



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

SOUČASNÝ STAV A VÝVOJOVÉ TENDENCE
V KONSTRUKCI KOTOUČOVÝCH BRZD OSOBNÍCH
AUTOMOBILŮ

THE PRESENT STATE AND DEVELOPMENT TRENDS OF PASSENGER CARS DISC BRAKES
DESIGN

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTINA HAMERNÍKOVÁ

VEDOUČÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. ONDŘEJ BLAŽÁK

BRNO 2007

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav dopravní techniky

Akademický rok: 2006/07

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Hamerníková Martina

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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

Současný stav a vývojové tendence v konstrukci kotoučových brzd osobních automobilů.

v anglickém jazyce:

The Present State and Development Trends of Passenger Cars Disc Brakes Design.

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zpracujte přehled konstrukčních řešení kotoučových brzd osobních automobilů.

Cíle bakalářské práce:

1. Zpracujte přehled konstrukčních řešení kotoučových brzd osobních automobilů.
2. Rozeberte v současnosti nejpoužívanější systémy.
3. Formulujte tendence vývoje v oblasti konstrukce kotoučových brzd osobních automobilů.

Seznam odborné literatury:

- [1] VLK,F. Dynamika motorových vozidel. ISBN 80-238-5273-6, Nakladatelství VLK, Brno 2000.
[2] VLK,F. Zkoušení a diagnostika motorových vozidel. ISBN 80-234-6573-0, Nakladatelství VLK, Brno 2000.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ondřej Blat'ák

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2006/07.

V Brně, dne 11.12.2006



prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
Ředitel ústavu



doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ANOTACE

Tato bakalářská práce pojednává o konstrukčním řešení kotoučových brzd u osobních automobilů. První část této práce je zaměřena na přehled brzdových systémů. Druhá a třetí část se zabývá konstrukčním řešením kotoučové brzdy, používanými systémy v současnosti a její vývoj.

Klíčová slova:

Kotoučová brzda
Brzdový kotouč
Brzdový třmen
Brzdové destičky

ANNOTATION

The bachelor's thesis deals with a constructional solution of wheel brakes in personal automobiles. First part of the thesis is concerned about a survey of brake systems. Second and third part concerns constructional solution of wheel brake, used systems in the present and its evolution.

Key words:

Disc brake
Brake wheel
Disc brake stirrup
Brake pads

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE MÉ PRÁCE

HAMERNÍKOVÁ, M. *Současný stav a vývojové tendence v konstrukci kotoučových brzd osobních automobilů..* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2007. 42 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ondřej Blaták.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce pana Ing. Ondřeje Blatáka a s použitím uvedené literatury.

V Brně dne 23. 5. 2008

.....
Martina Hamerníková

PODĚKOVÁNÍ

Za účinnou podporu a obětavou pomoc, cenné připomínky a rady při zpracování mé bakalářské práce tímto děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Ondřeji Blatňákovi. Dále chci poděkovat svým rodičům za podporu při studiu na vysoké škole.

OBSAH

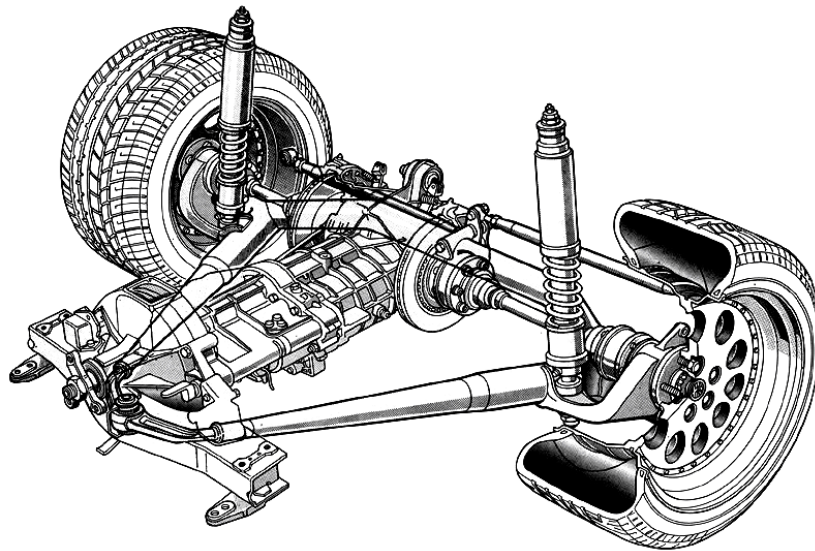
1. ÚVOD	10
2. BRZDOVÉ SYSTÉMY	11
Základní pojmy	11
2.1.1 Druhy brzdových soustav podle zdroje energie	12
2.1.2 Rozdělení brzdových soustav podle účelu	12
2.2 Brzdy a její druhy	12
2.2.1 Pásové brzdy	13
2.2.2 Bubnové brzdy	13
2.2.3 Kotoučové brzdy	14
2.3 Brzdové zařízení	15
3. KONSTRUKČNÍ PROVEDENÍ KOTOUČOVÝCH BRZD	17
3.1 Části kotoučové brzdy	17
3.2 Druhy kotoučových brzd	18
3.3 Analýza třmenu kotoučové brzdy	20
3.4 Jak brzdy fungují	21
3.4.1 Hlavní brzdový válec	23
3.4.1.1 Činnost hlavního brzdového válce pro jednookruhovou soustavu	23
3.4.1.2 Činnost hlavního brzdového válce pro dvouokruhovou soustavu	23
3.5 Konstruktivní řešení kotoučů	24
3.5.1 Brzdový kotouč	24
3.5.2 Druhy kotoučů	24
3.5.3 Chlazení kotoučů	25
3.5.4 Opatření kotoučů	26
3.6 Brzdové obložení	26
3.6.1 Materiály brzdového obložení	26
3.7 Brzdové destičky	27
3.7.1 Konstrukce brzdových destiček	28
3.7.2 Opatření brzdových destiček	31
3.8 Brzdová kapalina	32
4. VÝVOJOVÉ TENDENCE KOTOUČOVÝCH BRZD	34
4.1 Keramické kotoučové brzdy	35
4.2 Karbonové brzdy	36
4.3 Tabulka srovnání brzd – sportovní vozy a vozy pro běžnou jízdu	38
5. TABULKA SROVNÁNÍ BRZD	38
6. ZÁVĚR	40
Seznam použité literatury	41
Seznam citací	41

1. ÚVOD

Jedním z nejdůležitějších systémů na vozidle je brzdový systém vozidla, který se řadí mezi nejvýznamnější prvky aktivní bezpečnosti. Bezpečné zastavení nebo zpomalení vozidla je jeden ze způsobů, jak lze zabránit dopravní nehodě.

Kotoučové brzdy jsou dnes běžné u osobních automobilů, motocyklů, jízdních kol a jejich použití je stále častější. U všech těchto dopravních prostředků se ale neuplatnily naráz. Experimenty s kotoučovými brzdami začaly v Anglii v 90. letech 19. století. Musely projít určitým vývojem, který je posléze předurčil pro specifické použití. V současnosti je nalezneme u všech automobilů, přinejmenším na přední nápravě, která nese větší zatížení.

2. BRZDOVÉ SYSTÉMY



2.1 ZÁKLADNÍ POJMY

Brzdová zařízení patří k důležitým technickým ústrojím vozidel a svým provedením a provozními vlastnostmi musí splňovat podmínky stanovené zvláštními předpisy. Brzdným zařízením nazýváme soubor brzdových a odlehčovacích soustav (zkráceně jen brzd), kterými je vozidlo vybaveno.

Brzdová soustava (zkráceně brzda) je určena ke snížení rychlosti jedoucího vozidla a k jeho zastavení a také k zajištění stojícího vozidla proti samovolnému pohybu. Brzdová soustava musí umožňovat následující vlastnosti:

- Dosažení plynulého zpomalení nebo zastavení vozidla na co nejkratší dráze, bez vybočení z přímého směru jízdy, bez blokování kol a abnormálních vibrací.
- Dosažení účinku provozního brzdění při působení na kola stejné nápravy souměrně k podélné střední rovině vozidla.
- Dosažení účinku provozního brždění.

Cituji: Umístění brzd na automobilu

- Ovládací orgány (ruční páka, pedál...) jsou umístěny v kabině vozidla.
- Třecí části jsou upevněny na koncích náprav a v kolech.
- Jednotlivé části jsou podle způsobu ovládnutí spojeny lanky, táhly, ocelovým potrubím apod.

2.1.1 Druhy brzdových soustav podle zdroje energie

1. **Přímočinná soustava** – brzdná síla je tvořena vlastní silou řidiče. Tato síla se přenáší mechanickým nebo hydraulickým převodem na kola automobilu.
2. **Brzdová soustava s posilovačem** – jestliže nedostačuje síla řidiče, může být posílena podtlakovým nebo hydraulickým posilovačem. Posilovač je konstruován tak, že při poruše zůstane brzdová soustava v činnosti a přitom ovládací síla na brzdový pedál nepřesáhne 800 N.
3. **Nepřímočinná soustava** – Brzdny účinek je tvořen obvykle tlakem vzduchu, který řidič pouze ovládá.

2.1.2 Rozdělení brzdových soustav podle účelu

1. **Provozní brzdová soustava** – snižuje rychlost vozidla, případně až do jeho úplného zastavení, vozidlo se však nesmí odchýlit od přímého směru. Jejich účinek musí být regulovatelný a působí na všechna kola. Provozní brzdy dělíme dále dle konstrukce na kotoučové a bubnové.
2. **Nouzová brzdová soustava** – má stejné úkoly jako provozní brzda a působí alespoň na jedno kolo z každé strany. Soustava nemusí být samostatná, může to být neporušený okruh dvouokruhových provozních brzd, případně brzda parkovací.
3. **Parkovací brzdová soustava** – jejím úkolem je stojící vozidlo (zejména na svahu), a to i za nepřítomnosti řidiče.
4. **Zpomalovací brzdová soustava** – snižuje rychlost vozidla dle potřeby (např. dlouhé svahy, aniž by se používala brzda provozní, nouzová či parkovací. Jejím účelem není vozidlo zastavit. [1]

2.2 BRZDY A JEJÍ DRUHY

Hlavním úkolem brzd je vyvolat takový brzdící účinek, který dokáže pohltit velkou část kinetické energie vozidla. Brzdny účinek je vyvolán mechanicky, dochází zde ke tření brzdových segmentů (čelistí s brzdovým obložením, brzdových destiček) o kotouč nebo buben. Brzdy jsou ovládány mechanicky, hydraulicky nebo pneumaticky stlačeným vzduchem a možná je i jejich kombinace.

Každé vozidlo musí být vybaveno minimálně dvěma brzdovými systémy, které na sobě nejsou závislé - brzdou provozní a brzdou parkovací. Z konstrukčního hlediska dělíme brzdy na pásové, kotoučové a bubnové.

Cituji: Brzda je v užším slova smyslu část brzdové soustavy, ve které vznikají síly působící proti pohybu nebo proti tendenci k pohybu vozidla.

1. **Třecí brzda** – brzda, u které součásti upevněné k pevné části vozidla jsou přitlačovány přitlačnou silou na jednu nebo více částí upevněných nebo připojených ke kolu nebo soupravě kol. Třecí brzda, u které se účinek přitlačné síly zvyšuje třecími silami, se nazývá brzda se servoúčinkem.
2. **Bubnová brzda** – třecí brzda, u které se třecí síly vytvářejí mezi částmi upevněnými k pevné části vozidla a vnitřním nebo vnějším povrchem bubnu.

3. **Kotoučová brzda** – třecí brzda, u které se třecí síly vytvářejí mezi částmi upevněnými k pevné části vozidla a plochami jednoho nebo několika kotoučů.
4. **Západková brzda** – brzda, u které se neotáčející části vozidla západkovým spojením brání polohu částí upevněných trvale ke kolu nebo k soupravě kol, může se normálně použít jen na stojícím vozidle. [2]

2.2.1. Pásové brzdy

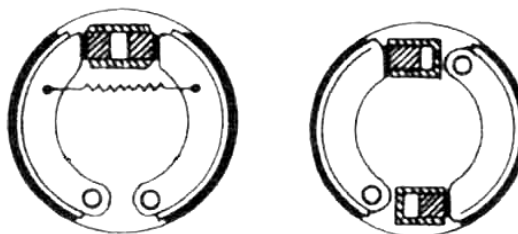
Cituji: Pásová brzda je význačná jednoduchou konstrukcí, kde na ocelový válec dosedá ocelový brzdící pás s obložením. Tato brzda je ovládána poměrně malou silou a dosahuje se dobrého účinku. Mezi nevýhody patří snížená možnost odvodu tepla, čímž se brzda často přehřívá a klesá tak její účinek. Používá se u některých vozidel zejména jako parkovací, uplatnění našla i u planetových převodovek, kde se používá jako synchronizační spojka nebo jako brzda korunového kola.

2.2.2. Bubnové brzdy

U vozidel jsou rozšířené také brzdy bubnové, jejichž konstrukce je oproti pásové brzdě mnohem složitější. Tato brzda se skládá z brzdového bubnu, brzdových čelistí s obložením, rozpínacího mechanismu (brzdový klíč nebo hydrostatický člen), automatického stavěče odlehlosti brzdových čelistí a mechanického rozpínacího systému parkovací brzdy (u zadních náprav).

Při sešlápnutí brzdového pedálu a zapojení brzdového systému dochází k rozpínání brzdových čelistí s obložením, které se tak dotýká vnitřní strany bubnu, čímž dochází ke tření. Během tření nabíhá jedna čelist na obvod bubnu a nazývá se náběžnou čelistí. Druhá čelist nabíhá proti směru otáčení brzdového bubnu a nazývá se úběžnou čelistí. Větší brzdny účinek má náběžná čelist, proto se vyrábějí i složitější dvounáběžné brzdy.

Bubnová brzda se běžně používá jako provozní, u moderních automobilů se objevuje pouze na zadní nápravě, ale i zde je často nahrazována brzdou kotoučovou. Mezi nevýhody patří přehřátí při dlouhém intenzivním brzdění a z toho vyplývá ztráta brzdného účinku. Bubnové brzdy se u osobních automobilů používaly ve 20. století, dnes jsou na ústupu. [15]

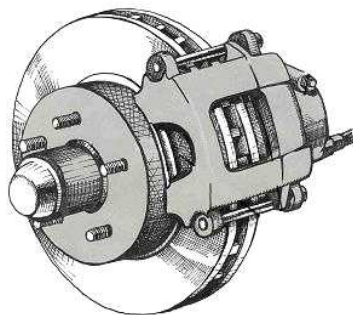


Obr 2.1 Vlevo bubnová brzda s jedním válcem, vpravo se dvěma válci [15]

2.2.3. Kotoučové brzdy

Cituji: Z důvodů možnosti přehřátí bubnové brzdy a tím i možnosti ztráty brzdového účinku se v současné době u osobních automobilů používají zejména na přední nápravě kotoučové brzdy. Kotoučové brzdy mají dlouhou historii vývoje. Od původních brzd se neliší nijak dramaticky, ale řadou detailů, které je učinily jednoduššími, spolehlivějšími a výkonnějšími. Dnes se jedná o moderní, široce používanou brzdou.

Třmeny jsou dnes lehčí a mají delší životnost, například také díky lepším gumovým manžetám a těsněním. Těsnění pístu má dvě funkce, mimo těsnicí především vymezuje vůli, o jakou se destička vrátí po uvolnění tlaku zpět. Druhou funkcí je vzhledem ke konstrukci samovymezování vůle. [5]



Obr. 2.2 Schéma kotoučové brzdy [16]

Cituji: U výkonnějších vozidel a u vozidel s některými elektronickými systémy se kotoučové brzdy používají také na zadní nápravě. Použití kotoučových brzd na přední nápravě je dáno větším dynamickým zatížením této nápravy a nutností dosažení vyššího brzdného účinku na této nápravě. Kotoučová brzda umožňuje většího brzdného účinku a lze u ní dosáhnout lepšího odvodu tepla.

Tato brzda se skládá z brzdového kotouče pevně spojeného s nábojem kola, brzdového třmenu a hydraulickými válečky, výměnných brzdových destiček a zařízení, které zabraňuje vypadnutí brzdové destičky ze třmenu.

Brzdového účinku je dosaženo třením brzdových destiček o kotouč, který bývá chlazený proudícím vzduchem (v některých případech speciální kapalinou) a brzda si tak zachovává trvale dobrý brzdný účinek. Vedle toho je možné jednoduchou změnou průměru kotouče dosáhnout výrazně vyššího brzdného účinku, což je z výrobního hlediska výhodné u vozidel stejného typu s motorem o různém výkonu. **Kotoučová brzda je koncipována jako provozní s hydraulickým ovládním.** Protože není vybavena mechanickým rozpínáním válečků, nelze použít jako brzda parkovací.

Výhodou kotoučových brzd je jednodušší kontrola tloušťky destiček, většinou stačí pouze sundat kolo a výřezem ve třmenu je tloušťka vidět, zatímco u většiny bubnových brzd je nutno sundávat buben, což není vždy nejjednodušší. Další rekonstrukcí prošel samotný kotouč, pro zlepšení chlazení se dělají kotouče s vnitřním chlazením.

V praxi jsou ve středové části kotouče dutiny, do kterých proudí vzduch a tím ochlazuje kotouč. Směs destiček se měnila neustále a i dnes se používá spousta směsí podle určení:

- měkčí směsi pro sport,
- tvrdší pro běžný provoz.

Vývojem bylo také dosaženo mnohem stabilnější směsi vzhledem k teplotě. [5]

Shrnutí výhod a nevýhod kotoučových brzd

Cituji:

Výhody kotoučových brzd: malá citlivost na změnu součinitele tření (znečištění, zahřátí)

- stabilita brzdného účinku při dlouhodobém používání
- snadná údržba
- neseřizuje se žádná vůle
- menší hmotnost
- nemění se funkce při opotřebením obložení
- dobrý odvod tepla

Nevýhody kotoučových brzd: malý vnitřní převod

- nutná velká ovládací síla
- vyšší místní ohřátí
- složitější ovládání parkovacích brzd [10]

2.3. BRZDOVÉ ZAŘÍZENÍ

Cituji: Každé vozidlo musí být vybaveno nejméně dvěma na sobě nezávislými brzdovými zařízeními, z nichž jedno umožňuje dostatečně jemné odstupňovatelné ovládání pohybu vozidla a jeho účinné a spolehlivé zastavení - provozní brzdění, druhé zajišťuje udržení stojícího vozidla (parkovací zabrzdění).

U nákladních vozidel a autobusů se používá vzduchové ovládání, kdy je odbrzdění možné až po naplnění tlakového vzduchu do brzdové soustavy. U vozidel, jejichž zadní náprava je vybavena kotoučovými brzdami nelze použít klasické parkovací brzdy s mechanickým ovládáním. Zde je použita pásová brzda nebo je tato brzda použita na výstupním hřídeli převodovky.

Ovládání provozních brzd automobilů je hydraulické nebo pneumatické stlačeným vzduchem (příp. mechanicky). Z důvodu dosažení vyšší bezpečnosti brzdové soustavy je zapojení řešeno jako **dvoukruhové**. U nákladních vozidel se používá **tříokruhové** zapojení.

Dvoukruhové zapojení dělíme na:

- a) klasické křížové
- b) klasické s dvojčítými brzdovými třmeny
- c) křížové zapojení s dvojčítými brzdovými třmeny

U klasického zapojení ovládá první okruh bubnové nebo kotoučové brzdy zadní nápravy a druhý okruh ovládá kotoučové brzdy přední nápravy. Křížové zapojení má první okruh pro ovládní kotoučové brzdy pravého (nebo levého) předního kola a brzdy pravého (nebo levého) zadního kola. Oba okruhy tak na vozidle působí úhlopříčně a ovládají na druhé nápravě vždy brzdou kola na druhé straně.

U klasického zapojení s dvojčítými brzdovými třmeny ovládá první okruh brzdové válečky prvního okruhu kotoučové brzdy pravého a levého kola přední nápravy a brzdy zadní nápravy. Druhý okruh pak ovládá brzdové válečky druhého okruhu u brzd přední nápravy.

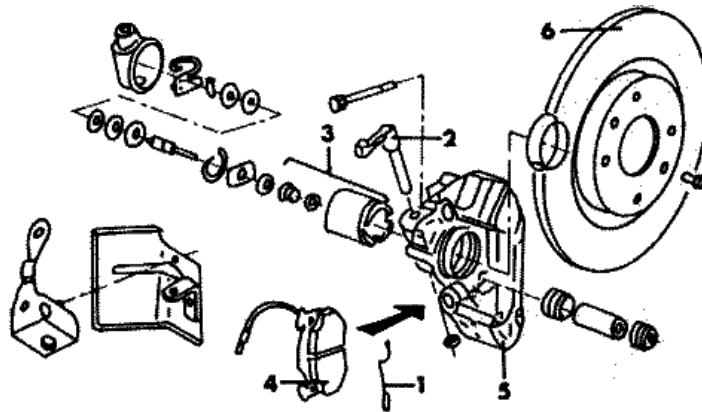
Křížové zapojení s dvojčítými brzdovými třmeny se vyznačuje tím, že první okruh ovládá brzdové válečky brzd prvního okruhu na přední nápravě a jedno zadní kolo. Druhý okruh pak ovládá brzdové válečky brzd druhého okruhu na přední nápravě druhé kolo zadní nápravy. [2]

3. KONSTRUKČNÍ PROVEDENÍ KOTOUČOVÝCH BRZD



Obr. 3.1 Sada kotoučových brzd firmy Brembo [18]

3.1 ČÁSTI KOTOUČOVÉ BRZDY



Obr 3.2 Sestava kotoučové brzdy:

1. přídržná pružina,
2. ovládací páka ruční brzdy,
3. pístek s doseřizovacím zařízením,
4. brzdová destička,
5. brzdový třmen,
6. brzdový kotouč [5]

Mezi hlavní části kotoučové brzdy patří:

Cituji:

1. Rotor (kotouč)

Je v drtivě většině případů kovový, ale u nejdražších sportovních aut bývá keramický. V roce 2005 byl za příplatek montován například od některých aut Porsche. Výhodou keramického brzdového kotouče proti kovovému je výrazně nižší hmotnost a také se méně opotřebovává.

Brzdový kotouč je připevněn na brzděný rotor a otáčí se spolu s ním. Při brždění se kinetická energie vozidla mění v teplo a dochází k značnému zahřívání brzdového kotouče. Proto bývá často (na přední nápravě bývají obvykle kotouče s vnitřním chlazením a na zadní nápravě jednoduché) opatřen soustavou kanálků, kterou provází vzduch, což napomáhá chlazení. V běžném provozu se výjimečně používají kotouče, do kterých jsou navrtané otvory. To má výhody za deště, kdy otvory pomáhají odvádět vodu (a odpařující se vodní páru) a tím zlepšují brzdný účinek. Brzdové kotouče se provozem postupně opotřebovávají.

2. Brzdové destičky

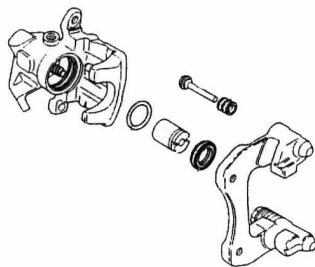
Jsou destičky přitlačované brzdovými písty. Jsou konstruovány tak, aby při kontaktu s brzdovým kotoučem vznikalo velké tření (tzn. mají vysoký koeficient smykového tření). Během provozu dochází k opotřebování těchto destiček. Někdy mívají zabudovaný senzor, který upozorní řidiče na nutnost výměny.

3. Brzdový třmen

Brzdový třmen je součástka, do které je namontován brzdový píst (obvykle bývá jeden; více jich je u drahých sportovních aut) a suvně připevněné brzdové destičky. Tato součástka je pevně připojena k vozidlu.

4. Brzdový píst

Brzdový píst je součástka zamontovaná do brzdového třmenu. Na něj je připojena hadička s brzdovou kapalinou. V případě sešlápnutí brzdového pedálu vznikne v brzdovém systému (brzdové kapalině) tlak, který přitlačí píst a s ním brzdové destičky k brzdovému kotouči. Dnes se v drtivé většině případů používají samostavitelné písty, které se samy nastavují tak, aby byla vždy zachována vhodná minimální vůle mezi brzdovým kotoučem a brzdovými destičkami v klidovém stavu. [9]



Obr.3.3 Rozložený třmen zadní kotoučové brzdy vozu Škoda Octavia [5]

3.2 DRUHY KOTOUČOVÝCH BRZD

Cituji: Konstrukční provedení kotoučové brzdy se liší v realizaci jejího třmenu. Z tohoto pohledu rozlišujeme:

1. *kotoučová brzda s pevným třmenem*
2. *kotoučová brzda s volným (plovoucím) třmenem*
3. *kotoučová brzda s výkyvným třmenem*

U **kotoučové brzdy s pevným třmenem** jsou hydraulické válce jsou uspořádány proti sobě po obou stranách kotouče a těleso třmene je nepohyblivé, počet válců bývá :

- 2 (stejného průměru se společnou osou),
- 4 (stejného průměru, každá dvojice má společnou osu),
- 3 (jeden válec většího průměru na jedné straně a dva válce menšího průměru na druhé straně, přičemž součet ploch pístu na každé straně kotouče je stejný).[2]

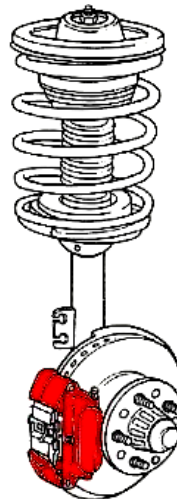
Cituji: Při brždění přitlačují písty brzdové obložení z obou stran na brzdový kotouč (přítlačná síla je tvořena tlakem brzdové kapaliny). Ke zvýšení brzdného účinku slouží čtyři písty. [1]

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

Pohyblivé uložení třmene na neotáčející se části nápravy nebo zavěšení kola může být posuvné – v rámu s posuvným vedením, tzv. **výkyvný třmen**.

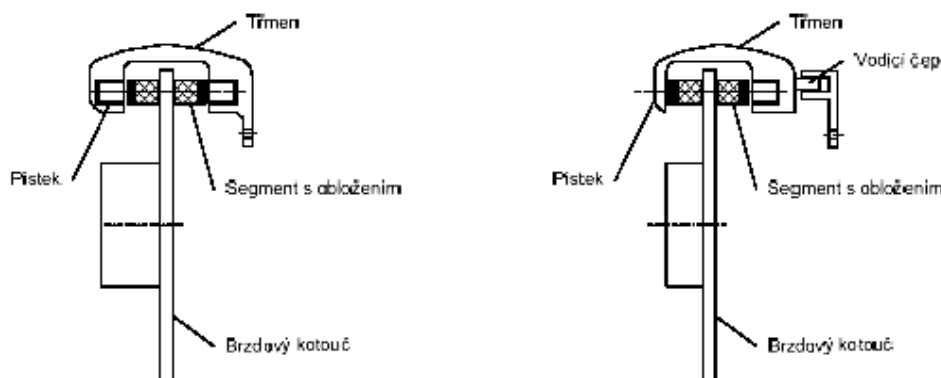
V současné době se používá nejčastěji provedení s **plovoucím třmenem**, a to ze dvou důvodů:

- a) Brzdou kapalinou je vyplněn pouze jeden prostor, který je během jízdy dobře ochlazován proudícím vzduchem; nevznikají parní bubliny vlivem přehřátí.
- b) Tím, že brzda může být více posunuta směrem ven, může také rejdivý čep ležet více vně, což je nutné pro negativní poloměr rejdu.[2]



Obr.3.3 Třmen kotoučové brzdy [11]

Cituji: Píst ve válečku tlačí brzdové obložení proti kotouči. Reakční síla posouvá třmen, který se přitlačí na kotouč na opačné straně. Oproti kotoučovým brzdám s pevným třmenem je brzda s volným (plovoucím) třmenem menší a lehčí. Výsledkem řešení s plovoucím třmenem je úspora místa a menší zális vlastního kotouče. Nevýhodou plovoucího třmene je nebezpečí zadření posuvné části třmene v držáku, a tím snížení brzdového účinku. [1]



Obr.3.4 Kotoučová brzda s pevným a plovoucím třmenem [5]

3.3 ANALÝZA TŘMENU KOTOUČOVÉ BRZDY

V této kapitole je uvedena MKP analýza napětí a deformace třmenu kotoučové brzdy.

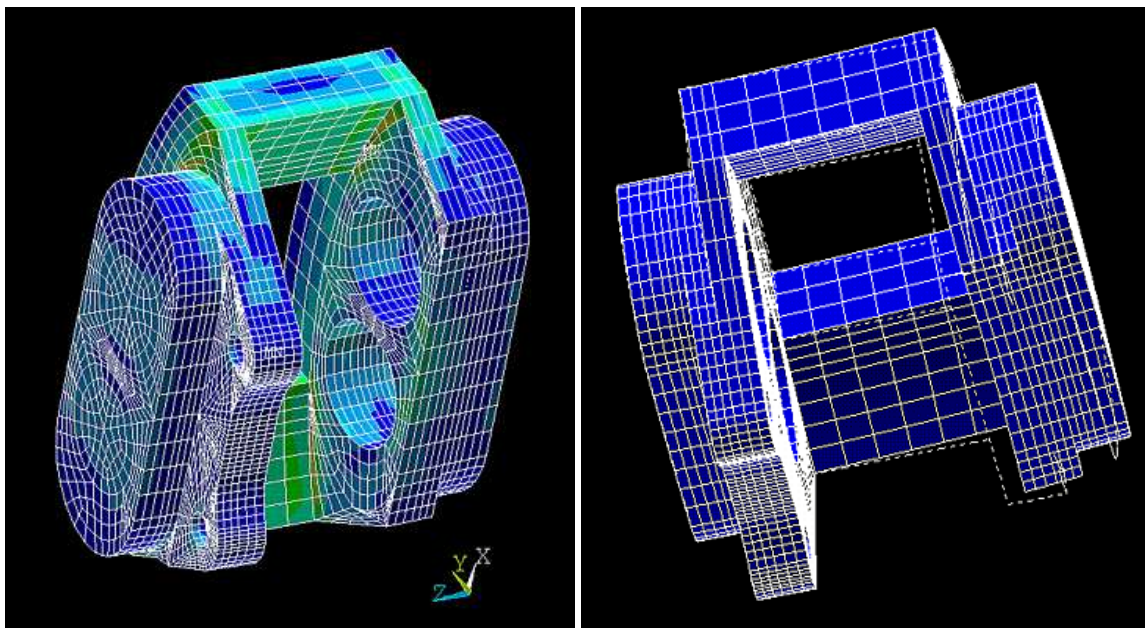
Cituji: Popis konstrukce:

- *Plovoucí brzdový třmen, který je veden dvěma čepy, jež jsou nalisovány na držáku brzdy.*
- *Brzdový účinek je vyvozen dvěma paralelními písty (přítlačná síla je vyvozena účinkem pružin, odbrzdění je prováděno hydraulicky).*

Analýza napětí a deformací třmene kotoučové brzdy ukazuje na některá místa (zejména z hlediska výskytu lokalit s vysokým napětím), která by při provozu (i při dodržení provozních podmínek) mohla vést až k iniciaci poruch (vznik trhlin apod.).

Kritickými místy jsou zejména zadní vnitřní kouty třmenu, kde koncentrace napětí v důsledku geometrického uspořádání (přechody z tuhého okolí) výrazně přesahuje hodnoty napětí v blízkém okolí. Můžeme konstatovat, že celý třmen (mimo zmiňovaná místa) není výrazně silově namáhán. Deformace brzdového třmenu nedosahují vysokých hodnot a zřejmě neovlivní správnou funkci brzdy. Dalším kritickým místem je přechod - osazení díry pro čep na držáku, kde koncentrace napětí v důsledku ostré hrany výrazně přesahuje hodnoty napětí na držáku.

S ohledem na charakter zatěžování brzdy a provozní podmínky (zejména s ohledem na negativní účinky prašného a agresivního prostředí a možnost nesymetrického zatížení, příp. použití ABS) je třeba počítat s větším namáháním a větší únavou materiálu. [3]



Obr 3.4 Vlevo redukované napětí ve třmenu při podmínce HMM ; vpravo deformace třmenu[11]

3.4 JAK BRZDY FUNGUJÍ



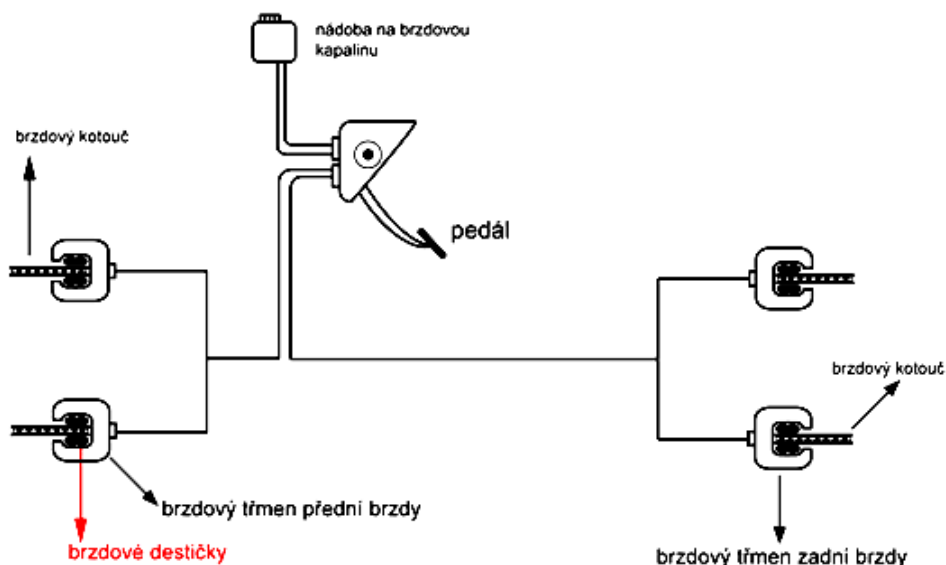
Obr. 3.5 Keramická kotoučová brzda použita ve voze Audi A8 [12]

Cituji: Princip funkce brzd ovládaných pomocí hydrauliky brzdovým pedálem lze popsat pomocí dvou fyzikálních jevů: tlak v kapalině vyvolaný vnější silou a třením.

- První jev se týká aktivace brzd, tedy vysvětluje přenos síly, která je vyvolána nohou řidiče na brzdovém pedálu, na samotné brzdové kotouče.
- Druhý jev se týká přímo brzdného účinku.

Na **obr. 3.6** je znázorněn základní brzdový systém. Ten je v dnešních moderních automobilech doplněn řadou elektronických prvků. Tyto prvky se mohou starat např. o přerušované brždění zamezující smyku (ABS), mohou regulovat účinek brzd na jednotlivých

kolech, což má velké uplatnění v případě, kdy různá kola automobilu jsou na různých površích atd.



Obr. 3.6 Základní konstrukce brzd [4]

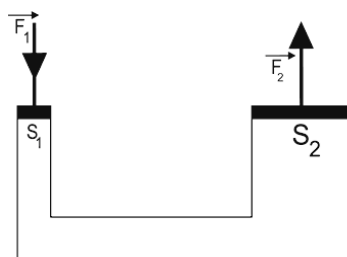
Celou brzdou soustavu lze z fyzikálního hlediska chápat jako hydraulické zařízení a její funkci lze popsat jedním ze základních zákonů hydrostatiky - Pascalovým zákonem.

Přenos síly F_1 vyvolané řidičem se pomocí pístu brzdného pedálu o ploše S_1 přeneše v podobě tlaku přes brzdou kapalinu na písty brzdového třmenu. Ty jsou pak přitlačeny silou F_2 na brzdový kotouč. Z matematického popisu vyplývá, že kolikrát je větší plocha pístu S_1 než plocha pístu S_2 tolikrát je větší síla F_2 než síla F_1 .

Síla F_2 pak tlačí brzdové destičky ke kotoučům brzd. Vlivem tření se zpomaluje otáčivý pohyb kola a tedy i posuvný pohyb automobilu. Z této konstrukce vyplývá také nutnost kontroly brzdové kapaliny, respektive její doplnění při úbytku. Pokud nejsou brzdové hadice zcela naplněny, tlak se nepřenáší efektivně, brzdový pedál je „měkký“ a je nutné jej sešlapávat až na podlahu. Brzdění je pak málo účinné.[4]

Dle Pascalova zákona:

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$$



Obr. 3.7 Princip funkce brzd dle Pascalova zákona [4]

3.4.1 Hlavní brzdový válec

Cituji: K ovládání kotoučové brzdy slouží u silničních vozidel hydraulický válec. **Hlavní brzdový válec** je hydraulický válec, který je ovládán svalovou silou řidiče nebo pomocnou silou (stlačený vzduch, vakuum, čerpadlo).

3.4.1.1 Činnost hlavního brzdového válce pro jednookruhovou soustavu

Jednookruhová brzdová soustava je řešena tak, že vyrovnávací nádrž je spojena s pracovním prostorem válce dvěma otvory. Při stlačování pedálu se působením tlačné tyčky posouvá píst směrem doleva a po překrytí druhého otvoru vytlačuje brzdovou kapalinu přes zpětný ventil do spojovacího potrubí ke kolovým válcům, přičemž se v soustavě zvyšuje tlak. Při uvolnění brzdového pedálu proudí kapalina z kolových válců přes zpětný ventil zpět do hlavního brzdového válce. Úlohou zpětného ventilu je udržet v odbržděném stavu určitý přetlak ve spojovacím potrubí (tzv. zbytkový tlak), který zabraňuje případnému vniknutí vzduchu do soustavy netěsnostmi armatury.

Pozn: Zbytkový tlak je možno využít jen u bubnových brzd, jejichž čelisti se vracejí do základní polohy v odbržděném stavu zpětnými pružinami.

U kotoučových brzd, jejichž přítláčné desky se vracejí do základní polohy jen axiálním házením kotouče, případně pružnou deformací těsnícího kroužku pístu, musí být v soustavě v odbržděném stavu nulový přetlak. K tomuto účelu je v kuželovém zpětném ventilu škrtkový otvor (cca 0,7 mm).

3.4.1.2 Činnost hlavního brzdového válce pro dvouokruhovou soustavu

Dvouokruhová brzdová soustava vyžaduje dvouokruhový hlavní brzdový válec se dvěma oddělenými pracovními prostory a písty. Většinou se používá tzv. tandemový brzdový válec, u kterého jsou oba pracovní prostory uspořádané za sebou ve společné ose. Při sešlápnutí brzdového pedálu je píst vtlačován do pracovního válce a ventily na obou stranách plovoucího pístu uzavřou spojení tlakových prostorů válce s kapalinovou nádrží. Z prostoru před pístem je kapalina vytlačována do jednoho brzdového okruhu a její tlak zároveň působí na plovoucí píst, čímž vzrůstá tlak i ve druhém okruhu.

Tlaky na obou stranách se tak postupně vyrovnávají. Po uvolnění pedálu se oba písty působením vratných pružin vracejí do výchozí polohy. Ventily na obou stranách plovoucího pístu se uvolní a brzdová kapalina proudí z potrubí přes činné prostory válce do kapalinové nádrže, kde dojde k objemovému vyrovnání. V brzdovém systému zůstává určitý tlak, jehož velikost je závislá od působení pružin na ventily zbytkového tlaku, zabudované ve výstupních hrdlech válce. Toto uspořádání se používá pouze v tehdy, kdy jsou na obou nápravách použity bubnové brzdy.

Při kombinaci kotoučových brzd (přední náprava) a bubnových brzd (zadní náprava) je pro okruh kotoučových brzd ve výstupním hrdle zabudován zpětný ventil bezpředtlakový a pro okruh bubnových brzd zpětný ventil přetlakový.

Pro ovládání parkovací brzdy se také u kotoučových brzd používá mechanické přitlačování desek s třecím obložení na plochy kotouče pákovým mechanismem; třecí desky parkovací brzdy jsou převážně samostatné. V některých případech bývá kotoučová brzda doplněna pro parkovací brzdění malou bubnovou brzdou.[2]

3.5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ KOTOUČŮ

3.5.1 Brzdový kotouč

Cituji: Kotouč má obvykle tvar talíře, vyrábí se z temperované litiny nebo ocelolitiny obsahující legující prvky. V bubnu brzdového kotouče zadní brzdy může být umístěna parkovací bubnová brzda (mechanicky ovládaná).

U vysoce namáhaných brzd se používají tzv. duté kotouče - s vnitřním chlazením proudícím vzduchem. Obsahují radiálně uspořádané vzduchové kanály, které jsou provedeny tak, aby při otáčení kotouče vznikl ventilační efekt. Třecí plocha kotouče někdy ještě obsahuje přídatné otvory pro dosažení nízkého ohřevu při brzdění a rychlého ochlazení po brzdění. [5]

Cituji: V poslední době se používají kotouče, na jejichž třecí ploše jsou vytvořeny spirálové drážky přesně stanovené hloubky. Tyto drážky slouží k indikaci opotřebení kotouče, zlepšují samočisticí schopnost a urychlují záběh obložení brzdových destiček. Např. brzdový kotouč ATE Power Disk, znázorněný na **obr. 3.8**.

Pozn. : Při extrémním brzdění dochází k zahřátí brzdového kotouče na teplotu nad 800 °C a mezi kotoučem a obložení se při tak vysoké teplotě uvolňují plyny, které způsobují **vadnutí** (tzv. „gas planing effect“). Kotouče Power Disk tyto plyny odvádí drážkami mimo třecí plochu. [6]



Obr. 3.8 Kotouč ATE Power Disk [6]

3.5.2 Druhy kotoučů

Cituji

- a) *plochý kotouč*
- b) *hrncový kotouč*
- c) *odvětraný kotouč*

Plochý kotouč je nejjednodušší, ale má řadu nedostatků – snadněji se bortí, cesta průchodu tepla k ložisku kola je celkem krátká (ložiska se zahřívají).

Hrcový kotouč nedostatky plochých kotoučů odstraňuje. Pro účinnější chlazení má dutý prostor s radiálně uspořádanými kanálky (kotouč s vnitřním chlazením).

Pozn. : Modely GTi s motory 16V mají brzdové kotouče s vnitřním chlazením o tloušťce 20 mm. Ostatní modely mají nedělené brzdové kotouče o tloušťce 10 mm. Modely GTi mají také jiné brzdové třmeny a jsou sériově vybaveny systémem ABS.

Brzdové kotouče se vyrábí obvykle z legované šedé litiny nebo z ocelolitiny. Jakost povrchu kotouče má značný vliv na opotřebení třecího obložení, a proto jsou třecí plochy kotouče broušeny. Kotouč je přírubou uchycen k náboji kola obvykle šrouby (někdy kolovými šrouby).[2]

3.5.3 Chlazení kotoučů

Cituji: Kotouče se při intenzivním brždění velmi zahřívají, pokud překročí určitou teplotu, (liší se typem brzdy), brzdy ztratí účinek. Při přehřátí může nastat několik situací, kotouč se může zahřát natolik, že se na něm vytvoří kluzká plocha a tím se zmenší tření, brzdové destičky fungují bezvadně také pouze do omezené teploty, nebo se může začít vařit brzdová kapalina.

Mezi nejjednodušší chlazení kotoučů patří vzduchové kanály od přední části vozu (spojleru) k brzdám. Druhým nejčastějším řešením jsou chlazené kotouče s vnitřním chlazením. Chlazený kotouč je většinou více než dvojnásobně širší, než kotouč nechlazený, ve střední části má vybrané „žebrování“, do těchto míst pak může za jízdy vnikat vzduch a tak pomoci účinněji chladit kotouč. Pro chlazený kotouč musí být upraven i třmen.

Jedním z hlavních důvodů zavedení chlazených kotoučů je také vyšší váha v přední části vozu, tj. použití u větších vozidel s motorem vpředu. Obvyklá kombinace moderní brzdové soustavy je s chlazenými kotouči vpředu a normálními kotouči vzadu. [5]

Cituji: Pozn.: Brzdové kotouče znázorněné na obr. 3.9 se specifickým drážkováním, které umožňuje efektivní očistu třecího materiálu. Při výrobě kotouče prochází speciální tepelnou úpravou, která umožňuje zkrácení doby nutné pro správné zajetí a eliminuje tak znehodnocení kotouče při rychlejšímu zajíždění třecího materiálu. Podstatné zvýšení brzdného účinku při použití s brzdovými destičkami FDT1055. Parametry kotouče: TH 20mm, minimální TH 17mm, šířka celého kotouče včetně náboje 41mm, průměr náboje kotouče 60mm. [17]



Obr. 3.9 Sportovní brzdový plovoucí kotouč firmy Galfer [17]

3.5.4 Opotřebení kotoučů

1. Tloušťka kotouče

Vždy při výměně brzdových destiček je třeba zkontrolovat tloušťku kotoučů. Minimální tloušťka je vyražena na obvodu nebo je uvedena v katalogu výrobce.

2. Drážky, rýhy

Plocha kotouče musí být hladká. Jemné drážky či rýhy, které vzniknou během provozu, nejsou na závadu. Hluboké drážky a rýhy ale zvyšují opotřebení brzdových destiček a mohou snižovat účinek brzd.

3. Příčné trhliny

Trhliny na ploše kotouče způsobují vysoké teploty. Nadměrné teplo vzniká dlouhodobým brzděním při sjíždění dlouhých svahů, příp. opakovaným brzděním z vysokých rychlostí. Může dojít k vylomení části kotouče a havárii.

4. Zabarvení kotoučů do modra

Zabarvení do modra je důsledek dlouhodobého působení tepla, které vzniká dlouhým brzděním při sjezdech nebo opakovaným brzděním z vysokých rychlostí. Další příčinou bývá vadná funkce třmenu, kdy je brzdový segment v neustálém kontaktu s kotoučem. Mohou vznikat deformace či trhliny v kotouči a destičkách.

5. Koroze

Příčinou bývá vadná funkce brzdového systému, příp. dlouhodobé odstavení vozidla z provozu. Korozi kotoučů lze rozdělit následovně:

- Koroze na obvodu kotouče s jejich následným přerůstáním na činnou plochu kotouče.
- Koroze jedné či obou brzdových ploch – často vadná funkce brzdového třmenu.

3.6 BRZDOVÉ OBLOŽENÍ

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

Požadavky na třecí obložení:

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

3.6.1 Materiály brzdového obložení

Cituji: Obložení se většinou používá z organických materiálů. Pro obzvláště vysoké namáhání se vyrábí obložení ze spěkaných práškových kovů.

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

Cituji: Škodlivost (karcinogenní účinky) azbestu na lidský organismus vedla postupně k zákazu používání azbestových vláken v třecích materiálech brzdových destiček. Azbestové vlákno vykazuje vlastnosti, které ho jinak přímo předurčují k optimálnímu použití v brzdových třecích materiálech. Základní vlastností třecího materiálu obsahujícího azbest jsou: vysoký koeficient tření (cca 0,40), vynikající tepelná odolnost (až nad 600°C), vynikající mechanická odolnost, velká specifická plocha, snadná míchatelnost s pryskyřicemi a podobnými sloučeninami, vynikající pružnost, pevná struktura apod.

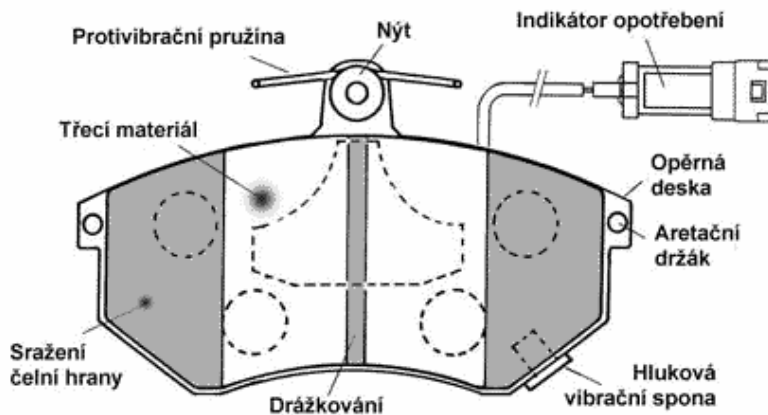
Bezazbestové materiály FRI.TECH, tzv. 3. generace uspokojivě řeší problémy předchozích generací třecích materiálů. Zadní část destičky nemá žádné distanční destičky nebo vložky, ani žádné antivibrační vrstvy. Třecí materiál je celistvý, hladký a bez jakýchkoliv snížených (tzv. náběhových) hran. Chybí rovněž pro jiné destičky střední dělicí drážka. [2]

3.7 BRZDOVÉ DESTIČKY

Cituji: Jak brzdové kotouče, tak i brzdové destičky podávají extrémní výkony při přeměně kinetické energie jedoucího vozu na teplo. Musejí snést extrémní tepelnou zátěž a stále co nejvíce svými povrchy třít bez nežádoucích efektů, jako je prohoření brzdového obložení, jeho zaleštění, nebo rozkmitání brzdového disku, což samozřejmě snižuje brzdový účinek na minimum.

Při každé potřebě přibrzdit nebo zastavit bez rizika vytržení hlavního brzdového válce z karosérie automobilu, pro kontrolu průběhu brždění a správné dávkování brzdového účinku, potřebujeme brzdové materiály s vysokým koeficientem tření. Vztahuje se to na kotouče i na brzdové destičky vepředu (90% práce) i vzadu (*pokud brzdí i zadní kola, je to pohodlné a automobil se v kritické situaci nepřetáčí*). [6]

3.7.1 Konstrukce brzdových destiček



Obr. 3.10 Čelní pohled brzdové destičky [8]

Cituji:

1. Třecí materiál

Třecí materiál je používán pro poskytnutí brzdného účinku, je-li třen proti jinému materiálu. Prvními materiály byly bavlna, konopí a dřevo třené proti dřevěnému nebo železnému kolu. Brzdový materiál musí splňovat to, co se od něj očekává. To může být ovlivněno použitím materiálu s vysokým koeficientem tření nebo užitím velkých sil ve formě páky, posilovače brzdného účinku nebo více diskových kotoučových brzd.

Nejdříve je zvažován správný koeficient tření. Ten se musí rovnat projektovanému koeficientu na osu automobilu, aby byl zajištěn výkon brzd v rovnováze s ostatními osami. Všechny třecí materiály by měly mít stálý koeficient tření v projektovaných mezích maximální rychlosti vozu, použití tlaků požadovaných při maximálním brždění a maximální teploty disku předpokládané v nejhroších situacích, např. při plném zatížení vozidla a prudkém brždění.

- **Hlavní prvky třecího materiálu:** pryskyřice, vlákna, lubrikanty, různá plnidla a brusidla
- **Při vývoji nového materiálu by měly být zohledněny tyto vlastnosti:** rychlost a hmotnost vozu, terénní, klimatické podmínky a použití pro obecné účely, taxi, sport a soutěžení...

2. Opěrná deska

Standardním materiálem opěrné desky je rovná měkká ocel, která má pro tento účel ideální vlastnosti.

Tloušťka se pohybuje od typických 3 mm na malých destičkách přes 6 - 7 mm pro lehké užitkové vozy, až po 10 mm u velkých průmyslových destiček.

Rozměrové tolerance jsou: 0,10 - 0,13 mm na šířku, aby umožnil brzdícímu třmenu vůli. Rovinnost se požaduje do 0,15 mm, plochá až konvexní na brzdné straně (k třecímu materiálu).

3. Protihluková deska

Hluk brzd je způsobován vibracemi vyvolanými mechanickým systémem, který se skládá ze tří základních dynamických součástí, a to hmoty, tuhosti a tlumení.

Jednotlivé složky třecího materiálu, opěrné desky, disku, třmenu, náboje kola, držáku náboje, uchycení třmenu, díly odpružení a kola kompletně smontované, vytvářejí komplexní dynamický celek.

V konstrukci brzd je možnost vzniku hluku ovlivněna povahou třecích povrchů a především tlumením tohoto systému. Nejpoužívanější systém tlumení je protihluková destička, která má obvykle formu tenkého plátku z gumy nebo oceli, zaříznutého do profilu opěrné desky a přichyceného lepidlem nebo vymezujícími kolíky. V některých případech jsou jako zvukové fixace používány neohebné plátky. Tyto plátky se snaží o předejití hlučnosti kontrolou způsobu jakým je na destičku uplatňován tlak.

4. Nálitky

Nálitky na zadní straně opěrné desky jsou malé kovové výstupky, které zapadají do prohlubní v třmenu pístku, které jsou připojeny k mechanismu ruční brzdy. Automatické nastavení závisí na aretaci pístku. Výstupky brání pístku v rotaci. Když jsou destičky vyjmuty, pístek je rotací vrácen to těla brzdiče. Nálitky jsou také použity k upevnění hlukových vibračních spon pro indikaci opotřebení.

5. Držáky

Otvory v opěrné desce umožňují u některých typů správnou montáž brzdových destiček a držení v těle brzdiče. Zajišťují také správné usazení a zajištění proti náhodnému uvolnění brzdové destičky.

6. Drážka

Používání drážek se řadu let považovalo za opatření zvyšující účinnosti destičky funkcí samočištění. Mnoho výrobců automobilů však od požadavku drážkování odstoupilo, protože může snižovat charakteristiky, které jsou lépe měřitelné.

Několik pohledů na funkci drážek na destičkách:

- **Homogenita materiálu destičky** - drážky předcházejí vzniku středových zlomů a mohou pomoci omezit zdvihání okrajů destiček.
- **Odvod nežádoucích produktů** - drážky poskytují dostatečnou únikovou cestu pro uvolněné plyny a pryskyřice a mohou zásadním způsobem v některých případech ovlivnit počáteční charakteristiky ubývání destičky. Při vysokých teplotách může být ovlivněno vytváření kritických vrstev.
- **Hlučnost brzd** - drážky znamenají více předních okrajů, které mohou být zdrojem hluku. Drážky mění přirozený kmitočet destiček, což může ovlivnit potenciál hluku.
- **Efekt chlazení** - je u automobilových destiček zanedbatelný.
- **Efekt čištění** - je podobný jako "efekt chlazení".
- **Odvod vody** - může být užitečný pouze u motocyklů v nízkých rychlostech.
- **Stávající trend** - výrobci automobilů a brzd nezahrnují drážky do současného designu.

7. Nákrůžky

Otvory nákrůžků na opěrné desce zajišťují ochranu třecího materiálu před oddělováním se od opěrné desky. Tvar a rozmístění nákrůžků musí respektovat tuhost destičky ve vztahu k pístku. V takových zvláštních případech jako závodní brzdové destičky, či destičky pro těžká zařízení je nutné vyprojektovat nejen tvar opěrné destičky, ale vzít v úvahu i charakteristiku třecího materiálu.

8. Pružiny

- **Protivibrační** - může být připojena k opěrné desce, být přichycena na opěrnou desku nebo připevněna ke třmenu. Alternativním způsobem je ocelová vymežovací pružina.
- **Vratná** - funkcí této pružiny je udržovat blízky kontakt s pístkem nebo tělem brzdíče.

9. Zkosení hran

Obecně se vztahuje k náběhovým nebo zadním okrajům brzdové destičky. Užívá se v určitých případech k modifikaci geometrie dotyku destičky, aby byl ovlivněn:

- **Sklon k hlučnosti** - sražení náběhové hrany upravuje oblast, která může způsobit hluk brzd;
- **Sklon k vibracím** - sražení hran zmenšuje oblast dotyku, která ovlivňuje vznik teploty na protilehlých stranách destičky a brzdového disku.

10. Podkladová vrstva

Podkladová vrstva může být podobná materiálu destičky a pod krycím nátěrem obvykle nemůže být vidět, pokud destička není značně opotřebována. Obecně se používá pokud:

- Opěrná deska potřebuje zvýšit integritu ve vztahu k tření.
- Polokovové destičky přenášejí více tepla, než konvenční destičky. Začlenění podkladové vrstvy může snížit přenos tepla na opěrnou desku (či na celý brzdový mechanismus).
- Je třeba snížit hluk visko-elastickým tlumícím efektem.
- Je třeba zlepšit tvrdost třecího materiálu pružnou podkladovou vrstvou.

11. Lepidla

Lepidla obecně jsou tepelně vytvrzující pryskyřice nebo guma, založené na slučitelnosti s komponenty brzdových materiálů. Lepidlo je aplikováno na destičku nesoucí třecí segment ve formě roztoku založeném na ředidle nebo vodě. Tato vrstva se nechá zaschnout v přesné vrstvě dříve, než plně vytvrdí. Vytvrzení zabraňuje měknutí lepidla, a proto musí být čas a teplota tvrzení přesně dodrženy.

12. Indikátor opotřebení

Mechanický (hluková vibrační spona) - ty se vyrábějí z pružinové oceli, obvykle jsou přinýtovány k opěrné desce a umístěny tak, že když se destička opotřebuje na projektované minimum, konec spony přijde do kontaktu s brzdovým kotoučem v pravém úhlu ve směru pohybu kotouče. V tu chvíli dojde k vyvolání vibrační typu, proti kterému je brzdový systém konstruován. Délka, hmota, tuhost a nedostatek tlumení jsou projektovány pro dosažení vibrace na slyšitelném kmitočtu. Indikátory opotřebení jsou obvykle umístěny na destičku nebo destičky, které vykazují rychlejší opotřebení. Mohou být umístěny na jedné destičce nebo na obou současně. Pokud není vadný třmen, je opotřebení obvykle rovnoměrné, takže i jeden indikátor je spolehlivý.

Elektrický - nejjednodušší formou je **jednoduchý drát** zapuštěný do okraje destičky. Dotyk s brzdovým kotoučem sepne okruh s uzemněním vozu a zapne varovné světlo na palubní desce vozu. Konec vodiče je běžně izolován, aby se předešlo vodivému propojení prostřednictvím polokovového materiálu. Alternativní konstrukce používají **dvojitý drát**, který tvoří obvod kolem plastového jádra připojeného buď k okraji destičky nebo zapuštěného skrz

opěrnou desku do třecího materiálu. Pokud dojde k přerušení drátu, vada bude zaznamenána na přístrojové desce vozu. [8]

3.7.2 Opotřebení brzdových destiček

1. Denaturování – částečně spálený třecí materiál

Příčinou je dlouhodobé přehřátí destiček díky intenzivnímu brzdění nebo dlouhému přibrzdování.

2. Destičky opotřebené do klínu – nepravidelné opotřebení, klínovitý tvar

Příčinou tohoto druhu opotřebení je deformovaný brzdíč, váznutí kluzných ploch brzdíče, pístu nebo nadměrná vůle brzdíče. Následuje předčasné opotřebení, nerovnoměrný brzdový tlak, hlučnost, pískání.

3. Opotřebení destiček – třecí materiál kompletně opotřeben

Kompletně opotřebeného třecího materiálu se dosáhne v případě, že se pravidelně neprovádí kontrola opotřebení destiček. Toto se projevuje tak, že vozidlo může táhnout k jedné straně, dále poškozením kotouče, pískáním a hlučností při brzdění nebo sníženou účinností brzd.

4. Kovové částčky na povrchu destiček

Tento způsob je častý při vniknutí vody na horký kotouč (při prudkém ochlazování dochází k vytrhávání částček z jeho povrchu a jejich ulpívání na povrchu destiček). Může se to stát i při prudkém brzdění nebo špatně zajištěném kotouči. Nemá vliv na účinnost brzdové soustavy, ale může způsobit poškození kotouče nebo tzv. pískání.

5. Znečištění povrchu

Třecí materiál je znečištěn mazacím olejem nebo brzdovou kapalinou. Příčinou může být např. vytékající tlumič pérován. Vozidlo pak může táhnout k jedné straně, čímž se snižuje účinnost brzdění.

6. Nepravidelné opotřebení

Nepravidelně opotřebený povrch třecích ploch destiček nebo povrch kotouče způsobuje chvění a pískání.

7. Prasklé destičky – malé praskliny ve středu destičky

Praskliny vzniklé ohybem destičky bývají příčinou toho, že destička není volná na kluzných plochách brzdíče.

8. Glazura

Způsobuje dočasné snížení účinnosti brzd. Projevuje se opakujícím se krátkodobým působením vysokých teplot.

Cituji:

Hlučnost, která se projevuje pískáním, se objevuje během brzdění při nízkých rychlostech a malých ovládacích silách. Při omezeném provozním tlaku v brzdovém systému se pracovní plochy destiček a kotoučů dostávají do kontaktu pouze v jednotlivých bodech, které tvoří pouze malou část povrchu třecího segmentu brzdové destičky.

Pružná deformace uvnitř třecího materiálu destiček spolu s částečným kontaktem třecích ploch vytváří nestabilitu systému, který se snadno dostává do vibrací. Vibrace musí

být eliminovány vhodnými absorpčními strukturami. Pokud tyto chybí, dosahují vibrace frekvencí, které se dostávají do interference s hodnotami rezonance jednotlivých komponentů. Výsledný efekt tohoto jevu zní jako pískání. Vliv na vznik rezonancí má vliv konstrukce celého brzdového systému.

Pískání brzd, které se projevuje u mnoha typů brzdových systémů a jehož odstranění řeší téměř všechny renomované firmy, vzniká vibrací mezi třecím segmentem (jeho kovovou deskou) a dosedací plochou na pístu. Výrobce automobilů Škoda řeší tento problém použitím brzdových destiček s nalepenou protivibrační folií na vnější straně kovové plochy třecího segmentu. [2]

3.8 BRZDOVÁ KAPALINA

Cituji: Brzdová kapalina je základní element pro přenos síly mezi hlavním brzdovým válcem a brzdovými válci na kolech. Kapalina musí mít určité vlastnosti dané výrobcem vozidla, proto je nutné používat pouze uvedenou brzdovou kapalinu.

Brzdová kapalina má určité vlastnosti, pro které je nenahraditelná jinou kapalinou, je nestlačitelná, působí jako inhibitor koroze, má vysoký bod varu (nad 200°C), ale bohužel také pohlcuje vodu. Pohlcování vody a následné snížení bodu varu je také důvod, proč je životnost kapaliny omezena na rok nebo na dva podle výrobce, poté je nutno ji kompletně vyměnit. [5]

Cituji: Brzdová kapalina musí být chemicky neutrální, nesmí působit korozivně na kovové části brzdového systému a chemicky na pryžová těsnění. Obvykle se vyrábí na *bázi alkoholu*. Nejčastěji je to glykol a glykoléterové směsi se speciálními přísadami. V zásadě splňují požadavky na ně kladené a v mnoha případech je i překračují. Jsou ale silně hygroskopické (pohlcují vzdušnou vlhkost) a při delším působení mohou narušovat lakované povrchy.

Vlhkost se do brzdové kapaliny dostává odvzdušňovacími otvory ve vyrovnávací nádobce a brzdách. Pohlčováním vlhkosti se vlastnosti kapaliny zhoršují, protože již při poměrně nízké teplotě se v ní mohou tvořit bublinky vodních par, což může vést i k selhání brzd. Bod varu brzdové kapaliny, která obsahuje 3,5% vody, je asi 140 – 160°C. [1]

Cituji: Brzdové kapaliny jakosti DOT3, DOT4 a DOT5 a jejich vlastnosti:

	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	

Pozn. : Kapaliny jakosti DOT 4 mají ve skutečnosti obvykle bod varu kolem 270 °C.. [7]

4. VÝVOJOVÉ TENDENCE KOTOUČOVÝCH BRZD



Obr. 4.1 Kotoučová brzda [16]

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

V blízké době ovšem nemůžeme očekávat závratný vývoj kotoučové brzdy. Jízdní vlastnosti mechanické brzdy s automatikou couvání a komfort ruční brzdy, kotoučová brzda ještě dlouho nedosáhne. Stejně tak nemůžeme očekávat použití např. elektromagnetické brzdy. Vývoj směřuje spíše do oblasti materiálů, a to snahou zajistit vysokou životnost brzdového systému. Dále je velice důležitá efektivita brzdového účinku – je nutné, aby brzdy byly dobře chlazené apod.

U osobních automobilů, které jsou již svou podstatou laděny sportovně (Porsche, Ferrari, Audi apod.) používají výrobci keramické brzdy (vysoce odolné proti korozi) nebo karbonové brzdy, které jsou v současnosti naprostou špičkou.

4.1 KERAMICKÉ KOTOUČOVÉ BRZDY

Cituji: Keramické brzdy jsou vyráběny z tzv. kompozitu – uhlíkovými vlákny zpevňovanému keramickému materiálu, v němž má největší podíl karbid křemíku při vypékání ve vakuu vynikající vysokou odolností proti otěru. V současnosti patří mezi špičky mezi kotoučovými brzdami.

Životnost keramických brzd činí při běžném používání vozu až 300 000 km, což je asi čtyřikrát více, než kolik lze očekávat od konvenčních ocelových brzd. Úbytek tloušťky keramického brzdového kotouče činí během celé jeho životnosti jen asi 0,5 mm. Keramické brzdy jsou také naprosto odolné vůči korozi.

K největším výhodám keramických brzd patří vedle čtyřnásobné životnosti oproti konvenčním ocelovým kotoučům především vyšší brzdový výkon a odolnost proti vadnutí, čili snižování brzděného účinku při několikanásobném intenzivním zpomalení.

Ke zvýšení komfortu i stability jízdy vozu s keramickými brzdami přispívá i jejich asi o 50 procent nižší hmotnost, takže nižší je i takzvaná neodpružená hmotnost. [12]

Cituji: Domovem keramických brzd je továrna Porsche ve Stuttgartu. Kromě Porsche bylo toto řešení použito např. u některých vozů Mercedes Benz, Ferrari, Bugatti či nověji luxusních vozů Audi.

Pozn.: U Mercedesu se vysoce výkonné „C brzdy“ poprvé objevily na studii vozu SLR Vision v roce 1999. U sériově vyráběného vozu určeného pro provoz na běžných komunikacích byly poprvé použity v limitované sérii luxusního sportovního coupé CL 55 vytvořeného firmou AMG, a posléze nabízeny jako příplatkové vybavení zájemců o modely S a CL. Audi je zařadilo jako doplňkové vybavení u řady A8 W12 v roce 2005. [13]



Obr. 4.2 Keramické brzdy montované do vozů Porsche [13]



Obr. 4.2 Keramické brzdy firmy Brembo [18]

4.2 KARBONOVÉ BRZDY

Cituji: Karbonové brzdy resp. kotouče, jsou nepochybně jednou z těch správných cest, jak výrazně zvýšit brzdový výkon, čehož klasickým případem jsou především vozy Formule 1. Schopnost zpomalení vozu s karbonovými brzdami je naprosto úžasná. Brždění z rychlosti 340 km/hod na 80 km/hod, se odehrává na vzdálenosti menší než 100 metrů. Pro srovnání je možno uvést, že akcelerace 0 – 160 km je u těchto špičkových monopostů zhruba kolem 6 sekund.

Protože kvalita karbonových brzd je nesporná, nabízí se otázka, jak je to s využitím pro vozidla v běžném provozu. Pochopitelně, že mnoho tuningových firem tuto extra úpravu nabízí. Montáž je dokonce prováděna i přímo v prvovýrobě na zvláštní přání u vozů Porsche a Mercedes. To vše je ale minimum případů a k výraznějšímu rozšíření zatím nedošlo.

Kromě vysoké ceny jsou zde totiž i určité technické obtíže. Jedním z těchto problémů jsou provozní teploty. Ačkoliv třecí vlastnosti karbon-karbon jsou naprosto fantastické a dokáží vyvodit zpomalení 2,5g, brzdy bohužel začínají účinně fungovat až od 300°C nahoru. V situaci, kdy klasická konfigurace ocelový kotouč – brzdové obložení začíná „vadnout“ (tj. kolem 600°C), jsou karbonové brzdy právě v tom „nejlepším“. Jejich optimální pracovní teplota je totiž v rozmezí 400 - 600°C, nicméně dokáží zvládnout bez potíží i 1200°C. A zde je hlavní kámen úrazu.

Pomineme-li fakt, že tepelné namáhání ostatních sériových částí podvozku i komponentů brzdového mechanismu by bylo neúnosné, zůstává hlavní potíží především v provozní teplotě. Při běžné jízdě, a to zejména v městském provozu nemůže v žádném případě dojít k zahřátí brzd natolik, aby dosáhly alespoň minimální potřebné hodnoty.

V této situaci jsou pak ale brzděné vlastnosti naprosto nedostatečné a vozidlo tudíž mnohem méně ovladatelné než v případě klasických brzd. Karbonové brzdy představují bez debaty naprostou špičku v oblasti brzděných výkonů. [14]

Pozn: Montáž je prováděna na zvláštní přání u vozidel Porsche, Mercedes, Ferrari apod. K výraznějšímu rozšíření zatím nedošlo

5. TABULKA SROVNÁNÍ BRZD

SPORTOVNÍ VOZY A VOZY PRO BĚŽNOU JÍZDU

Typ vozu	Brzdy	Třmen - vpředu	Třmen - vzadu	Poznámka
Ferrari Enzo	Karbon-keramické brzdy Karbonový kotouč s vnitřním chlazením	Šestipístový	Čtyřpístový	Kotouče o 12 kg lehčí, než ocelové
Audi A8	Keramické kotoučové brzdy Keramický kotouč	Šestipístový	Šestipístový plovoucí	Úbytek kotouče 0,5 mm za dobu životnosti
Audi A4 (mimo vozy RS)	Kotoučové brzdy Ocelový kotouč	Čtyř-šestipístový plovoucí s vnitřním chlazením	Čtyř-šestipístový	
Porsche	<i>Sériová výroba:</i> Kotoučové brzdy Ocelový kotouč <i>Za příplatek:</i> Keramické kotoučové brzdy Keramický kotouč	Čtyřpístový s vnitřním chlazením (křížem vrtaný)	Čtyřpístový s vnitřním chlazením (křížem vrtaný)	Keramický kotouč o 17 kg lehčí, než ocelový
BMW Z4 Roadster 2,2l	Keramické brzdy Ocelový vrtaný kotouč	Šestipístový s vnitřním chlazením	Čtyřpístový	
Škoda Octavia Tour 1,8T/100 KW	Kotoučové brzdy Ocelový kotouč	Jednopístový plovoucí s vnitřním chlazením	Jednopístový	
Škoda Octavia Tour 1,6/75KW	Kotoučové – bubnové brzdy Ocelový kotouč	Jednopístový plovoucí s vnitřním chlazením	Buben	
Škoda Felicia	Kotoučové – bubnové brzdy Ocelový chlazený kotouč	Jednopístový plovoucí	Buben se dvěma nastavitelnými čelistmi	
Peugeot 206	Kotoučové brzdy Ocelový kotouč	Jednopístový s vnitřním chlazením	Jednopístový	
Peugeot 207	Kotoučové brzdy, možná i kombinace s bubnovými brzdami Ocelový chlazený kotouč	Jednopístový s vnitřním chlazením	Jednopístový nebo buben	

Robustní a hmotný kov nebo lehká, ale velmi nákladná keramika? Zájemci o dražší vozy stojí před nelehkou volbou. Stojí za to si připlatit?

Sportovní vozy typu Ferrari, Porsche apod. jsou velmi výkonné, a proto jsou na ně kladeny vysoké nároky. V motoristickém sportu klasickým kovovým brzdovým kotoučům dávno odzvonilo. Na výsluní se prodral karbon a dále se do nich montují keramické brzdy (odolné proti korozi, s nižší hmotností, méně se opotřebovávají atd.).

Vozy určené pro běžný provoz si pořizuje většina populace, oproti sportovním vozidlům nemají takové jízdní vlastnosti a nejsou tak namáhány. Velkou roli zde hraje i cena. Ne každý si může dovolit nákladnou keramiku. Do těchto vozidel se montují většinou

kotoučové brzdy s ocelovými kotouči. Automobily s bubnovými brzdami na zadní nápravě se vzhledem k přehřívání při dlouhém brzdění nahrazují výkonnějšími kotoučovými brzdami. Kotoučové brzdy netrpí tzv. „vadnutím“ a dnes se montují téměř do všech výkonnějších automobilů střední kategorie na všechny čtyři kola.

Malé kotouče také vycházejí z módy a jsou nahrazeny velkými (průměr 200 - 300 mm a výše), nejlépe vrtanými kotouči nebo kotouči s frézovými drážkami, které svírají čtyř a více pístové třmeny. Brzdící účinek třeba i staršího vozu se razantně zvýší, a z toho vyplývá kvalitnější bezpečnost.

5. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo zpracovat přehled konstrukčních řešení kotoučových brzd u osobních automobilů, nepoužívanější systémy v současnosti a vývojové tendence.

Kotoučová brzda je třecí brzda, kde se třecí síly vytvářejí mezi částmi upevněnými k pevné části vozidla a plochami jednoho nebo několika kotoučů. V současné době je to vyzrálá a bezpečnostně spolehlivá konstrukční součást vozidla.

Tyto brzdy prošly velkým vývojem a jsou používány od cyklistiky až po letectví. Požadavky u osobních automobilů a např. sportovních či užitkových vozidel jsou velmi rozdílné, a proto výhody kotoučové brzdy neplatí neomezeně pro každý typ vozu. Je proto nutné navrhovat materiály, kotouče, brzdové destičky a zajišťovat efektivitu brzdového účinku s ohledem na typ, hmotnost a užití vozu.

U osobních automobilů jsou tyto brzdy konstruovány většinou na přední nápravě (v kombinaci s brzdami bubnovými na zadní nápravě) a u moderních výkonnějších vozů jsou použity na přední i zadní nápravě. Na sportovní a závodní vozidla jsou kladeny vyšší nároky, než do běžného provozu, a proto jsou do těchto vozidel montovány brzdy keramické (vysoce odolné proti korozi) či brzdy karbonové, které jsou v současnosti naprostou špičkou.

Seznam použité literatury

VLK,F: Podvozky motorových vozidel. ISBN 80-238-6464-X, Nakladatelství VLK, Brno 2006.

Zdeněk, J. ; Ždánský B: Automobily 1. Podvozky. Nakladatelství Avid s. r. o. Brno 2004

Váňa P. Škoda techweb [online]. 2001 [citováno 27. 09. 2007].
Dostupné z www: <<http://skoda.panda.cz/clanek.php3?id=312>>

Temposervis. Technický rádce. [online]. 2004 Dostupné z www: <<http://www.temposervis.cz/Magic93Scripts/mgrqispi93.dll?APPNAME=TIP&PRGNAME=Brzdy1&Sid=2004092719201275228698733>>

T+T Technika a trh. [online]. 2005 [citováno 8. 8. 2005]. Dostupné z www:
<http://technika.ccb.cz/index.php?sec=rubrika&id_rubrika=36&start=49>

Vosátka, J. [online]. 2005 [citováno z roku 2005]. Dostupné z www:
<<http://www.skodaoctavia.cz/motornavody/18Turbo110KW.htm>>

Rádce, spol. s. r. o. [online]. 2007 [citováno 14. 2. 2007]. Dostupné z www:
<<http://www.samuraj.cz/clanek/723--ferrari-enzo---limitovana-serie-supersportaku.html>>

Tuning.cz. [online]. 2003 [citováno 19. 8. 2003]. Dostupné z www:
<<http://www.tuning.cz/a356:peugeot-206-rc/>>

Showyourcar.cz. [online]. 2007 [citováno z roku 2007]. Dostupné z www:
<<http://www.showyourcar.cz/cz-texty-45.html>>

Computer press a. s. [online]. 2006 [citováno 4. 6. 2006]. Dostupné z www:
<http://www.autorevue.cz/default.aspx?article=7895>

Seznam citací

- [1] Zdeněk, J. ; Ždánský B: Automobily 1. Podvozky. Nakladatelství Avid s. r. o. Brno 2004
- [2] VLK,F. Podvozky motorových vozidel. ISBN 80-238-6464-X, Nakladatelství VLK, Brno 2006.
- [3] Brabec,P. ; Malý M. ; Voženílek R. Technická univerzita v Liberci [online]. 2002 [citováno z roku 2007].Dostupné z www:
<<http://www2.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2002/Analyza%20trmenu%20kotoucove%20brzdy.pdf>>
- [4] Kořenek, M. Projekty Sipvz: [online]. 2006 [citováno 12. 11. 2007]
Dostupné z www: <<http://projektysipvz.gytool.cz/ProjektySIPVZ/Default.aspx?uid=708>>
- [5] Váňa P. Škoda techweb [online]. 2001 [citováno 27. 09. 2007].
Dostupné z www: <<http://skoda.panda.cz/clanek.php3?id=312>>
- [6] Autodíly MJauto: [online]. Dostupné z www: <http://mjauto.cz/powerdisk.htm>
- [7] GSX-Roll: Brzdy: [online]. [citováno 19. 05. 2007]. Dostupné z www:
<<http://www.gsxr.wz.cz/brzdy.htm>>

- [8] Štěpánková, P. Vepa. [online]. 2001 [citováno z roku 2001].
Dostupné z www: <<http://vepa.prodejce.cz/>>
- [9] Wikipedie. Otevřená encyklopedie. Kotoučová brzda. [online]. 2007 [citováno 19. 05. 2007].
Dostupné z www: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Kotou%C4%8Dov%C3%A1_brzda>
- [10] Referaty-seminarky.cz. [online]. 2006 [citováno 12. 11. 2007]. Dostupné z www: <<http://referaty-seminarky.cz/brzdy-a-vse-jak-zastavit-vozidlo/>>
- [11] Štěrbá, P. Šidlo, P. Knihovna příkladů z MKP. Třmen kotoučové brzdy [online]. 2001 [citováno 10. 1. 2007]. Dostupné z www: <<http://mechanika.fsid.cvut.cz/old/pme/examples/brzda/index.html>>
- [12] Vacek, M. Auto moto speciál. [online]. 2006 [citováno 16. 03. 2006].
Dostupné z www: <http://www.part.cz/part/buxus/generate_page.php3?page_id=452>
- [13] Ihned.cz. [online]. 2007 [citováno 12. 02. 2007].
Dostupné z www: <http://ihned.cz/1-10015290-20387380-000000_mail-c6>
- [14] Růžička, B. Autorevue.cz [online]. 2001 [citováno 21. 09. 2001]. Dostupné z www: <<http://www.autorevue.cz/default.aspx?section=48&server=1&article=814>>
- [15] Anima Publishers, s.r.o. [online]. 1997 - 2008 . Dostupné z www: <<http://www.auto.cz/main.php?site=slovník&akce=pojmem&id=164>>
- [16] Showyourcar.cz. [online]. 2007 [citováno z roku 2007]. Dostupné z www: <<http://www.showyourcar.cz/cz-texty-45.html>>
- [17] D&M autodoplňky s.r.o. [online]. 2007 [citováno z roku 2007]. Dostupné z www: <<http://pontiac.autodoplňky.cz/galfer-predni-sportovni-brzdove-kotouce-rada-dft-s2352450>>
- [18] Distribuce Brembo racing. [online]. 2007 [citováno z roku 2007]. Dostupné z www: <http://www.renovak.cz/brembo_web/brembonew.htm>