

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra vozidel a pozemní dopravy



Bakalářská práce

Brzdové soustavy osobních automobilů

Petr Šíma

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Petr Šíma

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Brzdové soustavy osobních vozidel

Název anglicky

Braking systems of passenger vehicles

Cíle práce

Cílem práce je vytvořit literární rešerši s vlastními komentáři zabývající se brzdovými soustavami osobních vozidel.

Metodika

1. Prostudovat základní literaturu v dané oblasti.
2. Vlastní rozbor problematiky brzdových soustav osobních vozidel.
3. Předpokládaný vývoj v dané oblasti.

Doporučený rozsah práce

30 až 40 stran

Klíčová slova

brzdová soustava, účinnost brzd, brzdný moment, retardér

Doporučené zdroje informací

Day, A. J.: Braking of road vehicles, Butterworth-Heinemann, Amsterdam 2014, ISBN 9780123973146, 0123973147

http://www.mdcz.cz/cs/Legislativa/Legislativa/Legislativa_CR_silnicni/silnicni-doprava.html

Svoboda, J.: Teorie dopravních prostředků – vozidla silniční a terénní. ČVUT, Praha, 2004, ISBN 80-01-03005-9

Vlk, F.: Dynamika motorových vozidel. Brno: František Vlk, 2007, ISBN: 8023900242

VLK, F.: Podvozky motorových vozidel: pneumatiky a kola, zavěšení kol, nápravy, odpružení, řídicí ústrojí, brzdové soustavy. Brno: Vlk, 2006

ŽDÁNSKÝ, B. a kol.: Automobily: Podvozky, Nakl. Avid, 2009

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Miroslav Růžička, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 15. 2. 2017

doc. Ing. Miroslav Růžička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 15. 2. 2017

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 29. 03. 2017

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Brzdové soustavy osobních automobilů" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31. března 2017

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Miroslavu Růžičkovi, CSc. za převzetí vedení mé práce po Ing. Petru Milerovi a především pak rodině, která mi poskytla zázemí a podporu při studiu na vysoké škole.

Brzdové soustavy osobních automobilů

Souhrn

Tato bakalářská práce pojednává o brzdových soustavách osobních automobilů. V první části práce jsem popsal základní pojmy týkající se brzdění automobilů obecně a zákonné požadavky na brzdové soustavy osobních automobilů. Další část je věnována rozdělení brzdových soustav následující informacemi o jejich základních konstrukčních prvcích. Poslední část je pak věnována základním asistenčním systémům brzdových soustav a očekávanému vývoji v budoucnu.

Klíčová slova: Osobní vozidlo, brzdění, brzdová soustava, brzda, účinnost brzd, brzdný moment, brzdový asistent, ABS, ASR, ESP

Braking systems of passenger vehicles

Summary

This bachelor's thesis describes brake systems of passenger vehicles. First part describes basic terms used in braking of vehicles and legislation requirements for braking systems. Next part is describing divisions of braking systems and following information about basic construction parts of these systems. Last part is dedicated to basic assistants used in braking systems and future evolution of these systems.

Keywords: Passenger vehicle, braking, brake system, brake, brake efficiency, brake momentum, brake assistant, ABS, ASR, ESP

Obsah

1 Úvod.....	7
2 Základní pojmy	8
3 Dynamika brzdění.....	11
4 Legislativní požadavky	12
5 Rozdělení brzdových soustav	16
5.1 Podle účelu	16
5.1.1 Provozní brzdová soustava	16
5.1.2 Nouzová brzdová soustava	16
5.1.3 Parkovací brzdová soustava.....	16
5.1.4 Odlehčovací (zpomalovací) brzdová soustava	16
5.1.5 Samočinná brzdová soustava	16
5.2 Podle zdroje brzdné energie	16
5.2.1 Přímochinná brzdová soustava	16
5.2.2 Brzdová soustava s posilovačem	17
5.3 Podle způsobu přenosu síly v soustavě	17
5.3.1 Mechanická brzdová soustava	17
5.3.2 Elektromechanická brzdová soustava	18
5.3.3 Hydraulická brzdová soustava	18
5.3.4 Elektrohydraulická brzdová soustava	19
6 Hlavní součásti hydraulické brzdové soustavy.....	19
6.1 Brzdový pedál	19
6.2 Hlavní brzdový válec	20
6.3 Bubnové brzdy	22
6.3.1 Druhy bubnových brzd	23
6.3.2 Konstrukční prvky bubnových brzd	25
6.4 Kotoučové brzdy	27
6.4.1 Duhy kotoučových brzd.....	28
6.4.2 Brzdové kotouče	29
6.5 Brzdové obložení	30
6.6 Posilovač brzd	31
6.6.1 Podtlakový posilovač brzd.....	31
6.6.2 Hydraulický posilovač brzd	32
6.7 Rozdělení brzdné síly	34
6.7.1 Omezovač brzdné síly.....	34
6.7.2 Regulátor brzdné síly	34
6.7.3 Zátěžový regulátor brzdné síly	34

6.7.4	Elektronický regulátor brzdné síly.....	34
6.8	Brzdová kapalina.....	35
6.9	Způsoby zapojení ovládacích soustav.....	35
6.9.1	Zapojení přední/zadní „II“.....	35
6.9.2	Zapojení diagonální „X“.....	36
6.9.3	Zapojení trojúhelník „LL“.....	36
6.9.4	Zapojení čtyři-dva „HI“.....	37
6.9.5	Zapojení čtyři-čtyři „HH“.....	37
7	Elektronické brzdové asistenční systémy.....	37
7.1	Brzdový asistent BAS.....	37
7.1.1	Princip činnosti brzdového asistentu.....	38
7.1.2	Vliv na brzdovou dráhu.....	39
7.2	Protiblokovací systém ABS.....	39
7.2.1	Princip činnosti ABS.....	39
7.2.2	Součásti systému ABS.....	40
7.2.3	Požadavky na systém ABS.....	41
7.2.4	Vliv na brzdovou dráhu.....	42
7.3	Uzávěrka diferenciálu EDS.....	42
7.3.1	Princip činnosti.....	43
7.4	Protiprokluzový systém ASR.....	43
7.4.1	Princip činnosti ASR.....	44
7.4.2	Elektronické řízení motoru EMS.....	44
7.5	Elektronická stabilizace jízdy ESP.....	44
7.5.1	Princip funkce ESP.....	45
7.5.2	Vliv na trajektorii automobilu.....	45
8	Předpokládaný vývoj v oblasti.....	48
8.1	Systém adaptivního tepmomatu ACC (Adaptive Cruise Control).....	48
8.2	Použití materiálů s lepšími vlastnostmi.....	49
8.3	Regenerativní brzdění.....	49
8.4	Elektronická klínová brzda.....	50
9	Závěr.....	51
10	Seznam použitých zdrojů.....	52
10.1	Knižní.....	52
10.2	Internet.....	52
11	Seznam obrázků.....	55
12	Seznam tabulek.....	57

1 Úvod

Brzdová soustava je jednou z nejdůležitějších součástí aktivní bezpečnosti vozidla. Jejím úkolem je umožnit bezpečně snížit rychlost vozidla, udržovat konstantní rychlost při jízdě ze svahu a především vozidlo zastavit a to na co nejkratší možné dráze. Tyto úkoly musí být schopna brzdová soustava splnit za všech provozních podmínek. Brzdové soustavy automobilů jsou velmi obsáhlá oblast a já jsem se rozhodl, že se v této práci pokusím obsáhnout nejdůležitější fakta týkající se konkrétně brzdových soustav osobních automobilů. Hlavním účelem brzd je přeměna kinetické energie vozidla na teplo, které se bez dalšího využití odvádí do okolí. Brzdná dráha je pak závislá především na rychlosti a součiniteli adheze mezi pneumatikami a vozovkou. Pro snížení brzdné dráhy a udržení směru vozidla v kritických situacích jsou pak využívány elektronické asistenční systémy. Nejznámějším z nich je protiblokovací systém ABS. Brzdovým asistentům je v dnešní době věnována velká pozornost a díky tomu se dostávají do výbavy vozů nižších tříd asistenční systémy, které ještě před pár lety byly výsadou vrcholných modelů výrobců automobilů. V tomto odvětví je tak znát jistý trend, kdy výrobci preferují zvýšení bezpečnosti v provozu nad zvýšenými náklady na tyto systémy. Hlavním cílem tohoto snažení je minimalizace počtu dopravních nehod a především jejich následků ať již na majetku, ale hlavně na lidském zdraví.

2 Základní pojmy

Následující výčet pojmů byl převzat z ČSN 300029 (základní automobilové názvosloví)

Ovládací síla brzdy [N]: Síla vynaložená na brzdění řidičem, nebo jiným zdrojem energie na brzdový pedál nebo jiné ovládací zařízení brzdy.

Brzdná síla [N]: Síla působící proti směru pohybu vozidla. Vzniká účinkem brzdy (brzdové soustavy). Je-li brzdná síla rovna velikosti adhezni síly na kolech vozidla, jedná se o brzdění na mezi adheze.

Brzdící síla [N]: Síla, která vznikne znásobením ovládací síly pomocí převodu brzdy, a kterou brzda působí na brzděné součásti automobilu.

Doba brzdění [s]: Doba od chvíle kdy řidič začne působit na brzdový pedál, a tím na brzdovou soustavu vozidla, až do chvíle než účinek brzdy pomine nebo dojde k zastavení vozidla. Skládá se z těchto 4 složek:

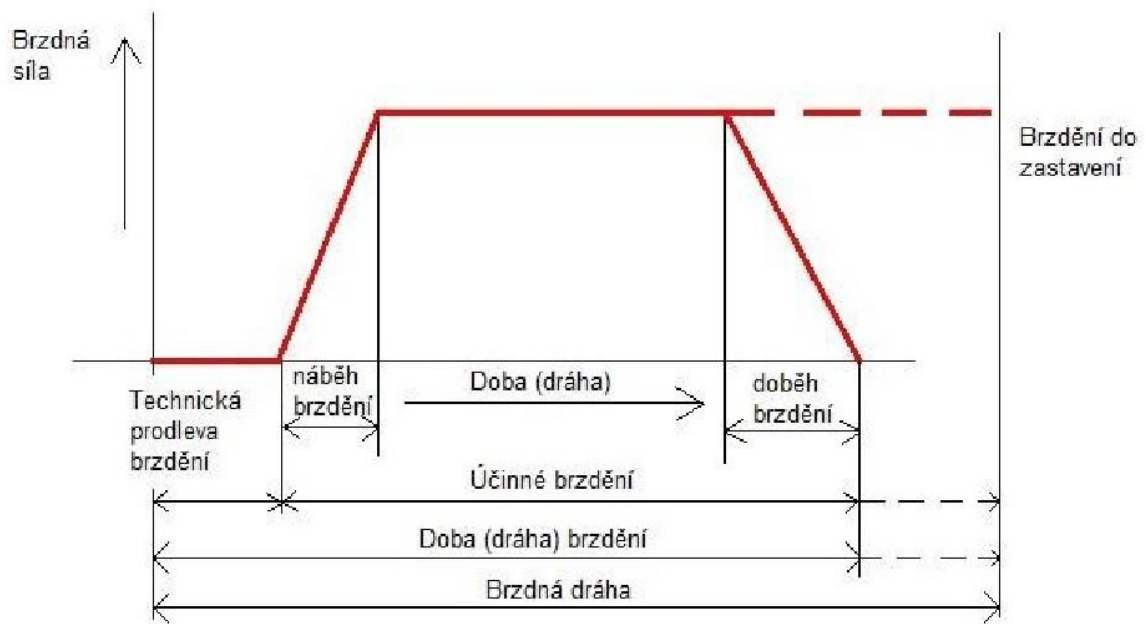
- **doba technické prodlevy brzdy:** Doba mezi okamžikem, kdy řidič začne působit na brzdový pedál a okamžikem, kdy se začne projevovat účinek brzdění.
- **doba náběhu brzdění:** Doba, od okamžiku, kdy se účinek brzdy začne projevovat, až do okamžiku, kdy dosáhne své plné výše.
- **účinná doba brzdění:** Doba, která uplyne od okamžiku, kdy se účinek brzdy začne projevovat, až do okamžiku, kdy pomine nebo kdy se vozidlo zastaví.
- **doba doběhu brzdění:** Doba, která uplyne od okamžiku, kdy řidič přestane působit na brzdový pedál vozidla, až do okamžiku, kdy účinek brzd pomine.

Brzdná dráha [m]: Dráha brzdění, pokud bylo vozidlo brzděno až do úplného zastavení. Brzdnou dráhu s lze vypočítat, pokud známe rychlost vozidla v a součinitel adheze μ podle vztahu:

$$s = \frac{v^2}{2g\mu}, [\text{m}]$$

Dráha brždění [m]: Dráha, kterou vozidlo urazí za dobu brždění. Skládá se ze 4 složek:

- **dráha technické prodlevy brzdy:** Dráha, kterou vozidlo ujede v době prodlevy brzdy.
- **dráha náběhu brždění:** Dráha, kterou vozidlo ujede v době náběhu brždění.
- **dráha účinného brždění:** Dráha, kterou vozidlo ujede v účinné době brždění.
- **dráha doběhu brždění:** Dráha, kterou vozidlo ujede v době doběhu brždění.



Obr. 1: Průběh brzdné síly v závislosti na době (dráze) brždění a jejich složky. [7]

Brzdné zpomalení [m.s⁻²]: Úbytek rychlosti vozidla za 1 sekundu způsobený účinkem provozních, pomocných nebo zpomalovacích brzd. Střední hodnotu brzdného zpomalení lze vypočítat z rychlosti vozidla v a brzdné dráhy s dle vzorce:

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

Brzdný sklon [°]: Sklon svahu, na kterém lze za pomoci parkovací brzdy udržet vozidlo v klidu (slouží pro určení účinnosti parkovací brzdy).

Brzdový výkon [W]: Jeho hodnotu lze vypočítat ze součinu brzdné síly a rychlosti vozidla.

Brzdný účinek: Schopnost snížit rychlost vozidla případně jej zastavit, udržovat řidičem požadovanou rychlost při jízdě ze svahu nebo ho ve svahu udržet v klidu. Účinek brzd lze vyjádřit pomocí brzdné dráhy, zpomalení a brzdného sklonu.

Sílení brzd: Zvýšení účinku brzd způsobené různými vlivy během provozu.

Slábnutí brzd: Snížení účinku brzd způsobené jejich zahřátím během brždění, tento jev odezní po vychladnutí brzd.

Adhezní síla: Nejvyšší síla, kterou lze přenést ve styku hnacího kola nebo kol vozidla při určité adhezní tíze, daném povrchu vozovky a dané pneumatice. Pokud překročí brzdná síla velikost adhezní síly, dojde k zablokování kola a k jeho smýkání. Zablokované kolo je pak schopné přenášet menší brzdicí sílu a přichází o vodící funkci.

3 Dynamika brzdění

Kinetická energie jedoucího vozidla je dána jeho hmotností a rychlostí. Při brzdění se pak tato pohybová energie přeměňuje na teplo. Kinetickou energii vozidla lze vyjádřit pomocí vztahu:

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

Kde E_k [J] je kinetická energie vozidla, m [kg] hmotnost vozidla a v [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] udává rychlost vozidla. Kinetická energie vozu roste úměrně s hmotností a kvadrátem rychlosti. Při brzdění pak vzniká setrvačná síla F_a , která je v rovnováze s brzdou silou F_b na obvodu kola.

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

Kde a [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$] je brzdné zpomalení vozidla. [3]

Síla F_b závisí na tíhové síle G a součiniteli záběru μ , jehož hodnota se mění v závislosti na povrchu.

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

Kde G [N] je tíhová síla vozidla, μ [-] součinitel záběru a g tíhové zrychlení [$9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$]. [3]

K zastavení vozidla je nezbytné, aby práce vykonaná brzdou silou na dráze s_b byla rovna kinetické energii vozidla E_k .

$$E_k = F_b \cdot s_b, [\text{J}]$$

Pro brzdou dráhu vozidla pak platí vztah:

$$s_b = \frac{E_k}{F_b} = \frac{\frac{m \cdot v^2}{2}}{m \cdot g \cdot \mu} = \frac{v^2}{2 \cdot g \cdot \mu}, [\text{m}]$$

Z tohoto vztahu vyplývá, že brzdá dráha vozidla je přímo závislá na kvadrátu rychlosti a nepřímo závislá na součiniteli adheze. Tento vztah je platný pouze pro případ, kdy jsou všechna kola bržděna stejně velkým brzdícím účinkem. Pokud je bržděna pouze jedna náprava, je brzdá síla F_b závislá na hmotnosti působící pouze na bržděnou nápravu. Poměr celkové

hmotnosti vozidla a hmotnosti připadající na jednu nápravu je vždy < 1 a z toho důvodu dochází vždy k prodloužení brzdné dráhy při brzdění pouze jedné nápravy.

Celková brzdná dráha vozidla se pak skládá z dráhy, kterou vozidlo ujelo v reakční době řidiče s_1 (0,1-1 s), dráhy ujeté během reakční prodlevy brzd s_2 (0,2-0,3 s) a vlastní dráhy brzdění s_b . Celkovou brzdnu dráhu lze tedy určit podle vzorce:

$$s = s_1 + s_2 + s_b = v \cdot t_1 + v \cdot t_2 + \frac{v^2}{2 \cdot g \cdot \mu} \text{ , [m]}$$

Pokud platí že $F_a = F_b$, tedy že $m \cdot a = m \cdot g \cdot \mu$, je maximální brzdné zpomalení vozidla závislé pouze na tíhovém zrychlení a součiniteli adheze. [2], [3]

$$a_{max} = g \cdot \mu = 9,81 \cdot \mu \text{ , [m.s}^{-2}\text{]}$$

Druh povrchu vozovky	Součinitel adheze
Beton	0,7-1,0
Asfalt - suchý	0,7-0,9
Asfalt - mokrý	0,3-0,5
Makadam	0,5-0,7
Hliněná cesta - suchá	0,8
Písčítá cesta - suchá	0,7
Ujetý sníh	0,2-0,3
Náledí	0,1

Tab. 1: Hodnoty součinitele adheze μ pro vybrané povrchy. [23]

4 Legislativní požadavky

Z hlediska plynulosti a bezpečnosti provozu na pozemních komunikacích je nezbytné, aby všechna motorová vozidla na nich provozovaná byla schopná rychlé akcelerace a dostatečně rychlého zpomalení (brzdění). Konkrétně tyto požadavky upravuje Vyhlášku Ministerstva dopravy a spojů 341/2014 Sb. o schvalování technické způsobilosti

a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích. Tato vyhláška je v souladu s homologačními předpisy EHK č. 13,78 a 90. Předpis EHK č. 13 definuje požadavky na brzdové soustavy pro osobní a nákladní (kategorie M, N) automobily a přípojná vozidla (kategorie O). Předpis EHK č. 78 se týká zkoušení a schvalování brzdových systémů pro 2 a 3 kolová vozidla a předpis EHK č. 90 se vztahuje na zkoušení a schvalování náhradních částí s brzdovým obložením určených k použití v třecích brzdách brzdového systému motorových vozidel a jejich přípojných vozidel.

Vyhláška 341/2014 Sb. Je poměrně obsáhlá a definuje, že každé vozidlo musí být vybaveno dvěma nezávislými brzdovými systémy. Z nichž jeden je brán jako provozní brzda a musí umožňovat dostatečně plynulé dávkování brzdného účinku a používá se pro provozní brzdění. Druhý slouží k zajištění stojícího vozidla proti pohybu (parkovací brzda). Brzdy musí být schopny zastavit vozidlo maximálně na předepsané vzdálenosti a bez zablokování kol, které by způsobilo ztrátu kontroly nad vozidlem.

Provozní brzdění musí působit na všechna kola a brzdný účinek musí být vhodně distribuován mezi nápravy. Musí umožnit rychlé a účinné zastavení při jakékoliv přípustné rychlosti a hmotnosti vozidla, a to na také na všech svazích, které při provozu přicházejí v úvahu. Řidič by také měl být schopen při provozním brzdění ovládat brzdy tak, aby nedocházelo ke změně polohy jeho trupu a nebylo vynuceno sejmutí rukou z volantu. Účinek provozního brzdění musí být také plynule regulovatelný.

U kategorií vozidel M a N je předepsáno, že brzdová zařízení musejí být taková, aby v případě poruchy soustavy pro provozní brzdění umožňovala zastavit vozidlo nouzovým brzděním. Na obou stranách vozidla musí být v této nouzové situaci brzděno alespoň jedno kolo a ovládání musí být vyřešeno takovým způsobem, aby trup řidiče nezměnil při ovládání nouzového brzdění polohu, přičemž musí být schopný alespoň jednou rukou ovládat řízení vozidla. Účinek nouzového brzdění musí být stejně jako u provozního brzdění plynule regulovatelný.

Parkovací brzdění pak musí zabránit samovolnému protáčení kol stojícího vozidla, soupravy či přípojného vozidla odpojeného od vozidla tažného při stání ve svahu (18% pro osobní automobily, autobusy a jednotlivá nákladní vozidla; pro soupravy 12%). Elementy parkovacího brzdného ústrojí pak musí být udržovány v zabrzděné poloze výhradně mechanicky. Parkovací brzdění musí stejně jako v případě nouzového působit alespoň na jedno kolo z každé strany vozidla podél jeho podélné střední roviny. Řidič také musí mít možnost, aby ovládal parkovací

brzdění ze sedadla beze změny polohy trupu. U přípojných vozidel musí být ovládání přístupné z pravé strany nebo ze zádi vozidla osobou stojící na zemi.

Odlehčovací brzdění slouží k omezení rychlosti nebo jejího udržení při sjíždění dlouhých svahů, a to bez využití provozního, nouzového nebo parkovacího brzdění vozidla. Jeho úkolem není vozidlo zastavit. Ovládání musí být řešeno tak, aby řidič nezměnil polohu trupu na sedadle, a k ovládání vozidla mu musí zůstat k dispozici nejméně jedna ruka.

Kategorie vozidel podle EHK – R13		Osobní automobily M1
Provozní brzdění	Počáteční rychlost v_0	80 km/h
	Max. brzdná dráha S_b	$0,1 \cdot v_0 + \frac{v_0^2}{150}, s = 50,7m$
	Max. nožní síla F_a	500 N
	Max. prodleva t_1	0,63 s
	Zpomalení a	5,8 m.s ⁻²
Nouzové brzdění	Max. brzdná dráha s	$0,1 \cdot v_0 + \frac{2 \cdot v_0^2}{150}, s = 93,4m$
	Max. ruční síla F_r	400 N

Tab. 2: Požadavky na brzdny účinek pro osobní automobily podle EHK. [6]

V tabulce 2 je uvedena maximální vzdálenost S , na které musí být schopné za pomoci brzd zastavit, a to v rozsahu od pohotovostní do celkové hmotnosti vozidla. Hodnoty t_1 , a jsou vypočteny. Další hodnoty v tabulce jsou dle EHK č. 13 případně dle vyhlášky Ministerstva dopravy. Předepsaný brzdny účinek musí být dosažen bez zablokování kola, a aniž by vozidlo vybočilo ze směru jízdy. Účinek provozních brzd také musí působit souměrně na kola též nápravy k podélné střední rovině vozidla. U vozidel kategorie M, do které patří i osobní automobily, musí být účinek provozního brzdění rozdělen na jednotlivé nápravy v předpisem daných mezích z hlediska bezpečnosti při jakékoliv okamžité hmotnosti vozidla a také za různých adhezních podmínek. Pokud není vozidlo vybaveno protiblokovacím

systemem kol, je v předpisu EHK č. 13 pro tento případ také definováno rozdělování brzdných sil mezi nápravami pro různé kategorie vozidel.

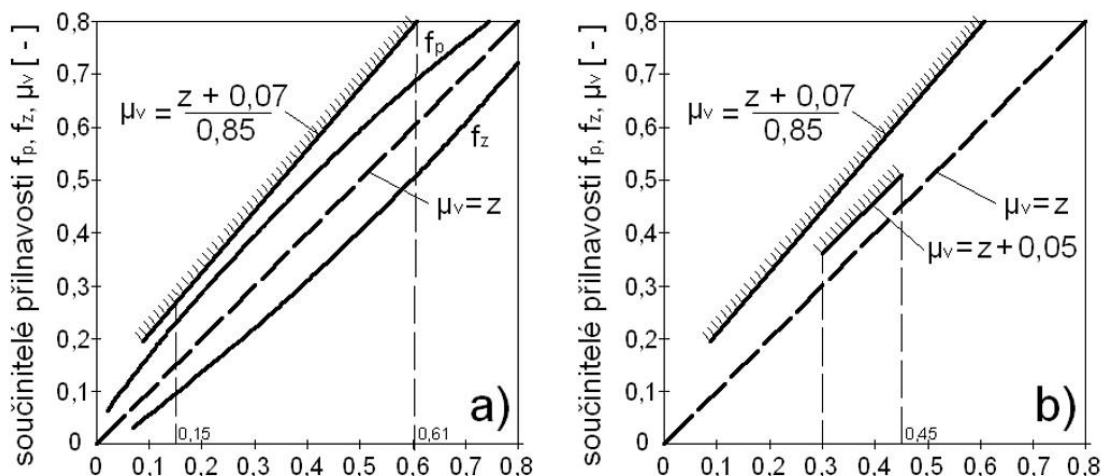
Příloha II EHK č. 13 dále předepisuje hodnoty brzdného účinku z a to tak, že pro všechna vozidla musí platit: $z \geq 0,1 + 0,85 \cdot (\mu v - 0,2)$.

Pro $\mu v = 0,2$ vychází $z \geq 0,1$; $\mu v = 0,8$ vychází $z \geq 0,6$. Tento požadavek určuje podmínku minimální brzdného účinku. Z předchozí rovnice pak plyne pro součinitel přilnavosti: $\mu v \leq (z + 0,07) / 0,85$.

Předpis dále definuje podmínku zachování stability, a to dle průběhu křivek využívané přilnavosti $f_p(z)$ a $f_z(z)$. Pro všechna provozní zatížení vozidla musí křivka určující využití přilnavosti přední nápravou $f_p(z)$ probíhat vždy nad křivkou určující využití přilnavosti pro zadní nápravu $f_z(z)$. Pro vozidla s až 9 místy pro cestující pro poměrná zpomalení v rozsahu $0,15 < z < 0,8$.

Znázornění tohoto požadavku včetně minimálního brzdného účinku je znázorněno na obr. 2a. Pro vozidla spadající do této kategorie jsou také přípustné hodnoty v rozsahu $0,3 < z < 0,45$.

Přípustný je obrácený vzájemný průběh těchto křivek z podmínky, že $f_z(z)$ nedosáhne hodnot vyšších než 0,05 nad přímkou ideálního využití přilnavosti $\mu v = z$. [1], [4], [5], [6]



Obr. 2: Požadavky na průběh křivek využívané přilnavosti pro osobní automobily pro maximálně 9 pasažérů. [4]

5 Rozdělení brzdových soustav

5.1 Podle účelu

5.1.1 Provozní brzdová soustava

Jedná se o soubor prvků, které umožňují během jízdy většinou za pomoci brzdového pedálu ovládaného nohou snižovat rychlost vozidla, nebo jej zastavit a přitom se nesmí vozidlo odchýlit od směru jízdy. Účinek soustavy pro provozní brzdění musí být regulovatelný a musí působit na všechna kola. [4], [5]

5.1.2 Nouzová brzdová soustava

Soubor prvků, který zastupuje funkci provozní brzdové soustavy v případě její poruchy a musí působit alespoň na jedno kolo z každé strany vozidla. Soustava nemusí být samostatná, ale může to být neporušený okruh u dvouokruhového systému provozních brzd nebo parkovací brzda. [4], [5]

5.1.3 Parkovací brzdová soustava

Soubor prvků, který umožňuje zajistit stojící vozidlo proti pohybu (zejména ve svahu), zejména za nepřítomnosti řidiče ve vozidle. [4], [5]

5.1.4 Odlehčovací (zpomalovací) brzdová soustava

Soubor prvků pomáhající snížit nebo ustálit rychlost vozidla především při dlouhé jízdě ze svahu bez nutnosti použití provozních, nouzových nebo parkovacích brzd. Tyto brzdy neslouží k zastavení vozidla. [4], [5]

5.1.5 Samočinná brzdová soustava

Soubor prvků, které samočinně brzdí přípojné vozidlo při jeho úmyslném i neúmyslném odpojení od tažného vozidla. [4], [5]

5.2 Podle zdroje brzdné energie

5.2.1 Přímočinná brzdová soustava

U tohoto typu brzdové soustavy je energie potřebná k vytvoření brzdné síly dodávána pouze vlastní silou řidiče, která se přenáší na kola vozidla za pomoci mechanického nebo hydraulického převodu. Nejběžnějším typem přímočarých brzd jsou brzdy mechanické.

5.2.2 Brzdová soustava s posilovačem

U této brzdové soustavy se k vytvoření brzdné síly využívá vlastní síla řidiče, ale je dále zvětšena pomocí podtlakového nebo hydraulického posilovače. Tento posilovač musí být konstruován tak, aby ovládací síla na brzdový pedál v případě poruchy posilovače nepřekročila 800 N. [4], [5]

5.3 Podle způsobu přenosu síly v soustavě

U osobních automobilů se v dnešní době používají pro provozní a nouzové brzdění výhradně hydraulicky ovládané brzdové soustavy. Dříve používané přímočinné ovládání je již v dnešní době doplněné o podtlakový posilovač. Jako ovládací element provozního a nouzového brzdění je využit brzdový pedál. Pro ovládání parkovacího brzdění jsou používány mechanické soustavy ovládané ručně, nejčastěji pak v podobě páky. U novějších vozidel pak může být parkovací brzda ovládána pomocí tlačítka nebo automaticky. [4], [5]

5.3.1 Mechanická brzdová soustava

Mechanický přenos je v dnešní době využíván prakticky výhradně pro ovládání parkovacího brzdění. Ovládání je řešeno většinou pomocí páky ruční brzdy a mechanickým převodem pomocí ocelových lanek, která obvykle působí na brzdy zadních kol. Převod musí zajistit rovnoměrné rozdělení na obě kola, aby docházelo k rovnoměrnému opotřebení třecího obložení brzd. Pro tento účel jsou v systému zakomponovány vyrovnávací kladky nebo páky. Rozšířené jsou systémy s proměnným převodem. V závislosti na zdvihu páky pak při menším zdvihu, a tím pádem menším převodu, dochází k vymezení vůle mezi čelistmi a třecí plochou brzdového bubnu. Při větším zdvihu pak díky většímu převodu dojde k přitlačení čelistí na třecí plochu. Poloha páky parkovací brzdy je v zabrzděném stavu zajištěna mechanickou pojistkou (obvykle se jedná o odpruženou západku). Pro odbrzdění se pak páka ruční brzdy uvolní stisknutím tlačítka, které západku uvolní. Páka parkovací brzdy je řešena tak, aby nedocházelo k jejímu výkyvu do boku a aby funkce ozubené aretace zdvihu byla dokonale spolehlivá. Součástí páky je také táhlo s vahadlem k zakotvení koncovek lan parkovací brzdy. Vahadlo je možné seřizovat pomocí matice v závitové části táhla. V přední části je tlačítko aretace. V držáku páky je také nainstalován kontaktní spínač ovládající indikaci polohy páky. Pokud se nachází brzda v poloze zabrzděno a je zapnuto zapalování, na přístrojové desce se rozsvítí kontrolka, že je parkovací brzda v činnosti. [4], [5]

5.3.2 Elektromechanická brzdová soustava

Jde o systém fungující jako parkovací brzda stejně jako v předchozím případě. Při stisknutí tlačítka na palubní desce vozidla se konvenční parkovací brzda zatáhne pomocí elektrického ovladače. Ovladač je namontován nad zadní nápravu mezi oba lanovody parkovací brzdy. Ovladač se skládá z drážkovaného hřídele, dutého hřídele a motoru s převodovkou. Hřídele jsou navzájem spojeny závitem a na jejich vnějších koncích jsou uchyceny brzdové lanovody. Lanovod na dutém hřídeli je uchycen otočně. Drážkovaný hřídel je radiálně fixován ve skříni. Pomocí motoru a převodovky se dutý hřídel může otáčet v obou směrech a drážkovaný hřídel se tím pádem zasouvá nebo vysouvá z dutého hřídele a oba brzdové lanovody se zatáhnou nebo uvolní. Snímač umístěný mezi dutý hřídel a brzdový lanovod měří účinnou tažnou sílu a přenáší ji dále na modul parkovací brzdy. Tento modul vyhodnocuje příchozí signály a na jejich základě aktivuje podle uložených charakteristik elektromotor. Při poruše systému je možné brzdové lanovody pomocí nouzového odblokování mechanicky odpojit od představovací jednotky. Elektromechanická parkovací brzda je odolná vůči opotřebení a její účinek je konstantní. Brzda se aktivuje tlačítkem nebo páčkou na přístrojové desce nebo středovém panelu. Při rozjezdu se brzda automaticky uvolňuje, jakmile řidič zapne bezpečnostní pás. Ani při rozjezdu do kopce ji není třeba ručně deaktivovat díky zabudovanému zařízení pro usnadnění rozjezdů, které snímá zařazený rychlostní stupeň, polohu plynového pedálu, otáčky motoru, točivý moment a směr i úhel náklonu vozidla. Tím bezpečně zabrání nechtěnému rozjetí vozidla vzad při uvolnění brzdy. Tento systém je také schopný se adaptovat na změnu podmínek například při připojení přívěsu. Manuální uvolnění brzdy je možné pouze v případě že řidič současně sešlápne i pedál provozní brzdy. V případě nouzového brzdění pomocí elektromechanické ruční brzdy je oproti konvenční ruční brzdě mnohem účinnější, a to především díky tomu, že systém komunikuje prostřednictvím systému elektronické stabilizace jízdy ESP s protiblokovacím systémem brzd ABS a elektronickým děličem brzdné síly EBD. [4], [5]

5.3.3 Hydraulická brzdová soustava

U tohoto typu brzdové soustavy je pro přenos ovládací síly využívána brzdová kapalina. Ta je tvořena brzdovým pedálem, hlavním tandemovým brzdovým válcem, brzdovým potrubím, brzdovými hadicemi, kolovými brzdovými válečky a vlastními kolovými brzdami. Princip činnosti je založen na využití Pascalova zákona. Tlak v kapalině je v tomto případě vytvářen brzdovým pedálem, který působí na píst v hlavním brzdovém válci. Kapalina pak přenáší tlakem sílu na pístky v kolových brzdových válečkách. V hydraulickém systému jsou působící síly ve stejném poměru jako plocha velikosti ploch pístků. Na pístky s menší plochou

tak působí menší síla a naopak. Tlak kapaliny zůstává konstantní. Zdvihy pístků jsou pak v opačném poměru k působícím silám. Pracovní tlak v hydraulických brzdách může dosahovat až 18 MPa, což umožňuje, aby byly měly jednotlivé části brzdové soustavy poměrně malé rozměry. Díky malým vůlím a malému obsahu kapaliny v systému, která se dá do pohybu okamžitě po stlačení pedálu, pracují hydraulické brzdy s malým zpožděním. Výhodou kapalinových brzd je také to, že jsou velmi nenáročné na údržbu. [4], [5]

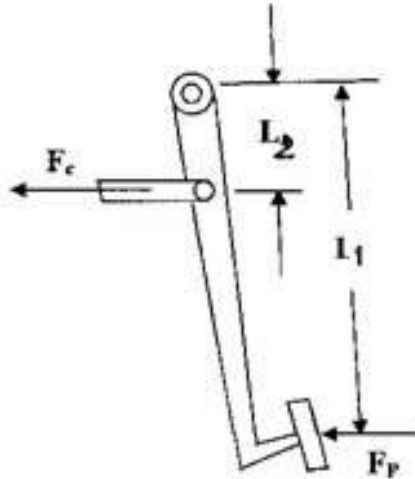
5.3.4 Elektrohydraulická brzdová soustava

Tento typ brzdové soustavy nasadil poprvé do sériové výroby Mercedes pod označením Sensotronic Brake Control. V normálním pracovním režimu je zajištěno hydraulické spojení mezi hlavním brzdovým válcem a pístky brzd prostřednictvím oddělovacích ventilů. Při brzdění se při sešlápnutí brzdového pedálu vytvoří za pomoci elektrického čerpadla v systému vysoký tlak (cca 13-16 MPa). Celý tento proces je doprovázen funkcí asistenčních systémů jako suché brzdění, jež při určité frekvenci stěračů předního skla zajistí jemným přibrzděním vysušení plochy brzdových kotouče, systému předběžného naplnění brzdového vedení pokud je při vysoké rychlosti uvolněn akcelerační pedál nebo brzdový asistent, jehož princip je podrobněji vysvětlen v kapitole věnované brzdovým asistenčním systémům. [4], [5]

6 Hlavní součásti hydraulické brzdové soustavy

6.1 Brzdový pedál

Brzdový pedál je jedním z hlavních ovládacích prvků vozidla. Odezva vozidla na sílu aplikovanou na brzdový pedál musí být neměnná a měla by v řidiči vzbuzovat důvěru. Přepákování brzdového pedálu by mělo fungovat tak, že síla F_p , kterou řidič působí na brzdový pedál je znásobena pomocí páky na výslednou sílu F_c , která, pokud není v brzdové soustavě použitý nějaký typ posilovače brzd, působí přes táhlo přímo na hlavní brzdový válec. [4]

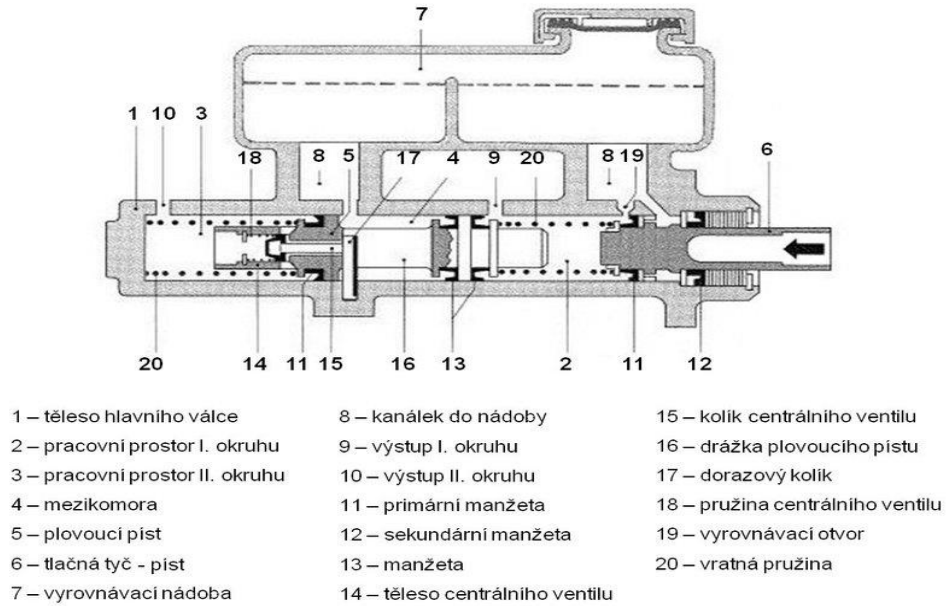


Obr. 3: Schéma přepákování brzdového pedálu. [8]

6.2 Hlavní brzdový válec

Jedná se o hydraulický válec, ve kterém dochází k přeměně svalové síly řidiče, kterou působí na brzdový pedál, na hydraulický tlak v systému. Z bezpečnostních důvodů je třeba, aby brzdový válec plnil svoji funkci nezávisle pro každý okruh brzdové soustavy. Proto se u dvouokruhových brzdových soustav používá „tandemový“ brzdový válec. U tohoto provedení brzdového válce dva písty sdílejí jeden pracovní válec a jsou uloženy za sebou v jedné ose. „Hlavní“ píst je ovládán silou od brzdového pedálu a jím vyvinutý hydraulický tlak ovládá „sekundární“ píst, který je volně uložen ve válci. Tyto dva písty mají stejný průměr, takže tlak v obou komorách válce je přibližně stejný. Může se lišit pouze nepatrně, kvůli tření mezi těsněními a stěnou válce (nanejvýš o 0,2 MPa). Do každé komory je přiváděna brzdová kapalina z oddělených částí rezervoáru brzdové kapaliny. Během pohybu pístů pak dochází k překrytí přívodních kanálků a dochází ke vzniku hydraulického tlaku. Návrat pístů do původní pozice zajišťují pružiny. V novějších typech brzdových soustav je pak používán tandemový brzdový válec s centrálním ventilem, u kterého je rozdíl ve způsobu plnění obou pístů brzdovou kapalinou. A to tak, že ve chvíli, když se hlavní píst posune směrem k sekundárnímu, uzavře napouštěcí ventil a v tom samém okamžiku se otevře ventil sekundární komory, aby došlo k natlakování sekundární komory tlakem vyvinutým v hlavní komoře. Tento ventil zůstává uzavřený, pokud dojde k poruše na libovolném okruhu. Pokud dojde k poruše na hlavním okruhu je tlak generován v sekundárním okruhu pomocí mechanického přenosu síly. Pokud naopak selže sekundární okruh tak je primární okruh uzavřen a dochází ke vzniku tlaku pouze

v něm. Jednou z výhod tohoto provedení je také to, že nedochází k tak velkému opotřebení těsnění, protože nenahrazují funkci ventilů jako u předchozího provedení. [1], [4], [5]

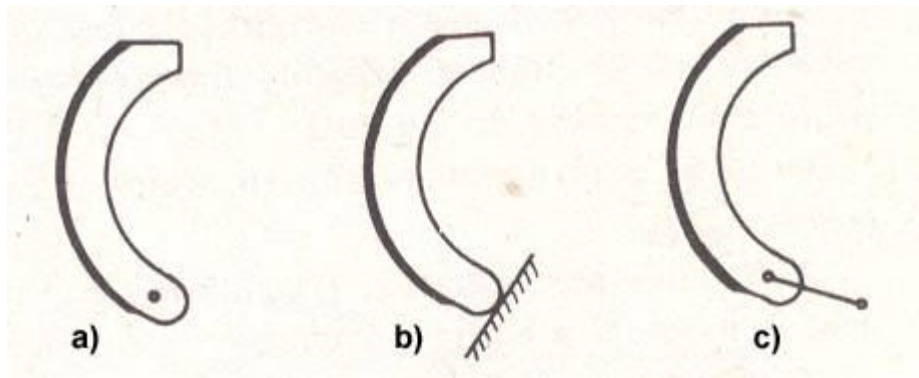


Obr. 4: Schéma hlavního brzdového válce. [9]

6.3 Bubnové brzdy

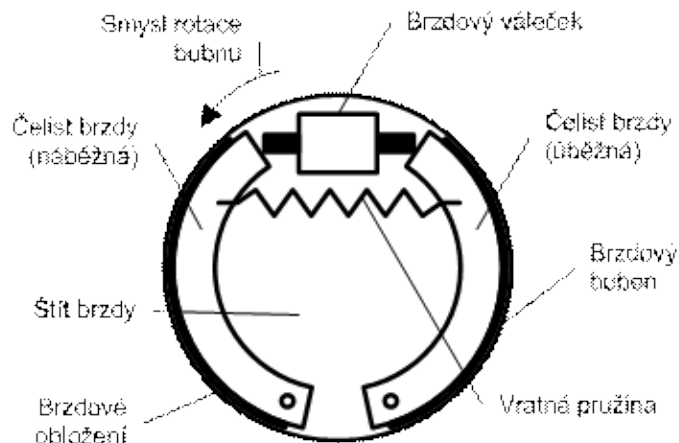
Bubnové brzdy pracují na principu otáčejícího se bubnu, jehož vnitřní válcový povrch tvoří třecí plochu. Ve vnitřním prostoru bubnu jsou umístěny čelisti s brzdovým obložením, které jsou na tento povrch přitlačovány. Radiální přítlak čelistí na plochu bubnu zajišťuje ovládací mechanismus, který působí jen na konci každé čelisti. Podle způsobu uložení druhého konce se čelisti rozdělují na:

- otočné, které jsou otočně uloženy na pevném čepu a mají 1° volnosti pohybu
- volné neboli plovoucí čelisti, které jsou opřeny o opěrnou plochu
- nekotvené čelisti uložené za pomoci výkyvné vzpěry na čepu a mají 2° volnosti pohybu



Obr. 5: Způsoby uložení čelistí bubnové brzdy a) Otočné b) Plovoucí
c) Nekotvené s výkyvnou vzpěrou [10]

Podle smyslu momentu třecí obvodové síly vůči uložení se rozlišuje čelist náběžná, u které brzdný moment zvyšuje přítlak čelisti na třecí plochu bubnu a čelist úběžnou u které tento moment zmenšuje její přítlak na třecí plochu. Návrat čelistí do výchozí polohy pak při odbrzdění zajišťují vratné pružiny. [4], [5]



Obr. 6: Schéma bubnové brzdý. [11]

6.3.1 Druhy bubnových brzd

6.3.1.1 Jednonáběžná bubnová brzda – SIMPLEX

Jde o nejjednodušší typ bubnové brzdý, kterou tvoří náběžná a úběžná brzdová čelist. Přítlačná síla pro obě čelisti je tvořena společným rozpěrným mechanismem například dvoupístkovým brzdovým válečkem, brzdovou vačkou, rozpěrným klínem či pákou. Každá čelist je uchycena na vlastním otočném čepu nebo má svoji opěrnou plochu. Tato brzda má stejnosměrný, ale malý samoposilovací účinek. U tohoto typu bubnové brzdý dochází k nerovnoměrnému opotřebení obložení. Brzdný účinek je při jízdě vpřed i vzad stejný, a lze jednoduše do konstrukce zakomponovat ovládací prvek, který umožní, aby pracovala i jako parkovací brzda. [4], [5]

6.3.1.2 Dvouběžná bubnová brzda – DUPLEX

Toto provedení bubnové brzdý má při jízdě vpřed obě čelisti náběžné, tudíž je zapotřebí pro každou z nich vlastní rozpěrné zařízení. Nejčastěji jsou použity dva jednopístkové brzdové válečky, které zároveň slouží jako podložka pro druhou čelist. Při jízdě vpřed je brzdný účinek větší než u jednonáběžné brzdý. Při jízdě vzad pak pracují obě čelisti jako úběžné. [4], [5]

6.3.1.3 Dvouběžná obousměrná bubnová brzda – DUO-DUPLEX

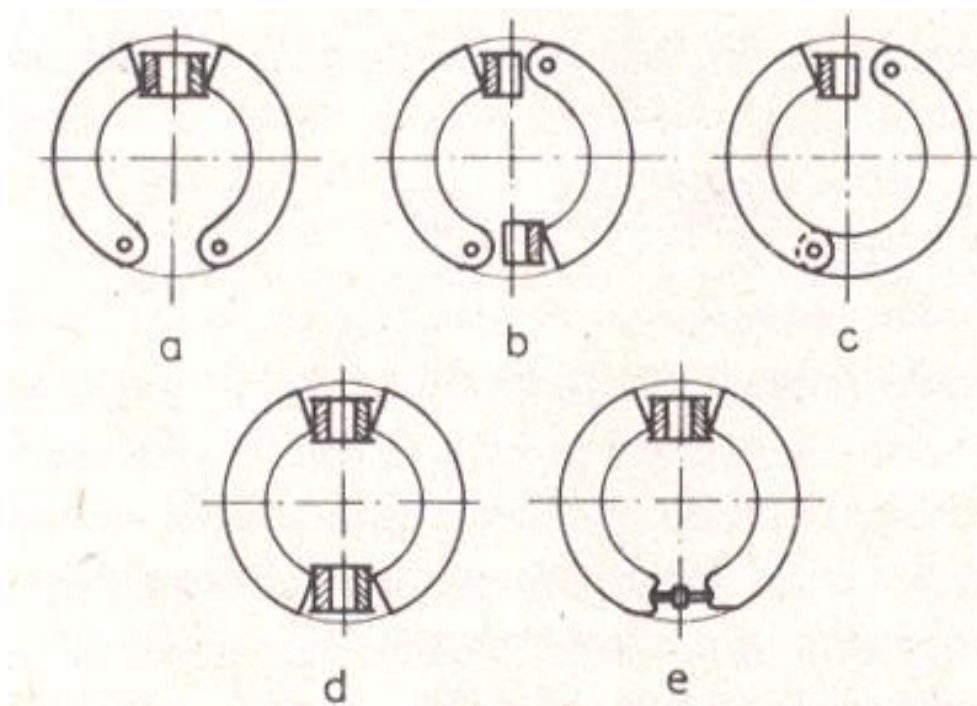
Brzda má dva dvoupístkové brzdové válečky, které umožňují dosažení stejného brzdného účinku jak při pohybu vpřed tak vzad. [4], [5]

6.3.1.4 Brzda se spřaženými čelistmi – SERVO

Čelisti brzdy jsou spřaženy tak, že na sebe při brzdění působí navzájem. Při jízdě vpřed působí obě jako náběžné a při jízdě vzad jako úběžné. [4], [5]

6.3.1.5 Dvouběžná bubnová brzda se spřaženými čelistmi – DUO-SERVO

Díky směru působení třecí síly a vytvořenému momentu se u tohoto typu brzdy projevuje samoposilovací účinek u obou čelistí. Čelisti jsou spojeny pohyblivou opěrkou a pracují jako náběžné jak při jízdě vpřed tak i vzad. Brzda má tedy stejný brzdný účinek v obou směrech pohybu a vyžaduje pouze malou ovládací sílu. Pokud je tato brzda použita jako parkovací, je většinou jako rozpěrný mechanismus použitý brzdový klíč ovládaný pomocí lanka. [4], [5]



a) Jednonáběžná brzda – SIMPLEX

b) Dvouběžná brzda – DUPLEX c) Brzda se spřaženými čelistmi – SERVO

d) Dvouběžná obousměrná bubnová brzda – DUO-DUPLEX

e) Dvouběžná brzda se spřaženými čelistmi – DUO-SERVO

Obr. 7: Typy provedení bubnových brzd, [10]

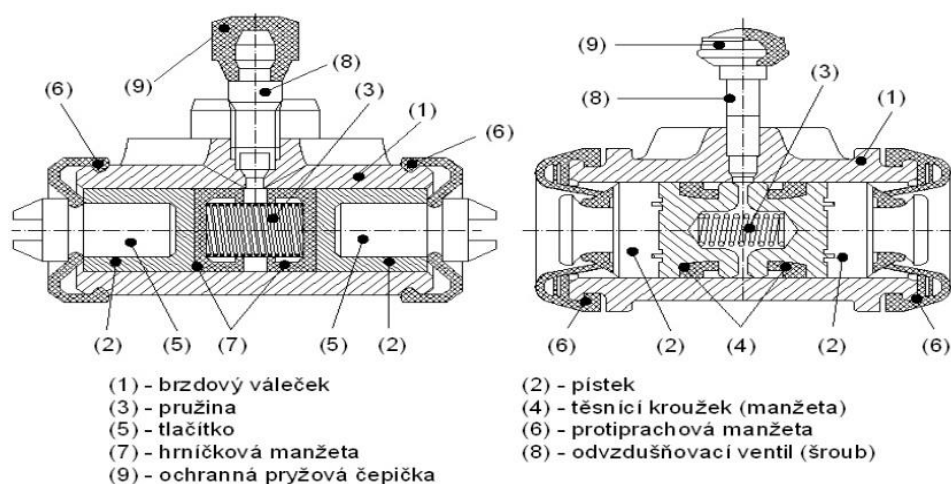
6.3.2 Konstrukční prvky bubnových brzd

6.3.2.1 Rozpěrné zařízení

K přitlačení brzdových čelistí k třecí ploše bubnu se nejčastěji používají kolové brzdové válečky, zřídka pak brzdové klíny. U parkovacích brzd ovládaných mechanicky se čelisti rozpírají pomocí rozpěrné páky nebo klíče. [4], [5]

6.3.2.2 Kolový brzdový váleček

Brzdové válečky jsou v provedeních s jedním či dvěma pístky. Na obrázku je zobrazen váleček s dvěma pístky. Váleček je pevně spojen se štítem brzdy. Pístky jsou utěsněny manžetami v drážce pístků nebo na čelech pístků. Hrníčkové manžety jsou přitlačovány k pístku pružinou přes opěrné misky. Pokud jsou použity hrníčkové manžety, je potřeba, aby ve válečku po uvolnění brzdy zůstal určitý přetlak (0,04-0,17 MPa). Tímto tlakem kapaliny jsou okraje manžety přitlačovány ke stěně válečku a plní těsnicí funkci. Pokud by ve válečku tento přetlak nezůstal, mohlo by dojít k netěsnosti a následnému přísátí vzduchu. Přetlak v okruhu zajišťuje výtlačný ventil umístěný na výstupu kapaliny z hlavního brzdového válce. Protiprachové manžety pak zabraňují vniknutí nečistot do válečku. Z vnějších stran jsou do válcových otvorů v pístku vloženy tlačítka, kterými se přenáší síla na brzdové čelisti. Na zadní straně válečku jsou pak otvory se závity pro montáž válečku na štít brzdy a pro připojení brzdové hadice. V nejvyšším místě válečku je pak umístěný odvodušňovací ventil. [4], [5]



Obr. 8: Dvoupístkový kolový brzdový váleček. [4]

6.3.2.3 Rozpěrná páka parkovací brzdy

Toto rozpěrné zařízení bývá použito jako doplněk brzdového válečku u hydraulicky ovládaných bubnových brzd zadní nápravy vozidla z důvodu ručního ovládní parkovací brzdy. [5]

6.3.2.4 Brzdový buben

Brzdový buben se musí vyznačovat vysokou odolností proti otěru, stálostí tvaru a rozměrů, a materiál, ze kterého je vyrobený, by měl dobře odvádět teplo. Jako materiál pro výrobu se nejčastěji používá šedá nebo temperovaná litina, ocelolitina nebo slitiny lehkých kovů. Třecí plochy bývají jemně vysoustruženy nebo broušeny. Buben musí být radiálně i axiálně dobře vyvážený aby nevznikaly vibrace ani radiální či axiální kmitání. Ke kolu vozidla pak bývá připevněn pomocí šroubů. [4], [5]

6.3.2.5 Brzdové čelisti

Brzdové čelisti bývají vyrobeny z ocelového plechu nebo odlity ze slitin lehkých kovů. Mají profil tvaru T, což jim zajišťuje potřebnou tuhost. Na jednom konci mají opěrnou plochu pro brzdový váleček a druhý konec je uložený buď v čepu, nebo se opírá o pevnou opěrku. Při druhém způsobu uložení se čelisti zároveň samy vystředují, což je výhodnější z hlediska opotřebení brzdového obložení. [4], [5]



Obr. 9: Čelisti bubnové brzdy s obložením. [12]

6.3.2.6 Zařízení pro seřízení brzdových čelistí

V důsledku opotřebení brzdového obložení se zvětšuje vůle mezi obložením a třecí plochou brzdového bubnu. Tím se prodlužuje volný chod brzdového pedálu a proto je třeba bubnové brzdy ručně nebo samočinně seřizovat. [5]

6.4 Kotoučové brzdy

Kotoučové brzdy můžeme rozdělit na dvě skupiny podle konstrukčního provedení, a to na kotoučové brzdy s pevným třmenem, kde jsou na obou stranách třmenu válečky, ve kterých se pohybují pístky brzd. Pístky pak při brzdění přitlačují brzdové obložení z obou stran na brzdový kotouč. Přítlačná síla je generována tlakem brzdové kapaliny.

Druhou skupinou jsou kotoučové brzdy s plovoucím třmenem, u kterých je třmen posuvně uložený v pevné drážce. Pístek ve válečku tlačí brzdové obložení proti brzdovému kotouči. Reakční síla pak posune celý třmen, který přitlačí brzdové obložení na brzdový kotouč i z druhé strany.

Hlavní vlastnosti kotoučových brzd

- zachovávají stálý součinitel tření i při dlouhodobém brzdění
- velikost brzdného účinku nezávisí na směru otáčení kola
- k seřízení vůlí mezi obložením a kotoučem dochází samočinně
- dochází u nich k rychlejšímu opotřebení obložení, ale jeho výměna i kontrola jsou jednodušší v porovnání s bubnovými brzdami
- brzdové válečky musejí mít větší průměr než u bubnových brzd vzhledem k absenci samoposilovacího účinku
- pístky jsou přímo v kontaktu s obložením, a tak mohou při dlouhém brzdění vznikat v brzdové kapalině parní bubliny

[4], [5]

6.4.1 Druhy kotoučových brzd

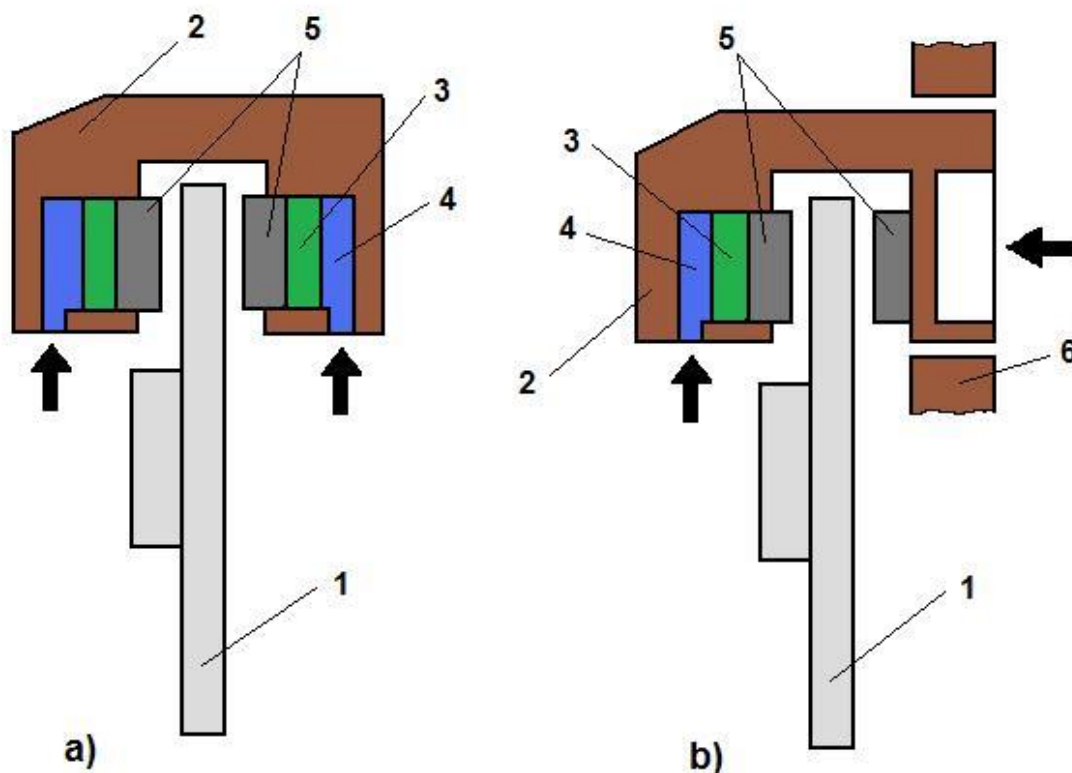
6.4.1.1 Kotoučová brzda s pevným třmenem

Tento typ kotoučové brzdy je konstruován jako 2 nebo 4 pístkový. Třmen brzdy, který obepíná brzdový kotouč je složený z víka a přírubové skříně. Tyto dvě části jsou pevně spojeny šrouby. Na každé části jsou jedna/dvě (dvou/čtyřpístkové brzdy) dutiny tvořící brzdové válečky, ve kterých jsou umístěny pístky s těsníci kroužky a svěracími kroužky a protiprachovými manžetami. Jednotlivé válečky jsou propojeny kanálky nebo brzdovými hadicemi.

Při brzdění vyvíjí brzdová kapalina tlak na pístky brzdových válečků a ty přitlačují z obou stran brzdové destičky s obložením na brzdový kotouč. Přítlačná plochá pružina, která je zajištěna pomocí čepu pak přitlačuje brzdové destičky k pístkům, a tím se eliminují možné rázy a klepání při jízdě. [4], [5]

6.4.1.2 Kotoučová brzda s plovoucím třmenem

Na rozdíl od brzd s pevným třmenem je u tohoto provedení pístek (případně dva pístky) pouze na jedné straně třmenu, a díky tomu je dosaženo menších rozměrů a úspory hmotnosti. Snižuje se také možnost vzniku parních bublin v brzdové kapalině. Držák je pevně spojen s některou částí zavěšení kola. Tímto držákem pak prochází vodící čepy. Třmen je pak vodícími pouzdry posuvně uložen na těchto čepech. U provedení brzdy s plovoucím třmenem je riziko zadření této posuvné části třmene v držáku a v důsledku toho ke snížení brzdného účinku. [4], [5]



1 – brzdový kotouč, 2 – třmen kotoučové brzdy, 3 – pístek (pístky), 4 – prostor pro brzdovou kapalinu, 5 – brzdové destičky, 6 – uchycení a vedení třmenu

Obr. 10: Schéma kotoučové brzdy s pevným a plovoucím třmenem. [13]

6.4.2 Brzdové kotouče

Brzdové kotouče mají většinou kruhový tvar a jsou vyráběny z temperované litiny nebo ocelolitiny s příměsí legujících prvků. U velmi namáhaných brzd se většinou používají kotouče duté, u kterých dochází k lepšímu chlazení díky proudění vzduchu skrz kanálky, ve kterých při otáčení vzniká tzv. ventilační efekt. Občas jsou ve třecí ploše kotouče navíc ještě další otvory pro snížení ohřevu během brzdění a pro lepší dochlazení po dobrzdění. U sportovních vozů se pak využívají pro výrobu brzdových kotoučů především keramické a kompozitní materiály jako například karbid křemíku vyztužený uhlíkovými vlákny. Tyto materiály jsou schopny krátkodobě odolat teplotám až 1200 °C a bez problémů pracovat při teplotách nad 700 °C. Při těchto teplotách klasické brzdové kotouče razantně ztrácejí účinnost a dochází k jejich rychlé degradaci. Použitím těchto materiálů také dochází ke značné úspoře hmotnosti a tím snížení neodpružené hmoty, což má pozitivní vliv na stabilitu vozu. [4], [5]



Obr. 11: Brzdové kotouče pro sportovní vozy s prvky zlepšující jejich vlastnosti. [14]

6.5 Brzdové obložení

U bubnových brzd je obložení přilepeno nebo přinýtováno na brzdových čelistech. U kotoučových brzd je pak přilepeno na nosné segmenty z kovu. Na obložení jsou kladeny především tyto požadavky:

- velká tepelná a mechanická pevnost
- dlouhá životnost
- stálá hodnota součinitele tření během celé životnosti a také při vysokých teplotách a kluzných rychlostech pro zamezení „slábnutí“ brzd
- neovlivnění funkce vodou či různými nečistotami
- odolnost vůči vzniku sklovitého povrchu při vysokých teplotách

Jako materiály pro obložení se většinou používají organické materiály, nebo spékané práškové kovy pro brzdy, u kterých se předpokládá vysoké namáhání. U organických obložení se využívají práškovité či vláknité třecí materiály z minerálních, kovových, keramických nebo organických látek, které jsou vázány organickým pojivem jako například syntetická pryskyřice nebo kaučuk. Dříve byl používán také azbest, ale kvůli jeho škodlivému vlivu na lidské zdraví

byl nahrazen uhlíkovými, ocelovými nebo skelnými vlákny. Brzdové obložení mívá součinitel tření vyšší než 0,4 a teplotní odolnost až 800°C. [4], [5]



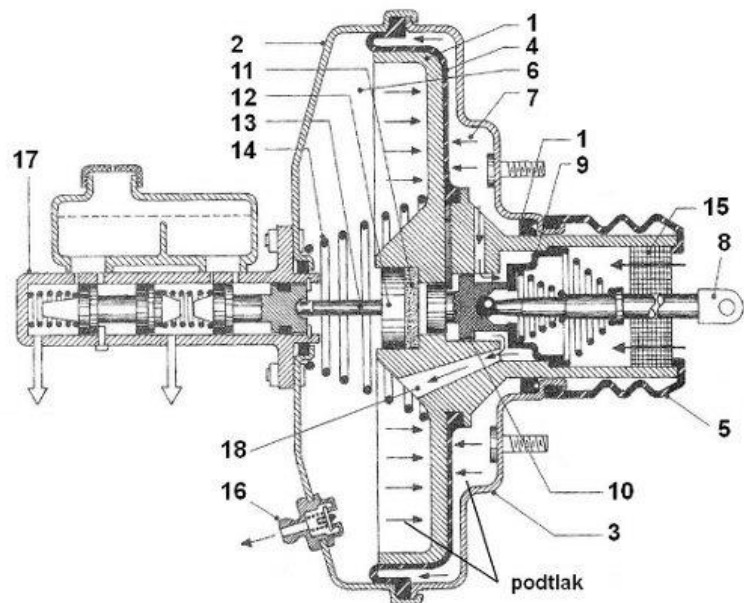
Obr. 12: Brzdové obložení s nosnými segmenty. [15]

6.6 Posilovač brzd

Posilovač brzd zesiluje tlak vyvíjený nohou řidiče při ovládní brzdy a tím snižuje práci řidiče nutnou pro dosažení požadovaného brzdného účinku. Ve většině automobilů nalezneme posilovač brzd v kombinaci s hlavním brzdovým válcem. Posilovač musí také umožnit přesné a citlivé ovládní brzdné síly. Z hlediska konstrukce se posilovače rozdělují na dvě skupiny, podtlakové a hydraulické. [5]

6.6.1 Podtlakový posilovač brzd

Tímto typem posilovače je vybavena většina osobních automobilů. Podtlak potřebný pro funkci posilovače se u automobilů se zážehovým motorem získává ze sacího traktu, nebo podtlakovou pumpou u vozů se vznětovými motory. Posilovač je tím pádem funkční pouze při běžícím motoru. Při vypnutém motoru brzdy pracují bez posilovače a je třeba vyvinout mnohem větší sílu na brzdový pedál k dosažení stejného brzdného účinku. [4], [5]



1 – pracovní píst	7 – pracovní komora	13 – táhlo
2 – plášť podtlakové komory	8 – pístnice pedálu	14 – vratná pružina
3 – plášť pracovní komory	9 – membrána	15 – filtr vstupu vzduchu
4 – membrána	10 – vložka ventilu	16 – připojení podtlaku
5 – manžeta	11 – reakční kotouč	17 – hlavní válec
6 – podtlaková komora	12 – píst	18 – odsávací kanál

Obr. 13: Podtlakový posilovač brzd a jeho jednotlivé části. [16]

6.6.1.1 Princip činnosti při částečném brzdění

Při sešlápnutí brzdového pedálu dojde k uzavření podtlakového a následnému otevření atmosférického ventilu. Podtlak v pracovní komoře klesá, pokud tlak kapaliny v hlavním brzdovém válci nezastaví posun táhla a tím i reakčního kotouče a pístu. Poté píst dosedne na vložku ventilu a uzavře ventil atmosférický. Rozdíl tlaku mezi pracovní komorou a podtlakovou komorou poskytuje posilovací účinek. [4], [5]

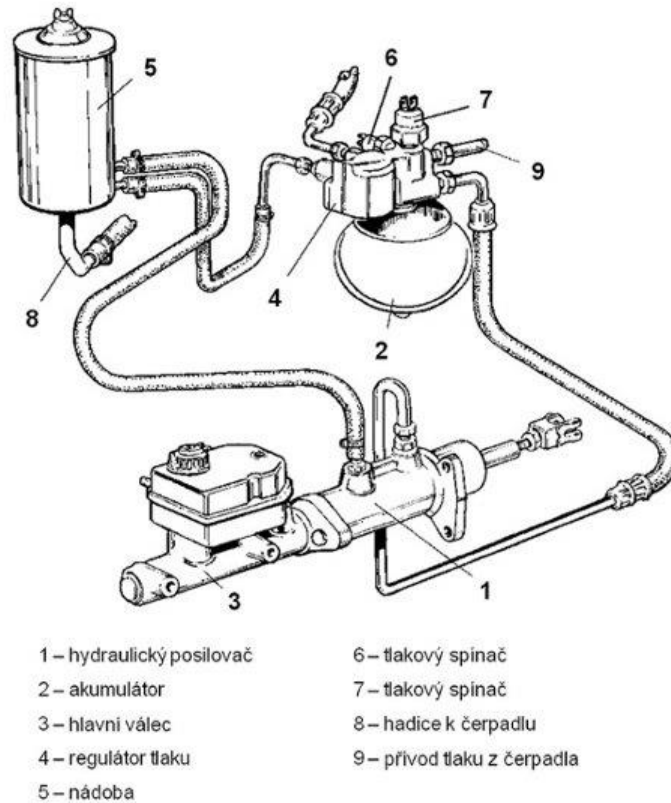
6.6.1.2 Princip činnosti při plném brzdění

Při vyvinutí maximální ovládací síly na brzdový pedál je reakční kotouč deformován tlačnou silou od pístnice pedálu a reakční silou od táhla směřujícího k hlavnímu brzdovému válci. Tato deformace umožňuje plné otevření atmosférického ventilu a dosažení co největšího možného rozdílu tlaku mezi oběma komorami a tím i největšího posilujícího účinku. [4], [5]

6.6.2 Hydraulický posilovač brzd

U automobilů opatřených posilovačem řízení s vysokotlakým hydraulickým čerpadlem a možné využít tlak oleje i pro posílení brzdného účinku. Ve srovnání s podtlakovým

posilovačem má hydraulický menší nároky na prostor, který zabere a jeho posilovací účinek je plynulejší, protože není závislý na chodu motoru. Při vypnutí motoru totiž tlak oleje v zásobníku zajistí funkčnost brzd ještě po nějakou dobu. Při poruše zařízení nebo ztrátě tlaku v zásobníku jsou brzdy i nadále funkční ovšem bez posilovacího účinku. [4], [5]



Obr. 14: Hydraulický posilovač brzd a jeho jednotlivé části. [9]

6.6.2.1 Princip činnosti

Akumulátor tlaku je rozdělen membránou na dva prostory. Jeden je naplněný dusíkem a druhý obsahuje natlakovaný hydraulický olej. Dusík je přes membránu stlačován, a tím je vytvářena zásoba tlaku pro případ přerušení jeho dodávky. Regulátor tlaku usměrňuje část z celkového objemu oleje vytlačeného čerpadlem (asi 10%) dokud nedojde v akumulátoru k dosažení tlaku cca 5,5 MPa. Po dosažení tohoto tlaku uzavřou tlakové spínače přívod dalšího oleje do akumulátoru. Hydraulický posilovač je spojen hadicí s akumulátorem a při brzdění se z akumulátoru přivádí do posilovače potřebné množství oleje tak, aby vznikala přídatná posilovací síla na hlavní brzdový válec. Současně pak tlak v posilovači přes píst dává řidiči zpětnou vazbu o intenzitě brzdění. [4], [5]

6.7 Rozdělení brzdné síly

Při brzdění dochází ke změně zatížení náprav vozidla. Tato změna je závislá na velikosti brzdného zpomalení, zatížení nápravy, rozložení nákladu ve vozidle a na poloze těžiště. Při brzdění v přímém směru jízdy dochází k zvýšení zatížení přední nápravy na úkor zadní nápravy. Pokud dochází k brzdění během průjezdu zatáčkou, zvyšuje se zatížení kol na vnější straně vozidla a na vnitřní dochází k odlehčení. Brzdy bývají u většiny automobilů dimenzovány tak, aby si vozidlo při průměrném zatížení a brzdném zpomalení zachovalo směrovou stabilitu a ovladatelnost. Pokud dojde z vychýlení z průměrných hodnot, může dojít ke dvěma nežádoucím stavům a to buď k zablokování zadních kol a vozidlo se dostane do smyku nebo se zablokují přední kola a auto se stane neovladatelným. Zablokování zadních kol se dá dobře předcházet pomocí omezovače brzdné síly, regulátoru brzdné síly nebo rozdělovače brzdné síly. [1], [4], [5]

6.7.1 Omezovač brzdné síly

Tento hydraulický omezovač je zakomponován do vedení brzdové kapaliny směrem k brzdovým válečkům zadní nápravy. Většinou je umístěný na výstupu kapaliny z hlavního brzdového válce. Jeho funkce spočívá v umožnění zvyšování tlaku v okruhu až do určité stanovené hodnoty a při jejím překročení zajistit, aby nedošlo k dalšímu zvýšení tlaku. [4], [5]

6.7.2 Regulátor brzdné síly

Je používán jako náhrada omezovače brzdné síly. Jeho funkce spočívá v umožnění zvyšování tlaku působící na zadní brzdy v určitém poměru přírůstku k tlaku v předních brzdách. Přírůstek tlaku v zadních brzdách je vždy menší než u předních. Nedochozí tedy k omezení maximální hodnoty tlaku, ale pouze k jeho regulaci v závislosti na hodnotě tlaku v předních brzdách. [4], [5]

6.7.3 Zátěžový regulátor brzdné síly

Zátěžový regulátor se používá u vozidel, u kterých se předpokládá velmi proměnlivé zatížení zadní nápravy. Regulátor je pevně spojený s karoserií a pomocí pákového mechanismu je připojený k zadní nápravě. [5]

6.7.4 Elektronický regulátor brzdné síly

Tento způsob regulace brzdné síly využívá pro svou funkci elektromagnetické ventily systému ABS a regulace se provádí ještě před nástupem systému ABS. Vozy vybavené tímto systémem

regulace nemají zabudovaný žádný z předchozích regulátorů brzdné síly, a proto v případě poruchy tohoto systému dojde k „přebřzdování“ zadních kol vozidla. [5]

6.8 Brzdová kapalina

Základní požadavky na brzdovou kapalinu:

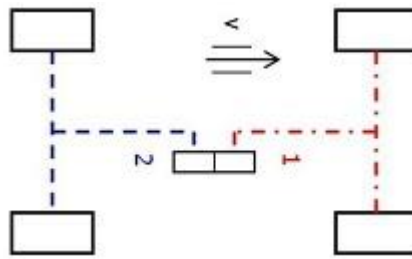
- co nejmenší stlačitelnost a stálost při vysoké teplotě
- vysoký bod varu – cca 260°C a nízký bod tuhnutí cca -60°C
- odolnost proti stárnutí
- nízká a konstantní viskozita
- mísitelnost s ostatními brzdovými kapalinami

Brzdová kapalina by také měla být chemicky neutrální a neměla by působit korozivně na kovové a pryžové součásti brzdové soustavy, se kterými přichází do styku. Brzdové kapaliny často bývají vyrobeny na bázi alkoholu jako například glykol nebo glykoéter s příměsí dalších přísad. Tyto látky zmíněné požadavky splňují, ovšem jsou velmi hygroskopické a při delším působení mohou narušit lakované povrchy. Vlhkost se do brzdové kapaliny nejčastěji dostává přes odvzdušňovací otvory ve vyrovnávací nádržce. Obsah vody v brzdové kapalině značně zhoršuje její vlastnosti. Například pokud kapalina obsahuje 3,5% vody klesne její bod varu na 140-160°C. Množství brzdové kapaliny je třeba také pravidelně kontrolovat a v případě jejího poklesu pod minimální hodnotu ji doplnit použitým typem kapaliny. Brzdová kapalina je vysoce toxická a při jejím požití, či vniknutí do očí by měl postižený okamžitě vyhledat lékařskou pomoc. [4], [5]

6.9 Způsoby zapojení ovládacích soustav

6.9.1 Zapojení přední/zadní „II“

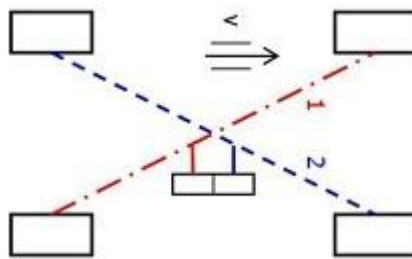
Obě nápravy vozidla jsou brzděny oddělenými okruhy. Pokud dojde k poruše okruhu přední nápravy, vytvoří okruh zadní nápravy malý brzdový účinek. Při tomto zapojení je možno využít jak bubnové brzdy na všech kolech nebo na přední nápravě kotoučové a na zadní nápravě bubnové. Rozdělení brzdné síly bývá v poměru 70:30 ve prospěch přední nápravy. [5], [17]



Obr. 15: Schéma zapojení „II“. [17]

6.9.2 Zapojení diagonální „X“

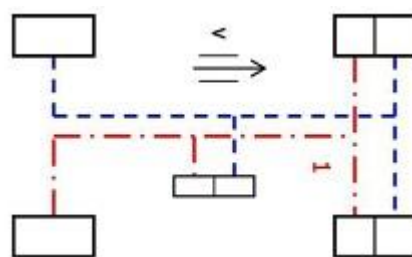
Jeden brzdový okruh je tvořen vždy jednou brzdou umístěnou na předním kole a jednou na zadním kole. Tyto jsou vůči sobě umístěny diagonálně. Použity mohou být stejné kombinace brzd jako v předchozím způsobu zapojení. Ovšem v tomto případě je rozložení brzdné síly v poměru 50:50 (1. okruh:2. okruhu). [5], [17]



Obr. 16: Schéma zapojení „X“. [17]

6.9.3 Zapojení trojúhelník „LL“

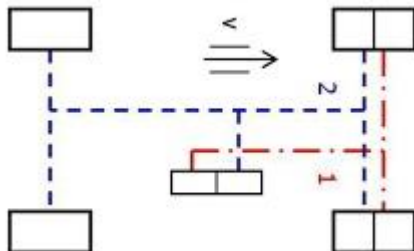
Při použití čtyřpístkových kotoučových brzd na přední nápravě působí každý okruh na přední nápravu a jedno zadní kolo. Rozdělení brzdné síly je stejné jako v předchozím případě. [5], [17]



Obr. 17: Schéma zapojení „LL“. [17]

6.9.4 Zapojení čtyři-dva „HI“

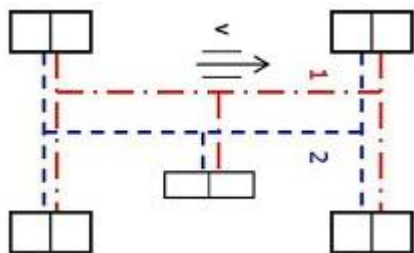
Na přední nápravě jsou použity čtyřpístkové kotoučové brzdy, přičemž jeden okruh působí pouze na přední nápravu a druhý působí jak na přední tak na zadní nápravu vozidla. [5], [17]



Obr. 18: Schéma zapojení „HI“. [17]

6.9.5 Zapojení čtyři-čtyři „HH“

Tento způsob zapojení je možný tehdy pokud jsou na všech kolech použity čtyřpístkové kotoučové brzdy. Jde o zdvojené dvouokruhové zapojení, kdy každý brzdový okruh působí na jeden pár pístků brzd na každé nápravě. [5], [17]



Obr. 19: Schéma zapojení „HH“. [17]

7 Elektronické brzdové asistenční systémy

U konvenčních brzdových soustav řidič určuje silou, kterou působí na brzdový pedál velikost brzdného tlaku a tím také velikost brzdných momentů na jednotlivých kolech. V kritických situacích pak může při prudkém brzdění zejména na kluzké vozovce dojít k zablokování kol a tím ke ztrátě směrové stability vozidla. Použitím elektronických protiblokovacích systémů lze zabránit nebezpečným jízdním situacím a tím zvýšit aktivní bezpečnost motorových vozidel. [5]

7.1 Brzdový asistent BAS

Jedná se o aktivní bezpečnostní prvek. Zkratka BAS vznikla z anglického Brake Assistant

System nebo zkráceně BA. Většina řidičů totiž v krizových situacích není schopná na brzdový pedál vyvinout dostatečně velkou sílu tak, aby naplno využili potenciál brzdového systému vozidla v součinnosti se systémem ABS. BAS funguje na principu monitorování rychlosti a intenzity sešlápnutí brzdového pedálu. Z těchto dvou veličin je schopen systém určit, zda jde o kritickou situaci a na základě toho zvýšit tlak v brzdě soustavě. Tím dojde k vyvinutí větší brzdě síly při stejné síle působící na brzdový pedál. Brzdový asistent má tedy dva důležité úkoly:

- rozeznat situaci kritického brzdění, aby asistent brzdě tlak zadaný řidičem zvýšil na brzdě tlak na kolech tak, že všechna kola dosáhnou meze blokování, a tím umožní regulaci systému ABS.
- rozeznat konec kritického brzdění a navrátit ovládací brzdě tlak na hodnotu zadanou řidičem.

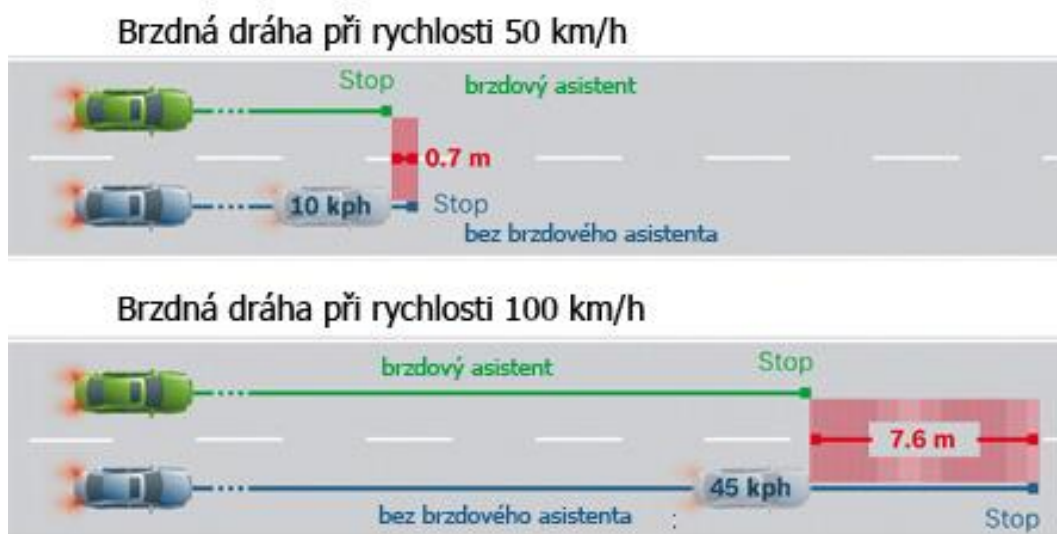
U novějších automobilů je součástí systému ESP o kterém je pojednáno dále. Od roku 2011 je brzdový asistent povinnou výbavou každého automobilu schváleného pro provoz v EU. V současné době je u osobních automobilů využíváno jak elektronických tak i hydraulických či mechanických brzdových asistentů. [4] [5], [18]

7.1.1 Princip činnosti brzdového asistentu

Činnost systému je založena na zaznamenávání odporu potenciometru, k jehož změně dochází při pohybu membrány či brzdového pedálu. Řídící jednotka brzdového asistentu pak tyto informace vyhodnocuje a pomocí neustálého porovnávání s přednastavenými hodnotami je schopna určit, že došlo k rychlému sešlápnutí brzdového pedálu a tím k potenciální krizové situaci. V této chvíli dojde k sepnutí elektromagnetu, který ovládá zavzdušňovací ventil pracovní komory posilovače brzdě síly, tím dojde k nárůstu brzdě síly a k plnému brzdění. Nyní vstupuje do řídicího procesu systém ABS, který zabraňuje zablokování kol. K přerušení zesílení dojde v okamžiku, kdy dojde k uvolnění síly z brzdového pedálu. Tím dojde k rozpojení elektromagnetu a poklesu tlaku v systému. [4], [5], [18]

7.1.2 Vliv na brzdovou dráhu

Zkouškami bylo zjištěno, že vliv brzdového asistentu na brzdovou dráhu může být 15-20%. [18]



Obr. 20: Porovnání vlivu brzdového asistentu na brzdovou dráhu vozidla. [18]

7.2 Protiblokovací systém ABS

ABS je zkratka pro antiblockiersystem nebo také anti-lock brake systém, což je protiblokovací systém vyvinutý firmou BOSCH v roce 1978. Jedná se o systém aktivní bezpečnosti automobilu, který při prudkém brždění zamezuje zablokování kola, a tím ztrátě adheze mezi vozovkou a pneumatikou. Umožněním stálého odvalování kola je zajištěno zachování stability, ovladatelnosti a říditelnosti vozidla i v krizových situacích například při brždění na kluzké vozovce nebo prudkém brždění. Zablockované kolo totiž ztrácí schopnost přenášet boční síly a neumožňuje vozidlu zatáčet. Systém ABS je v dnešní době jedním z nejvíce přínosných asistenčních systémů. Od roku 2006 je také jeho přítomnost vyžadována ve všech vozidlech homologovaných pro provoz v EU. [1] [4] [5] [19]

7.2.1 Princip činnosti ABS

Největší brzdná síla je přenášena mezi pneumatikou a vozovkou pokud je dosaženo meze adheze. Pokud je mez překročena, brzdná síla prudce klesá. Řídící jednotka systému ABS proto neustále kontroluje rychlost otáčení kol. Z těchto rychlostí určuje referenční rychlost vozidla a s tou porovnává otáčky jednotlivých kol. Tímto porovnáváním zjišťuje aktuální zrychlení, zpomalení a skluz jednotlivých kol. Pokud poklesne rychlost některého z kol pod stanovenou hodnotu oproti referenční rychlosti (v tento okamžik dochází k blokaci kola

a ztrátě adheze), řídicí jednotka odpustí tlak z brzdy pomalejšího kola a po jeho opětovném roztočení tlak na brzdu opět přidá. Tento cyklus může probíhat 12-16x za vteřinu po celou dobu brzdění, až do rychlosti 4 km/h, při které se systém samočinně odpojuje. Tímto způsobem je možno se i při prudkém brzdění pohybovat na hranici adheze a dosáhnout maximálního brzdného účinku bez ztráty ovladatelnosti. [4] [5] [19]

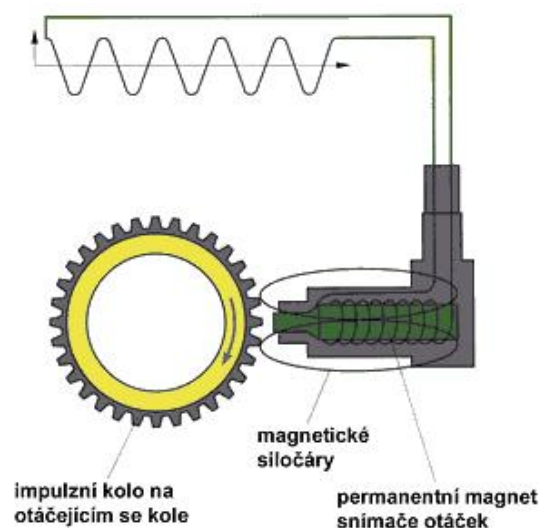
7.2.2 Součásti systému ABS

7.2.2.1 Snímač otáček kol

Používají se dva typy snímačů, na základě kterých je řídicí jednotka schopna určit rychlost otáčení kola. Prvním je pasivní indukční senzor, který pracuje na principu generování napětí v závislosti na tom, jestli se špička snímače nachází v mezeře nebo nad zubem impulzního kroužku. Druhým typem je aktivní senzor, který pracuje na principu Hallova efektu. Jeho výhoda spočívá v možnosti určení otáček kola nezávisle na rychlosti vozidla. [5]

7.2.2.2 Impulzní kroužky na náboji kola

Impulzní kroužky, které umožňují vznik signálu ve snímači mohou být buď namontovány nezávisle na ostatních součástech kola, nebo mohou být integrovány přímo do ložiska kola. V poslední době se také používají ložiska s magnetickým proužkem, který zakomponován v guferu ložiska. [5]



Obr. 21: Snímač otáček kola s impulzním kroužkem. [19]

7.2.2.3 Řídící jednotka systému ABS

Řídící jednotka přijímá signál přicházející ze snímače otáček, zesílí ho a odfiltruje rušení a dále ze signálu vypočítá referenční rychlost, skluz a obvodové zpomalení případně zrychlení kola. Na základě těchto zjištěných hodnot jednotka ovládá elektromagnetické ventily a činnost hydraulického čerpadla v brzdovém okruhu. V jednotce jsou většinou zabudovány dva mikropočítače, které zpracovávají stejné vstupní signály podle stejného programu a vzájemně kontrolují svoji správnou činnost. Pokud je zjištěna závada, je systém ABS vypnut a na palubní desce se rozsvítí příslušná kontrolka. [5]

7.2.2.4 Elektrohydraulická jednotka

Hydraulická jednotka bývá často spojena s řídicí jednotkou do jednoho celku. Na základě pokynů od řídicí jednotky a nezávisle na řidiči vozidla dochází k řízení brzdných tlaků v jednotlivých brzdových okruzích. Skládá se z:

- zpětného čerpadla, které čerpá při regulaci brzdného účinku brzdovou kapalinu z rezervoárů hydraulické jednotky do okruhu brzd
- zásobníku brzdové kapaliny a tlumící komory, které se při regulaci brzdného účinku plní brzdovou kapalinou a tlumí tak výkyvy tlaku v hydraulickém systému vyvolané činností zpětného čerpadla a také snižují hlučnost systému
- elektromagnetických ventilů, které řídí tlak brzdové kapaliny v brzdách a jejich počet a provedení se liší podle varianty a výrobce systému ABS

[5]

7.2.3 Požadavky na systém ABS

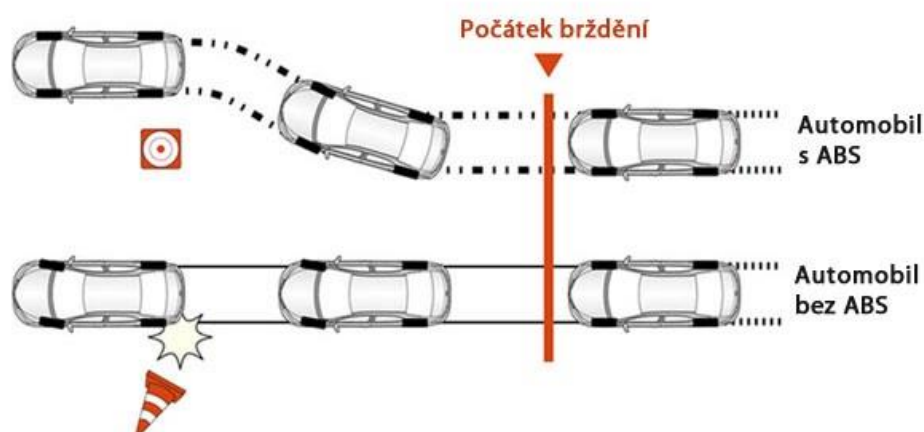
- regulace brzdné síly musí zajistit stabilitu a ovladatelnost vozidla při všech stavech povrchu, po kterém se vozidlo pohybuje od suché vozovky až po náledí
- regulace brzdění musí být funkční při celém rychlostním rozsahu pohybu vozidla až do minimální rychlosti cca 4 km/h
- při brzdění během průjezdu zatáčkou musí vozidlo stabilní a ovladatelné
- regulace brzdné síly musí reagovat na změny adheze vozovky a to i například při různé adhezi na pravé a levé straně vozidla

- systém musí zabránit rozkývání vozidla
- systém musí rozpoznat, pokud dojde k tzv. aquaplaningu a vhodně na něj reagovat
- musí docházet k neustálé kontrole systému ABS a při zjištění závady systém ABS odpojit a o jeho nefunkčnosti informovat řidiče pomocí kontrolky na palubní desce

[4], [5]

7.2.4 Vliv na brzdovou dráhu

Na vozovce se suchým či zledovatělým povrchem má vozidlo vybavené systémem ABS kratší brzdovou dráhu než bez ABS. Na mokré vozovce jsou brzdné dráhy podobné. Největší výhoda systému ABS ovšem není ve zkrácení brzdné dráhy, ale v umožnění řízení vozidla při brzdění. [19]



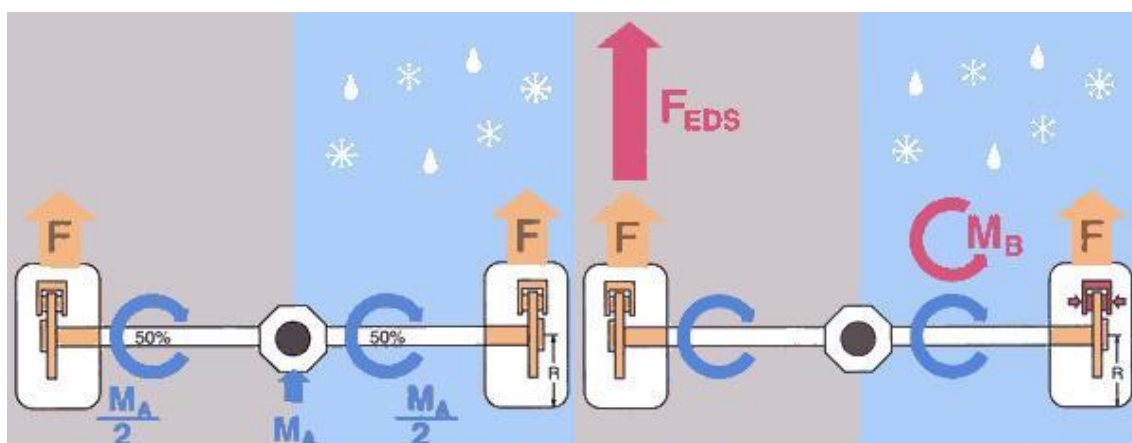
Obr. 22: Porovnání trajektorie vozidla s ABS a bez ABS při prudkém brzdění. [20]

7.3 Uzávěrka diferenciálu EDS

Systém EDS se snaží vyrovnat silové poměry na obou kolech hnané nápravy pomocí přibrzdování kol. Ze snímačů systému ABS sleduje řídicí jednotka otáčky obou kol, a pokud je jejich rozdíl vyhodnocen jako prokluz na jednom z kol, vyše řídicí jednotka signál systému ABS a ten protáčející se kolo přibrzdí. Přibrzděním prokluzujícího kola se momenty na obou stranách nápravy vyrovnají a dosáhne se podobného výsledku jako u mechanického uzávěru diferenciálu. [5], [21]

7.3.1 Princip činnosti

Za předpokladu že na obě kola působí stejné adhezní podmínky, působí hnací moment M_a na obě kola a ty ho při dostatečné adhezi přenášejí na vozovku v poměru 50:50. Pokud je na jedné straně nápravy povrch s nižší adhezí určuje velikost přeneseného hnacího momentu kolo vykazující nižší součinitel tření. Nápravový diferenciál však stále rozděluje hnací moment stále v poměru 50:50 a tak se výsledný přenesený moment snižuje na obou kolech současně. Dojde-li k překročení meze přilnavosti na jednom kole, dojde k prokluzu. Tím se přenesou nižší točivý moment, který se při velmi nízkých adhezních podmínkách může blížit až k nule, takže ani druhé kol, pod kterým je povrch vozovky v pořádku nemůže přenášet sílu a umožnit vozidlu pohyb vpřed. V tuto chvíli začíná fungovat systém elektronické uzávěrky diferenciálu, který začne protáčet se kolo přibrzďovat. Tím vytvoří brzdny moment M_b , který umožní vyrovnat momentový poměr na hnací nápravě a umožní kolu s vyšší adhezí přenášet sílu na vozovku. Nejvíce ocení řidič systém EDS v zimním období, pokud například najede při stoupání jedním kolem na zledovatělý povrch u okraje vozovky. [5] [21]



Obr. 23: Nápravový diferenciál bez činnosti systému EDS (vlevo), přibrzdění protáčeujícího se kole pomocí EDS (vpravo) [21]

7.4 Protiprokluzový systém ASR

Tento systém pracuje jako rozšíření asistenčního systému ABS a zajišťuje stabilitu a říditelnost vozidla při akceleraci. Regulace by měla zabránit prokluzu kol především při poklesu součinitele tření vozovky, při akceleraci během průjezdu zatáčkou a při jízdě do kopce. Kromě toho pomáhá ASR ke snížení opotřebení pneumatik a hnacího ústrojí. Stejně jako zablokování kol i jejich prokluz sníží jejich schopnost přenášet boční síly. Vozidlo se stane nestabilním a jeho zád' nebo před' mohou vybočit z jízdní stopy. [4], [5]

7.4.1 Princip činnosti ASR

Při akceleraci dochází k nárůstu točivého momentu motoru. Současně dochází ke zvyšování hnacího momentu na kolech vozidla. Vozidlo pak dokáže bez problému zrychlit, pokud tento hnací moment nepřekročí jeho maximální hodnotu danou zatížením kola a součinitelem adheze. Pokud je tato maximální hodnota překročena, dochází k prokluzu hnacích kol vozidla, což způsobí směrovou nestabilitu vozidla. Systém ASR dokáže upravit výkon motoru, u zážehových motorů, pomocí nastavení škrticí klapky, změny okamžiku zážehu nebo potlačení jednotlivých vstřikovacích impulzů. U vznětových motorů pak dochází k úpravě výkonu pomocí změny vstřikovaného množství paliva. Vzhledem k dlouhé prodlevě při řízení výkonu motoru pouhým nastavením škrticí klapky je často používána kombinace předchozích možností regulace jako například řízení klapky a řízení okamžiku zážehu motoru. [4], [5]

7.4.2 Elektronické řízení motoru EMS

Aby mohl systém ASR zasáhnout nezávisle na tom, jak řidič akceleruje, musí být použito místo mechanického spojení mezi plynovým pedálem a škrticí klapkou u zážehového motoru případně regulační tyčí u vstřikovacího čerpadla vznětového motoru elektronické řízení výkonu motoru EMS (Elektronische Motorleistungssteuerung). EMS dává příkazy systému ASR přednostně před hodnotou udanou polohou pedálu plynu tak, jak to vyžaduje řidič. Poloha pedálu je pomocí snímače polohy pedálu (potenciometru) převedena na napěťový signál, který jednotka EMS převede podle přednastavených hodnot a signálů od dalších snímačů jako teplota nasávaného vzduchu nebo otáčky motoru na ovládací napětí pro elektromotor nastavovače škrticí klapky nebo regulační tyče čerpadla. Jejich poloha je pak zpětně hlášena řídicí jednotce vozidla. [5]

7.5 Elektronická stabilizace jízdy ESP

Systém ESP (Electronic Stability Programme) je další nadstavbou systému ABS. Systém ESP pomáhá zvládnout některé krizové situace pomocí cílených zásahů do řízení vozidla. Pokud je zjištěn nestabilní stav jízdních vlastností vozidla dojde k aktivaci ESP, a pomocí řízených zásahů do brzdění, řízení motoru případně i převodovky dojde k opětovné stabilizaci vozidla. Systém ESP přispívá ke zvýšení aktivní bezpečnosti vozidla díky umožnění využití jízdních vlastností až na hranici fyzikálních zákonů. [4] [5] [22]

7.5.1 Princip funkce ESP

Aby mohl systém ESP v kritické situaci správně reagovat, je třeba, aby měl systém informace o tom, kam chce řidič vozidlo směřovat a kam vozidlo ve skutečnosti jede. Pro určení těchto informací je vybaven systém snímači:

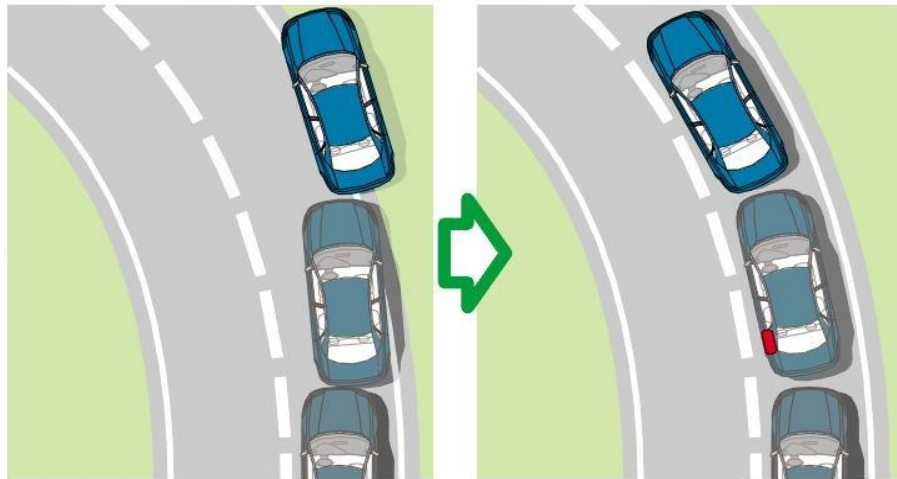
- natočení volantu
- otáček všech kol vozidla
- podélného a příčného zrychlení
- rotační rychlosti
- tlaku brzdové kapaliny
- polohy brzdového pedálu

Snímač úhlu natočení volantu, tlaku brzdové kapaliny a polohy brzdového pedálu poskytují systému informace o tom, kam chce řidič vozidlo směřovat. Snímač otáček kol, podélného a příčného zrychlení a rotační rychlosti podél svislé osy vozu pak dávají systému informace o tom, jak se vozidlo skutečně pohybuje. Pokud řídicí jednotka vyhodnotí, že se požadovaná a skutečná dráha vozidla liší, vyhodnotí situaci jako kritickou a zasáhne. [4] [5] [22]

7.5.2 Vliv na trajektorii automobilu

7.5.2.1 Nedotáčivost

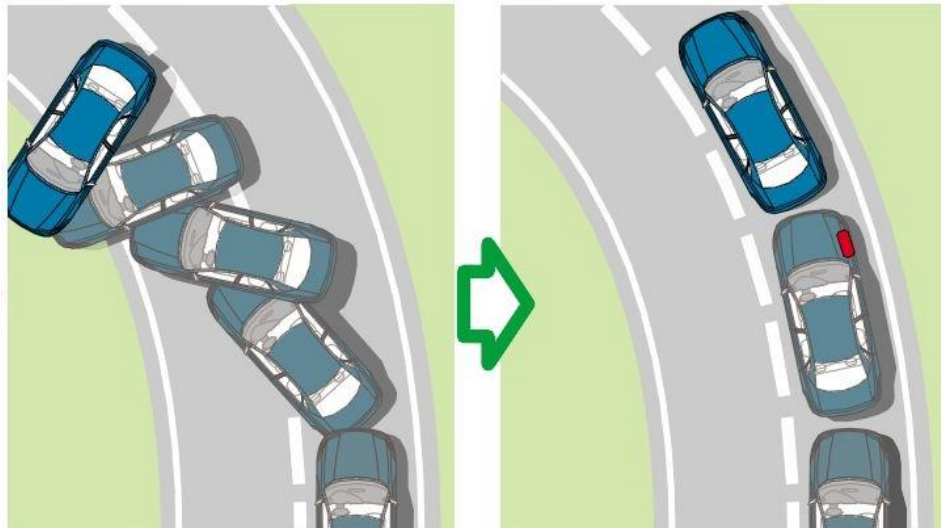
Nedotáčivost vozidla je způsobena smykem přední nápravy a projevuje se neochotou vozidla zatočit. Podle situace sníží systém ESP točivý moment motoru a případně potlačí řadící procesy u automatické převodovky. Následně vytvoří systém opačný otáčivý moment vůči tomu, který dostal vozidlo do smyku. Toho dosáhne pomocí cílených brzdných zásahů jednoho či více kol. Při nedotáčivém smyku dojde ke snížení výkonu motoru a následnému přibrzdění zadního kola případně i předního kola na vnitřní straně zatáčky. [22]



Obr. 24: Nedotáčivost vozidla při smyku přední nápravy a reakce ESP [22]

7.5.2.2 Přetáčivost

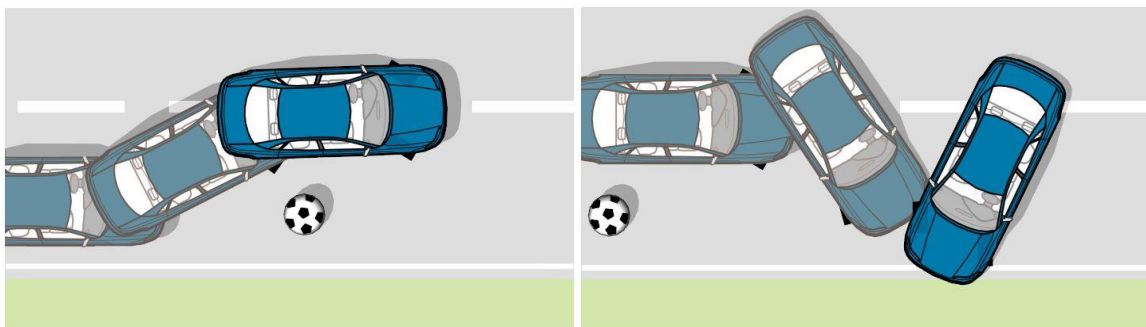
Přetáčivost vozidla je způsobena smykem zadní nápravy, který je důsledkem přílišného zatočení vozidla. Tento stav je hůře zvládnutelný než nedotáčivost. Pro jeho zvládnutí dojde nejprve k přibrzdění kola na vnější straně zatáčky, a pokud tento zásah není dostačující, dojde navíc ke krátkodobému přidání plynu. [22]



Obr. 25: Přetáčivost vozidla při smyku zadní nápravy a reakce ESP [22]

7.5.2.3 Vyhýbací manévr

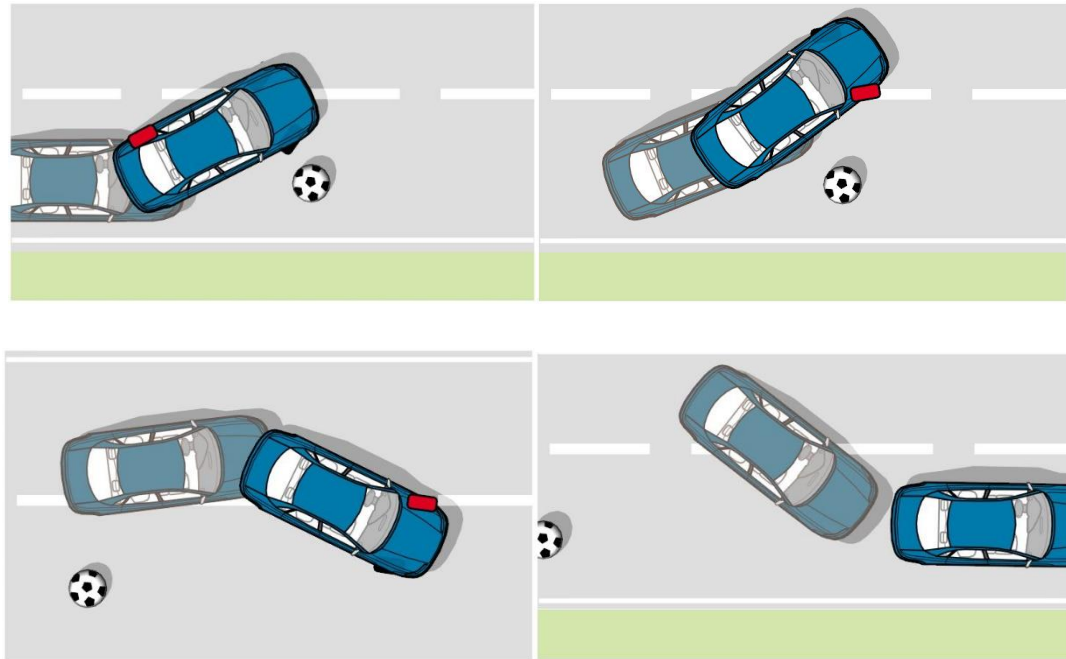
Pokud vozidlo není vybaveno systémem ESP a řidič se vyhýbá nečekané překážce na vozovce, nejprve strhne řízení na jednu a následně druhou stranu. Po tomto manévru se zadní část vozu pohybuje rychleji a vozidlo, dostává se do smyku a stává se neovladatelným.



Obr. 26: Průběh vyhýbacího manévru u vozidla bez systému ESP [22]

Pokud je ovšem vozidlo vybaveno systémem ESP a řidič provede stejný vyhýbací manévr, řídicí jednotka rozpozná, že se vozidlo dostává do smyku a provede zásah. Nejdříve podpoří zatočení vozidla pomocí přibrzdění vnitřního zadního kola, a zatím co vůz ještě zatačí a řidič strhává volant na opačnou stranu s cílem vrátit vozidlo do původního směru, přibrzdí ESP v tu chvíli vnitřní přední kolo a tím napomůže zatočení zpět do původního směru. Zadní kola se nadále otáčejí bez omezení a tím zajišťují vytvoření optimálního bočního vedení.

Pro zamezení vybočení zadní části vozu v konečné části vyhýbání, přibrzdí ESP přední kolo, které je v tu chvíli na vnitřní straně. Při obzvláště kritické situaci může dojít až k úplnému zablokování kola, aby došlo k omezení bočního vedení na přední nápravě. [22]



Obr. 27: Průběh vyhýbacího manévru u vozidla vybaveného ESP [22]

8 Předpokládaný vývoj v oblasti

8.1 Systém adaptivního tempomatu ACC (Adaptive Cruise Control)

Tento systém je dnes již hojně používán ve vozech vyšších tříd případně vyšších stupních výbavy. Systém ACC dokáže, kromě řidičem požadované konstantní rychlosti, reagovat také na překážky před vozidlem. Základní provedení adaptivního tempomatu fungují pouze v rychlostech nad 30 km/h. Jeho vylepšené verze jsou pak schopné i pomalého popojíždění v koloně. Systém vozidlo vždy přesně zastaví ve vzdálenosti několika metrů od automobilu, který zastavil před ním. Ve chvíli, kdy se vůz vpředu opět rozjede, je řidiči dán optický a zvukový signál a pokud řidič stiskne příslušný ovládací prvek, dá se vozidlo opět do pohybu. K detekci překážek používá ACC mnoho různých zařízení. Mikrovlnný radar pracující na frekvenci 77 GHz dokáže detekovat překážky do vzdálenosti až 150m před vozidlem. Infračervený senzor je schopen zjistit přítomnost překážky až na 120m. Do vzdálenosti cca 80m dává systému informace o překážkách kamera pracující ve viditelné části spektra.

Blízké okolí vozu pak monitorují mikrovlnné radary pracující na frekvenci 24 GHz, které jsou účinné do vzdálenosti přibližně 20m. Zjištění rizika kolize, při jehož zjištění dojde k aktivaci prvků pasivní bezpečnosti, jako například předepnutí bezpečnostních pásů, příprava airbagů nebo nastavení polohy sedadel do optimální pozice, zajišťují ultrazvukové snímače na přídi a zádi vozu s dosahem do 3 metrů.

8.2 Použití materiálů s lepšími vlastnostmi

S postupem času se dá předpokládat, že jak automobilky, tak výrobci brzd se budou snažit o snížení ceny uhlíko-keramických brzd a ty tak přestanou být výsadou pouze supersportovních automobilů. Vzhledem k tomu, že dnes má tento typ brzd v sériové výbavě pouze hrstka vozidel a zájemci, kteří by je na svém voze rádi měli, pak musejí připlatit částku ve výši stovek tisíc korun je situace, kdy budou uhlíko-keramické brzdy dostupné pro masovou veřejnost ještě velmi vzdálená. Vzhledem k nesporným výhodám tohoto provedení brzd, pokud pomineme cenu, je snaha o masovou dostupnost těchto brzd jistě krok správným směrem.

8.3 Regenerativní brzdění

Klasické třecí brzdy pracují na principu přeměny kinetické energie vozidla na energii tepelnou. Nicméně tyto brzdy produkují tepelnou energii bez možnosti jakéhokoliv dalšího využití, proto je třeba tuto energii z brzd odvádět a chladit je. Z tohoto pohledu se jedná o velmi neekonomický a neekologický proces. Výrobci automobilů proto v poslední době přicházejí s různými systémy pro rekuperaci brzděné energie. Tato energie je pak nejčastěji uchovávána ve formě elektrické energie v bateriích nebo kondenzátorech, nebo jako kinetická energie v setrvačnických systémech typu KERS (Kinetic Energy Recovery System) známým z monopostů formule 1. U systému KERS je možné nashromážděnou kinetickou energii opět použít ke krátkodobému navýšení výkonu motoru.

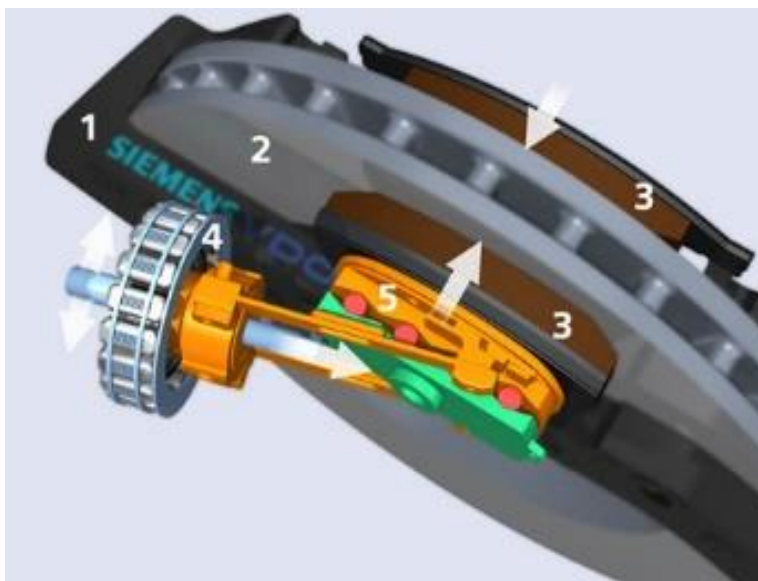
Při regenerativním brzdění dochází k posílení funkce alternátoru, který mechanickou energii, kterou poskytuje motor, transformuje na elektrickou. Ta je následně uchována v baterii nebo kondenzátoru. Při akceleraci nebo jízdě konstantní rychlostí naopak alternátor může pracovat s nižší zátěží. Elektrická energie potřebná pro provoz automobilu je v tu dobu dodávána z akumulátoru nebo kondenzátorů. Tím dochází ke snížení zatížení motoru a následné úspoře paliva. Systémy regenerativního brzdění mají své největší uplatnění v oblasti hybridních

a elektrických automobilů, u nichž slouží energie uložená při snižování rychlosti k dobíjení akumulátorů, sloužících k pohonu vozidla. [1]

8.4 Elektronická klínová brzda

EWB neboli Electronic Wedge Brake čili elektronická klínová brzda je brzdový systém vyvinutý firmou Siemens. První funkční vzorek byl přestaven v roce 2005 a následné testy ukázaly, že toto provedení brzd má mnohem větší účinnost, kratší reakční časy, a tím pádem i kratší brzdnou dráhu ve srovnání s konvenční hydraulickou brzdou.

Klínová brzda byla používána již k brzdění kočárů tažených koňmi. Z hlediska konstrukčního tak jde jen o využití tohoto dlouho známého principu a jeho zdokonalení. Ocelové klíny jsou vtlačovány mezi třmen brzdy a brzdové destičky s obložením a tím zajišťují jejich přitlak na brzdový kotouč. Ovládání klínku je zajištěno pomocí rychlých krokových elektromotorů. Čím rychleji se brzděné kolo otáčí, tím je brzdová destička, díky třecí síle, ještě více přitlačována na brzdový kotouč a tím vyvíjí i větší brzdnou sílu. Proto EWB potřebuje pro svou činnost mnohem méně energie než hydraulická brzda. Takto uspořádaná soustava, kdy každé kolo disponuje vlastní řídicí jednotkou, dokáže plynule regulovat brzdnou sílu a tím nahrazuje systémy ABS i ESP. V soustavě není přítomná hydraulická část ani brzdový posilovač a dochází tak ke značné úspoře hmotnosti především pak v oblasti kol, kde brzda zvyšuje neodpruženou hmotu, a tím se negativně podepisuje na jízdních vlastnostech, komfortu i životnosti. [24]



1 – brzdový třmen, 2 – brzdový kotouč, 3 – brzdové obložení, 4 – elektromotor, 5 – mechanismus klínu

Obr. 25: Schéma klínové brzdy Siemens, [24]

9 Závěr

Brzdy patří možná k menším konstrukčním součástem vozidel, nikoliv však svým významem. Dá se říci, že není tak složité vozidlo rozjet, jako ho zpomalit a následně zcela zastavit. Ruku v ruce s postupným technickým vývojem výroby vozidel krácel logicky i vývoj a používání různých brzdových systémů, přičemž jejich účelem bylo vždy dosažení co nejefektivnějšího brzdného účinku s cílem co možná nejvyšší bezpečnosti stále rostoucího provozu za souběžného nastavení optimálního uživatelského komfortu pro řidiče. K největšímu pokroku v oblasti komfortu došlo nasazením, dnes již běžně používaného prvku, a to posilovače brzd.

Historicky byly používány brzdy na mnoha různých principech, od pásových, přes bubnové až po kotoučové. Nejčastěji používaným brzdovým systémem, a to zejména s ohledem na výrobní náklady a nízkou technologickou náročnost, byly v minulosti brzdy bubnové, u kterých se už ani nenabízí žádné závratné technologické vylepšení. Tyto se v dnešní době využívají pouze u levnějších automobilů na zadních nápravách. U většiny soudobých vozidel je již využíváno brzd kotoučových na obou nápravách, a to i přes složitější řešení parkovací brzdy.

Za historický průlom, který přinesl zvýšení bezpečnosti a stability vozidla, lze označit použití protiblokovacího systému ABS, jehož úlohu při konstrukčních řešeních moderních vozidel vnímáme jako nezastupitelnou. Rostoucí provoz si vyžádal i vývoj a použití dalších asistenčních systémů, jako je např. brzdový asistent, jehož hlavním úkolem je posílení brzdného účinku a výrazné zkrácení brzdné dráhy. Téměř každý výrobce vozidel preferuje a zdokonaluje vlastní systém brzdového asistenta, ať už na principu elektronickém, hydraulickém či mechanickém, a to vždy s cílem předcházet dopravním nehodám, které jsou způsobené pozdní reakcí řidiče, případně jeho neadekvátní silou vyvinutou na brzdový pedál.

S ohledem na stále rostoucí, v některých aglomeracích až přehustěný, silniční provoz je logickým vyústěním snaha výrobců i legislativy o zvyšování bezpečnosti provozu, přičemž právě vývoj v oblasti brzdových soustav a zejména pak jejich asistenčních systémů a jejich následného využití v konstrukčních řešení co možná nejširšího spektra vozidel je logickým nástrojem pro dosažení optimálního stavu v této oblasti.

10 Seznam použitých zdrojů

10.1 Knižní

- [1] DAY, Andrew. Braking of road vehicles. ISBN 9780123973146.
- [2] SVOBODA, Jiří. Teorie dopravních prostředků: vozidla silniční a terénní. Vyd. 4. přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 8001030059.
- [3] VLK, František. Dynamika motorových vozidel. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 8023900242.
- [4] VLK, František. Podvozky motorových vozidel. 3., přeprac., rozš. a aktualiz. vyd. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 802396464x
- [5] JAN, Zdeněk, Bronislav ŽDÁNSKÝ a Jiří ČUPERA. Automobily. 2., aktualiz. vyd. Brno: Avid, 2009. ISBN 978-80-87143-11-7.

10.2 Internet

- [6] Předpis Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK/OSN) č. 13 – Jednotná ustanovení pro schvalování vozidel kategorií M, N a O z hlediska brzdění. Ministerstvo dopravy ČR [online]. [cit. 2016-09-10]. Dostupné z: http://www.mdcz.cz/cs/Legislativa/Legislativa/Legislativa_CR_silnicni/silnicnidoprava
- [7] Doba (dráha) brzdění a její složky. Brzdy – účel, rozdělení, hlavní části [online]. [cit. 2016-10-15]. Dostupné z: http://images.slideplayer.cz/11/3448880/slides/slide_7.jpg
- [8] Schéma přepákování brzdového pedálu [online]. [cit. 2016-11-09]. Dostupné z: http://www.thecartech.com/subjects/auto_eng2/auto_b_files/image004.jpg
- [9] Brzdy II. AutoZnalosti [online]. [cit. 2016-11-09]. Dostupné z: <http://www.autoznalosti.cz/index.php/podvozek-a-kola/39-brzdyii.html>
- [10] Bubnové brzdy. Informačný portál o brzdění a o brzdových systémech současných automobilů [online]. [cit. 2016-12-02]. Dostupné z: <http://www.brzdnevl.wz.cz/brzdy2-3.html>

- [11] KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ SILNIČNÍCH VOZIDEL. Městská hromadná doprava [online]. [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: <http://www.kds.vsb.cz/mhd/konstrukce-brzdy.htm>
- [12] Čelisti bubnové brzdy. PARTDeck [online]. [cit. 2016-12-19]. Dostupné z: <http://www.partdeck.cz/image/cache/data/products/Z-634N-ELISTI%20BU3389-1024x1024.jpg>
- [13] Kotoučová brzda. Auto - PC technologie [online]. [cit. 2016-12-26]. Dostupné z: <http://auto-pc.webnode.cz/automobily/kotoucova-brzda/>
- [14] Typy sportovních kotoučů. Autodíly Mjauto [online]. [cit. 2016-12-26]. Dostupné z: <http://www.mjauto.cz/wp-content/uploads/2013/02/typy-sportovnich-kotoucu.jpg>
- [15] Brzdové destičky s obložením. Quadpoint [online]. [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: http://www.quadpoint.cz/fotky19306/fotos/_vyrn_2desticky-zadni.jpg
- [16] Brzdy. ELUC [online]. [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1490>
- [17] Dvouokruhová brzdová soustava. Autolexicon.net [online]. [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/dvouokruhova-brzdova-soustava/>
- [18] Brzdový asistent. Autolexicon.net [online]. [cit. 2017-01-25]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/brzdovy-asistent/>
- [19] ABS (Anti-lock Braking System). Autolexicon.net [online]. [cit. 2017-01-25]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/abs-anti-lock-braking-system/>
- [20] Porovnání trajektorie vozidla s ABS a bez ABS při prudkém brzdění. AAAAuto [online]. [cit. 2017-01-25]. Dostupné z: <http://www.aaaauto.cz/data/photo/15306.jpg>
- [21] EDS (Elektronische Differenzialsperre). Autolexicon.net [online]. [cit. 2017-02-17]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/eds-elektronische-differenzialsperre/>
- [22] ESP (Electronic Stability Programme). Autolexicon.net [online]. [cit. 2017-02-23]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/esp-electronic-stability-programme/>

[23] Vliv povrchu vozovky na součinitel adheze. Konstrukce, funkce a výroba pneumatiky [online]. [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: http://www.pneuasistent.cz/Konstrukce_funkce_a_vyroba_pneumatiky.html

[24] EWB (Electronic Wedge Brake). Autolexicon.net [online]. [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/ewb-electronic-wedge-brake/>

11 Seznam obrázků

- Obr. 1:** Průběh brzdné síly v závislosti na době (dráze) brzdění a jejich složky. [7]
- Obr. 2:** Požadavky na průběh křivek využívané přilnavosti pro osobní automobily pro maximálně 9 pasažérů. [4]
- Obr. 3:** Schéma přepákování brzdového pedálu. [8]
- Obr. 4:** Schéma hlavního brzdového válce. [9]
- Obr. 5:** Způsoby uložení čelistí bubnové brzdy [10]
- Obr. 6:** Schéma bubnové brzdy. [11]
- Obr. 7:** Typy provedení bubnových brzd. [10]
- Obr. 8:** Dvoupístkový kolový brzdový váleček. [4]
- Obr. 9:** Čelisti bubnové brzdy s obložením. [12]
- Obr. 10:** Schéma kotoučové brzdy s pevným a plovoucím třmenem. [13]
- Obr. 11:** Brzdové kotouče pro sportovní vozy s prvky zlepšující jejich vlastnosti. [14]
- Obr. 12:** Brzdové obložení s nosnými segmenty. [15]
- Obr. 13:** Podtlakový posilovač brzd a jeho jednotlivé části. [16]
- Obr. 14:** Hydraulický posilovač brzd a jeho jednotlivé části. [9]
- Obr. 15:** Schéma zapojení „II“. [17]
- Obr. 16:** Schéma zapojení „X“. [17]
- Obr. 17:** Schéma zapojení „LL“. [17]
- Obr. 18:** Schéma zapojení „HI“. [17]
- Obr. 19:** Schéma zapojení „HH“. [17]
- Obr. 20:** Porovnání vlivu brzdového asistentu na brzdnou dráhu vozidla. [18]
- Obr. 21:** Snímač otáček kola s impulzním kroužkem. [19]
- Obr. 22:** Porovnání trajektorie vozidla s ABS a bez ABS při prudkém brzdění. [20]
- Obr. 23:** Nápravový diferenciál bez činnosti systému EDS a přibrzdění protáčejícího se kola pomocí EDS [21]
- Obr. 24:** Nedotáčivost vozidla při smyku přední nápravy a reakce ESP [22]
- Obr. 25:** Přetáčivost vozidla při smyku zadní nápravy a reakce ESP [22]
- Obr. 26:** Průběh vyhýbacího manévru u vozidla bez systému ESP [22]
- Obr. 27:** Průběh vyhýbacího manévru u vozidla vybaveného ESP [22]
- Obr. 28:** Schéma klínové brzdy Siemens [24]

12 Seznam tabulek

Tab. 1: Hodnoty součinitele adheze μ pro vybrané povrchy. [23]

Tab. 2: Požadavky na brzdný účinek pro osobní automobily podle EHK. [6]