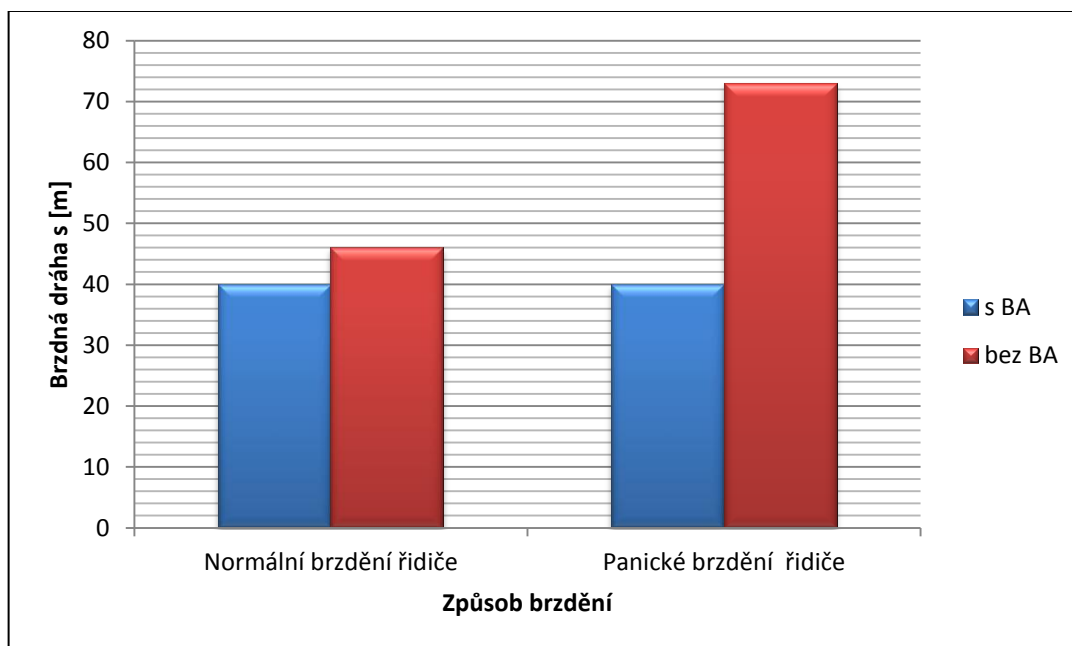
Panické brzdění brzdový asistent rozpozná podle rychlosti sešlápnutí brzdového pedálu, nikoliv podle vynaložené síly na pedál. Proto brzdový asistent uskuteční přání řidiče na co nejrychlejší možné brzdění také tehdy, když brzdový pedál nebyl sešlápnut nejvyšší možnou silou [5].

6.4.1 Požadavky na brzdový asistent

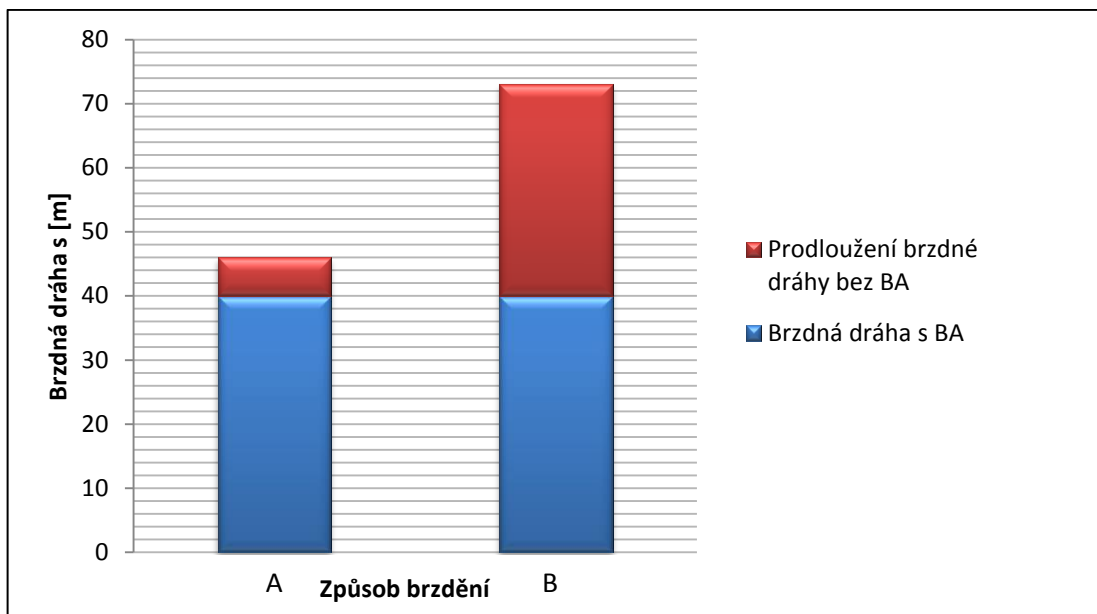
Brzdový asistent musí zaručit maximální zpomalení i při nedostatečné síle, kterou řidič působí na pedál. Dále by měl zaručit zkrácení brzdné dráhy při panickém brzdění řidiče [5].

Tab. 1 Hodnoty brzdné dráhy [14]

Způsob brzdění	Délka brzdné dráhy s [m]	
	100 km·h ⁻¹	
	BA	bez BA
Normální brzdění	40	46
Panické brzdění	40	73



Obr. 14 Brzdné dráhy s BA a bez BA podle způsobu brzdění



A – normální brzdění řidičem, B – panické brzdění řidičem

Obr. 15 Brzdné dráhy s BA a bez BA podle způsobu brzdění

Z obr. 14 vyplývá, že brzdná dráha při normálním způsobu brzdění je s brzdovým asistentem kratší o 6 metrů, než bez brzdného asistenta. V případě panického brzdění se dráha bez brzdného asistenta prodlužuje o 33 metrů, než s brzdovým asistentem. Z obr. 15 vyplývá, že brzdná dráha s brzdovým asistentem je stejná jak při panickém tak normálním způsobu brzdění, dále je taky zřejmé, jak moc ovlivňuje brzdnu dráhu způsob brzdění v případě, že vozidlo by nebylo vybaveno brzdovým asistentem. Při normálním brzdění by se vozidlo zastavilo o 6 metrů dál a při panickém brzdění o 33 metrů dál bez brzdového asistenta.

7 POROVNÁNÍ VOZIDLA SE SYSTÉMEM ABS A BEZ ABS

Pro zhodnocení systému ABS jsou v práci uvedeny měření jaké brzdné dráhy a brzdného zpomalení dosahuje vozidlo s ABS a bez ABS.

7.1 Metodika měření brzdné dráhy a součinitele tření

Charakteristiky protismykových vlastností druhého až čtvrtého povrchu byly získány z inovovaného metodického pokynu „ Zásady pro použití obrusných vrstev vozovek z hlediska protismykových vlastností 2006. “ Kde jsou grafy typického průběhu součinitele podélného tření v závislosti na rychlosti stanovené měřícím zařízením Tatra Runway (TRT). Zbývající dvě křivky byly odvozeny v konkrétních měření vybraných úseků. Měřený součinitel podélného tření je při řízeném skluzu 25 %, což přibližně odpovídá způsobu při brzdění vozidla s ABS. Hodnoty součinitele tření v závislosti na rychlosti pohybu vozidla pro všech 5 uvedených povrchů jsou znázorněny v tabulce 2. Pro další srovnání byl použit model vozidla s brzděním se zablokovanými koly, tedy při skluzu 100 %, takové brzdění modelovalo starší měřící zařízení VÚD – 2. Hodnoty součinitele tření pro toto zařízení uvedené v tabulce 3 se stanovily s použitím převodní rovnice ČSN 73 6177 [8]:

$$f_p(\text{VÚD} - 2) = -0,039 + 0,915 \cdot f_p(\text{TRT})$$

Tab. 2 Hodnoty součinitele podélného tření f_p pro vozidla s ABS v závislosti na rychlosti a druhu povrchu [8]

Povrch	Rychlost v [km·h ⁻¹]					
	40	50	60	80	100	120
APMSS	1,08	1,04	1,00	0,91	0,83	0,74
APMSM	0,75	0,70	0,65	0,58	0,51	0,47
ABS	0,63	0,60	0,57	0,50	0,44	0,40
ABJ	0,51	0,48	0,44	0,37	0,31	0,27
ABJ ojetý	0,34	0,29	0,23	0,18	0,14	0,12

Tab. 3 Hodnoty součinitele podélného tření f_p pro vozidla bez ABS v závislosti na rychlosti a druhu povrchu [8]

Povrch	Rychlost v [km·h ⁻¹]					
	40	50	60	80	100	120
APMSS	0,95	0,91	0,88	0,79	0,72	0,64
APMSM	0,65	0,60	0,56	0,49	0,43	0,39
ABS	0,54	0,51	0,48	0,42	0,36	0,33
ABJ	0,43	0,40	0,36	0,30	0,24	0,21
ABJ ojetý	0,27	0,23	0,17	0,13	0,09	0,07

Druhy povrchu: APMSS – velmi dobrý povrch za sucha (suchý asfalt)

APMSM – výborný povrch za mokra

ABS – velmi dobrý povrch za mokra

ABJ – nevyhovující povrch za mokra

ABJ ojetý – havarijní povrch za mokra

7.1.1 Stanovení brzdného zpomalení vozidla

Hodnoty f_p se vynásobily tíhovým zatížením g , aby se zachovaly adhezní podmínky při brzdění [8].

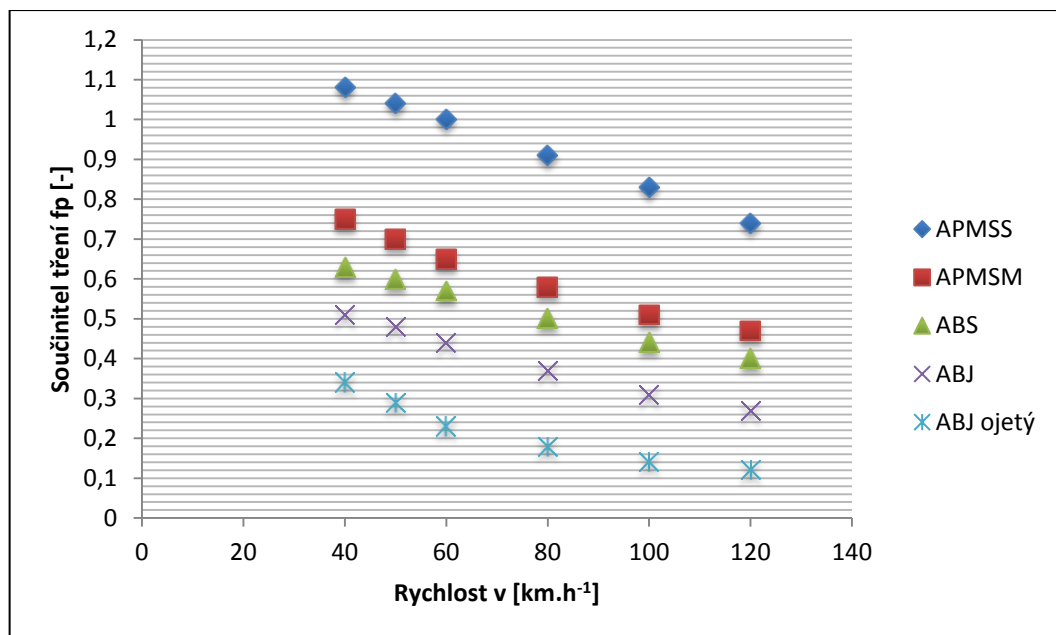
$$m \cdot a = -m \cdot g \cdot f_p$$

kde: m – hmotnost [kg]

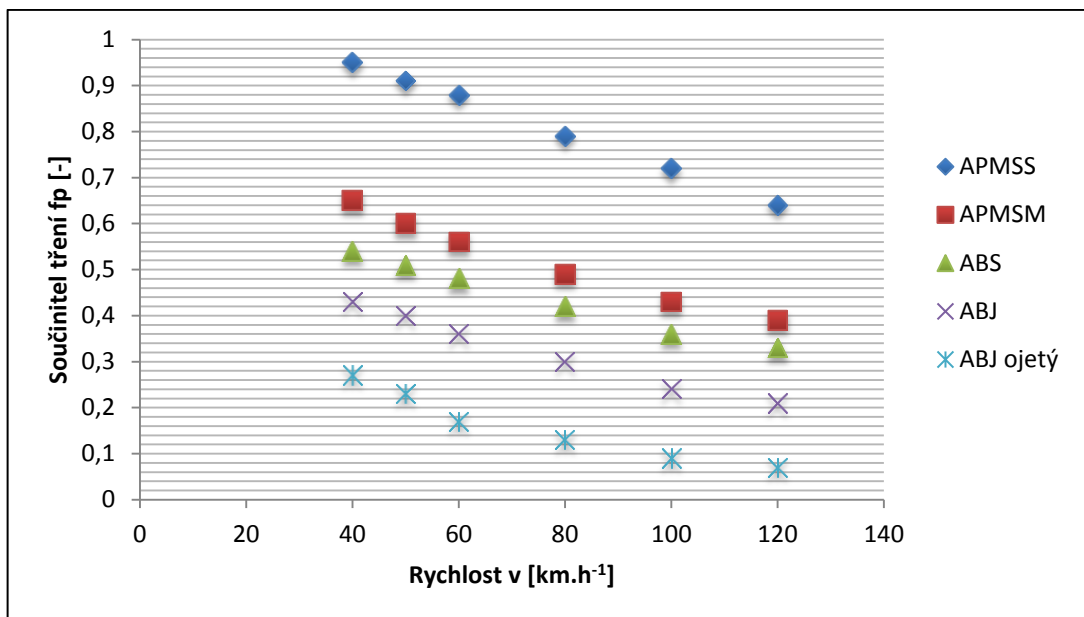
a – brzdné zpomalení [$m \cdot s^{-2}$]

g – tíhové zrychlení, počítáno s hodnotou 10 [$m \cdot s^{-2}$]

f_p – součinitel tření [-]

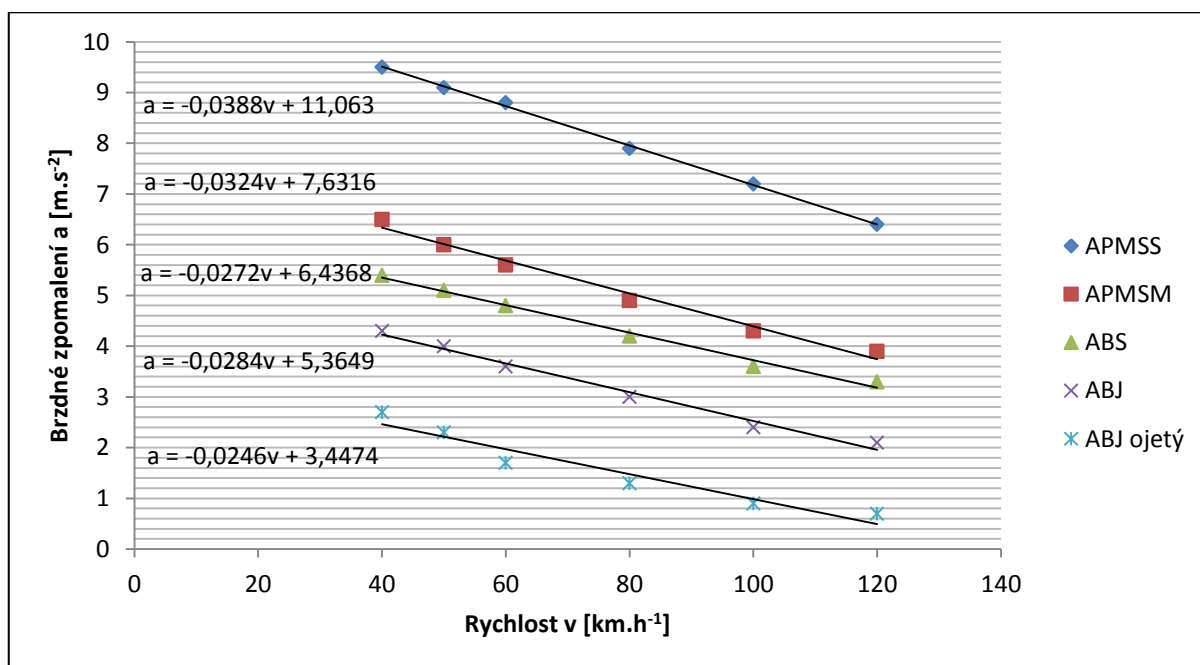


Obr. 16 Závislost součinitele tření f_p na rychlosti pro vozidlo s ABS

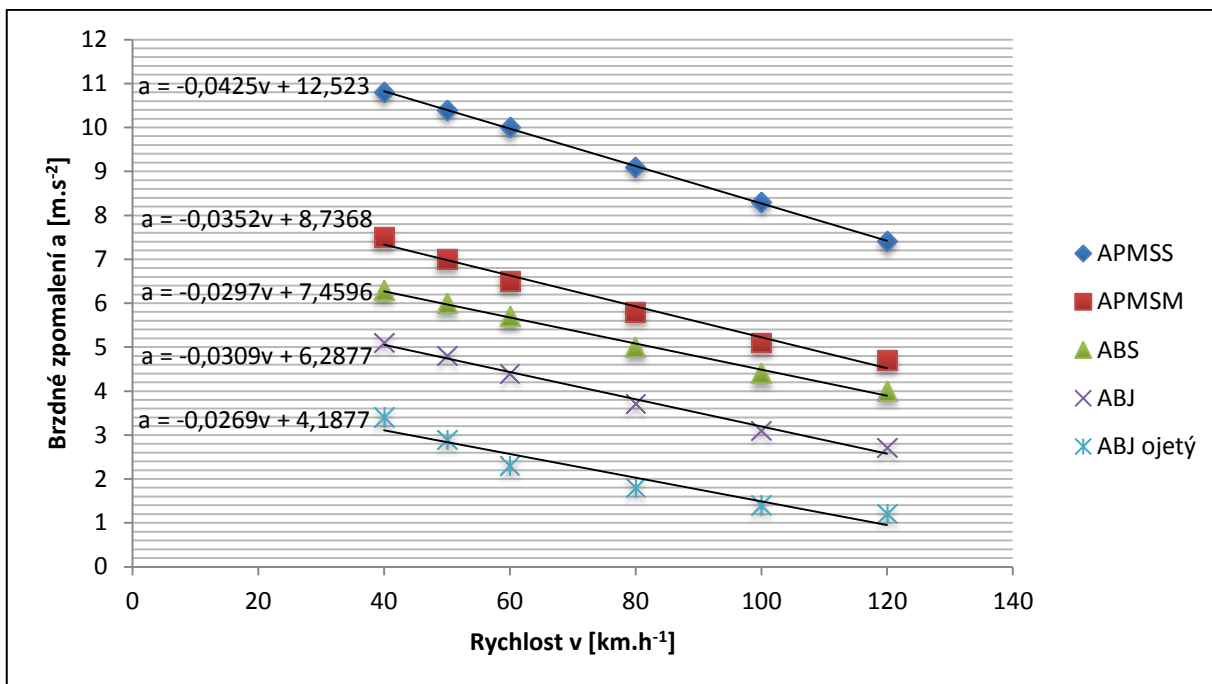


Obr. 17 Závislost součinitele tření f_p na rychlosti pro vozidlo bez ABS

Zpomalení při brzdění je podle rovnice vyjádřeno hodnotou $10 \cdot f_p$ a z Obr. 18 a 19 byly zkonstruovány křivky závislosti zpomalení vozidla na rychlosti a stanoveny jejich rovnice, ze kterých se mohla stanovit délka brzdné dráhy [8].



Obr. 18 Srovnání proložených funkcí závislosti brzdného zpomalení na rychlosti vozidla bez ABS



Obr. 19 Srovnání proložených funkcí závislosti brzděného zpomalení na rychlosti vozidla s ABS

7.1.2 Výpočet brzdných drah [8]

Lineární závislost zpomalení na rychlosti: $a = -Bv + A$

Doba brzdění z 50 km·h⁻¹ na 0 km·h⁻¹:

$$t = \frac{\ln \frac{A - Bv}{A}}{-B}$$

Délka brzděné dráhy:

$$s = \frac{A}{B} \cdot \left(t + \frac{1}{B} \cdot e^{-Bt} - \frac{1}{B} \right)$$

kde: A, B – parametry regresní funkce

v – rychlost [m. s⁻¹]

t – čas [s]

s – dráha [m]

a – brzděné zpomalení [m. s⁻²]

7.2 Metodika měření brzdného zpomalení

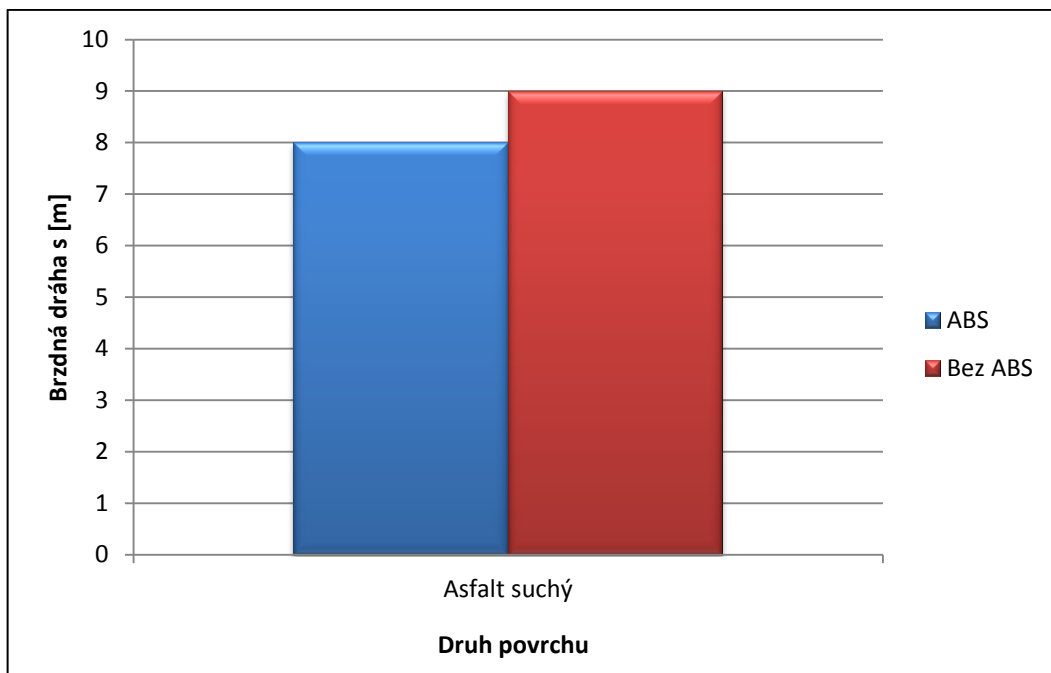
Cílem měření bylo zjistit, jakých hodnot brzdného zpomalení dosahuje vozidlo s ABS a bez ABS. Pro měření byl použit decelerometr Xsens MTi-G. Tento přístroj kombinuje celou řadu senzorů (akcelerometr, gyroskop, magnetometr). Jako testovací vozidlo s ABS bylo použito: Škoda Fabia 1,2 HTP s pneumatikami Bridgestone Turanza ER3FZ 195/55 R15 85h. Vozidlo bez ABS: Ford Tranzit, průměrná naměřená hloubka dezénu byla na všech vozidlech více jak 5 mm. Měření bylo prováděno na suchém asfaltu při teplotě 10 ° C. S každým vozidlem bylo provedeno minimálně 3 měření, ze kterých se vypočítala průměrná hodnota. Všechna vozidla byla řízena stejným řidičem, začátek brzdění byl vždy při dosažení rychlosti 50 km·h⁻¹[11].

7.3 Zhodnocení výsledků obou měření

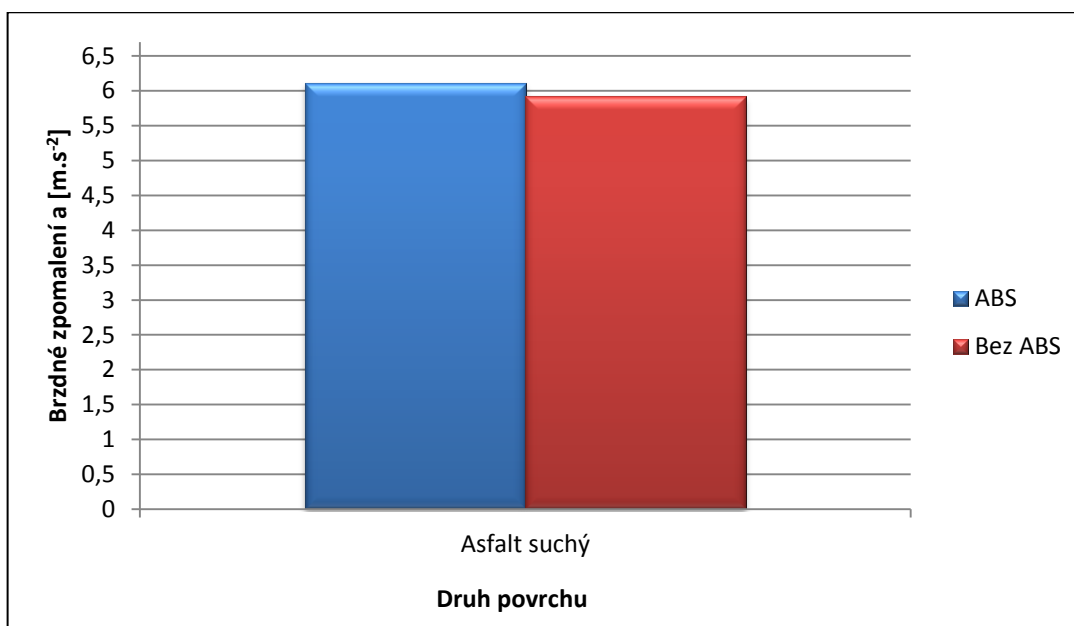
Z naměřených hodnot pro brzdnu dráhu, brzdné zpomalení s vozidlem s ABS a bez ABS byla zhotovena tabulka s grafy pro porovnání výsledků.

Tab. 4 Porovnání naměřených hodnot brzdného zpomalení a brzdné dráhy [8] [11]

Začátek brzdění při rychlosti 50 km·h⁻¹			
ABS		Bez ABS	
Brzdná dráha s [m]	Průměrné brzdné zpomalení a [m·s ⁻²]	Brzdná dráha s [m]	Průměrné brzdné zpomalení a [m·s ⁻²]
8,00	6,11	9,00	5,92



Obr. 20 Brzdné dráhy s ABS a bez ABS při rychlosti $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$



Obr. 21 Brzdné zpomalení s ABS a bez ABS při rychlosti $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$

Podle Obr. 20 je zřejmé, že brzdná dráha s ABS na suchém asfaltu je kratší o 1 metr než bez ABS. Aby platilo, že brzdná dráha s ABS je kratší než bez ABS, tak i brzdné zpomalení musí být u vozidla s ABS větší než u vozidla bez ABS. Je tedy zřejmé podle Obr. 21, že vozidlo s ABS dosahuje většího brzdného

zpomalení na suchém asfaltu, tedy $6,11 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ oproti vozidlu bez ABS, které dosahuje $5,92 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Závěrem tedy můžeme konstatovat, že brzdná dráha na suchém asfaltu se díky ABS prokazatelně zkrátí.

8 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo uvést současný stav funkčních systémů motorových vozidel a ze shromážděných technických parametrů brzdových systémů provést analýzu a závěr. Brzdy patří k nejdůležitějším součástem motorového vozidla, ať už z pohledu řidiče, spolujezdce nebo ostatních účastníků dopravního provozu.

V první kapitole jsou popsány základní pojmy, které souvisí s brzdami a brzděním, včetně stanovení přípustné brzdné dráhy a grafickým zobrazením na *obr. 2*, součástí první kapitoly jsou také základní fyzikální podmínky, které vznikají při brzdění. V další kapitole respektive druhé, jsou popsány důležité součásti brzdové soustavy a to především hlavní brzdový válec, který převádí sílu vytvořenou řidičem na brzdnou sílu, dále pak posilovač, který zesiluje tlak nohy při ovládní brzdy. Ve třetí kapitole jsou popsány brzdy respektive kolové brzdy a jejich rozdělení. Hlavním tématem je rozdělení a přehled základních elektronických systémů motorových vozidel. U systému ABS jsou popsány požadavky a princip činnosti. Dále je zde popsán protiprokluzový systém (ASR), který zajišťuje stabilitu a říditelnost vozidla při akceleraci, dále systém dynamické stabilizace vozidla (ESP), který dokáže zajistit začátek smyku a vhodnými zásahy zabránit jeho vzniku, další systémem je brzdový asistent (BA), který zvyšuje brzdný tlak vyvolaný řidičem a snižuje brzdnou dráhu vozidla (*obr. 15*). V závěru práce je porovnáváno, jaké brzdné dráhy a brzdného zpomalení dosahuje vozidlo s ABS a bez ABS. Podle *obr. 20 a 21* můžeme konstatovat, že vozidlo s ABS dosahuje kratší brzdné dráhy při větším

brzděním zpomalení a zvyšuje společně s ostatními elektronickými systémy bezpečnost vozidla a provozu. Do budoucna můžeme předpokládat, že se tyto systémy budou nejenom zlepšovat ale i rozšiřovat o nové.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Literární zdroje

- [1] HOREJŠ, K. et al: *Příručka pro řidiče a opraváře automobilů*. 4. vyd. Brno: Littera, 2008, 358 s. ISBN 978-80-845763-42-3
- [2] BAUER, F. et al: *Traktory a jejich využití*. 2. vyd. Praha: Profi Press, 2013, 224 s. ISBN 978-80-86726-52-6
- [3] VLK, F.: *Dynamika motorových vozidel*. Brno: František Vlk, 2000, 434 s. ISBN 80-238-5273-6
- [4] JAN, Z. et al: *Automobily: Podvozky*. 3. Vyd. Brno: Avid, 2009, 245 s. ISBN 978-80-87143-18-6
- [5] POST, W. et al: *Konvenční a elektronické brzdové soustavy*. Přeložil S. HANÁK. 1 vyd. Česká republika, 2004, 134 s. ISBN 80-903132-6-4
- [6] ALTHAUS, D.: *Bestimmung des Ausfallverhaltens konventioneller Bremssysteme in Personenkraftwagen*. Wuppertal, 2009. Diplomová práce. Universita Wuppertal. Katedra bezpečnostního inženýrství.
- [7] VLK, F.: *Lexikon moderní automobilové techniky*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2005, 344 s. ISBN 80-239-5416-4
- [8] HALÁSKOVÁ, J.: *Stanovení brzdné dráhy vozidel za různých podmínek*. Brno 2007. Sborník anotací Juniorstav 2007, 140 – 145 s. ISBN 978-80-214-3337-3
- [9] VLK, F.: *Automobilová elektronika 1, asistenční a informační systémy*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2006, 269 s. ISBN 80-239-6462-3
- [10] APETAUR, M.: *Mechatronika, přehled problematiky pro strojaře*. Ústí nad Labem, 2014, 165 s. ISBN 978-80-7414-693-0

[11] MIČUNKOVÁ, K.: *Evaluation of skid resistance of different pavement surfaces*. Praha, 2015. Sborník příspěvků: Young transportation engineers conference 2015, 7 s. ISBN 978-80-01-05791-9

Internetové zdroje

[12] Autolexicon: brzdna draha [online]. [cit. 16.2.2017]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/brzdna-draha/>

[13] Systém stabilizace vozidla ESP [online]. [cit. 24.2.2017]. Dostupné z: <http://www.dsf.my/2015/05/in-pursuit-of-stability-20-years-of-esp-with-mercedes-benz/>

[14] Continental: brzdový asistent BA [online]. [cit. 20.2.2017]. Dostupné z: http://www.continentalautomotive.de/www/automotive_de_de/themes/hidden/products/hidden/hydrhydra_brake_systems/brake_assistents_en.html

[15] Kapalinové brzdy [online]. [cit. 20.1.2017]. Dostupné z: <http://www.brzdy.websnadno.cz/Kapalinove-brzdy.html>

[16] Autoznanosti: podvozek a kola [online]. [cit. 21.1.2017]. Dostupné z: <http://www.autoznanosti.cz/index.php/podvozek-a-kola/39-brzdyii.html>

[17] Automonti: brzdový systém [online]. [cit. 11.2.2017]. Dostupné z: <https://www.automonti.cz/pdf/brzdy-brzdovy-system.pdf>

[18] Základní pojmy při brzdění [online]. [cit. 15.2.2017]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/brzdna-draha/>

[19] Mechmes: základní pojmy [online]. [cit. 16.2.2017]. Dostupné z: http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-teo-10.0_brzdyabrzdazarizeniautomobilu_zakladnipojmy.pdf

[20] Ibesip: elektronické stabilizační systémy [online]. [cit 22.2.2017]. Dostupné z: <http://www.ibesip.cz/cz/ridic/bezpecne-vozidlo/moderni-technologie-vozidel/aktivni-bezpecnost-prvky-aktivni-bezpecnosti/elektronicky-stabilizacni-system>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Doba brzdění a její složky	11
Obr. 2 Požadavky na brzdnu dráhu	14
Obr. 3 Brzdné síly na kole.....	15
Obr. 4 Dvouokruhová brzdová soustava	18
Obr. 5 Hlavní brzdový válec s centrálním ventilem	20
Obr. 6 Podtlakový posilovač brzd	22
Obr. 7 Hydraulický systém posilovače brzd.....	24
Obr. 8 Samoposilovací účinek brzdy Simplex	25
Obr. 9 Bubnová brzda	26
Obr. 10 Kotoučové brzdy	28
Obr. 11 Regulace brzdného tlaku systému ABS 5.0.....	31
Obr. 12 Regulace u přetáčivého vozidla pomocí ESP	34
Obr. 13 Regulace u nedotáčivého vozidla pomocí ESP	35
Obr. 14 Brzdné dráhy s BA a bez BA podle způsobu brzdění	36
Obr. 15 Brzdné dráhy s BA a bez BA podle způsobu brzdění	37
Obr. 16 Závislost součinitele tření f_p na rychlosti pro vozidlo s ABS.....	40
Obr. 17 Závislost součinitele tření f_p na rychlosti pro vozidlo bez ABS	41
Obr. 18 Srovnání proložených funkcí závislosti brzdného zpomalení na rychlosti vozidla bez ABS	41
Obr. 19 Srovnání proložených funkcí závislosti brzdného zpomalení na rychlosti vozidla s ABS	42
Obr. 20 Brzdné dráhy s ABS a bez ABS při rychlosti $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$	44

Obr. 21 Brzdné zpomalení s ABS a bez ABS při rychlosti $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 44