

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



Vývoj a konstrukce vozidlových brzd

Bakalářská práce

Autor bakalářské práce: Jan Kendera

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jakub Mařík, Ph.D.

© 2018 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jan Kendera

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Vývoj a konstrukce vozidlových brzd

Název anglicky

Development and design of vehicle brakes

Cíle práce

Cílem práce je provést literární rešerši v problematice vozidlových brzd.

Metodika

1. prostudovat základní literaturu v oblasti vozidlových brzd
2. vlastní rozbor problematiky konstrukce brzd
3. návrh doporučení a předpokládaný vývoj v oblasti konstrukce brzd

Doporučený rozsah práce

30 stran

Klíčová slova

kotouč, třecí segment, ABS

Doporučené zdroje informací

BREUER, Bert. a Karlheinz H. BILL. Brake technology handbook. Warrendale, Pa.: SAE International, c2008. ISBN 076801655X.

LIMPERT, Rudolf. Brake design and safety. 3rd ed. Warrendale, Penn.: SAE International, 2011. ISBN 9780768034387.

VLK, F. *Dynamika motorových vozidel : jízdní odpory, hnací charakteristika, brzdění, odpružení, říditelnost, ovladatelnost, stabilita*. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000. ISBN 80-238-5273-6.

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Jakub Mařík, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 17. 1. 2017

doc. Ing. Miroslav Růžička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 1. 2017

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 01. 04. 2018

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: "Vývoj a konstrukce vozidlových brzd" vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne 30.3.2018

Kendera Jan

Poděkování

Děkuji touto formou panu Ing. Jakobovi Maříkovi Ph.D. za jeho účinnou pomoc, komentáře a konzultace při zpracovávání mé bakalářské práce. Dále chci poděkovat celé své rodině a především rodičům za finanční a morální podporu během studia.

Vývoj a konstrukce vozidlových brzd

Abstrakt:

Tato bakalářská práce se zabývá brzdami a brzdovými systémy vozidel. Jedná se o nejdůležitější bezpečnostní prvky, které se neustále vyvíjí. Cílem mé práce tedy bylo vytvoření rešerše o vývoji, současném stavu a vývojových tendencích tohoto technického oboru. Úvodní část práce popisuje základní pojmy, legislativu a rozdělení brzdových systémů podle různých parametrů. Následuje stěžejní část práce a to popis typů konstrukčního provedení vozidlových brzd. Další kapitola se zabývá v dnešní době stále důležitějšími a vyspělejšími stabilizačními systémy. Závěr práce pojednává o vývojových tendencích.

Klíčová slova: kotouč, třecí segment, ABS, brzda, brzdový systém, stabilizační systémy

Development and design of vehicle brakes

Abstract:

This bachelor thesis deals with brakes and vehicle braking systems. These are the most important security features, that are constantly evolving. The aim of my work was to create a research on the development, current state and development trends of this technical field. The introductory part describes the basic concepts, legislation and distribution of brake systems according to various parameters. The key part of the thesis is the description of the types of design of the vehicle brakes. The next chapter deals with today's increasingly important and advanced stabilization systems. The conclusion of the thesis deals with developmental tendencies.

Keywords: disc, friction segment, ABS, brake, brake system, stabilization system

Obsah:

1	Úvod.....	1
2	Brzdové systémy	2
2.1	Základní pojmy a historie	2
2.2	Legislativa.....	6
2.3	Rozdělení brzdových systémů.....	8
2.3.1	Podle účelu použití.....	8
2.3.2	Podle zdroje energie	8
2.3.3	Podle ovládání.....	9
3	Konstrukční provedení brzd.....	9
3.1	Špalíkové brzdy	9
3.2	Bubnové brzdy	11
3.2.1	S vnějšími čelistmi	11
3.2.2	S vnitřními čelistmi.....	12
3.2.3	Základní části bubnových brzd	13
3.2.4	Druhy bubnových brzd dle konstrukce	14
3.3	Kotoučové brzdy	16
3.3.1	Brzdový kotouč.....	18
3.3.2	Brzdové destičky a brzdové obložení.....	20
3.3.3	Kotoučové brzdy s pevným třmenem	23
3.3.4	Kotoučové brzdy s plovoucím třmenem	25
3.3.5	Brzdová kapalina	26
3.4	Elektrické brzdy.....	27
3.5	Posilovač brzd.....	28
4	Stabilizační systémy.....	29
4.1	Protiblokovací systém ABS.....	30
4.2	Protiprokluzový systém ASR.....	32
4.3	Elektronický stabilizační program ESP	33
5	Vývojové tendence.....	34
6	Závěr	35
7	Seznam použitých zdrojů	36
8	Seznam tabulek	37
9	Seznam obrázků	38

1 Úvod

Jedním z nejdůležitějších systémů vozidla a vůbec nejvýznamnějším prvkem aktivní bezpečnosti je brzdový systém. Již od začátku produkce dopravních prostředků bylo zapotřebí brzdami regulovat rychlost. Bezpečné zpomalení, nebo úplné zastavení je jednou z možností, jak předejít dopravní nehodě. Brzdy slouží též k bezpečnému zajištění stojícího vozidla v kopci. Regulace rychlosti fungovala na principu třecí síly a ten přetrvává dodnes. Při brždění se pohybová energie přeměňuje na energii tepelnou, která se samovolně šíří do okolí. Lepší brzdový účinek získáme buď zvětšením průměru brzdy, nebo pomocí větší síly působící na brzděnou plochu.

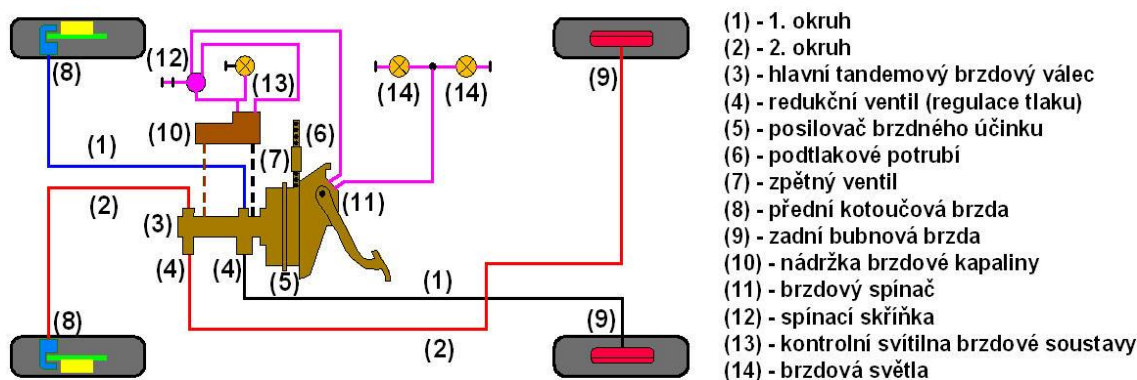
Zmínky o prvních brzdách jsou již z doby Římské říše. Římané používali na svých vozech jednoduché mechanické brzdy ovládané táhly a pákami. Jak se s časem zvyšovala dynamika motorových vozidel, tak bylo zapotřebí vyvíjet lepší a účinnější brzdové systémy. Brzdnou sílu musel vyvíjet sám řidič, proto se začalo používat hydraulické ovládání a servomechanismy, aby bylo brždění účinnější a pohodlnější pro řidiče vozu.

Cílem této bakalářské práce je vytvoření uceleného přehledu brzd a brzdových systémů používaných u vozidel v průběhu času. Od prvních brzd, přes nejčastěji používané dnes až po výhled do budoucna. V následující kapitole se práce zabývá základním popisem, historií, právními předpisy a rozdělením. Poté následuje popis nejběžnějších typů brzd používaných u vozidel. Ve čtvrté kapitole se seznámíme s elektronickými stabilizačními systémy. V poslední kapitole této bakalářské práce je nastínění možných vývojových tendencí do budoucna.

2 Brzdové systémy

Brzdové soustavy jsou nejzásadnějším bezpečnostním prvkem vozidla z hlediska aktivní bezpečnosti. Zajišťují jednak jeho zpomalení, nebo úplné zastavení a také zajišťují vozidlo proti samovolnému pohybu například u parkování v kopci. Brzdové soustavy v drtivé většině pracují na principu zvětšování odporu tření. Při brždění se snižuje pohybová energie, která se mění na teplo. Takže při zpomalování až po úplné zastavení, se přemění určité množství energie na teplo a unikne bez užitku do okolního prostředí. Brzdový systém musí za každých okolností fungovat okamžitě a přesně dle našich potřeb. Z bezpečnostních důvodů je dnes většina brzdových soustav tvořena dvěma brzdovými okruhy. Kvůli tomu je zapotřebí použít hlavní tandemový (dvojitý) brzdový válec. V případě, že první brzdový okruh bude mít poruchu, je v záloze pro brždění vozidla neporušený druhý brzdový okruh. Schéma brzdového systému automobilu je znázorněno na obr. 1.

Obr. 1 Dvouokruhová brzdová soustava [4]



2.1 Základní pojmy a historie

První brzdy byly používány ve středověku k brždění povozů. Šlo o jednoduché mechanické zařízení. Řidič svépomocí vyvíjel brzdou sílu na kola pomocí systému pák a táhel. Dřevěný špalík se přitlačoval přímo na obruč loukoťového kola. Uspořádání je podobné bubnové brzdě s vnějšími čelistmi s tím, že funkci bubnu zde zastává pojezdové kolo samotného vozidla. Tak tomu bylo po velmi dlouhou dobu až do dvacátých let minulého století, to se ve vozidlech začaly používat vzduchotlaké

soustavy, které se již delší dobu požívaly u vlaků. Při použití tohoto systému řidič nemusí vyvíjet tak velkou sílu. Tímto vynálezem se zlepšila regulovatelnost brždění i brzdny účinek samotny.

V první polovině 20. století se pak u automobilů začaly používat brzdy bubnové. Ty mají poměrně velký samo-posilující účinek, slušnou životnost brzdového obložení, skvělou ochranu proti nečistotám (brzda je prakticky celá schována uvnitř bubnu), ale při zahřátí vlivem dlouhodobého intenzivního brždění (například při dlouhém sjezdu z kopce) jejich brzdny účinek slábne a při velmi silném zahřátí může dokonce dojít k trvalému poškození samotného bubnu.

Od druhé poloviny minulého století se pak masově používají kotoučové brzdy. Oproti bubnovým brzdám jsou z konstrukčního hlediska jednodušší, přesnější, výkonnější a spolehlivější. Při dlouhodobém používání dochází jen k velmi malé změně součinitele tření. Avšak dochází u nich k rychlejšímu opotřebení třecích segmentů, ale jejich výměna je poměrně jednoduchá. Používají se u automobilů, motorek, jízdních kol i vlakových souprav.

Základní automobilové názvosloví dle normy ČSN 30 0029 (Údaje o vozidle - definice základních pojmů) uvádí z oboru brzd a brždění tyto pojmy a definice:

Brzdná síla [N]: Síla, která působí proti směru pohybu vozidla. Je způsobena účinkem brzdy, resp. brzdové soustavy. Dosáhne-li brzdná síla velikosti adhezni síly na kolech vozidla, pak se tento stav označuje jako brždění na mezi adheze. Brzdná síla závisí na velikosti hmotnosti vozidla G [N] a součiniteli záběru $\mu[-]$. Je možné ji spočítat ze vztahu: $F_b = G \cdot \mu = m \cdot g \cdot \mu$ [N]

Ovládací síla brzdy [N]: Síla vynakládaná na brždění buď řidičem, nebo (popř. též) jiným zdrojem energie.

Brzdící síla [N]: Síla, která vzniká přímo v brzdě účinkem ovládací síly a prostřednictvím převodu brzdy a vyvolává zpomalující sílu na brzděných prvcích.

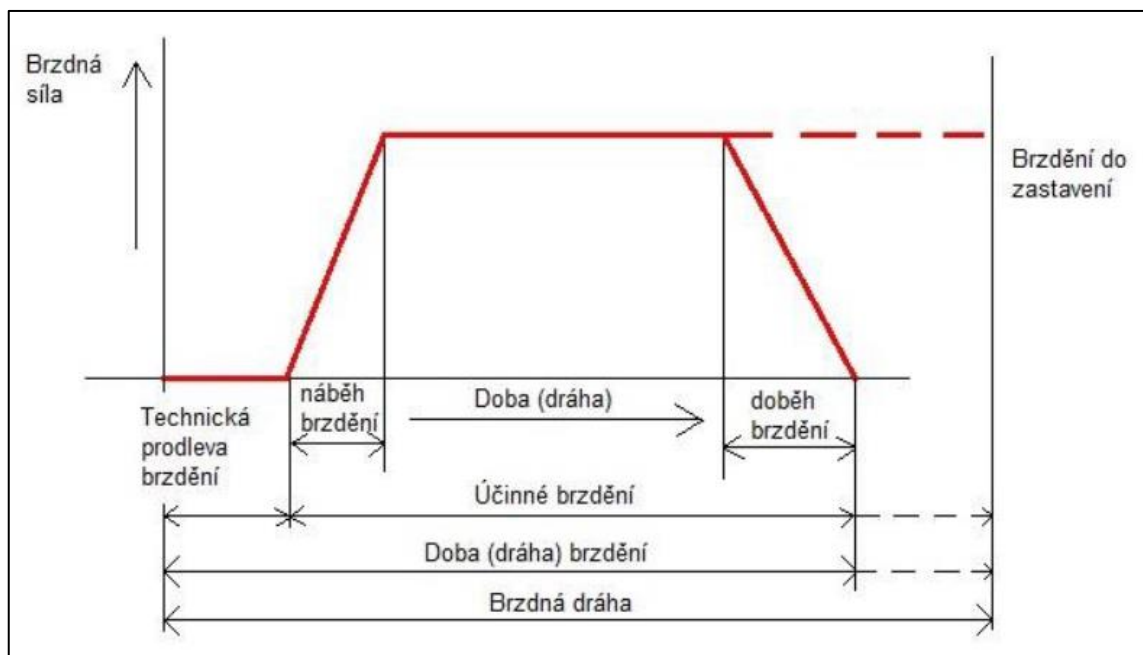
Doba brždění [s]: Doba uplynulá od okamžiku, kdy řidič začne působit na brzdu vozidla (brzdovou soustavu) až do okamžiku, kdy účinek brzdy pomine, nebo kdy se vozidlo zastaví. Je znázorněna na obr. 2 a obsahuje následující složky:

- *doba technické prodlevy brzdy* - je doba, která uplyne od okamžiku, kdy řidič začne působit na brzdu vozidla, až do okamžiku, kdy se účinek brzdy začne projevovat,
- *doba náběhu brzdění* - je doba, která uplyne od okamžiku, kdy se účinek brzdy začne projevovat, až do okamžiku, kdy dosáhne plné výše,
- *účinná doba brzdění* - je doba, která uplyne od okamžiku, kdy se účinek brzdy začne projevovat, až do okamžiku, kdy pomine nebo kdy se vozidlo zastaví,
- *doba doběhu brzdění* - je doba, která uplyne od okamžiku, kdy řidič přestane působit na brzdu vozidla, až do okamžiku, kdy účinek brzd pomine.

Dráha brzdění [m]: Znázorněna na obr. 2 a je to dráha ujetá vozidlem v době brzdění. Doba (s), resp. dráha (m) se skládá z těchto složek:

- *dráha technické prodlevy brzdy* - je dráha, kterou vozidlo ujede v době prodlevy brzdy,
- *dráha náběhu brzdění* - je dráha, kterou vozidlo ujede v době náběhu brzdění,
- *dráha účinného brzdění* - je dráha, kterou vozidlo ujede v účinné době brzdění,
- *dráha doběhu brzdění* - je dráha, kterou vozidlo ujede v době doběhu brzdění.

Obr. 2 Doba a dráha brzdění [1]



Brzdné zpomalení [m.s⁻²]: Úbytek rychlosti vozidla za 1 s, způsobený účinkem provozní, pomocné, popř. zpomalovací brzdy; střední brzdné zpomalení a_s se vypočte z rychlosti v [km.h⁻¹] a brzdné dráhy s [m] podle vzorce: $a = \frac{v^2}{25,9*s}$ [m.s⁻²]

kde: v je rychlost vozidla [km.h⁻¹] a s je brzdná dráha [m].

Brzdná dráha [m]: Dráha brždění, jestliže bylo vozidlo brzděno až do zastavení. Lze vypočítat ze vztahu: $s_b = \frac{v^2}{2*g*\mu}$ [m]

kde: g je tíhové zrychlení [m.s⁻²], μ je součinitel záběru [-] a v je pojezdová rychlost vozidla [m.s⁻¹].

Brzdný sklon [°]: Sklon svahu, na kterém lze vozidlo brzdou udržet v klidu. Je měřítkem účinnosti parkovací brzdy.

Brzdový výkon [W]: Součin brzdné síly [N] a rychlosti vozidla [m.s⁻¹]. Jeho hodnota určuje, jak moc výkonný brzdový systém dané vozidlo má.

Slábnutí brzd: Zmenšení účinku brzd, způsobené jejich oteplením během brždění. Po vychladnutí brzd však pomine.

Brzdný součinitel: Poměr odpovídajícího brzdného zpomalení a tíhového zrychlení. Existují dva druhy - střední nebo okamžitý.

Adhezní síla [N]: To je největší síla, kterou lze přenést ve styku kola s vozovkou při daném stavu jejího povrchu a při dynamickém stavu pneumatiky. Překročí-li brzdná síla velikost síly adhezní, kolo se přestane otáčet, zablokuje se a začne se smýkat. Zablokované kolo je však schopno přenášet menší brzdící sílu a přitom zcela ztrácí svou vodící funkci. Brzdnou dráhu lze vypočítat z pohybové energie jedoucího automobilu, která se spotřebuje na práci brzdné síly. Největší součinitel adheze μ_v je na suché betonové nebo asfaltové vozovce ($\mu_v = 0,7$ až $1,00$), nejmenší na ledě ($\mu_v = 0,05$ až $0,1$). Voda a nečistoty snižují hodnotu adheze. Maximální možné zpomalení: $a_{max} = g*\mu_v$ [m.s⁻²]

Účinek brzdy a brzdové soustavy: Schopnost snížit rychlost vozidla, případně jej zastavit, udržovat požadovanou rychlost při jízdě ze svahu nebo vozidlo na svahu udržet. Účinek brzdy vyjadřujeme brzdnou dráhou, zpomalením nebo brzdným sklonem.

2.2 Legislativa

Aby bylo dosaženo plynulé dopravy, je zapotřebí, aby automobily byly schopny rychlého zrychlování i zpomalování. Velmi důležitá je především schopnost snížení rychlosti. Právě proto jsou požadavky na brzdění vozidel v České Republice právně ustanoveny. A to vyhláškou Ministerstva dopravy č. 341/2014 Sb., o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů. Tato vyhláška je v souladu s homologačními předpisy EHK č. 13, 78 a 90. Předpis EHK č. 13 platí pro vozidla kategorií M, N a O (osobní automobily, nákladní automobily a přípojná vozidla) viz obr. 3. Tento předpis popisuje vlastnosti brzdových systémů, systém brzdění a zkoušky brzd. Předpis EHK č. 78 pojednává o zkoušení a schvalování typu systému pro brzdění motorových vozidel se dvěma nebo třemi koly kategorií L. A nakonec předpis EHK č. 90 schvaluje typy náhradních částí brzdového obložení, obložení bubnových brzd a kotoučů a bubnů pro motorová vozidla a jejich přípojná vozidla.

Tab. 1 Požadavky na brzdné účinky kategorií vozidel M a N podle předpisu EHK [2]

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

U všech vozidel jsou zapotřebí alespoň dva, na sobě nezávislé brzdové systémy, z nichž jeden zajišťuje dostatečně jemné a dávkovatelné provozní brždění. Používá se během jízdy k ovládní a ke spolehlivému zpomalování a zastavování. Druhý systém se stará o parkovací brždění. Tedy stará se o zajištění stojícího vozidla. Brzdová zařízení u vozidel z kategorií M a N musí být konstruovány tak, aby v případě poruchy systému provozního brždění šlo automobil zabrzdit pomocí nouzového brždění.

O dávkovatelné brždění se jedná v případě, že řidič může kdykoli v kterémkoliv okamžiku zvětšit nebo zmenšit brzdnou sílu působením na ovládací prvek. Brzdná síla se mění stejně, jako se mění síla vyvinutá na ovládací prvek brzdového systému a lze ji dostatečně jemně regulovat.

Pokud se systém provozního brždění rozbije, musí být v záloze zařízení nouzového brždění vozidla. To musí být též dávkovatelné a musí účinkovat minimálně na jedno kolo na obou stranách automobilu. Ovládní tohoto nouzového brzdícího systému by nemělo vyžadovat jinou polohu trupu řidiče v sedadle, přičemž řidič musí dále ovládat volant alespoň jednou rukou.

Systém parkovacího brždění má za úkol udržet v klidu stojící vozidlo, soupravu nebo přípojné vozidlo odpojené od tažného vozidla na rovině, ve stoupání i klesání a to i za nepřítomnosti řidiče. Prvky brzdového zařízení držící automobil v zabrzděné poloze by měli být pouze mechanické. Brždění musí účinkovat alespoň na jedno kolo z každé strany vozidla dle jeho podélné střední roviny.

Požadavky na brzdovou soustavu vyplývající ze zákona:

- ovládací prvky parkovacího a provozního brždění musí být vždy oddělené,
- daného brzdného účinku se musí docílit, aniž by se zablokovala kola,
- závada pneumatického či hydraulického převodu musí být signalizována řidiči,
- parkovací brzda musí předejít protáčení kol vozu při jeho celkové hmotnosti na svahu (u osobních vozidel nejméně 18 %, u nákladních vozidel a autobusů u jednotlivého vozidla nejméně 18 %, u soupravy nejméně 12 %),
- je nutné, aby nouzové brždění bylo dávkovatelné, řidič přitom má mít možnost brzdit ze své sedačky a řídit stále vozidlo alespoň jednou rukou,
- provozní brždění má za úkol účinkovat na všechna čtyři kola a brzdný účinek patřičně přerozdělovat mezi obě nápravy. Působení musí být dávkovatelné a šofér musí být schopen brzdit ze svého místa, aniž by dal ruce z volantu.

2.3 Rozdělení brzdových systémů

2.3.1 Dle účelu použití

Brzdová soustava automobilu musí obsahovat brždění provozní, které je používáno primárně za jízdy, dále brždění nouzové, které zasahuje při poškození systému provozního brždění a nakonec parkovací brzdu, která má za úkol udržet zaparkované nebo stojící vozidlo v klidové poloze.

- a) **Brzdová soustava provozní** - redukuje rychlost vozidla za jízdy a to částečně, nebo i do úplného zastavení. Vůz se při brždění nesmí vychýlit z určeného směru. Tato soustava se řídí jen nohou šoféra a je zapotřebí, aby byl její efekt odstupňovatelný a působil na všechna čtyři kola.
- b) **Brzdová soustava nouzová** - přichází na řadu při závadě provozních brzd. Musí účinkovat minimálně na jedno kolo z obou stran vozu.
- c) **Brzdová soustava parkovací** - zajišťuje stojící či zaparkované vozidlo proti samovolnému rozjetí a to i v situaci, kdy je řidič nepřítomen.

2.3.2 Dle zdroje energie

- a) **Soustava přímočinná** - energie nezbytná k vytvoření brzdné síly je dána jen a pouze fyzickou silou řidiče, kterou působí na brzdový pedál. Jeho svalová síla je posílána na kola vozidla mechanickými nebo hydraulickými převody. Bez posilovače.
- b) **Soustava přímočinná s posilovačem** - energie potřebná k vytvoření brzdné síly je stále dána fyzickou silou řidiče, tu ale dále posiluje posilovač brzdného účinku. Tato soustava se též označuje jako polo-strojní. Brzdová soustava musí setrvat funkční, i když se posilovač rozbije, přičemž síla vynaložená na brzdový pedál nesmí být vyšší než 800 N.
- c) **Soustava nepřímá** - energie nutná k vytvoření brzdné síly se zde vytváří jinou cestou. Používá se tlaková energie vzduchu, kapaliny nebo kombinace obojího. Tato soustava se označuje také jako strojní. Šofér u tohoto systému pouze dávkuje brzdový účinek bez fyzické námahy.

2.3.3 Dle ovládání

- a) **Ovládání mechanické** - jedná se o nejzákladnější typ brzdové soustavy, ovládá se pomocí mechanického převodu, který může být například lanový nebo pákový. V dnešní době se používá hlavně jako pomocná ruční brzda nebo maximálně u laciných automobilů jako brzda zadní nápravy.
- b) **Ovládání pneumatické** - aplikuje se hlavně u autobusů a nákladních automobilů. U tohoto typu ovládání fyzická síla řidiče, která má vliv na ovládací prvek, v tomto případě na brzdový pedál, jen uvolňuje energii stlačeného vzduchu a ta je poté regulovaně užívána na brždění vozu.
- c) **Ovládání hydraulické neboli kapalinové** - zde je brzdová síla vytvářena brzdovým pedálem, který působí na hlavní brzdový válec a z něj je brzdová síla vedena na kolové válečky v brzdě pomocí brzdové kapaliny. Princip funkce tohoto systému se zakládá na použití Pascalova zákona.

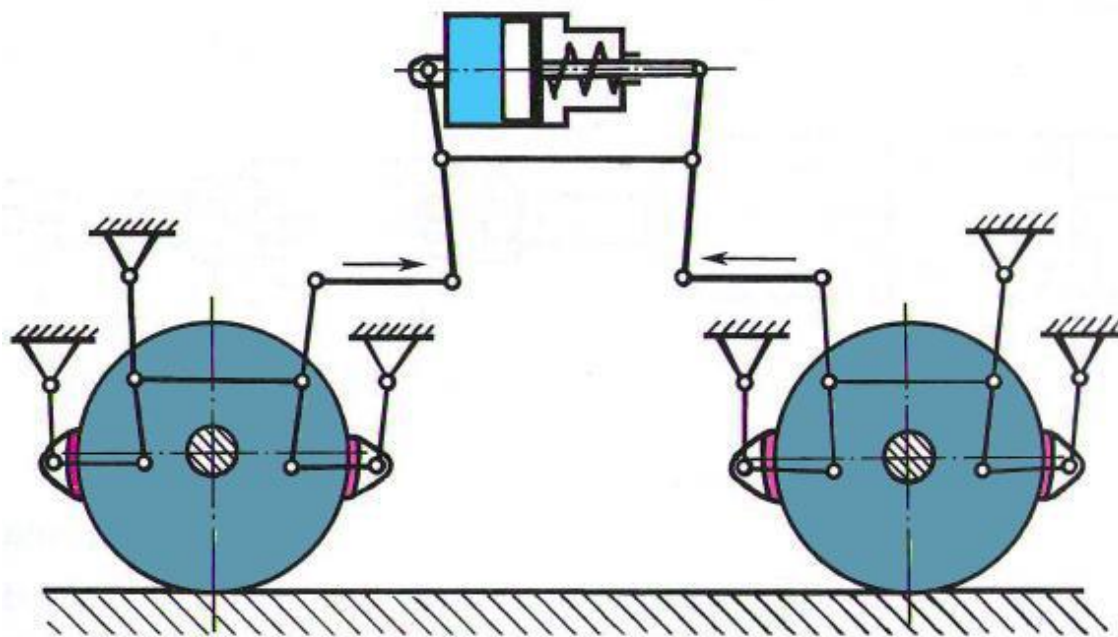
3 Konstrukční provedení brzd

3.1 Špalíkové brzdy

Nejstarší špalíkové brzdy se používaly u kočárů a zemědělských povozů. Dřevěný špalík se přitlačoval přímo na obruč loukoťového kola. Uspořádání je velmi podobné brzdě bubnové s vnějšími čelistmi s tím, že funkci bubnu zde zastává pojezdové kolo vozidla. Dnes se špalíkové brzdy používají hlavně na železničních vozech avšak pod názvem zdržové. Jsou ovládány vzduchovým brzdovým válcem, od něhož se brzdná síla přenáší na zdrže soustavou pák a táhel. Viz obrázek 4.

Kinetická energie je u špalíkových brzd mařena třením brzdových špalíků o jízdní plochy kol vozu. Zdrže neboli brzdové špalíky jsou součástí kolejových vozidel již od jejich počátků. Ty úplně první byly vyráběny z dubového dřeva, poté se začaly používat litinové. V dnešní době jsou mimo litinových brzdových špalíků používány u vlaků také špalíky z nekovových kompozitních materiálů, které jsou méně hlučné a mají konstantnější součinitel tření mezi kolem a zdrží. Tento součinitel tření při použití litinových špalíků se zvyšující se rychlostí klesá a tím pádem zhoršují účinek brzdy. Při závadě nebo při velmi intenzivním brždění se špalíkovou brzdou hrozí díky nadměrnému přehřátí poškození kol.

Obr. 3 Soustava táhel a pák u vlakové brzdy [14]



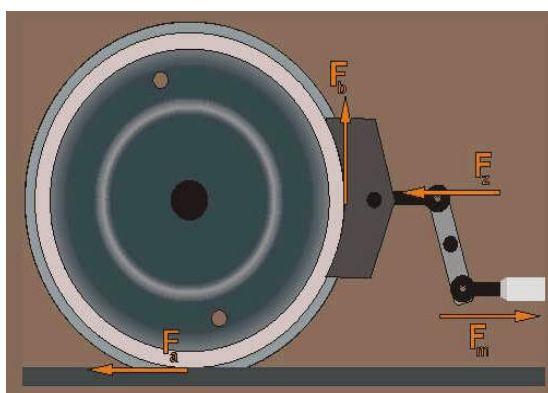
Výhodami zdržové neboli špalíkové brzdy jsou lehká kontrola správného fungování, primitivní konstrukce a schopnost špalíků při brždění čistit jízdní plochu kola. Špalíková brzda je však kvůli enormnímu tepelnému zatěžování kol použitelná jen do rychlosti 160 km/h. Velikost brzdící síly špalíkové brzdy F_b je závislá na velikosti součinitele tření f mezi brzdovým špalíkem a jízdní plochou kola a na síle působící na zdrž F_z ($F_b = F_z \cdot f$). Pro zachování účinnosti a správného fungování zdržové brzdy i ve vysokých rychlostech je zapotřebí při zvyšování rychlosti ve správný okamžik zvýšit přítlak na brzdové špalíky. Právě kvůli tomu je pro větší rychlosti špalíková brzda konstruována jako dvoustupňová brzda.

Síla působící pomocí stlačeného vzduchu na píst v brzdovém válci je podpořena mechanickým převodem F_m a posílána ke kolům daných bržděných dvojkolů. Tam poté na jízdní plochu kol přitiskne brzdové špalíky. Po přitlačení silou F_z se utvoří mezi jízdní plochou kola a brzdovým špalíkem třecí síla F_b , která účinkuje proti směru otáčení kol. Moment vytvořený třecí silou pak působí díky adhezi v místě dotyku kolejí a kola jako síla F_a , která je orientována proti směru pohybu vozu. Touto silou F_a při brždění působí koleje na kolo. Jedná se o reakci kolejí na vyvolanou brzdící sílu, která stejně jako síla třecí zmizí po zastavení vozidla. Síly jsou znázorněny na obr. 5.

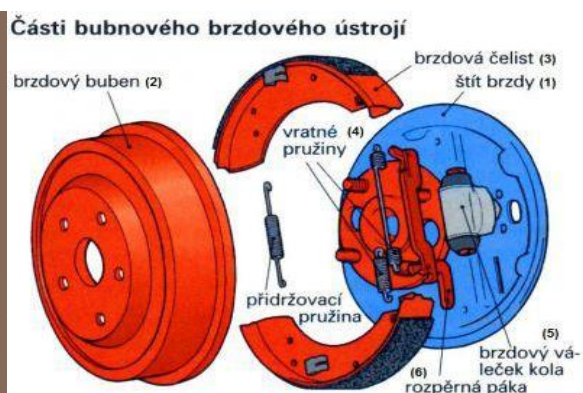
3.2 Bubnové brzdy

Bubnová brzda je starší než brzda kotoučová. Nejvíce rozšířená byla během 20. století. U starších modelů automobilů se používala na obou nápravách, dnes už ale jen u nejlevnějších typů na zadní nápravě. Bubnová brzda se používá hlavně jako provozní, ve 21. století se však u automobilů objevuje pouze na zadní nápravě, avšak i tam je postupně nahrazována kotoučovými brzdami.

Obr. 4 Síly působící na kolo [13]



Obr. 5 Bubnová brzda [6]



3.2.1 S vnějšími čelistmi

Používají se u výtahů, jeřábů a u kolejových a silničních motorových vozidel. Jsou buď s jednou, nebo častěji se dvěma čelistmi, které produkují brzdící účinek přitlačením k rotujícímu brzdovému bubnu. Vnější čelisti jsou na pákách uloženy pohyblivě nebo nehybně. Brzdový buben a čelisti se vyrábějí z oceli nebo z litiny. U kolejových vozidel se používají čelisti bez obložení. Efektivita brzdy se zvětší, obloží-li se třecí plochy čelistí patřičným materiálem. Na čelisti se obložení upevňuje zatlačením za ostré záseky a pojištěním šrouby a páskem, nebo se přinýtuje zapuštěnými měděnými, mosaznými nebo hliníkovými nýty. Popřípadě se obložení na čelisti přilepí. Hlavními částmi jsou brzdové čelisti s obložení, brzdový buben a brzdové páky. Přítlak brzdových čelistí na buben zajišťují např. pružiny a odbrzdění se provádí elektrohydraulickým nebo elektrickým odbrzdovačem. U vozidel se však nepoužívají.

3.2.2 S vnitřními čelistmi

U osobních automobilů se aplikují bubnové brzdy s vnitřními čelistmi. Jsou dnes využívány u malých osobních vozů hlavně na zadní nápravě. Ale také u autobusů, nákladních a užitkových vozidel. Většinou se jedná o provedení bubnové brzdy typu Simplex. Vytváří brzdovou sílu na vnitřním povrchu brzdového bubnu. Brzdové čelisti jsou k brzdovému bubnu přitlačovány pomocí brzdových válečků. Brzdu bubnovou je také možné využít jako parkovací brzdu a to pomocí zařazení brzdového lana a madla ruční brzdy. Nejhlavnější komponenty bubnové brzdy jsou brzdový buben, štít brzdy, vratné pružiny, brzdové čelisti, přidržovací pružina, brzdový váleček kola a rozpěrná páka. Schéma brzdové bubny s vnitřními čelistmi je na obr. 6.

Brzdový buben (2) se otáčí s kolem, ke kterému je pevně připojen. Brzdové čelisti (3) spolu s ostatními částmi vytvářejícími přitlačnou sílu jsou přichyceny na štítu brzdy (1). Štít brzdy se neotáčí a je pevně spojen s nápravou. Rozpěrným zařízením jsou brzdové čelisti (3) přitlačovány na vnitřní plochu brzdového bubnu. Při působení čelistí, které jsou opatřeny obložením, na vnitřní plochu bubnu se vytváří tření a tím vzniká žádaná brzdná síla. Požadovaná přitlačná, neboli rozpěrná síla může být utvořena pomocí hydraulického kolového brzdového válečku (5), jak je tomu u provozních brzd, mechanickou rozpěrnou pákou (6), nebo brzdovým klíčem což se používá u parkovacích brzd. Aby nebyl neúčinný zdvih pedálu moc velký, bylo třeba vymezit vůli mezi bubnem a čelistmi. U starších provedení se vůle určovala excentrickým šroubem. Toto velmi nepohodlné řešení bylo postupně nahrazeno tzv. samo-stavem. Což je zařízení, které automaticky vymezuje vůli mezi bubnem a čelistmi. Tento samo-stav funguje na principu omezené vratnosti čelistí. Viz obr. 6.

Výhody a nevýhody bubnových brzd jsou následující:

- celkem velká životnost brzdového obložení,
- skoro celá brzda je situována uvnitř bubnu a je tak chráněna proti nečistotám,
- dosti lehké přizpůsobení pro funkci parkovací brzdy,
- jestliže jsou vystaveny dlouhodobému zahřívání, například při dlouhodobém brždění v táhlém klesání, tak nastává pokles brzdného účinku,
- v případě, kdy zahřátí dosáhne určité hranice, může dojít až k deformaci brzdového bubnu,
- s ohledem na velikost má oproti kotoučové brzdě menší výkonnost.

3.2.3 Základní části bubnových brzd

Brzdový buben drží brzdové čelisti. Je nutné, aby měl brzdový buben dostatečnou pevnost. Při brždění je buben namáhán na tah, krut a ohyb. Zvýšení provozní teploty a účinek přitlačných sil nesmí mít za následek deformování bubnu. Aby se snížila hmotnost, může se buben vyrábět lisováním z ocelového plechu, ze slitin různých lehkých kovů nebo ze šedé litiny. Nejčastěji aplikovaným materiálem je temperovaná nebo šedá litina, ocelolitina nebo slitiny lehkých kovů. Pro brzdový buben je zapotřebí zaručit uspokojivé chlazení, pro tento účel jsou právě lehké kovy vhodné. Brzdový buben nesmí axiálně ani radiálně kmitat a nesmějí u něj vznikat vibrace. Musí být tedy náležitě vystředěn. Primární vlastnosti, které musí splňovat každý brzdový buben, jsou následující: stálé rozměry a tvary, velká odolnost proti otěru a hlavně dobrá tepelná vodivost materiálu. Třecí plochy se upravují jemným soustružením, nebo jsou broušeny.

Brzdové čelisti u osobních automobilů jsou ve tvaru „T“, aby docílili požadované tuhosti. Jsou odlité z lehkých kovů nebo vyrobeny svařováním z ocelového plechu. Větší nákladní vozidla mívají profil dvojité T odlité z ocelolitinových materiálů. Na jednom konci mají ve většině případů opěrnou plochu pro výřez v tlačítku brzdového válečku, kdežto druhý konec je uložen otočně na čepu nebo se opírá svou oválnou plochou o pevnou opěrku. Druhá možnost uložení brzdových čelistí je lepší, jelikož se samy v bubnu vystředují a opotřebení brzdového obložení je rovnoměrnější.

Brzdové obložení může být buďto nalepené, nebo přinýtované na čelist. Má za úkol produkovat co největší tření a to za všech teplot. V minulosti se vyráběly z asbestu, v dnešní době se však na výrobu používají celulózy, umělé hmoty, keramické a uhlíkové materiály.

Štít brzdy neboli nosník brzdy se vyrábí z oceli pomocí lisování. Je přišroubován k podvozku a na něj se následně montují mechanické a hydraulické ovládací prvky, nastavovací prvky a brzdové čelisti. Pomocí nosníku se posílají reakční síly na nápravu při brždění. S brzdovým bubnem utváří celistvý komplet, což je velmi výhodné kvůli izolování vody a nečistot z okolního prostředí. Právě díky tomu je chlazení méně účinné a také nečistoty, které se utváří díky opotřebení třecích částí, zůstávají uvnitř brzdy, kde mohou způsobovat postupné zhoršování brzdného účinku a zvyšování hlučnosti brzd.

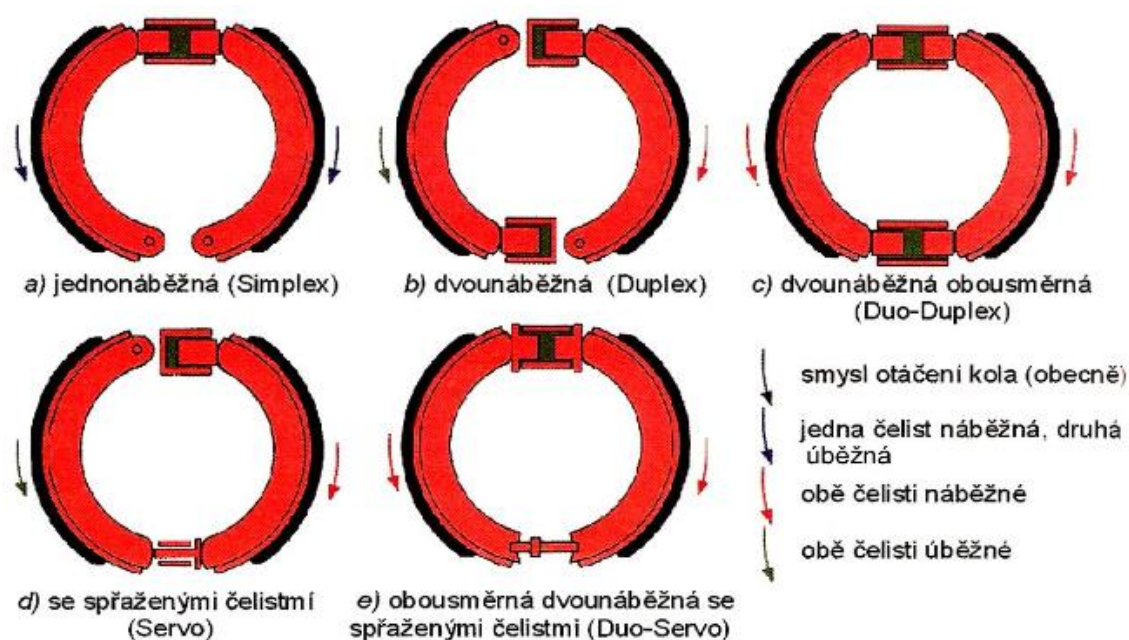
Brzdový váleček ukrývá jeden či dva pístky, záleží na typu provedení brzdy. Hlavní brzdový válec produkuje tlak, který působí na pístky v brzdovém válečku a tím se vytváří rozpěrná síla. Manžety, které těsní pístky, jsou vyráběny z pryže. Na vnějších stranách pak nalezneme manžety proti prachu, které brání tento mechanismus před zanesením nečistotami. V nejvyšším bodě válečku je umístěn odvodušňovací ventil.

Rozpěrné zařízení přivádí přitlačnou sílu buď hydraulicky pomocí rozpěrných válečků, nebo mechanicky za asistence rozpěrné páky. Vyvinutím síly na brzdový pedál se tlak kapaliny přemístí na plochu pístu, který se vysune a tím přimáčkne brzdovou čelist k vnitřní straně bubnu. Rozpěrné zařízení má tedy za úkol přitlačovat brzdové čelisti k vnitřní třecí ploše brzdového bubnu. U kapalinových brzdových zařízení se zřídka kdy užívají brzdové klíny, nejvíce se používají kolové brzdové válečky. U parkovacích brzd, které jsou ovládány mechanicky, se rozevření brzdových čelistí uskutečňuje nejvíce za pomoci klíče či rozpěrné páky.

3.2.4 Druhy bubnových brzd dle konstrukce

Na základě uložení a ovládání brzdových čelistí dělíme bubnové brzdy na jednonáběžné (Simplex), dvou-náběžné (Duplex), dvou-náběžné obousměrné (Duo-Duplex), brzdy se spřaženými čelistmi (Servo) a dvou-náběžné obousměrné se spřaženými čelistmi (Duo-Servo). Druhy bubnových brzd viz obr. 7.

Obr. 6 Druhy bubnových brzd [1]



Simplex - Brzda jednonáběžná: Jedná se o základní typ bubnové brzdy s nejprimitivnější konstrukcí. Brzda se skládá z náběžné a úběžné brzdové čelisti. Pro obě čelisti je zde jedno společné rozpěrné zařízení, které působí jako zdroj přitlačné síly. Funkci rozpěrného zařízení může zastávat například rozpěrný klínek, brzdová vačka, dvoupístkový brzdový válečkem nebo páka (klíč). Všechny brzdové čelisti mají svou opěrnou plochu nebo otočný čep. Má malý samo posilovací účinek, který je stejně jako brzdový účinek samotný, stejný při jízdě dopředu i dozadu. U tohoto typu brzdy dochází k nerovnoměrnému opotřebení brzdového obložení. Když se přidají součásti, které poskytnou možnost aretační polohy, dá se použít také jako parkovací brzda.

Duplex - Brzda dvounáběžná: U tohoto typu brzdy má každá čelist své rozpěrné zařízení zvlášť. Důsledkem toho se při jízdě dopředu chovají obě čelisti jako náběžné. Proto je brzdový účinek v tomto případě lepší než u stejně velké jednonáběžné brzdy. Nejvíce se používá osazení dvěma jednopístkovými brzdovými válečky, kdy oba válečky tvoří současně opěrku pro druhou čelist. Avšak při opačném směru jízdy obě čelisti pracují jako úběžné a tím se dosti zmenšuje brzdový účinek.

Duo-Duplex - Brzda dvounáběžná obousměrná: Toto provedení brzdy je vybaveno hned dvěma dvoupístkovými brzdovými válečky. A proto dosahuje stejného maximálního brzdového účinku při jízdě oběma směry.

Servo - Brzda se spřaženými čelistmi: Primární čelist je řízena jednostranným brzdovým válečkem. Síla, která působí na primární čelist, se přenáší dále přes spřažené uložení na sekundární čelist. Obě čelisti tak pracují při jízdě vpřed jako náběžné a při jízdě vzad jako úběžné.

Duo-Servo - Brzda dvounáběžná obousměrná se spřaženými čelistmi: zde jsou čelisti propojeny pohyblivou opěrkou a fungují v obou směrech otáčení brzdového bubnu jako náběžné, protože směr působení třecí síly a vytvořeného momentu se projeví u obou čelistí jako samoposilovací účinek. Brzda tohoto typu potřebuje jen malou ovládací sílu a při jízdě oběma směry má stejný brzdový účinek. Vlhkost a nečistoty hodně ovlivňují účinnost brzdy. Tento druh brzd se užívá především jako parkovací, v tom případě se jako rozpěrné zařízení používá brzdový klíč ovládaný lankem. Osobní automobily, které používají na obou nápravách kotoučové brzdy, se mnohdy kombinují s bubnovými brzdami právě tohoto typu Duo-Servo.

3.3 Kotoučové brzdy

Jelikož se bubnová brzda poměrně snadno může přehřát a tím snadno ztrácí svůj brzdový výkon, tak se dnes u osobních automobilů na přední nápravě nepoužívá již vůbec a na zadní nápravě jen u nejlevnějších vozidel. Bubnové brzdy byly dnes už téměř úplně nahrazeny brzdami kotoučovými. Ty se používají nejvíce u automobilů a motorek, ale také ve vlakové dopravě nebo u jízdních kol, kde nahrazují zdržové popřípadě špalíkové brzdy. U moderních vlakových vozidel se umísťuje i několik kotoučových brzd na jednu nápravu respektive dvojkolí. Kotoučové brzdy prošly dlouhou historií rozvoje. Úplně první vůz s kotoučovými brzdami byl představen v anglickém Birminghamu v roce 1902. Jeho vynálezce Frederick William Lanchester si ho nechal patentovat. Avšak ještě dlouho jim nebyl přikládán patřičný význam. Masově používat se začaly až od konce padesátých let dvacátého století. Moderní kotoučové brzdy se od těch původních neliší nijak výrazně, ale velké množství menších úprav z nich postupně udělalo zařízení výkonnější, spolehlivější a jednodušší na údržbu. Dnes se tedy jedná o vyspělou a zároveň nejpoužívanější brzdou.

Brzdové třmeny mají dnes dlouhou životnost a vyrábí se z lehčích materiálů. Za delší životností stojí například propracovanější těsnění a lepší gumové manžety. Těsnění pístu vykonává dvě funkce, tou hlavní je vymezení vůle, o kterou se po uvolnění tlaku brzdová destička vrátí zpět a tou druhou je funkce těsnící. Další úlohou je vzhledem ke konstrukci samo-vymezení vůle.

Kotoučové brzdy se zprvu začaly používat u předních náprav vozidel. Primární aplikace kotoučových brzd na předních nápravách byla zapříčiněna značnějším dynamickým zatížením těchto náprav. Tudíž zde byla nutnost produkovat lepší brzdový výkon. Právě tento lepší brzdový účinek oproti brzdě bubnové kotoučová brzda nabízela a navíc také lépe odvádí generované teplo. Ve srovnání s bubnovými brzdami má však menší třecí plochy a to má za následek, že je nutné zajistit větší tlak brzdové kapaliny a také materiály vystavené tření musí být tepelně odolnější.

Kotoučová brzda je složena z brzdového třmenu s hydraulickými válečky, vyměnitelných brzdových destiček, brzdového kotouče, který je pevně propojen s nábojem kola a zařízením, které zamezuje uvolnění brzdových destiček ze třmenu.

Brzdný účinek se získává za pomoci brzdových destiček, které působí na kotouč a generují tak třecí sílu. Kotouč je nejčastěji chlazen proudícím vzduchem, ale mnohdy také chladicí kapalinou se speciálním složením a díky tomu je zajištěno, že má brzda dlouhodobě kvalitní brzdny účinek. U kotoučové brzdy lze prostou změnou průměru docílit znatelně lepšího brzdneho účinku, což je prospěšné v případě, kdy se do jednoho typu automobilu montují motory s odlišnými výkony. Kotoučová brzda je navržena jako provozní s hydraulickým ovládním. Jelikož v ní není obsažené mechanické rozpínání válečků, tak se nedá užívat jako parkovací brzda.

Jednou z výhod kotoučových brzd je snazší kontrola stavu brzdových destiček. Zpravidla je dostačující jen odmontování kola a výsečí v brzdovém třmenu lze stav destičky vizuálně zkontrolovat. Kdežto u skoro všech bubnových brzd je zapotřebí sundat buben, což nebývá snadné. Aby se dosáhlo ještě kvalitnějšího chlazení a brzdneho účinku, tak jsou lepší kotouče vybaveny drážkováním nebo vnitřním chlazením. V praxi jsou v celém kotouči vyvrtány dutiny, skrze které proudí vzduch a díky tomu se ochlazuje materiál brzdového kotouče. Vrtání a drážkování viz obr. 8 a obr. 9. Směs užívaná pro výrobu brzdových destiček se postupem času také vyvíjela a dnes se aplikují různé typy směsí podle toho, jaké určení má dané vozidlo. Tvrdší směsi jsou určeny pro běžný provoz, naopak měkké směsi jsou vhodné pro sportovní automobily. Postupnou evolucí se také podařilo vyvinout mnohem odolnější a stabilnější směsi vůči změnám teplot. Především vůči vysokým teplotám.

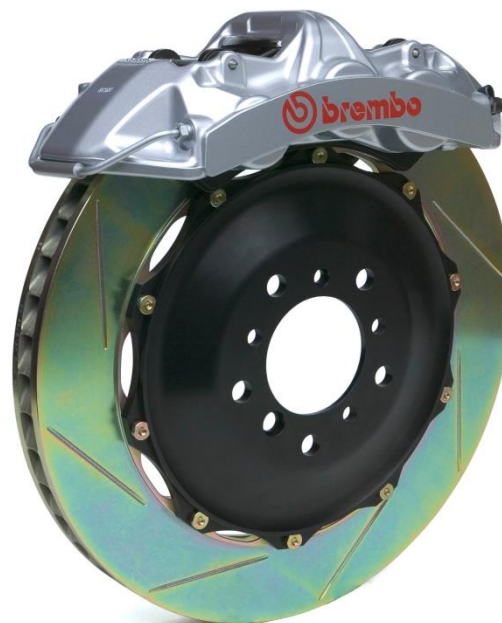
Výhody a nevýhody kotoučových brzd jsou následující:

- díky působení odstředivých sil je u kotoučové brzdy přítomen samočisticí efekt od nečistot a prachových částí,
- během dlouho trvajícího brždění například na závodním okruhu se součinitel tření téměř vůbec nemění,
- nízká hmotnost,
- snadná výměna jednotlivých komponentů, přestože zde dochází k poměrně rychlému opotřebení třecích částí,
- v porovnání s bubnovými a špalíkovými brzdami jsou konstrukčně výkonnější, spolehlivější, jednodušší a jejich účinek se lépe dávkuje,
- na rozdíl od bubnové brzdy se nedá používat jako brzda parkovací,
- z důvodu blízkého a přímého účinku pístů na třecí komponenty je zde riziko vzniku parních bublin v brzdové kapalině kvůli příliš velkému prostupu horka.

Obr. 7 Brzdový kotouč vrtaný [12]



Obr. 8 Brzdový kotouč drážkovaný [12]



Prvotní generace kotoučových brzd měly pevný třmen. To ale bylo později nahrazeno provedením s plovoucím třmenem, které má jeden píst. Postupně se začaly používat varianty s dvou a čtyř-pístovými brzdovými třmeny. Když se však jedná o extrémní podmínky jako například u sportovních nebo dokonce závodních automobilů, aplikují se i šesti či dokonce osmi-pístové brzdové třmeny. Pro zajímavost firma Bugatti letos v lednu představila první osmi-pístový brzdový třmen vyrobený z titanu a zhotovený 3D tiskárnou.

3.3.1 Brzdový kotouč

Je jednou z nejdůležitějších částí kotoučové brzdy. Podle něj se také tento typ brzdy nazývá. Brzdový kotouč může mít hned několik konstrukčních řešení. Každé řešení má jiný tvar kotouče. Nejjednodušším řešením je plochý kotouč, který má však několik negativních vlastností. Například trasa prostupu horka k ložiskům je vcelku krátká, tudíž se ložiska nadměrně zahřívají a také se snadněji tento typ kotouče bortí. Tyto nedostatky eliminuje hrcovitý tvar. Za účelem lepšího chlazení jsou v kotoučích u nadměrně namáhaných brzd duté prostory, kde jsou kanálky umístěny radiálně.

Klasické brzdové kotouče jsou nejčastěji vyráběny z ocelolitiný nebo z legované šedé litiny. Za příplatek se však dnes již vcelku běžně dají u prémiových automobilek jako například Porsche, Audi, Mercedes-Benz nebo BMW pořídit brzdy keramické či karbon-keramické, které mají znatelně nižší hmotnost a zároveň výrazně delší životnost. Jejich nevýhodou je ale nemalá cena.

Dále se také na brzdové kotouče velmi často aplikuje drážkování. Na třecí ploše jsou různě tvarovány drážky s precizně vytyčenou hloubkou. Tyto drážky mají hned několik velmi důležitých a užitečných funkcí. Indikují případné opotřebení brzdového kotouče, zajišťují odvod vody, zrychlují záběh nového brzdového obložení a zdokonalují samočisticí efekt. V případě dlouhodobého radikálního brždění se brzdový kotouč zahřeje na několik stovek stupňů Celsia. Může to být 800 - 900 °C. V takovém případě pak dochází v prostoru mezi brzdovým obložení a kotoučem k uvolnění plynů, což má za následek klesání brzdového účinku neboli vadnutí. A právě drážkami se tyto plyny odvádí pryč z třecí plochy disku.

Pokud při extrémním brždění teplota kotoučů vystoupá nad určitou mez, která může být rozdílná pro různé typy brzd, tak brzda jako celek ztrácí účinek. Pokud k přehřátí dojde, může se uskutečnit několik negativních scénářů. Buď začnou ztrácet svou funkci brzdové destičky, které fungují také jen do určité teploty, nebo se začne vařit brzdová kapalina nebo se kotouč vyhřeje na takovou úroveň, že na jeho povrchu vznikne kluzká plocha, čímž se sníží tření a tím se opět ztrácí brzdový účinek. K nejprimitivnějším způsobům chlazení brzdových kotoučů se řadí užití vzduchových kanálků, které vedou od přední části automobilu (přední nárazník) právě k brzdám. Dalším velmi hojně používaným řešením je chlazení pomocí vnitřního chlazení. Takový chlazený kotouč je ve většině případů dvojnásobně široký v porovnání s klasickými nechlazenými kotouči. V prostředním úseku má vyhotovené žebrování, do kterého se poté za jízdy dostává vzduch a tím se kotouč efektivněji chladí. Pro chlazené kotouče se patřičně modifikují také brzdové třmeny.

Jednou z nejdůležitějších příčin uvedení chlazených kotoučů byla neustále se zvyšující hmotnost vozidel. Velmi časté uspořádání u dnešních brzdových soustav je s chlazenými brzdovými kotouči na přední nápravě a klasickými kotouči na zadní nápravě automobilu.

Aby kotouč plnil správně svou funkci tak musí být jeho plocha hladká. Drobné rýhy nebo drážky vznikající za provozu nepředstavují závažnější problém. Avšak velké rýhy a drážky už problém jsou, jelikož urychlují opotřebenění brzdových destiček a tím opět klesá efektivita brzd. Příčné trhliny a vady plochy kotouče jsou příčinou nadměrných teplot. Vysoké teploty vznikají například častým bržděním z vysokých rychlostí nebo při sjezdu táhlého svahu v horách. V extrémním případě se trhlina může zvětšit natolik, že může dojít k havárii zapříčiněné vylomením kusu kotouče.

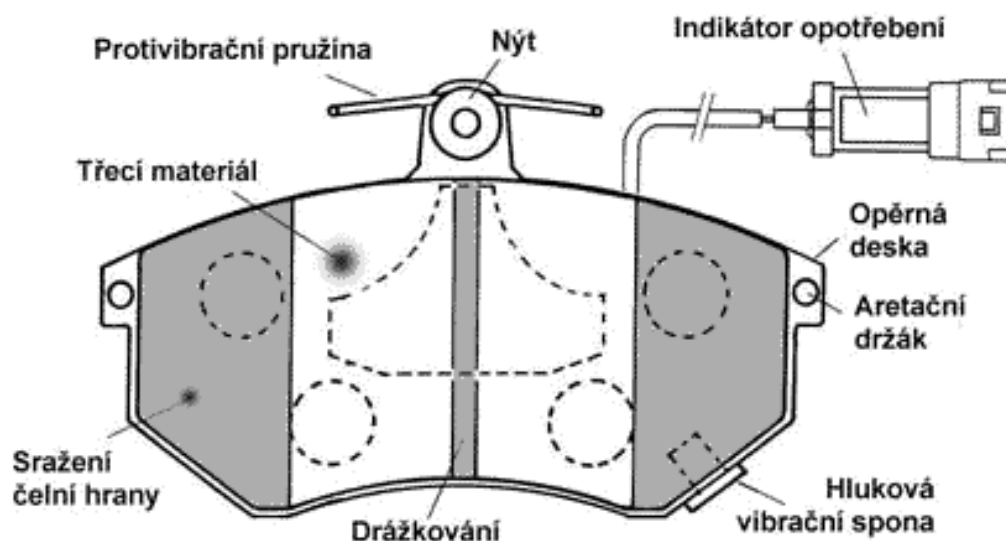
Další vada brzdového kotouče může být koroze. Může ji zapříčinit špatná funkce brzdového zařízení nebo odstavení vozu ve vlhkém prostředí respektive mimo garáž. Koroze se projevuje dvěma způsoby. První je koroze obou nebo jedné brzdové plochy, kdy je příčinou nesprávná činnost třmenu brzdy. Druhým je koroze po obvodu kotouče, která se následně šíří i na činnou plochu kotouče. Při každé výměně brzdových destiček je nutné zkontrolovat kotouče a jejich tloušťku. Na všech kotoučích je na obvodu vyražena minimální hodnota tloušťky nebo bývá uvedena v katalogu od společnosti, která daný produkt vyrobila.

Pokud pozorujeme zbarvení do modra, může to být důsledkem nadměrného brždění například při táhlých sjezdech, nebo je příčinou špatná funkce třmenu, který je v nepřetržitém styku s kotoučem. Díky této vadě se zvyšuje šance vzniku trhlin a deformací kotoučů a destiček.

3.3.2 Brzdové destičky a brzdové obložení

Aby se potlačilo riziko vytržení hlavního brzdového válce při všech bržděních a zastavováních, tak pro ideální dávkovatelnost brzdného účinku a říditelnost procesu brždění vyžadujeme látky s velkým koeficientem tření. To platí pro brzdové destičky i brzdové kotouče. Brzdové destičky na přední nápravě vykonávají násobně více práce nežli ty na zadní nápravě. To však neznamená, že by u zadních kol neměly být. Jestliže jsou bržděna i zadní kola tak se vůz v kritické situaci chová mnohem stabilněji. Brzdové destičky stejně tak, jako brzdové kotouče během přeměňování pohybové energie vozidla na energii tepelnou podávají enormní výkony. Nutností je, aby byly dostatečně tepelně odolné, jelikož jsou vystaveny velké tepelné zátěži. Musí trvale třít o sebe svými povrchy a to bez nežádoucích efektů jako například kmitání brzdového kotouče nebo zaleštění či prohoření brzdového obložení. To vše zmenšuje účinnost brzdy. Nákres brzdové destičky na obr. 10 a na obr. 11.

Obr. 9 Nákres brzdové destičky z čelního pohledu [15]



Třecí materiál je při kontaktu s jiným materiálem hlavním zdrojem brzdného účinku. Začínalo se se dřevem, bavlnou či konopím tlačným proti loukoťovému nebo železnému kolu. Je nutné, aby materiál naplňoval očekávání spojené s jeho určením. To ovlivňuje několik faktorů. Jedním z nich je aplikování velké síly skrze páku, dalším je účinek posilovače brzd, užití látky s velkým koeficientem tření a v neposlední řadě větší počet kotoučových brzd. Jako první se určuje vyhovující koeficient tření. Ten musí být stejný jako koeficient navržený na osu vozidla, aby se zabezpečil brzdový výkon v rovnováze s dalšími osami. Každý třecí materiál použitý ve vozidle musí mít konstantní koeficient tření v mezích maximální rychlosti automobilu z důvodu maximálních teplot a tlaků za nejhorších podmínek a situací. Například při velmi razantním brždění a zároveň při plné zátěži automobilu.

Nejčastěji používanými látkami na třecí materiál jsou všelijaká plnidla a brusidla, vlákna, pryskyřice a lubrikanty. Během vyvíjení nových materiálů je potřeba brát v potaz použití vozu, hmotnost vozu, klimatické a terénní podmínky.

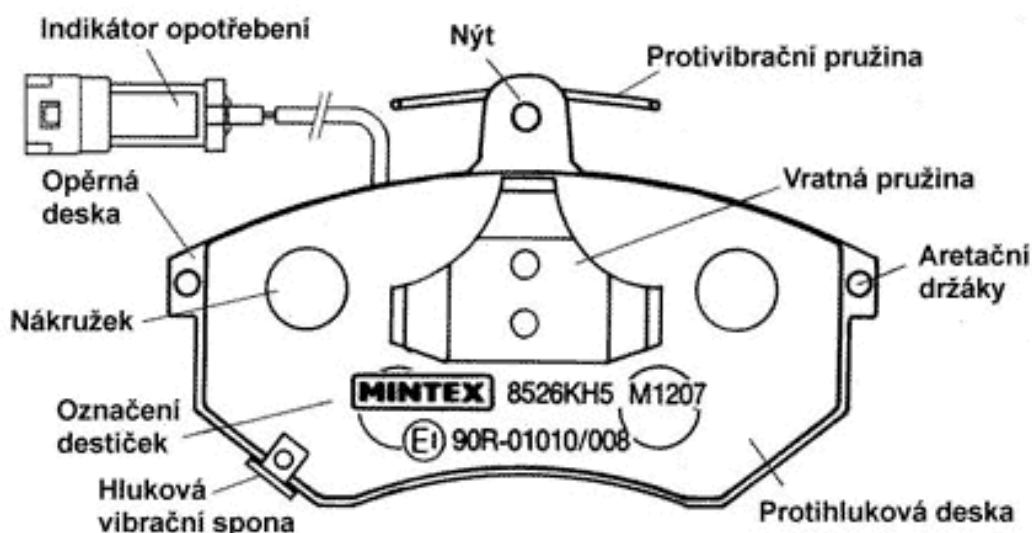
Opěrná deska je standardně vyráběna z rovné měkké oceli. Ta má pro účel desky perfektní vlastnosti. Deska má tloušťku v rozmezí tří až deseti milimetrů. Tolerance rozměrů jsou dány takto: 0,10 - 0,13 mm na šířku, aby se poskytla brzdícímu třmenu vůle. Rovinnost opěrné desky se vyžaduje na brzdné straně směrem k třecímu povrchu do 0,15 mm.

Aretační držáky jsou otvory na krajích opěrné desky, které napomáhají k náležité montáži brzdových destiček a k lepšímu usazení v těle brzdíče. Zabezpečují též vyhovující držení a brání destičku před nežádoucím vypadnutím.

Elektrický Indikátor opotřebení - nejprimitivnějším typem je prostý drát vedený do okraje brzdové destičky. Dotek s kotoučem brzdy spojí okruh s uzemněním automobilu a spustí varovnou ikonu v zorném poli řidiče na palubní desce. Vodič má svůj konec izolován, kvůli tomu, aby nedošlo prostřednictvím polokovového materiálu k vodivému spojení. Další typy konstrukcí užívají také drát, avšak dvojitý, který utváří kolem jádra obvod, kdy jádro je propojené s okrajem destičky, nebo zapuštěné do třecího materiálu skrze opěrnou desku. Porucha bude signalizována řidiči opět na palubní desce vozu, pokud dojde k přetržení drátu.

Mechanický Indikátor opotřebení - nejčastěji se vyrábí z pružinové oceli, zpravidla je k opěrné desce přinýtován a obvykle je situován tak, aby když se brzdová destička opotřebuje na úplné minimum, přišel do styku s brzdovým kotoučem ve směru pohybu a pod pravým úhlem. V ten moment dochází ke způsobování vibrací, proti čemuž je brzdový systém konstruován. Vše je konstruováno tak, aby vibrace dosahovaly pro lidské ucho slyšitelného kmitočtu. Indikátory jsou běžně montovány na ty destičky, které dosahují rychlejšího opotřebení. Umístěny mohou být na jedné, nebo na více destičkách souběžně. V případě, kdy třmen brzdy nemá žádnou vadu, je však opotřebení většinou rovnoměrné, a tak je i jeden indikátor opotřebení spolehlivý.

Obr. 10 Nákres brzdové destičky ze zadního pohledu [15]



Brzdové obložení u brzdy bubnové bývá buď nalepeno, nebo přinýtováno k brzdovým čelistem. U brzdy kotoučové bývá nalepeno na nosné kovové prvky. Od brzdového obložení se očekává neměnný součinitel tření při značných teplotách, odolnost vůči tvorbě skelné vrstvy při nadměrném tepelném zatížení, nečistotám a vodě, dlouhá životnost a značná mechanická a tepelná pevnost.

Jako brzdové obložení se často užívá organických materiálů. Pro enormně velké zatížení se obložení vyrábí ze spékaných práškových kovů. U brzdových obložení z organických materiálů se aplikují vláknité nebo práškové třecí materiály, které se skládají z keramických, minerálních, kovových či organických látek a jsou drženy pohromadě organickými pojivy, jako jsou například kaučuk nebo pryskyřice. Kdysi se používal i azbest, ten je dnes už nahrazen odlišnými materiály, jelikož je zdraví škodlivý. Je nahrazen například skleněnými, uhlíkovými nebo ocelovými vlákny. Obložení by mělo mít součinitel tření nad hodnotou 0,4 a mělo by odolat i teplotám mezi osmi sty až devíti sty stupni Celsia.

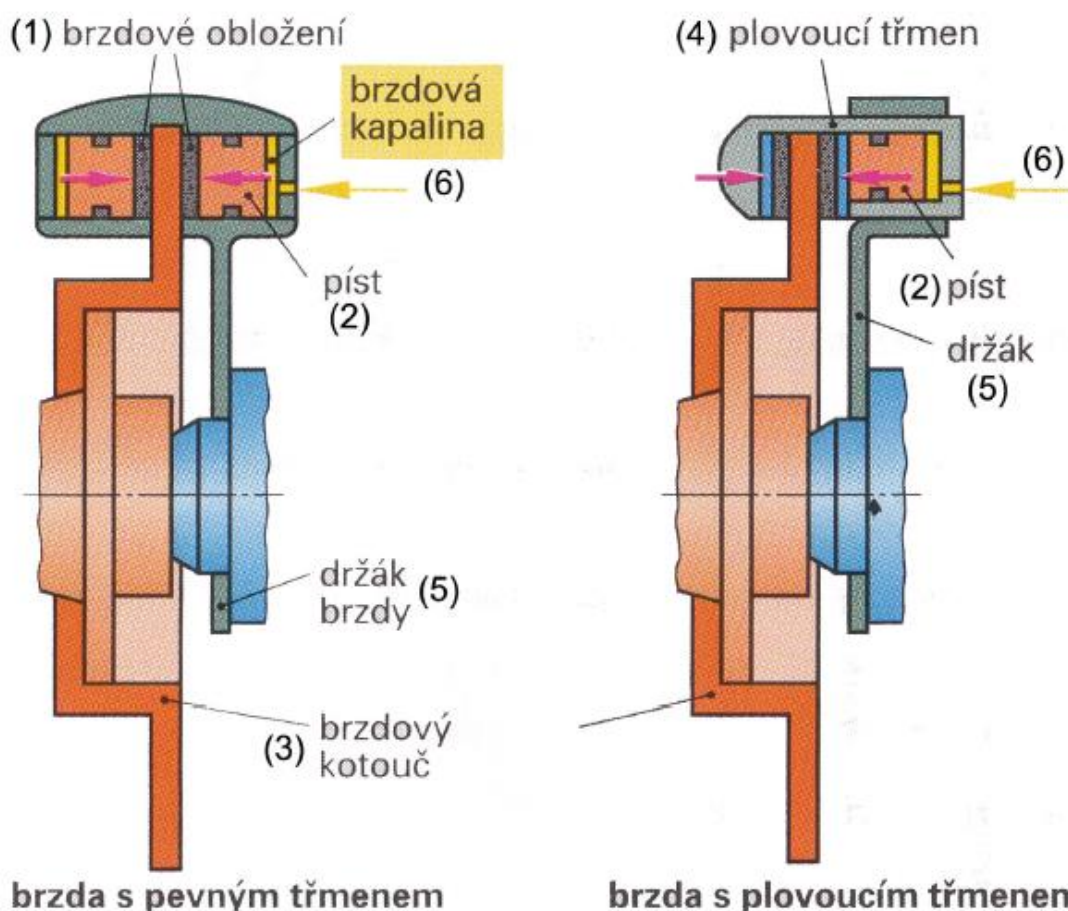
Azbest je zdraví škodlivý především kvůli karcinogenním látkám obsaženým v něm. To nevyhnutelně vedlo k plošnému zákazu jeho používání v třecích materiálech brzdových zařízení. Jinak však vlastnosti azbestového vlákna byly přímo ideální k použití v třecích materiálech brzd. Těmi vlastnostmi jsou velký koeficient tření (zhruba 0,4), skvělá odolnost vůči vysokým teplotám (až nad hranici 600°C), jednoduchá mísitelnost s pryskyřicemi a dalšími sloučeninami, perfektní pružnost, pevná struktura a prvotřídní mechanická odolnost.

Dnešní materiály neobsahující azbest, které se používají jako brzdové obložení, již dosti uspokojivě vyřešily nedostatky svých předchůdců. Destička nemá na zadní straně vložky, vrstvu proti vibracím ani distanční destičky. Třecí materiál je hladký, jednolitý, bez náběhových neboli snížených hran a zmizela také střední dělicí drážka.

3.3.3 Kotoučové brzdy s pevným třmenem

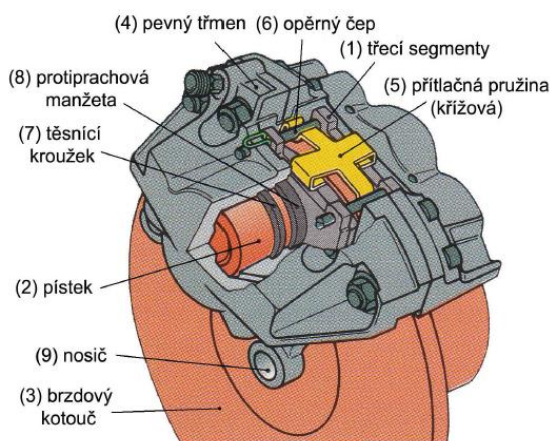
U kotoučových brzd konstruovaných s pevným třmenem jsou na každé straně třmenu (4) umístěny válečky, uvnitř kterých operují písty (2). V průběhu brždění je brzdové obložení (1) přitisknuto na plochu brzdového kotouče (3) z obou stran. Tlak brzdové kapaliny (6) způsobuje přítlačnou sílu. Tělo třmene je pevné, respektive nepohyblivé. Schéma brzdy s pevným třmenem viz obr. 12.

Obr. 11 Druhy kotoučových brzd [6]

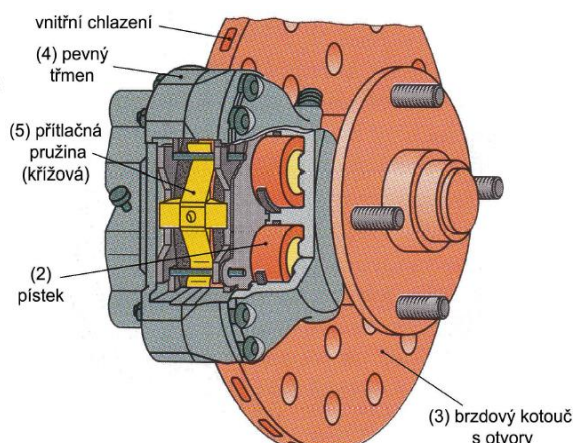


Typ kotoučové brzdy s pevným třmenem může být například dvou-pístový (obr. 13) či čtyř-pístový (obr. 14). Třmen neboli nosník brzdy obklopuje brzdový disk. Nosník tvoří dvě pomocí šroubů propojené části a to přírubová skříň a víko. Na obou těchto částech je u dvou-pístové jedna dutina a u čtyř-pístové brzdy dutiny dvě, které tvoří brzdový váleček, v jehož nitru operují písty. V brzdovém válečku jsou situovány pryžové protiprachové manžety, pryžové těsnící kroužky a také svěrací kroužky. Brzdové válečky jsou navzájem propojeny brzdovým potrubím nebo kanálky. Aby se eliminovalo klepání komponentů za jízdy a rázy během brždění, tlačí brzdové destičky s brzdovým obložením k pístům přitlačná plochá pružina, která je zabezpečena pomocí čepů. Součet ploch pístů obou stran kotouče musí být v rovnováze. V drážce brzdového válečku je umístěn těsnící kroužek. Píst je větší než vnitřní průměr těsnícího kroužku. Kroužek svírá píst s přepětím a tím je zajištěno dokonalé utěsnění. Tlak uvádí píst do pohybu a těsnící kroužek se deformuje pružně. Návrat do původní polohy se umožní jedině, až v okruhu bude nulový přetlak. Vůle brzdy je jen zhruba 0,15 mm, což je cesta pístu mezi klidovou a aktivní polohou.

Obr. 12 Dvou-pístová brzda [6]



Obr. 13 Čtyř-pístová brzda [6]



3.3.4 Kotoučové brzdy s plovoucím třmenem

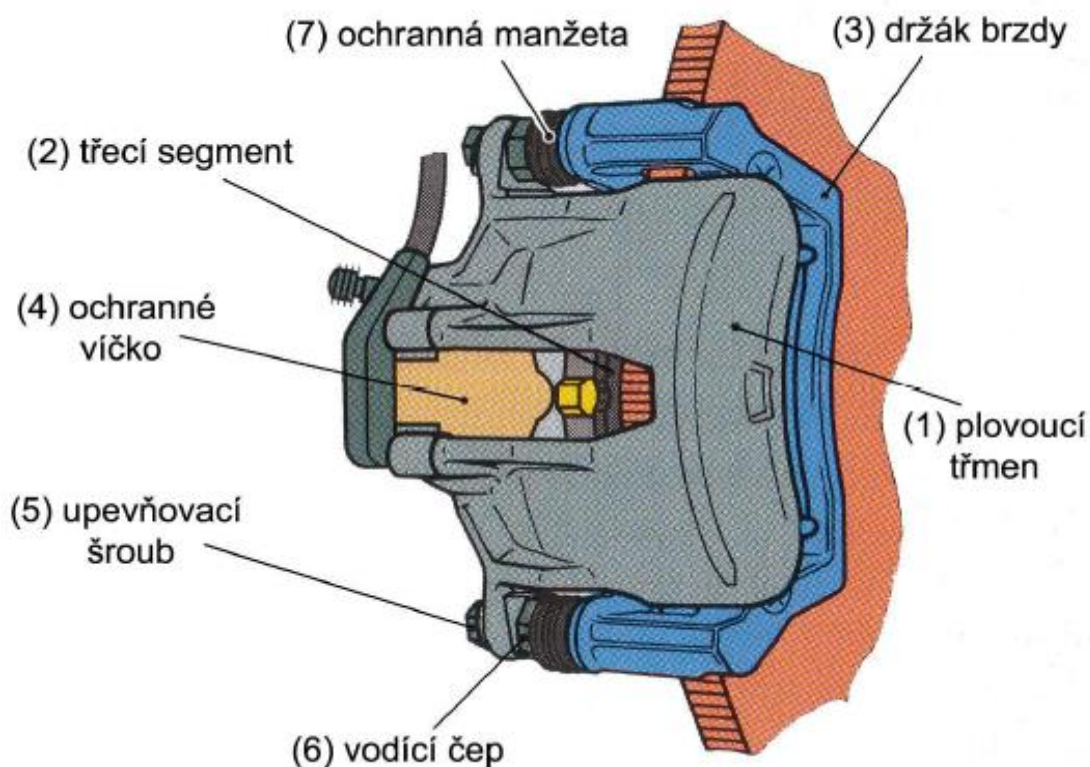
U kotoučových brzd konstruovaných s plovoucím třmenem je právě třmen (4) umístěn posuvně ve fixním držáku (5). Brzdové obložení (1) je tisknuto na plochu brzdového kotouče (3) pomocí pístu (2). Plovoucí třmen (4) je díky reakční síle posouván a vyvíjí tak tlak na brzdový kotouč i na protější straně. Schéma brzdy s plovoucím třmenem je znázorněno na obr. 12.

Máme na výběr z několika konstrukcí tohoto typu brzdy. Jedním z nich je konstrukce s vedením čepem, dalším pak například řešení se zubovým vedením. Ve srovnání s kotoučovými brzdami s pevným třmenem jsou znatelně lehčí a mají kompaktnější rozměry. Tím, že jsou písty případně jen jeden píst situovány pouze na jedné straně, klesá při velmi intenzivním brždění riziko vytvoření parních bublin v brzdové kapalině. Držák brzdy je stabilně propojen s nějakým komponentem zavěšení kola. Na tento držák je upevněn pár vodících čepů. Uvnitř třmenu jsou udělány dvě válcové dutiny a v těch jsou rozmístěna vodící pouzdra z teflonu. Třmen brzdy je pomocí těchto vodících pouzder uložen posuvně na vodících čepech držáku. Úskalím tohoto typu řešení je však možnost zadření posuvné části třmene v držáku brzdy a důsledkem toho je snížení brzdného účinku. Plovoucí třmen viz obr. 15.

V dnešní době se nejvíce používá řešení s plovoucím třmenem a to zejména kvůli následujícím dvěma důvodům:

- díky tomu, že brzda má možnost být vysunuta více ve směru ven, tak i rejdový čep může být umístěn víc vně, což je potřeba pro rejd s negativním poloměrem,
- brzdová kapalina je jen na jedné straně kotouče a to na té, která je za jízdy lépe chlazena proudícím vzduchem, tudíž se nevytváří parní bubliny vlivem přehřátí.

Obr. 14 Konstrukce s plovoucím třmenem a vedením čepem [6]



3.3.5 Brzdová kapalina

Je základním médiem pro přenos sil mezi brzdovými válci na jednotlivých kolech a hlavním brzdovým válcem. Brzdová kapalina nutně potřebuje jisté vlastnosti určené výrobcem automobilu. Z tohoto důvodu se velmi doporučuje užívat jen danou brzdovou kapalinu. Tato tekutina má specifické vlastnosti, díky kterým je dalšími kapalinami nenahraditelná. Pozitivními vlastnostmi jsou například vysoký bod varu převyšující hodnotu 200°C, téměř perfektní nestlačitelnost a má vliv jako inhibitor koroze. Negativní vlastností je pohlcování vody, což má za následek klesání bodu varu a právě kvůli tomu je nutno každý rok či dva brzdovou kapalinu vyměnit.

Nejčastěji se brzdová kapalina produkuje na bázi alkoholu. Obvykle se jedná o různé glykol-éterové směsi se specifickými složkami. Je nutné, aby neúčinkovala chemicky na těsnění z pryže, nepůsobila na kovové segmenty brzdového systému korozivně a musí být chemicky neutrální. Obecně vyhovují kladeným nárokům a mnohdy je i překonávají. Alkoholy jsou však značně hygroskopické a tudíž pohlcují okolní vlhkost vzduchu a při dlouhodobém vlivu můžou způsobit narušení lakovaných povrchů.

Vlhkost proniká skrze brzdy a odvzdušňovací průduchy uvnitř vyrovnávací nádoby do brzdové kapaliny. Díky tomu, že tekutina pohlcuje okolní vlhkost, tak kvalita jejích parametrů klesá a následkem toho se už při celkem nízkých teplotách zvyšuje riziko tvorby bublinek vodních par a to může způsobit selhání brzdového zařízení. Brzdová kapalina s 3,5 % vody má bod varu zhruba mezi 140 a 160°C. Bez příměsi vody má jinak bod varu velmi vysoký a to okolo 260°C a bod tuhnutí naopak při velmi nízké teplotě zhruba -60°C. Parametry brzdových kapalin jsou znázorněny na obr. 16. Různé druhy brzdové kapaliny jsou vzájemně mísitelné. Brzdová kapalina má extrémně velkou toxicitu a proto nemůže být uchovávána v lahvích od nápojů. Některé brzdové kapaliny se vyrábí i na bázi silikonových olejů (DOT 5).

Tab. 2 Vlastnosti brzdových kapalin [16]

	DOT 3	DOT 4	DOT 5
bod varu [°C]	min 205	min 230	min 260
bod varu při nasyc.vlhkosti [°C]	min 140	min 150	min 180
viskozita při -40 °C [mm/s]	max 1500	max 1800	max 900
viskozita při 100 °C [mm/s]	min 1,5	min 1,5	min 1,5
pH	7-11,5	7-11,5	

3.4 Elektrické brzdy

Používají se u velkých vozidel, jako jsou lokomotivy, tramvaje, trolejbusy nebo autobusy. Jedním typem elektrické brzdy jsou brzdy elektrodynamické, které přeměňují kinetickou energii na energii elektrickou. Vzniklá elektrická energie je buďto využita a rekuperuje se zpět do napájecí sítě nebo akumulátorů nebo je mařena v kotoučích vířivé brzdy či v odporcích. Jako elektrodynamická brzda mohou fungovat všechny elektrické generátory, ať už se jedná o elektromotor, alternátor nebo dynamo. Druhý typ funguje na principu vířivých proudů a je složen z elektromagnetů a kovového kotouče. Uvnitř magnetického pole rotuje kotouč, ve kterém tak vznikají i zanikají proudy a tím se zahřívá. Účinek brzdy se dá korigovat velikostí intenzity magnetického pole respektive velikostí proudu v elektromagnetech. Za účelem lepšího chlazení bývá kotouč opatřen žebrováním. Tento typ brzdy může být také lineární trám s elektromagnety pohybující se těsně nad koleji.

3.5 Posilovač brzd

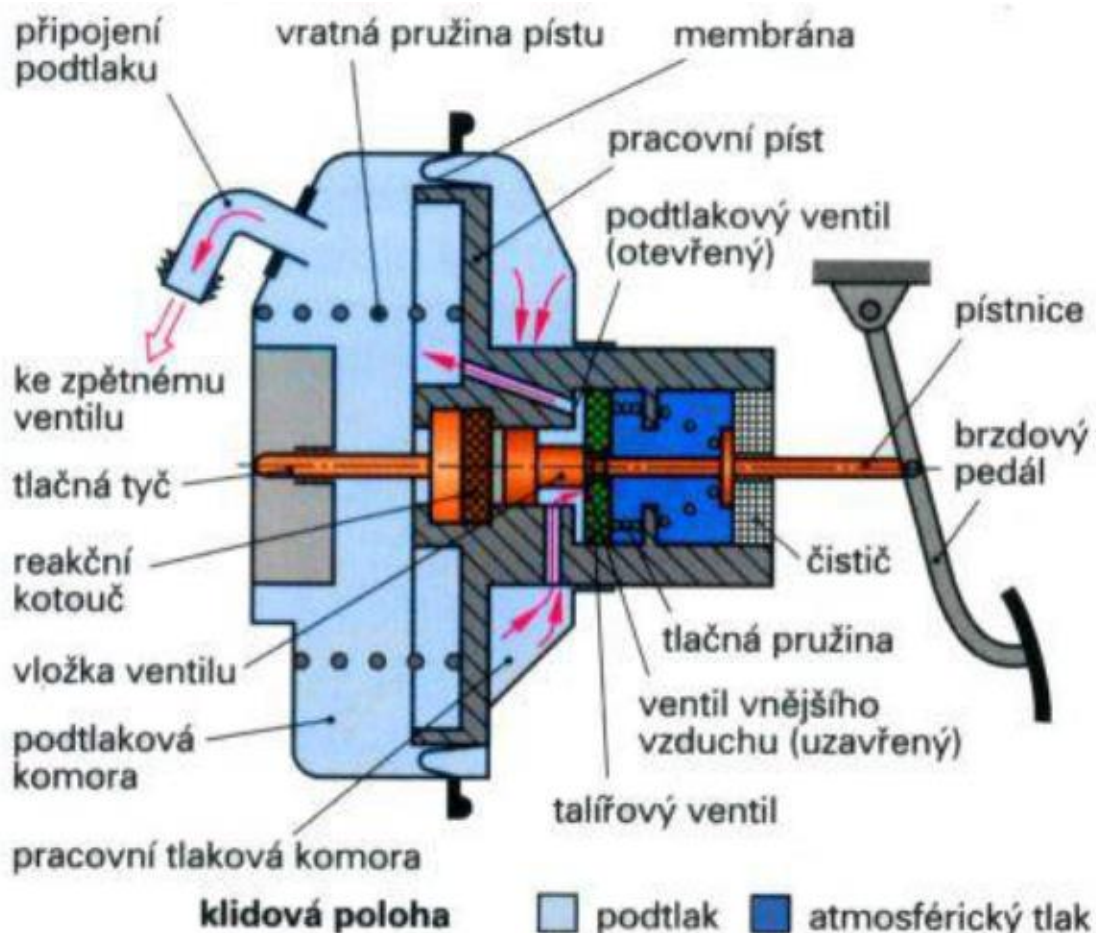
Brzdový posilovač zesiluje tlak vyvinutý nohou řidiče při ovládní brzdy prostřednictvím brzdového pedálu. Tím se brždění usnadňuje řidiči, jelikož stačí vyvinout menší fyzickou sílu, která je dostačující pro správnou funkci. V téměř všech vozidlech je posilovač brzd zkombinován s hlavním brzdovým válcem. Důležité je, aby posilovač neovlivňoval citlivost a přesnost ovládní brzdové síly. Dle konstrukce rozlišujeme dva typy a to hydraulický a podtlakový.

Dnes se v automobilech používá téměř výhradně jen podtlakový posilovač brzd. U něj se používá podtlak o velikosti několik desítek kPa. U zážehových motorů tento tlak tvoří sací trakt, kdežto u vznětových motorů je tlak vytvářen ve vakuové pumpě. Posilovač pracuje výhradně při nastartovaném motoru, po zhasnutí maximálně tři sešlápnutí brzdového pedálu. Poté je nefunkční a brzdy fungují bez něj. Abychom pak dosáhli stejného brzdného účinku, je nutné vyvinout násobně větší sílu. Nákres posilovače viz obr. 17.

Pomocí brzdového pedálu regulujeme účinek brzd. Skrze pedál se mechanicky přenáší síla vytvořená tlakem nohy šoféra na hlavní brzdový válec. Pedál často pracuje i jako páka. V prostoru mezi brzdovým válcem a pedálem je posilovač brzdného účinku umístěn. Je nutné, aby byl brzdový posilovač navržen tak, aby byla i při závadě zachována činnost brzdové soustavy a zároveň řidič nemusel na brzdový pedál vyvíjet větší sílu nežli 800 N.

Už z názvu je patrné, že posilovač pracuje na principu podtlaku. Píst válce je propojen s táhlem, které prochází středem posilovače. Tímto táhlem se ovládá přepouštěcí ventil, jenž svým pohybem do druhé části posilovače pouští atmosférický tlak. Následně začne na membránu posilovače působit z jedné strany atmosférický tlak a ze strany druhé podtlak o velikosti několika desítek kilo-pascalů. Svým chodem tak membrána posilovače násobí lidskou sílu, kterou řidič posílá na brzdový pedál. Tlak posilovače nepřichází naráz, ale postupně kvůli tomu, aby šlo brzdy ovládat hezky plynule. V případě, že je brzdový posilovač nefunkční, je důsledkem potřeba mnohem větší síly kladené řidičem na brzdový pedál. Jedná se tedy o závadu během jízdy velmi snadno rozeznatelnou. Během stavu kdy nebrzdíme a brzda je v uvolněné pozici, je podtlaková a pracovní tlaková komora propojena odsávacím kanálkem a v obou je identický tlak. Respektive je tam tentýž podtlak, protože je prostor stále odsáván. Na pracovní píst v ten moment nepůsobí žádná síla.

Obr. 15 Schéma posilovače brzd [17]



4 Stabilizační systémy

Jsou základem aktivní bezpečnosti vozidel. Velmi výrazně ovlivňují schopnost vozu bezpečně brzdit v různých situacích. Asi nejzákladnějším systémem je protiblokovací systém ABS, který byl původně vynalezen již v roce 1929 francouzským vynálezcem Gabrielem Voisinem avšak pro použití v leteckém průmyslu. Pro automobilovou dopravu byl tento systém vynalezen a vyvinut firmou Bosch v roce 1978. Dalším neméně důležitým systémem je protiprokluzový systém ASR. Tento systém kontroluje a reguluje prokluz všech kol a je rozšířením systému ABS. Stabilizační systém, který pravděpodobně nejvýrazněji zabezpečuje ovladatelnost a stabilitu automobilu je elektronický stabilizační systém ESP. Stabilizační systém ESP se poprvé objevil a použil koncem roku 1995 a to ve třídě S od firmy Mercedes-Benz. Pomocí statistik bylo zjištěno, že kdyby byla všechna vozidla vybavena systémem ESP, předešlo by se až desetině všech dopravních nehod.

4.1 Protiblokovací systém ABS

ABS neboli Anti-lock Brake System se řadí mezi prvky aktivní bezpečnosti automobilu. Má za úkol předejít zablokování kol při brždění. Systém ABS neustále brání ztrátě adheze ve styčném bodě vozovky a kola tím, že udržuje kolo ve valivém pohybu. Až šestnáctkrát za sekundu může protiblokovací systém uvolnit kolo a díky tomu ABS zabezpečuje víceméně neustálé otáčení kol a díky tomu i říditelnost vozu. V situacích, kdy je povrch suchý má sice vůz nevybaven systémem ABS kratší brzdnu dráhu, avšak na sněhu, ledu nebo vodě má kratší brzdnu dráhu vozidlo, které je vybaveno systémem ABS. Během razantního brždění například za deště systém s určitou periodou přerušuje tlak na brzdový pedál. Toto přerušování vzniká při odpouštění tlaku v brzdovém systému. Od roku 2004 je v Evropské Unii v platnosti zákon, který nařizuje, že všechna nově homologována auta musí být vybavena systémem ABS. Účinek ABS viz obr. 18.

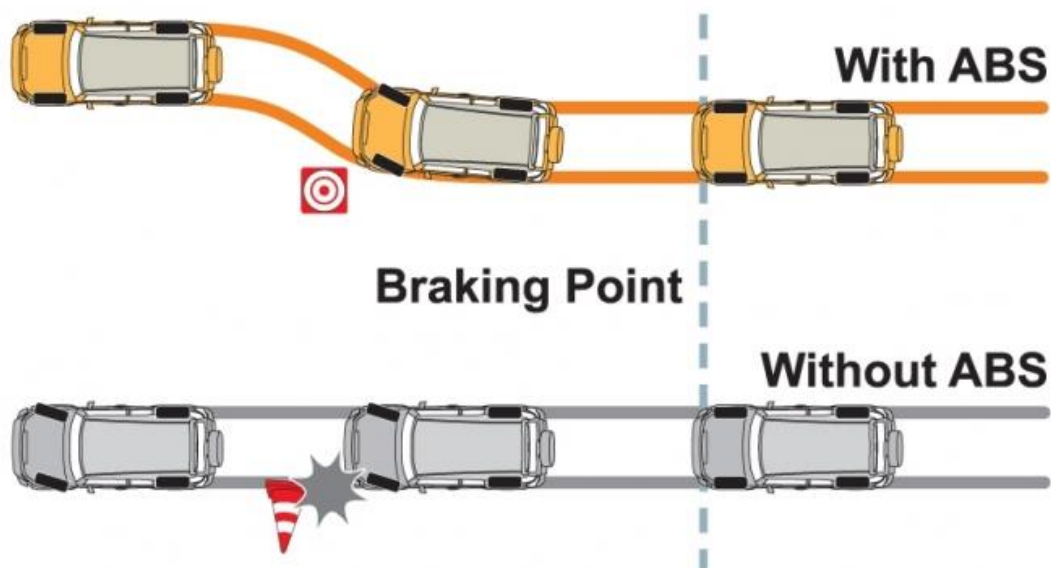
Základní myšlenkou fungování ABS je, aby se kolo nepřetržitě otáčelo a tím předcházelo buď ztrátě adheze, nebo vzniku smyku. Existují dva systémy, a to třísnímačový nebo čtyřsnímačový. U třísnímačového dostává řídicí jednotka signály od snímačů otáček kol na přední nápravě a od pastorku stálého převodu, který je na zadní nápravě. U čtyřsnímačového systému dostává řídicí jednotka data od snímačů otáček kol, které jsou v tomto případě u všech čtyř kol. Řídicí jednotka následně vypočítává zrychlení vozu, skluz kol, obvodové zpomalení, zpomalení vozu a referenční rychlost. Když tato řídicí jednotka vypočítá, že se kola v brzké době zablokují, tak aktivuje elektromagnetické ventily v hydraulické jednotce u příslušného kola. Obě brzdy na zadní nápravě mají jeden společný tlak a to stanoví kolo s menším součinitelem tření. Jednotka dále na základě dat ze snímačů kol určí takzvanou diagonálu, což znamená, že se porovnává levé zadní s pravým předním kolem. Poté se stanoví referenční rychlost odpovídající rychlosti bržděného kola. Za situace, kdy je brždění opakované, se referenční rychlost řídí podle rychleji se odvalujícího kola. Za plného vytížení systému ABS jsou rychlosti vozu a kol rozdílné a nemůžou tak posloužit pro výpočet referenční rychlosti. Řešením je, že si sama řídicí jednotka stanoví svou vlastní referenční rychlost, která vychází z rychlosti na začátku brždění.

Základními komponenty systému ABS jsou řídicí jednotka, elektromagnetické ventily, snímače otáček kol a ozubený impulsní kotouč.

Nároky na ABS jsou následující:

- během brždění je nutné, aby systém ABS maximálně využil adheze respektive součinitele tření mezi koly vozidla a vozovkou. Řiditelnost a stabilita jsou nadřazeny zkrácení brzdné dráhy,
- regulování brzdného účinku nutně musí zaručit řiditelnost a směrovou stabilitu automobilu při každém stavu komunikace a při změně adheze se musí umět adaptovat,
- regulace brždění musí umět rozpoznat aquaplaning a musí dokázat fungovat ve všech rychlostech, kterých je vůz schopen dosáhnout,
- pokud se brzdí v zatáčce, tak musí být zachována stabilita a řiditelnost s co nejkratší brzdou dráhou a za každé situace je nutno zabránit rozkývání automobilu,
- brždění motorem a brždění po uvolnění brzdového pedálu neboli hystereze brzdy musí mít co nejmenší účinek na průběh brždění,
- bezpečnostní okruhy nepřetržitě hlídají správné fungování systému ABS, tudíž pokud je zjištěna porucha, u které je možnost působení na průběh brždění, tak se ABS deaktivuje.

Obr. 16 Porovnání dráhy s ABS a bez ABS [18]



4.2 Protiprokluzový systém ASR

Tento stabilizační systém je rozšířením systému ABS. Jedná se konkrétně o Anti-Slip Regulation neboli systém regulace prokluzu kol. Jeho úkolem je, stejně jako u ABS, zaručit říditelnost a stabilitu automobilu. Například na komunikacích pokrytých náledím nebo u vozidel s náhonem na přední nápravu při jízdě do kopce zabraňuje tomu, aby se kola protáčela na obou stranách nebo i jen na jedné straně. Kdykoli je to zapotřebí tak systém ASR musí samočinně zareagovat a zasáhnout. Na základě odlišných prokluzů kol systém na hnacích kolech dokáže rozeznat prokluz kola a průjezd zatáčkou. Když vůz nevybavený systémem ASR razantně akceleruje tak dochází k prokluzu kol. Neodborná veřejnost tento jev nazývá gumování. Výkon motoru je systémem ASR řízen takovým způsobem, aby k prokluzu nedocházelo. Pokud na přístrojové desce svítí kontrolka, znamená to, že je ASR v ten moment aktivní a na základě toho je řidič varován, že se nachází na úseku s horší adhezí a měl by tomu adekvátně přizpůsobit svůj styl jízdy. Systém je vypínatelný, tudíž ho lze deaktivovat například v situaci, kdy je prokluz potřebný, jako například v horách během jízdy s nasazenými sněhovými řetězy.

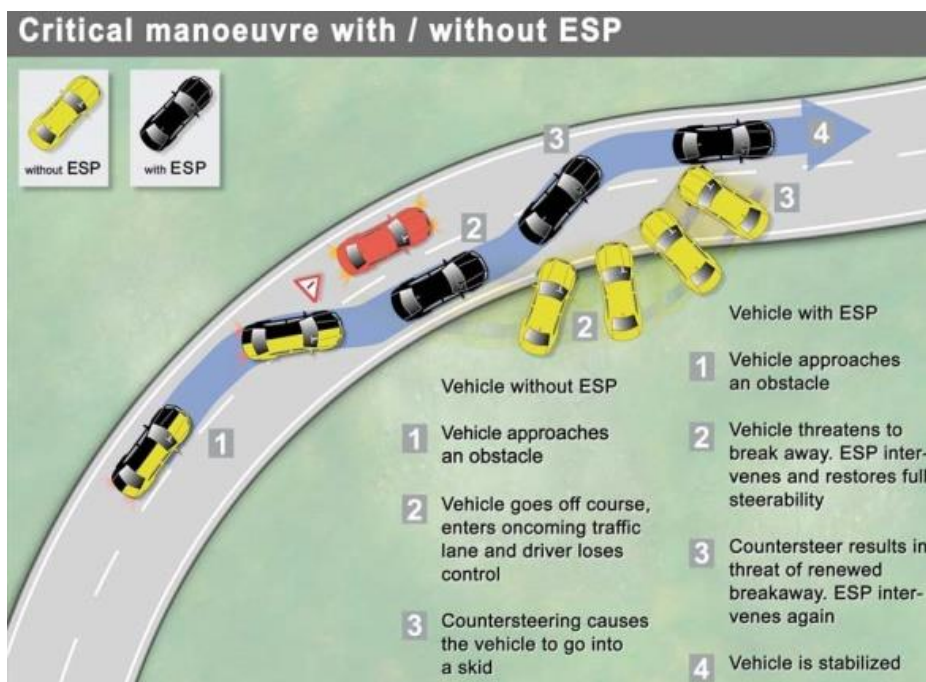
Během zrychlování šofér navyšuje točivý moment motoru a tím i hnací moment na kolech automobilu. V situacích, kdy pneumatiky dokáží přenést všechnen tento moment na vozovku, je akcelerace bezproblémová. Někdy ale tento vzniklý moment přesáhne z fyzikálního hlediska maximální možný moment, který je možno v dané chvíli přenést na silnici a vznikne prokluz jednoho či více kol. Zde vstupuje do situace systém ASR, který okamžitě sníží prokluz hnacích kol. ASR má se systémem ABS společné snímače otáček kol, které mají za úkol nepřetržitě monitorovat otáčky kol na hnané nápravě. Dále je společná také řídicí jednotka. Ta srovnává otáčky kol na hnané nápravě s těmi na nepoháněné nápravě. Jestliže z dat snímačů otáček řídicí jednotka vypočítá možnost vzniku prokluzu obou hnacích kol nebo jednoho hnacího kola, tak ihned vyšle pokyn k přibrzdění. Pokud se však vozidlo pohybuje vysokou rychlostí, tak řídicí jednotka vyšle signál, na jehož základě dojde ke snížení točivého momentu motoru pomocí nuceného ubrání plynu. Důsledkem tohoto signálu je, že se kola již nebudou protáčet. Regulace hnacího momentu se u aut se zážehovými motory uskutečňuje pomocí omezení vstřikování benzínu, změny předstihu a nastavení škrticí klapky. U aut se vznětovými motory se regulace uskutečňuje za pomoci omezení vstřikovaného množství nafty.

4.3 Elektronický stabilizační program ESP

ESP znamená Electronic Stability Program a je dalším rozšířením systémů ABS a ASR. Systém ABS působí skrze regulování skluzu kol na podélnou dynamiku vozu. V případě nečekaného přetočení vozu okolo své svislé osy a špatných reakcí na řidičovy pokyny je stabilita ztracena. Program ESP disponuje kromě s ABS sdílenými snímači otáček kol také snímačem natočení volantu. Od těchto komponentů dostává řídicí jednotka data o tom, kam řidič s vozidlem míří. Reálné směřování vozidla je monitorováno dle svislé osy automobilu měřičem příčného zrychlení a momentu setrvačnosti. Na základě těchto získaných dat se dá srovnat skutečná dráha vozu s vyžadovanou dráhou, a když se liší, tak systém zakročí pomocí aktivní regulace tlaku v brzdách u jednotlivých kol.

Citlivými a přesnými zákroky tak program ESP vytvoří obrácený točivý moment než ten, díky kterému se vůz na počátku dostal do smyku. Během přetáčivého smyku program ESP reguluje pomocí přibrzdování kolo na vnější straně zatáčky a sníží výkon motoru a při nedotáčivém smyku reguluje přibrzdováním kolo na vnitřní straně zatáčky a opět sníží výkon motoru. Řídicí jednotka sbírá data o rychlosti otáčení kol, směru, úhlu a rychlosti natočení volantu, příčném zrychlení vozidla, tlaku v hlavním brzdovém válci a o poloze plynového pedálu.

Obr. 17 Porovnání manévru s ESP a bez ESP [19]



5 Vývojové tendence

Vývoj je nepřetržitý a velmi rychlý. To platí i o automobilovém průmyslu. Vozidla jsou čím dál tím výkonnější a často i těžší a tudíž jsou na brzdové systémy kladeny čím dál tím větší nároky. Brzdy jsou zásadní téma nejen pro konstruktéry závodních strojů, ale i pro všechny z důvodu zachování bezpečnosti provozu.

Téměř úplného vymizení bubnové brzdy jsme svědky již nyní. Kotoučová brzda se používá u lepších jízdnicích kol, moderních vlaků, motorek a skoro u všech automobilů kromě nejlevnějších, kde se na zadních nápravách stále bubnové brzdy vyskytují. Vývoj se dá očekávat směrem k masovějšímu používání vyspělých brzdových systémů nejen u prestižních modelů. Očekávat se dá též další zdokonalení elektronických stabilizačních systémů, které budou ještě citlivější a budou vzájemně více kooperovat. Již dnešní vlnkové modely prémiových automobilek dokáží v případě nouze díky systémům, kterými jsou vybaveny, bezpečně zastavit.

Kromě užívání brzd se stále větším počtem pístů a se stále většími průměry kotoučů ze špičkových materiálů jako jsou keramika, karbon či titan se jako možný posun vpřed jeví i cesta, kterou nastínila v lednu 2018 společnost Bugatti. Značka z Molsheimu v tomto ohledu funguje jako laboratoř pro vrcholné aplikace, které se možná jednou rozšíří i mezi dostupnější automobily a nyní tedy představila osmi-pístový brzdový systém vyrobený z titanu pomocí 3D tiskárny. Brzdový třmen je vyroben z 2 213 vrstev titanového prášku a je extrémně lehký. Oproti obdobnému třmenu z hliníku je lehčí o dva kilogramy a váží pouhých 2,9 kilogramu. Zároveň je však také o poznání silnější, vydržet totiž dokáže tlak až 125 kilogramů na jeden milimetr plochy.

V budoucnu tedy zjevně bude kladen důraz především na další zdokonalení elektronických systémů, snižování hmotnosti, zvyšování pevnosti a možná i výrobu pomocí třídímenzionálního tisku.

6 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit ucelený přehled vývoje a konstrukcí vozidlových brzd a to v chronologickém pořadí od nejstarších po nejmodernější s nastíněním možného vývoje do budoucna. Již od prvních vozidel jsou brzdy nejdůležitější bezpečnostní prvek a prochází stejně jako vozidla neustálým vývojem. Brzdy tedy mají dlouhou historii a byly postupně značně modifikovány. Úkolem vždy bylo vyvinout co nejúčinnější brzdový systém a docílit tak bezpečné jízdy.

Nejprve jsme se seznámili se základními pojmy, dlouhou historií brzdových systémů, která sahá až do dob Římské říše, právními předpisy a s několika druhy rozdělení. V následující kapitole je popsán vývoj brzdových systémů u vozidel na základě konstrukčního provedení, který kopíroval technologický vývoj a pokrok v ostatních odvětvích. Dnes nejpoužívanější brzdou je brzda kotoučová, která má velké množství různých variant, které se mohou lišit použitými materiály, počtem pístů nebo průměrem kotouče. Ve většině případů nynější brzdové soustavy dalece překonávají právní požadavky jednotlivých zemí na délku brzděné dráhy.

V dnešní době se vozidla neobejdou bez moderních technologií a elektroniky, kterou jsou doslova prošívané. Proto čtvrtá kapitola této práce pojednává o elektronických stabilizačních systémech. Ty jsou nepřetržitě zdokonalovány a již dnes vzájemně kooperují a výrazně tak napomáhají řidiči především v krizových situacích.

Zaujaly mne hlavně moderní brzdové systémy, které jsou již velmi komplikovaným technickým zařízením s fascinujícími vlastnostmi. Bude zajímavé sledovat, kam až bude díky moderním technologiím možné zajít. Například nedávný počín společnosti Bugatti, kdy pomocí 3D tiskárny vyrobili osmi-pístový brzdový třmen z titanového prášku.

7 Seznam použitých zdrojů

Literární zdroje:

- [1] JAN, Zdeněk, Bronislav ŽDÁNSKÝ a Jiří ČUPERA. Automobily. 2., aktualiz. vyd. Brno: Avid, 2009. ISBN isbn978-80-87143-11-7.
- [2] VLK, František. Podvozky motorových vozidel. 3., přeprac., rozš. a aktualiz. vyd. Brno: František Vlk, 2006. ISBN isbn80-239-6464-x.
- [3] ANDRLÍK, Vladimír, Jaroslav POSPÍCHAL a Eduard STACH. Základní konstrukční prvky. Praha: České vysoké učení technické, 1995. ISBN isbn80-01-01246-8.
- [4] JAN, Zdeněk, Bronislav ŽDÁNSKÝ a Aleš VÉMOLA. Automobily. Brno: CERM, 2003. ISBN isbn8072042629.
- [5] VLK, František. Zkoušení a diagnostika motorových vozidel. Brno: Vlk, 2001. ISBN isbn80-238-6573-0.
- [6] GSCHEIDLE, Rolf. Příručka pro automechanika. 2. upr. vyd. Přeložil Zdeněk MICHŇA, přeložil Iva MICHŇOVÁ. Praha: Sobotáles, 2002. ISBN isbn80-85920-83-2.
- [7] VLK, František. Automobilová elektronika. Brno: František Vlk, 2006. ISBN isbn80-239-7062-3.

Internetové zdroje:

- [8] Mdcz.cz: Ministerstvo dopravy [Online]. [cit. 2018-03-20]. Dostupné na: [http://www.mdcz.cz/Dokumenty/Silnicni-doprava/Legislativa-silnicni-doprava-\(1\)/Silnicni-doprava-pravni-predpisy](http://www.mdcz.cz/Dokumenty/Silnicni-doprava/Legislativa-silnicni-doprava-(1)/Silnicni-doprava-pravni-predpisy)
- [9] Brzdy I., Databáze online [datum publikace 2011-01-27]. Dostupné na: <http://www.autoznanosti.cz>
- [10] Brzdy II., Databáze online [datum publikace 2011-12-11]. Dostupné na: <http://www.autoznanosti.cz>
- [11] Auto-pc.webnode.cz: Kotoučová brzda [Online]. [cit. 2018-03-03]. Dostupné na: <http://auto-pc.webnode.cz/automobily/kotoucova-brzda/>
- [12] Brzdybrembo.cz: Brzdy Brembo [Online]. [cit. 2018-02-05]. Dostupné na: <http://www.brzdybrembo.cz/>

- [13] Špalíková brzda, Databáze online [cit. 2018-03-23]. Dostupné na: <http://www.vagony.cz/pojezdy/brzda/spaliky.html>
- [14] Databáze online [cit. 2018-03-24]. Dostupné na: <http://files.strojarna.webnode.cz/200000017-4dbca4eb70/brzdy.pdf>
- [15] Vepa, Databáze online [cit. 2018-03-25]. Dostupné na: http://vepa.prodejce.cz/texty/texty_cj/hlavni.htm
- [16] Brzdové kapaliny, Databáze online [cit. 2018-03-25]. Dostupné na: <http://www.gsxr.wz.cz/brzdy.htm>
- [17] Posilovač brzd, Databáze online [cit. 2018-03-28]. Dostupné na: <http://www.autostylonline.cz/images/autostyl2011/posilovac-brzd.jpg>
- [18] ABS, Databáze online [cit. 2018-03-28]. Dostupné na: <https://autoportal.com/newcars/marutisuzuki/celerio/feature/abs.html>
- [19] ESP, Databáze online [cit. 2018-03-28]. Dostupné na: http://automoto.ba/stranica/korektor_1971.html

Časopisy:

- [20] VLK, František.: 2005, Brzdové systémy osobních a užitkových automobilů. Soudní inženýrství, 3. roč. 3. č., 145-160 s.

8 Seznam tabulek

- Tab. 1 Požadavky na brzdné účinky kategorií vozidel M a N podle předpisu EHK.....6
- Tab. 2 Vlastnosti brzdových kapalin.....27

9 Seznam obrázků

Obr. 1 Dvouokruhová brzdová soustava [4].....	2
Obr. 2 Doba a dráha brždění [1]	4
Obr. 3 Soustava táhel a pák u vlakové brzdy [14]	10
Obr. 4 Síly působící na kolo [13].....	11
Obr. 5 Bubnová brzda [6]	11
Obr. 6 Druhy bubnových brzd [1]	14
Obr. 7 Brzdový kotouč vrtaný [12].....	18
Obr. 8 Brzdový kotouč drážkovaný [12]	18
Obr. 9 Nákres brzdové destičky z čelního pohledu [15].....	21
Obr. 10 Nákres brzdové destičky ze zadního pohledu [15].....	22
Obr. 11 Druhy kotoučových brzd [6].....	24
Obr. 12 Dvou-pístová brzda [6]	25
Obr. 13 Čtyř-pístová brzda [6].....	25
Obr. 14 Konstrukce s plovoucím třmenem a vedením čepem [6]	26
Obr. 15 Schéma posilovače brzd [17].....	29
Obr. 16 Porovnání dráhy s ABS a bez ABS [18].....	31
Obr. 17 Porovnání manévru s ESP a bez ESP [19]	33