

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: 2301R016 Dopravní a manipulační technika

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vozidlové třecí brzdy, jejich materiály a brzdové kapaliny

Autor: **František Kopecký**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Ladislav Němec, CSc.**

Akademický rok 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **František KOPECKÝ**
Osobní číslo: **S14B0058K**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**
Název tématu: **Vozidlové třecí brzdy, jejich materiály a brzdové kapaliny**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

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

Základní požadavky:

Proveďte rešerši třecích brzd obecně, vozidlových třecích brzd, odlehčovacích brzd a brzdových soustav. Porovnejte jednotlivé vlastnosti dvou základních typů vozidlových třecích brzd. Analyzujte provozní problematiku třecích brzd v oblastech: materiály třecích elementů, vznik tepla a jeho odvádění. Nadále specifikujte vlastnosti, druhy a životnost brzdových kapalin a základní technické požadavky, které jsou na ni kladeny. Proveďte konstrukční návrh stanovené komponenty třecí brzdy.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Úvod do problematiky třecích brzd
2. Analýza vlastností materiálů a kapalin třecích brzd
3. Konstrukční návrh určené komponenty třecí brzdy
4. Závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **30-40 stran A4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

VLK, F. Podvozky motorových vozidel. Brno: Vlk, 2006

NOVÁK, J. Brzdy. Praha: NADAS, 1969

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. Příručka strojího inženýra 1.. Brno: Computer Press, 1999

Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Ladislav Němec, CSc.**

Katedra konstruování strojů

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Jan Roubal**


Expert z praxe

Datum zadání bakalářské práce: **22. září 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce: **26. června 2015**


Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
děkan




Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 22. září 2014

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Kopecký	Jméno František	
STUDIJNÍ OBOR	Dopravní a manipulační technika		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Němec, CSc.	Jméno Ladislav	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Vozidlové třecí brzdy, jejich materiály a brzdové kapaliny		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2015
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	42	TEXTOVÁ ČÁST	42	GRAFICKÁ ČÁST	6
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Práce se zabývá rozdělením nejčastěji používaných vozidlových třecích brzd, druhy brzdových soustav, třecími materiály a brzdovými kapalinami. Nadále práce obsahuje porovnání dvou základních typů vozidlových třecích brzd a jejich provozní problematiku v určitých daných oblastech. V závěru práce je navržen model stanovené komponenty třecí brzdy s výrobní dokumentací, která se nachází v příloze této práce.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>tření, třecí brzdy, materiály třecích brzd, brzdové kapaliny, odvod tepla, provozní problematika, vzduchové brzdy, model.</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Kopecký	Name František	
FIELD OF STUDY	Transport and handling machinery		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Němec, CSc.	Name Ladislav	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLÓMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Vehicle friction brakes, friction materials and brake fluids		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KKS	SUBMITTED IN	2015
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	42	TEXT PART	42	GRAPHICAL PART	6
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The work deals with distribution of the most commonly used vehicle friction brakes, types of brake systems, friction materials and brake fluids. Then the work includes a comparison of the two basic types of vehicle friction brakes and operational issues in specified areas. In the end of the work, there is proposal of friction brake components with drawings, which is located in the Appendix to this report.
KEY WORDS	Friction, friction brakes, Materials of friction brakes, brake fluid, heat dissipation, operational issues, air brakes, model.

Obsah

1. Tření.....	3
1.1 Vznik tření	3
1.2 Rozdělení tření.....	3
1.2.1 Rozdělení tření podle pohybu.....	3
1.2.2 Rozdělení tření dle mazání.....	4
1.3 Vyjádření tření	5
2. Konstrukční provedení brzd	6
2.1 Funkční princip brzd	6
2.2 Přímočinné brzdové soustavy	7
2.2.1 Přímočinné brzdové soustavy s mechanickým převodem	8
2.2.2 Přímočinné brzdové soustavy s kapalinovým převodem.....	8
2.2.3 Přímočinné brzdové soustavy s kapalinovým převodem a podtlakovým posilovačem	9
2.2.4 Vzduchové (pneumatické) brzdy.....	10
2.2.5 Vzducho-kapalinové (pneumaticko-hydraulické) brzdy.....	11
2.3 Druhy brzd	11
2.3.1 Bubnové brzdy.....	11
2.3.2 Kotoučové brzdy.....	13
2.4 Chlazení třecích brzd	15
2.5 Srovnání vlastností bubnových a kotoučových brzd.....	17
3. Druhy třecích materiálu brzd a brzdové kapaliny	18
3.1 Problematika třecích materiálu brzd	18
3.2 Druhy třecích materiálů pro brzdy bubnové	19
3.3 Druhy třecích materiálů pro brzdy kotoučové.....	21
3.4 Brzdové kapaliny.....	25
3.5 Základní požadavky na brzdnou kapalinu.....	26
3.6 Vlastnosti brzdových kapalin	26
3.7 Druhy brzdových kapalin	26
3.8 Životnost brzdových kapalin	27
4. Provozní problematika brzd	28
4.1 Ovlivňování kotoučů a bubnů teplem vznikající při brzdění	28
4.2 Ovlivňování brzdové kapaliny teplem vznikající při brzdění	30

4.3 Měření obsahu vody v brzdové kapalině.....	30
4.4 Problematika vzduchových brzd při dlouhodobém a intenzivním brzdění	32
4.4.1 Výfukové odlehčovací brzdy	32
4.4.2 Motorové odlehčovací brzdy.....	32
4.4.3 Elektrodynamické odlehčovací brzdy.....	33
4.4.4 Hydrodynamické odlehčovací brzdy	34
5. Konstrukční návrh určené komponenty třecí brzdy	35
5.1 Model sestavy navrženého plovoucího třmene.....	36
5.2 Třmen brzdy.....	37
5.3 Píst	38
5.4 Odvzdušňovací šroub	39
5.5 Těsnící kroužek	40
5.6 Krycí protiprachová manžeta.....	40
6. Závěr	40
7. Přehled použité literatury	42

Přehled použitých zkratk a symbolů

Použité veličiny

Název veličiny	Označení veličiny	Použité jednotky
Třecí síla	F_t	N
Normálová síla	F_n	N
Součinitel smykového tření	f	-
Součinitel klidového tření	f_0	-
Rameno valivého odporu	ξ	m
Teplota	T	°C
Součinitel tepelné vodivosti	λ	W/mK

Použité zkratky

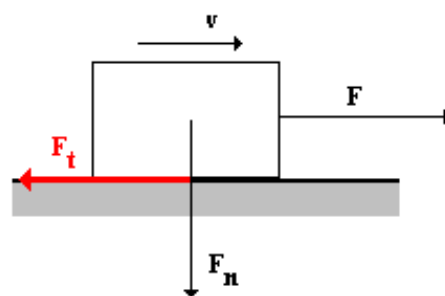
Význam zkratk	Zkratka
Anti-lock Brake System	ABS
Electronic Stability Program	ESP
Kinetic Energy Recovery System	KERS

1. Tření

Pojmem tření obvykle rozumíme vzájemné působení různých stýkajících se těles, které brání jejich relativnímu pohybu.

1.1 Vznik tření

Tření je jev, který vzniká při pohybu tělesa v těsném kontaktu s jiným tělesem. Většinou je třením míněno tření mezi pevnými tělesy, tření s kapalnými nebo plynnými tělesy se označuje jako odpor prostředí. U všech druhů tření vzniká síla, která je nazývána jako třecí síla a označujeme ji F_t . Její orientace směřuje právě podél povrchů stýkajících se těles, tzn. ve směru opačném ke směru rychlosti jejich relativního posunutí. Práce potřebná k překonání třecí síly se mění třením převážně v teplo.



Obr. 1: Tření na podložce [13]

F_t – třecí síla, F_n – normálová síla, F – síla způsobující pohyb tělesa po podložce.

Velikost třecí síly závisí na různých vlivech. Zejména na tvaru stykových ploch. Čím je plocha lépe obrobena, vyhlazena, tím je tření menší. Jako další vliv by se dal zařadit materiál těles, mezi kterými tření probíhá. Každý materiál má svoji hodnotu, kterou nazýváme součinitel tření, získávaný se měřením a je uvedena ve fyzikálních tabulkách. Liší se pro různé látky i různé druhy styčných ploch, např. drsných, hladkých a namazaných. Záleží ovšem také na druhu tření, které mezi pohybujícími tělesy probíhá.

1.2 Rozdělení tření

1.2.1 Rozdělení tření podle pohybu

Adhezní (přilnavé) tření

Nastane při pohybu tělesa po podložce (obr. 1). Síla F je přitom menší, nebo stejná jako třecí síla F_t . Má-li dojít k pohybu tělesa, musí se adhezní tření překonat, nebo změnit na jiné.

Platí tedy podmínky:

$$F_t \geq F, \quad v = 0$$

$$F_t < F, \quad v = x$$

Kluzné tření

Nastane při klouzání tělesa po podložce. Třecí síla F_t při kluzném tření je menší, než u adhezního tření, působí například mezi brzdovým kotoučem a brzdovým blokem.

Valivé tření

Nastane při odvalování tělesa po podložce. Valivé tření je podstatně menší než kluzné tření. Velikost třecí síly F_t , která vzniká při valivém tření, je určena materiálem tělesa, podložkou a formou jejich dotyku. Proto je valivý odpor například kuličkového ložiska, které má bodový dotyk, menší než u ložiska válečkového s přímkovým dotykem.

1.2.2 Rozdělení tření dle mazání

Suché tření

Součásti se vzájemně dotýkají. V dotykové ploše se nenachází žádná mazací látka. Při tomto tření dochází k uvolňování malých částeczek materiálu, tím vzniká otěr a následné nebezpečí zadření.

- Součinitel smykového tření: 0,1 až 0,2

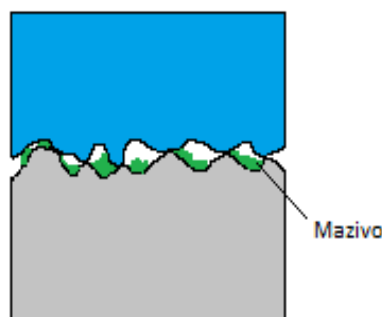


Obr. 2: Suché tření

Polosuché tření

Součásti se dotýkají částečně, protože jsou filmem mazací látky odděleny nedokonale. Toto tření se zejména objevuje mezi nosným povrchem ozubených kol převodovky. Snižuje se tak opotřebení a sklon k zadření.

- Součinitel smykového tření: 0,01 až 0,1

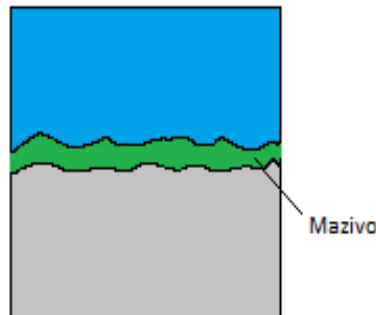


Obr. 3: Polosuché tření

Kapalinné tření

Jednotlivé součásti jsou od sebe odděleny filmem mazací látky, čili se vůbec nedotýkají a klouzají po sobě. Tření se odehrává v mazivu, tím vzniká malé opotřebení součástí a zvyšuje se účinnost stroje.

- Součinitel smykového tření: 0,001 až 0,01



Obr. 4: Kapalinné tření

1.3 Vyjádření tření

Smykové tření

Smykové tření (kinematické tření) je tření, které vzniká mezi tělesy při jejich posuvném pohybu.

Třecí síla F_t při smykovém tření má velikost:

$$F_t = f \cdot F_n$$

f - součinitel smykového tření
 F_n - normálová síla

Součinitel smykového tření je fyzikální veličina, která udává poměr třecí síly a kolmé normálové síly mezi tělesy při smykovém tření. Hodnoty součinitele smykového tření závisí na konkrétní dvojici látek na povrchu a drsnosti těles, mezi nimiž smykové tření probíhá. Je obvykle menší, než součinitel klidového tření. Smykové tření při velkých rychlostech se zmenšuje. Rozlišuje se smykové tření klidové (*statické*) a za pohybu (*kinematické*). Pro malé rychlosti lze závislost smykového tření na rychlosti zcela zanedbat a v takovém případě hovoříme o tzv. **suchém tření**.

Klidové tření

Klidové tření (statické tření) je tření, vznikající mezi tělesy, která se vzhledem k sobě nepohybují, jsou v klidu. Jedná se o speciální případ smykového tření.

Klidová třecí síla F_t má velikost:

$$F_t = f_0 \cdot F_n$$

f_0 - součinitel klidového tření
 F_n - normálová síla

Součinitel klidového tření je fyzikální veličina, která udává poměr třecí síly a kolmé normálové síly mezi tělesy při klidovém tření. Hodnoty součinitele klidového tření závisí na konkrétní dvojici látek na povrchu těles, mezi kterými je klidové tření.

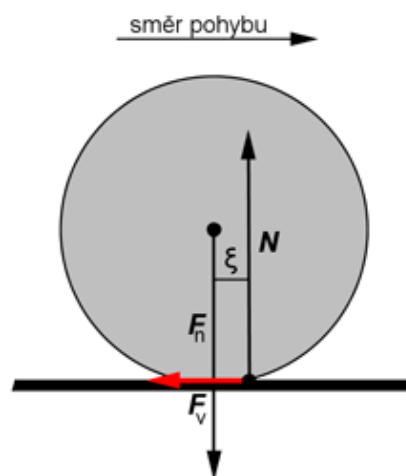
Valivé tření

Valivý odpor (valivé tření) je druh tření, které vzniká mezi tělesem kruhového průřezu při jeho valivém pohybu a podložkou.

Velikost valivého odporu F_v má velikost:

$$F_v = \xi \frac{F_n}{R}$$

ξ - rameno valivého odporu
 F_n - normálová síla
 R - poloměr průřezu tělesa



Obr. 5: Valivé tření [14]

F_v – valivý odpor, F_n – normálová síla, ξ – rameno valivého odporu, N – reakce vytvořena na sílu F_n .

Valivý odpor je pro stejnou přítláčnou sílu F_n výrazně menší než smykové tření. Rameno valivého odporu (součinitel valivého tření) je fyzikální veličina, která udává poměr velikosti valivého odporu a kolmé tlakové síly mezi tělesy (podložkou a kolem) při jednotkovém poloměru kola. Hodnoty ramena valivého odporu závisí na konkrétní dvojici látek těles, mezi kterými je valivý odpor.

2. Konstrukční provedení brzd

2.1 Funkční princip brzd

Brzdy u motorového vozidla zajišťují funkci, která má za následek snižování rychlosti pohybujícího se vozidla, k zastavení pohybujícího se vozidla, nebo k zajištění již stojícího vozidla. Brzdění vozidla se dosahuje zpravidla záměrně vyvolaným třením mezi rotujícími a pevnými částmi motorového vozidla, např. mezi brzdovým kotoučem a brzdovými čelistmi.

Tím se pohybová energie mění ve třecích částech v energii tepelnou, kterou je nutno odvádět chlazením, aby nedošlo k poškození brzd.

Zákonné předpisy brzd

Právní norma, kterou se řídí vývoj, výroba, prodej a provoz silničních motorových vozidel v ČR se nazývá:

Zákon o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích (Zákon č. 56/2001 Sb.)

Na jmenovaný zákon navazují 3 prováděcí vyhlášky, ze kterých, vyhláška označena č. 1) obsahuje zákonné předpisy brzd.

1) Vyhláška o schvalování technické způsobilosti a technických podmínek provozu vozidel na pozemních komunikacích.

Podle účelu můžeme rozdělit brzdy vozidel na:

- **provozní (nožní)**
Má obvykle nožní ovládání a slouží ke zpomalování jedoucího silničního vozidla nebo k zastavení při všech existujících režimech jeho jízdy.
- **parkovací (tzv. zajišťovací, ruční)**
Ovládání bývá většinou ruční, jejím úkolem je zabránit rozjetí stojícího vozidla jak na rovině tak také ve svahu.
- **odlehčovací**
Tato soustava umožňuje řidiči přímo i nepřímo ustálit nebo snížit rychlost vozidla, zejména při sjíždění svahu.
- **nouzová**
Tato soustava umožňuje řidiči, aby snížil rychlost vozidla nebo jej zastavil v případě selhání soustavy pro provozní brzdění.
- **samočinné**
Slouží k brzdění přípojného vozidla při jeho úmyslném nebo náhodném odpojení od tažného vozidla.

2.2 Přímočinné brzdové soustavy

Části brzdových soustav:

- **zdroj energie** – může být umístěn i mimo vozidlo. Zdroj energie může být i svalová síla řidiče
- **ovládací ústrojí** – části, které brzdy uvádějí do činnosti, impuls je předáván mechanicky, pneumaticky, hydraulicky nebo elektricky

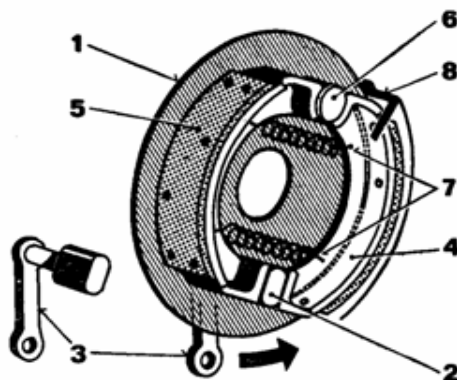
- **do činnosti se uvádí** – rukou, nohou (přímo); posilovač, strojní brzda (nepřímo); bez zásahu řidiče – změna tlaku (přípojná vozidla), porucha (pružinové válce) setrvačností nebo hmotností (nájezdová brzda)

Brzdové soustavy se dělí na :

- přímočinné brzdové soustavy s mechanickým převodem
- přímočinné brzdové soustavy s kapalinovým převodem
- přímočinné brzdové soustavy s kapalinovým převodem a podtlakovým posilovačem
- vzduchové (pneumatické) brzdy
- vzducho-kapalinové (pneumaticko-hydraulické) brzdy

2.2.1 Přímočinné brzdové soustavy s mechanickým převodem

Využívají se dnes výjimečně u některých parkovacích brzd osobních automobilů (příp. se využívaly i jako provozní brzdy motocyklů). Je to nejstarší řešení brzdové soustavy. Síla řidiče se přenáší na páky brzdových klíčů pomocí táhel nebo lanovodů. (viz obr. 6)



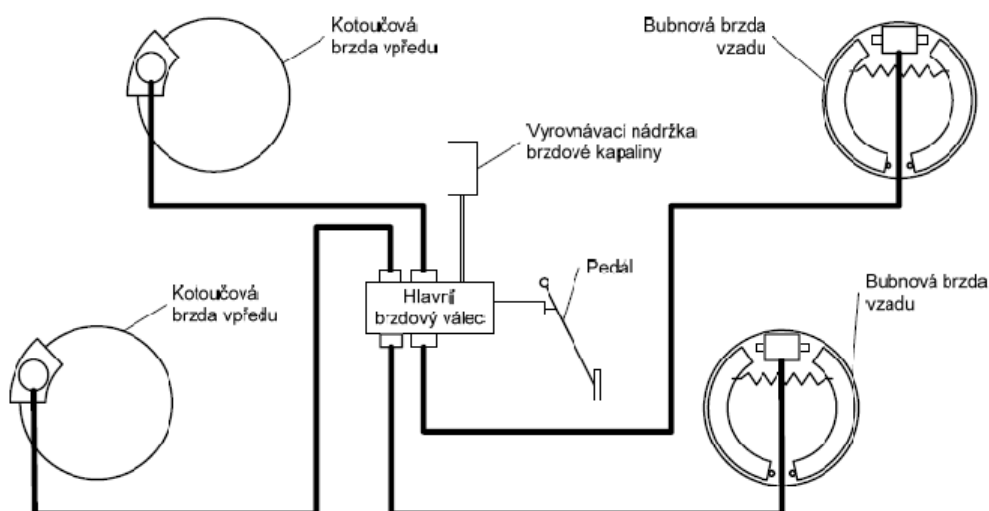
Obr. 6: Mechanická brzda [2]

Funkce:

Sešlápnutím pedálu se vyvine síla, která je přenášena lankem lanovodu na páku klíče brzdy (3). Klíč brzdy rozevře čelisti (4), které se svým obložení (5) přiblíží k brzdovému bubnu (8), začnou se o něj třít, a buben se začne zpomalovat. Protože je buben spojen s vozidlovým kolem, začne se snižovat rychlost vozidla.

2.2.2 Přímočinné brzdové soustavy s kapalinovým převodem

Přímočinné brzdové soustavy s kapalinovým převodem (kapalinové (hydraulické) brzdy) lze ještě dnes najít u osobních automobilů jako provozní brzdy (obr. 7). Síla řidiče se převádí jednoduchým hydraulickým převodem.



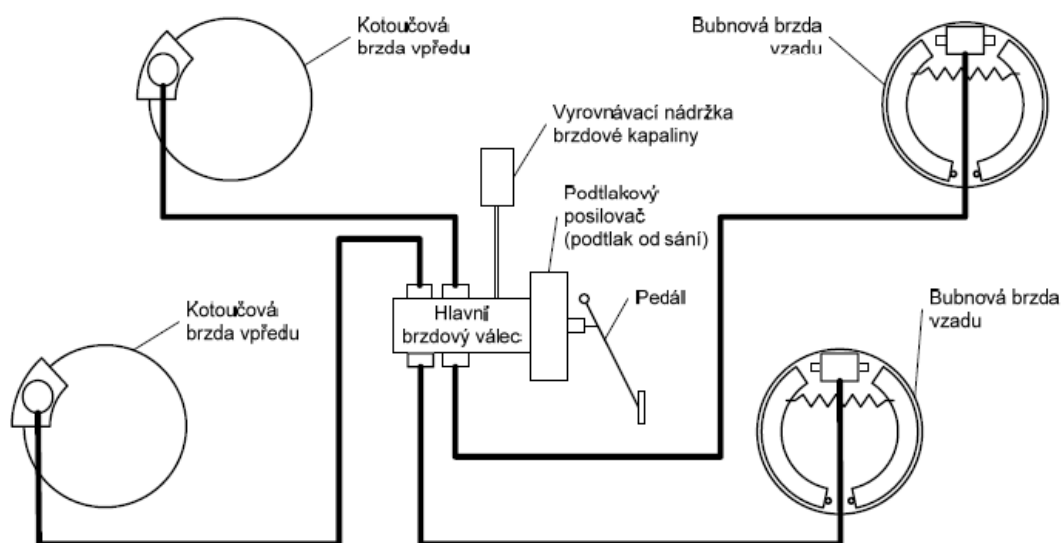
Obr. 7: Přímochinné brzdové soustavy s kapalinovým převodem, bez podtlakového posilovače [2]

Funkce:

Pohyb pedálu brzdy, působí na píst hlavního válce brzdy, který vytlačuje brzdovou kapalinu z válce a tlačí ji potrubím do brzdových válečků v kolech u bubnových brzd, nebo do třmenů brzd, u brzd kotoučových.

2.2.3 Přímochinné brzdové soustavy s kapalinovým převodem a podtlakovým posilovačem

Kapalinová brzdová soustava s podtlakovým posilovačem se dnes používá u všech soudobých osobních automobilů. Hydraulická část soustavy je rozdělena do dvou samostatných okruhů, kterou ovládá řidič pomocí brzdového pedálu (obr. 8)



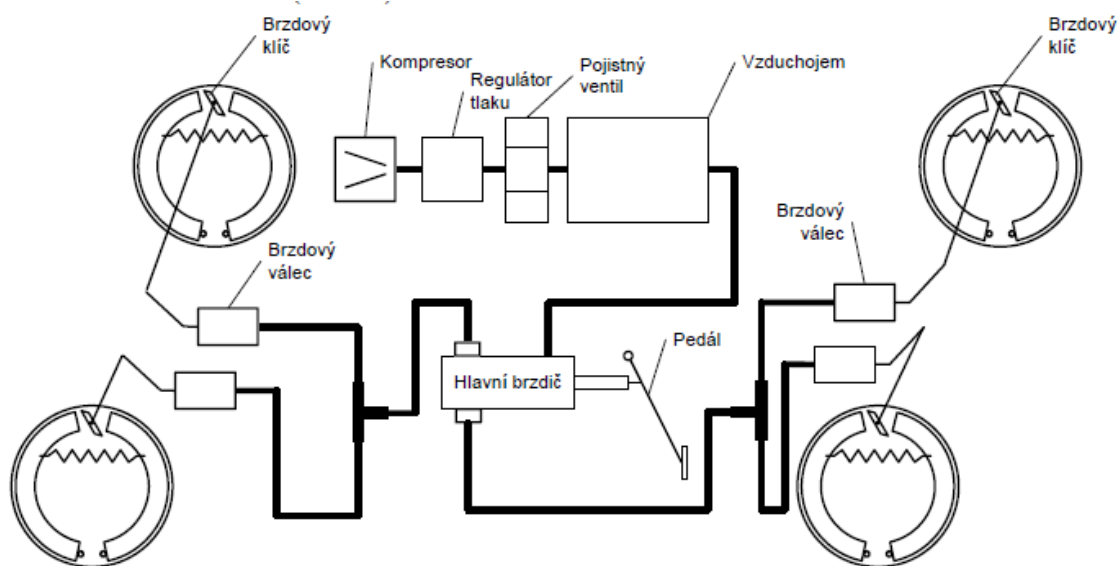
Obr. 8: Kapalinová brzdová soustava s podtlakovým posilovačem [2]

Funkce:

Funkce dané soustavy je stejná jako v soustavě v kapitole 2.2.2, s tím rozdílem že do této dané soustavy je zapojen podtlakový posilovač, který usnadňuje brzdění.

2.2.4 Vzduchové (pneumatické) brzdy

Vzduchové (pneumatické) brzdy se nejčastěji používají u středních a těžkých nákladních automobilů (obr. 9)



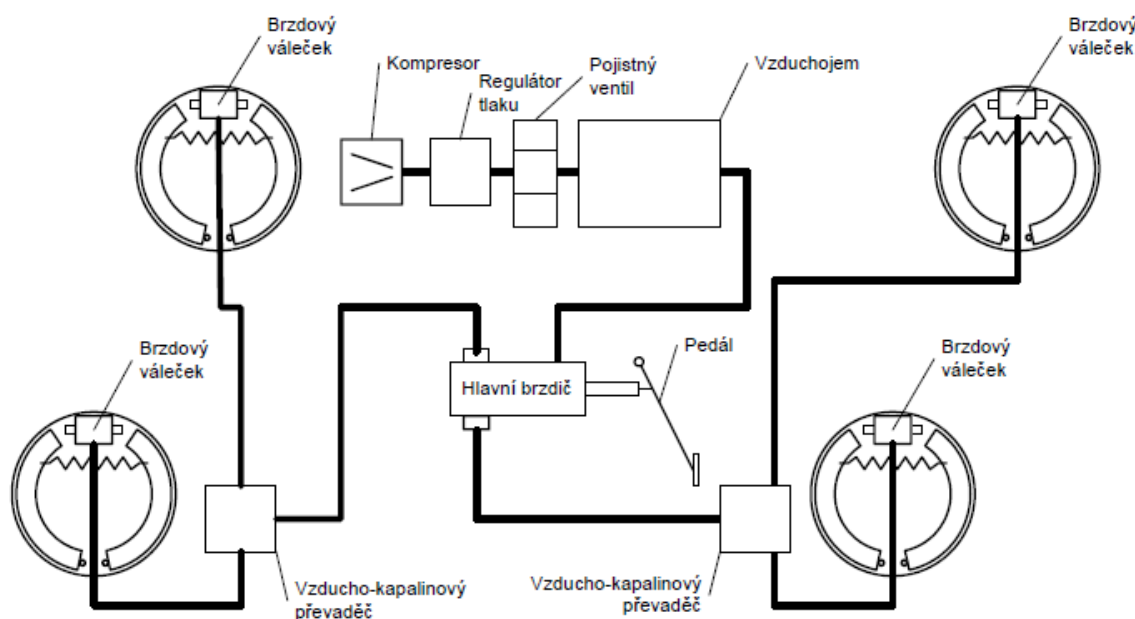
Obr. 9: Vzduchové (pneumatické) brzdy [2]

Funkce:

Vzduch je nasáván a vytlačován kompresorem, přes regulátor tlaku a vysoušeč vzduchu do pojistného ventilu. Regulátor tlaku zabraňuje překročení maximální hodnoty dovoleného tlaku (0,8 Mpa) tím, že vypustí přebytečný vzduch do atmosféry. Stlačený vzduch v soustavě pak vytváří brzdový účinek v brzdách přední a zadní nápravy. Brzdový účinek závisí na velikosti sešlápnutí pedálu. Čím více je sešlápnut, tím větší je tlak vzduchu v brzdových válcích brzd.

2.2.5 Vzducho-kapalinové (pneumaticko-hydraulické) brzdy

Vzducho-kapalinové brzdy se používají u nákladních automobilů a některých typů autobusů.



Obr. 10: Vzducho-kapalinové (pneumaticko-hydraulické) brzdy [2]

Funkce:

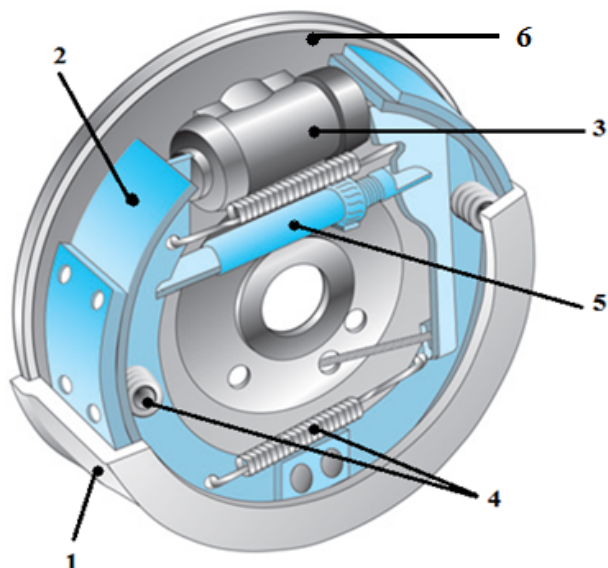
Využívají vzduchového ústrojí stejného jako brzdy pneumatické, na vlastních nápravách jsou však vzducho-kapalinové převaděče, kde se mění typ pracovního média z plynu na kapalinu. Rozvod tlakové kapaliny pokračuje z převaděčů do brzdových válečků na vlastních kolových brzdách.

2.3 Druhy brzd

- Bubnové brzdy
- Kotoučové brzdy

2.3.1 Bubnové brzdy

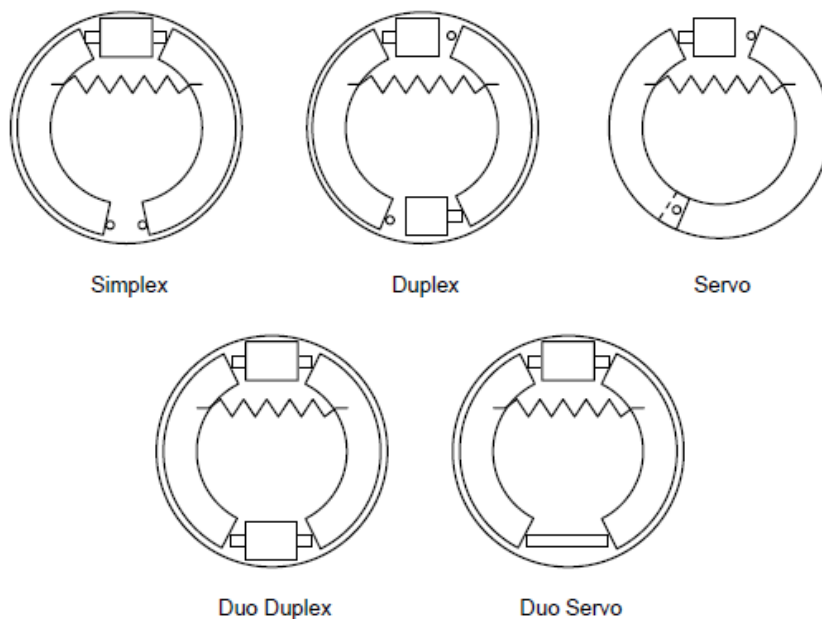
Bubnové brzdy se dříve používaly převážně jako brzdy zadních kol u osobních vozidel. Princip těchto brzd spočívá v tom, že brzdový buben je zde pevně spojen s rotující brzděnou součástí. Při brzdění jsou brzdové čelisti přitlačovány rozpěrným ústrojím na vnitřní plochu bubnu a tím vzniká tření, čímž se přeměňuje kinetická energie na energii tepelnou a vytváří se brzdná síla.



Obr. 11: Bubnová brzda

1- Brzdový buben, 2- Brzdová čelist, 3- Brzdový rozpěrný váleček, 4- Brzdové vratné pružiny, 5- Brzdová rozpěrná páka, 6- Štít brzdy.

Základní konstrukční provedení dle způsobu uložení a ovládní čelistí



Obr. 12: Bubnové brzdy rozdělení [2]

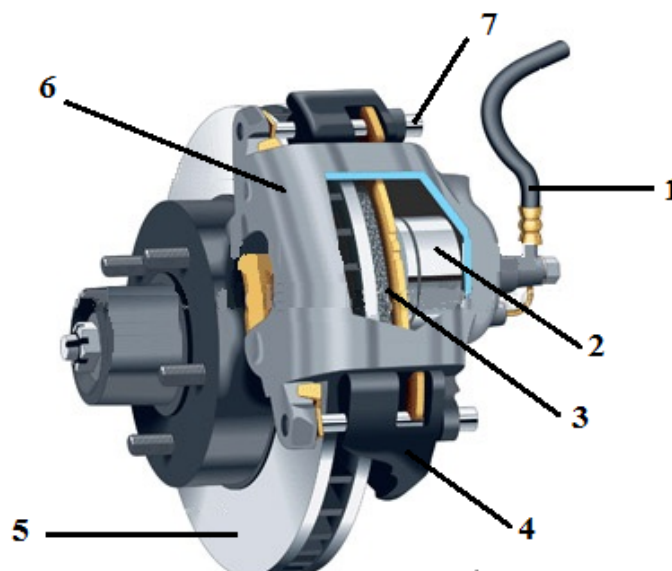
1. jednoduchá brzda (simplex), 2. dvojnáběžná brzda (duplex), 3. brzda se spřaženými čelistmi (servo), 4. dvojnáběžná brzda obousměrná (duo-duplex), 5. brzda se spřaženými čelistmi obousměrná (duo-servo).

- **Jednoduchá brzda (simplex)** – má jednu náběžnou a jednu úběžnou čelist, k přitlačování obou čelistí slouží jedno společné ovládací zařízení.

- **Dvojnáběžná brzda (duplex)** – má obě čelisti náběžné (při jízdě dopředu). K přitlačování každé čelisti slouží samostatné ovládací zařízení.
- **Brzda se spřaženými čelistmi (servo)** – čelisti jsou spojeny pomocí čepu, čili na sebe působí navzájem. Například při jízdě vpřed působí čelisti jako náběžné. A při jízdě vzad, jako úběžné.
- **Dvojnáběžná brzda obousměrná (duo-duplex)** – brzda má dva dvoupístkové brzdové válečky, čili je brzdný účinek v obou směrech jízdy stejný.
- **Brzda se spřaženými čelistmi obousměrná (duo-servo)** – čelisti jsou spojeny pohyblivou opěrkou a pracují v obou směrech otáčení brzdového bubnu jako náběžné, čili má brzda v obou směrech jízdy stejný účinek a vyžaduje pouze malou ovládací sílu.

2.3.2 Kotoučové brzdy

Kotoučové brzdy se dnes využívají téměř na všech osobních vozidlech. Jejich princip spočívá v přenosu brzdné síly na brzdový kotouč, který je pevně spojený s rotující brzděnou součástí. Přenos brzdné síly od brzdového pedálu bývá obvykle hydraulický. Sešlápneme-li brzdový pedál, vznikne tlak v brzdovém systému. Brzdová kapalina začne tlačit na brzdový píst, který tlačí brzdové destičky kolmo na brzdový kotouč. Tehdy začne vznikat třecí síla mezi brzdovým kotoučem a destičkami. Tato síla má opačný směr, než je směr otáčení brzděné součásti.



Obr. 13: Kotoučová brzda s plovoucím třmenem [15]

1- Přívod brzdové kapaliny, 2- Píst, 3- Brzdová destička, 4- Držák, 5- Brzdový kotouč, 6- Plovoucí třmen, 7- Vodicí čep.

Rozdělení dle způsobu ovládní:

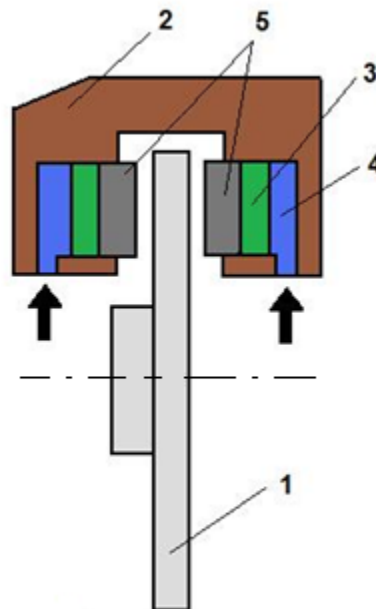
- Kotoučová brzda s pevným třmenem
- Kotoučová brzda s plovoucím třmenem

Kotoučová brzda s pevným třmenem

U této brzdy jsou hydraulické válce uspořádány proti sobě po obou stranách kotouče a těleso třmene je nepohyblivé.

Počet válců bývá:

- 2 válce (jsou stejného průměru se společnou osou).
- 4 válce (jsou stejného průměru, každá dvojice má společnou osu).
- 3 válce (jeden válec je většího průměru na jedné straně a dva válce menšího průměru na druhé straně).

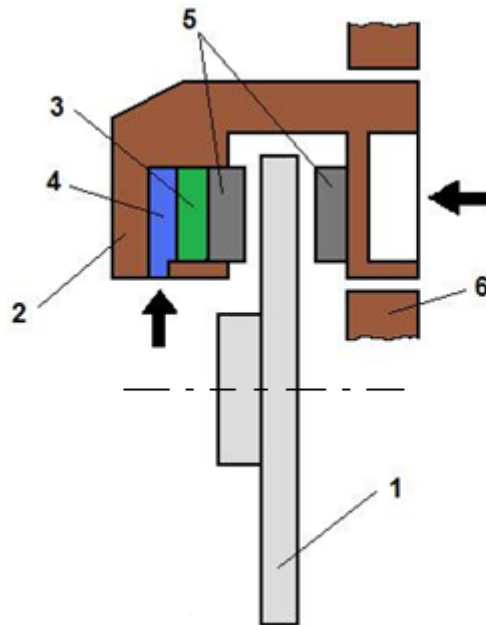


Obr. 14: Kotoučová brzda s pevným třmenem [12]

1 - brzdový kotouč, 2 - třmen kotoučové brzdy, 3 - pístek (pístky), 4 - prostor pro brzdovou kapalinu, 5 - brzdové destičky (třecí segmenty),

Kotoučová brzda s plovoucím třmenem

Tato brzda má hydraulický válec jen na jedné straně kotouče a těleso třmene je pohyblivé právě proti směru hydraulického válce.



Obr. 15: Kotoučová brzda s plovoucím třmenem [12]

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

2.4 Chlazení třecích brzd

Při provozu třecích brzd vzniká teplo, které je nutno nějakým způsobem odvádět, aby nedošlo k přehřátí nebo dokonce k nenávratné deformaci některých částí brzdy. Obecně platí, že s nárůstem brzdného účinku se zvětšuje teplota třecích částí, která může dosahovat až několika set °C. Konstrukční návrh brzd musí být tedy takový, aby byl zajištěn maximální odvod tepla z třecích částí brzd. Tím zajistíme spolehlivost a dobrou účinnost brzd i při jejich intenzivním používání.

Chlazení bubnových brzd

U bubnových brzd přechází převážná většina vznikajícího tepla při brzdění do brzdového bubnu, proto brzdový buben musí být obvodově dostatečně tuhý, aby se při silném brzdění nedeformoval. Aby z brzdového bubnu odcházel co nejrychleji vznikající teplo, jsou bubny vybaveny různými obvodovými žebry, které zvyšují jeho tuhost a zlepšují také odvod tepla. Příčná nebo šikmá žebra zvětšují chladicí plochu a zvyšují ventilační účinek. Ke zvětšení tepelné odolnosti slouží také dvou materiálové bubny z lehkých slitin a litinovým třecím kroužkem, neboť lehké slitiny mají větší měrné teplo, což zaručuje lepší schopnost akumulace.



Obr. 16: Brzdový buben obvodovými žebry [16]



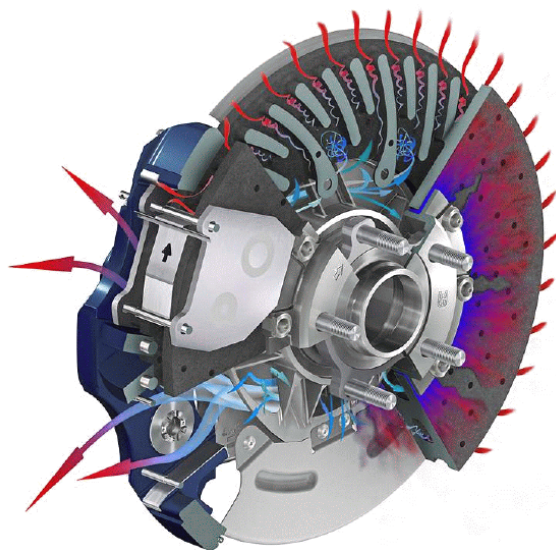
Obr. 17: Brzdový buben s příčnými žebry [16]

Chlazení kotoučových brzd

Nejpoužívanějším systémem odvodu tepla u kotoučových brzd jsou větrané brzdové kotouče. Chlazený kotouč je většinou více než dvojnásobně širší než kotouč nechlazený, ve střední části pak má vybrané "žebrování", obsahující radiálně uspořádané vzduchové kanálky, které jsou provedeny tak, aby při otáčení kotouče vznikal tzv. ventilační efekt (obr. 19). Právě do těchto míst pak může za jízdy vnikat vzduch a tak účinněji chladit brzdový kotouč. Takto upravené kotouče jsou určeny k velkým obvodovým rychlostem. Pro dokonalejší a stálejší odvod tepelné energie je k systému přiveden nápor vzduchu z čela vozidla (obr. 18), tento vzduch musí být přiveden do vnitřní části brzdového kotouče. Kotouče se chladí, pouze pokud se točí, v případě zastavení po aktivním brzdění může teplota vzrůst až o 150°C, přehřátím se může deformovat kotouč a poškodit těsnění brzdových třmenů, v tom horším případě může teplota přesáhnout bod varu brzdové kapaliny, tím propad pedálu a na několik minut ztrátu brzdného přitlaku. Teplota třecích částí brzdového systému by neměla přesáhnout 400°C. V poslední době se začínají používat brzdové kotouče, na jejichž třecí ploše jsou vytvořeny spirálové drážky přesně stanovené hloubky. Tyto drážky slouží k indikaci opotřebení kotouče, kromě toho zlepšují jeho samočisticí schopnost a urychlují „záběh“ obložení brzdových destiček. Používají se také kotouče, do kterých jsou navrtané otvory. To má výhody za deště, kdy otvory pomáhají odvádět vodu a vodní páru a tím zlepšují brzdný účinek.



Obr. 18: Přívod vzduchu z čela vozidla [15]



Obr. 19: Žebrování brzdového kotouče a odvod tepla [15]

2.5 Srovnání vlastností bubnových a kotoučových brzd

Bubnové brzdy

- Téměř celá brzda je uzavřena uvnitř brzdového bubnu a je chráněna proti vnikání nečistot. Na rozdíl od kotoučové brzdy, která je otevřená a snadno se do ní dostávají nečistoty.

- Konstrukce této brzdy umožňuje přizpůsobení, pro funkci parkovací brzdy.
- Velká životnost brzdového obložení.
- Brzdy disponují samoposilovacím účinkem.
- Při vystavení dlouhodobému zahřívání, např. vlivem dlouhodobého brzdění, nastává pokles brzdného účinku (tzv. „slábnutí“ brzd - fading). Pokud zahřátí přesáhne určitou úroveň, může dojít k deformaci brzdového bubnu.

Kotoučové brzdy

- Při vystavení brzdy dlouhodobému zahřívání, např. vlivem dlouhodobého brzdění, dochází k malé změně součinitel tření. To má za následek malou změnu účinnosti brzdy.
- Pokud jsou, tyto brzdy konstruovány s posilovačem mají větší účinnost brzdící síly, než brzdy bubnové.
- Není nutné je seřizovat, potřebná vůle při brzdění se vymezuje automaticky.
- Mají samočisticí schopnost a tím i stejnoměrný brzdny účinek.
- U brzdového obložení dochází sice k rychlejšímu opotřebení, ale jeho kontrola a výměna je jednodušší, než výměna brzdových čelistí u bubnových brzd.
- Brzdy nedisponují samoposilovacím účinkem, proto mají brzdové válečky větší průměr (40mm až 55mm) než u bubnových brzd, čímž je dosaženo potřebné přitlačné síly.
- Pístky, nacházející se ve třemenu brzdy, působí přímo na obložení a tím jsou vystavovány vznikajícímu teplu. Toto teplo může mít za následek vytváření parních bublin v brzdové kapalině.
- Lépe odvádějí vznikající teplo při brzdění.
- Konstrukce pro současnou funkci provozní tak i parkovací brzdy je konstrukčně složitá a nákladná. Proto se na zadní nápravě používají obvykle brzdy bubnové. V případě použití kotoučové brzdy na zadní nápravě, může být kotouč kombinován s bubnem, ve kterém je umístěna parkovací bubnová brzda.

3. Druhy třecích materiálu brzd a brzdové kapaliny

3.1 Problematika třecích materiálu brzd

Materiály navrhované na třecí segmenty brzd, by měly splňovat následující požadavky:

- Velkou tepelnou a mechanickou odolnost.
- Vysokou životnost.
- Stálý součinitel tření při vysokých teplotách.
- Odolnost vůči vodě a jiným vlhkostem.
- Odolnost měnit krystalovou strukturu materiálu za zvýšených teplot.
- Stálost rozměru za zvýšených teplot.
- Dobrý odvod tepla vznikající při brzdění.
- Bezhluchý provoz.
- Nízké náklady na výrobu.
- Šetrnost k životnímu prostředí.

U bubnových brzd bývá brzdové obložení přinýtováno nebo přilepeno na brzdové čelisti, u kotoučových brzd je zejména přilepeno na kovových segmentech, které se následně upevňují do třmene brzdy.



Obr. 20: Brzdová destička pro kotoučové brzdy [16]



Obr. 21: Brzdová čelist pro bubnové brzdy [16]

3.2 Druhy třecích materiálů pro brzdy bubnové

Materiály brzdových bubnů

Brzdové bubny se nejčastěji vyrábějí způsobem odlévání. Navrhované materiály bývají zejména šedá litina, temperovaná litina, ocelolitiny nebo slitiny lehkých kovů. Litina je obvykle očkovaná 75 % ferosiliciem. Po odlití brzdového bubnu, následuje opracování brzdných ploch. Toto samotné opracování brzdných ploch, se skládá ze dvou technologických operací. Jako první operace je soustružení, kterým zarovnáme funkční plochy a zpřesníme rozměr odlitého brzdového bubnu. Po soustružení následuje broušení funkčních ploch, čímž dosáhneme ještě většího rozměrového zpřesnění a zmenšení hodnoty drsnosti povrchu.

Značení litin

42 xxyy.ab

- 42 je třída norem hutnictví
- xx - skupina materiálů:
 - 23 - tvárná litina (litina s kuličkovým grafitem)
 - 24 - šedá litina (litina s lupínkovým grafitem)
 - 25 - temperovaná litina (litina s grafitem o tvaru nepravidelných zrn)
- yy - číslo * 10 udává pevnost v tahu, jednotky MPa.
- a - způsob tepelného zpracování
 - 0 - Tepelně nezpracovaný
 - 1 - Normalizačně žíhaný

- 2 - Žíhaný (s uvedeným způsobem žíhání)
- 3 - Žíhaný na měkko
- 4 - Kalený, kalený a popouštěný při nízkých teplotách
- 5 - Normalizačně žíhaný a popouštěný
- 6 - Zušlechtěný na obvyklou dolní pevnost
- 7 - Zušlechtěný na obvyklou střední pevnost
- 8 - Zušlechtěný na obvyklou horní pevnost
- 9 - Stav, které nelze označit číslicí 0-9
- b - způsob odlévání odlitku

Označení materiálů dle normy ČSN:

Materiál ČSN 42 2306 – Tvárná perliticko-feritická litina

Specifikace: litina o vysoké houževnatosti, obtížné svařitelnosti i obrobitelnosti. Litina je vhodná na odlitky s tloušťkou stěn 5 až 100 mm, jako např. na součásti namáhané mechanicky a otěrem.

Tvrdość HB	200 - 260
Mez pevnosti R_m	600 Mpa
Mez kluzu $R_{p0,2}$	370 Mpa

Materiál ČSN 42 2420 – Šedá litina

Specifikace: litina s lupínkovým grafitem, dobře obrobitelná. Litina je vhodná na odlitky o tloušťce stěn 8 až 40 mm.

Tvrdość HB	220 max
Mez pevnosti R_m	380 Mpa
Mez kluzu $R_{p0,2}$	200 Mpa

Materiál ČSN 42 2425.9 – Šedá litina

Specifikace: litina má zaručenou pevnost v tahu a tvrdość. Obsahuje kuličkový grafit, který dobře tlumí vibrace. Vyznačuje se svojí tvarovou a rozměrovou stálostí. Používá se pro odlitky od 15mm do 70mm, což je dostačující pro brzdový buben.

Tvrdość HB	240 max
Mez pevnosti R_m	350 Mpa
Mez kluzu $R_{p0,2}$	200 Mpa

Tepelné, chemicko-tepelné zpracování litiny:

- grafitizační očkování Ferrosilicium FeSi75 (slitina Fe se 75 % Si). Proběhne přeměna litiny s lupínkovým grafitem, na litinu s kuličkovým grafitem.

Očkování je obecně technologická operace, při které se do tekutého kovu vnáší malé množství vhodné zvolené očkovačce, což má za následek, zvýšení množství krystalizačních zárodků určité fáze.

Materiál ČSN 42 2709.1 - Manganová ocel

Specifikace: ocel pro odlitky, které jsou značně opotřebovávány třením. Ocel má podmíněně zaručenou svařitelnost a využívá se pro více namáhané strojní součásti.

Tvrdość HB	149 -184
Mez pevnosti R_m	530 – 700 Mpa
Mez kluzu $R_{p0,2}$	300 Mpa

Tepelné zpracování oceli:

- normalizační žíhání 900-950 °C
- žíhání na odstranění pnutí 600-650 °C
- kalení 870-900 olej/voda
- popouštění 620-650 °C voda

Materiály brzdových čelistí

Brzdové čelisti bývají vyráběny z ocelového plechu, nebo jako odlitek ze slitiny lehkých kovů a jsou konstruovány do tvaru s profilem "T" kvůli dosažení potřebné tuhosti.

Brzdové obložení je kompozitní materiál vyráběny práškovou metalurgií z pilin různých kovů a pojidel (více v kapitole: Druhy třecích materiálů pro brzdy kotoučové).

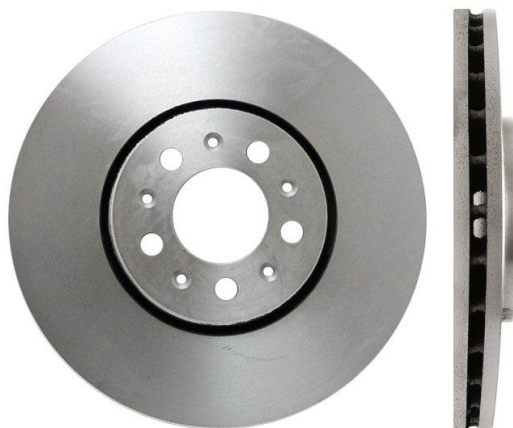
3.3 Druhy třecích materiálů pro brzdy kotoučové

Materiály brzdových kotoučů

- Šedá litina
- Temperovaná litina
- Ocelolitina s legujícími prvky
- Kompozity s keramickou maticí – keramické kotouče (CMC)
- Kompozity s kovovou maticí (MMC)
- Kompozity s uhlíkovou maticí s uhlíkovými vlákny – karbonové kotouče

V současné době zaujímá první místo pro výrobu kotoučů šedá litina (3,7% C) s tepelnou vodivostí $62 [W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$ (obr. 22). Hlavní důvod bývá většinou nízká cena oproti brzdovým kotoučům vyráběným z kompozitních materiálů. Pro zlepšení materiálových vlastností se

používají přídavné složky jako např.: molybden, měď, chrom nebo titan. Taková slitina se pak vyznačuje velmi homogenní strukturou bez vzduchových bublinek a vnitřního napětí. Tím je bezpečně zabráněno vibracím a „skřípání“ brzd. Pro vozidla se silnějšími motory jsou k dispozici kotouče vyráběné z kompozitních materiálů, které lépe odvádějí teplo vznikající během brzdění.



Obr. 22: Litinový brzdový kotouč [16]

Prvek	Chemická značka	Obsah v %	Vlastnosti
Molybden	Mo	0,2 až 1,0	Molybden zvyšuje pevnost za normálních i vysokých teplot a odolnost proti změnám teploty, zvyšuje kalitelnost
Měď	Cu	0,4 až 2,0	Zvyšuje pevnost, tvrdost a odolnost proti korozi, snižuje citlivost rozdílných tlouštěk stěn, zvyšuje kalitelnost
Chrom	Cr	0,2 až 1,0	Zvyšuje pevnost, tvrdost, odolnost proti růstu a opalu, zvyšuje pevnost za vyšších teplot
Titan	Ti	Do 0,1	Zvyšuje odolnost proti opotřebení přítomností TiC

Tab. 1 Vlastnosti jednotlivých legujících prvků v šedé litině.

Keramické kotouče jsou zhotoveny z karbidu křemíku (keramiky), který tvoří matici daného kompozitu a nadále je zpevněn karbonovými vlákny (uhlíkovými vlákny). Takto vyrobené kotouče jsou lehčí, a trvanlivější než brzdové kotouče z šedé litiny a přitom bývají velmi tvrdé, s vysokou odolností proti ohřevu a snášejí velká zatížení. Mají vyšší brzdový výkon a odolnost proti tzv. vadnutí brzd, což je snižování brzdícího účinku při několikanásobném intenzivním zpomalení.

Životnost keramických brzd činí při běžném používání vozu až 300 000 km, což je asi čtyřikrát více, než kolik lze očekávat od konvenčních litinových brzd. Úbytek tloušťky

keramického brzdového kotouče činí během celé jeho životnosti jen asi 0,5 mm. Keramické brzdy jsou také naprosto odolné vůči korozi a mají i vysokou účinnost za mokra.



Obr. 23: Keramický brzdový kotouč [17]

Kompozitní materiály s kovovou maticí jsou kovy zpevněné keramickými částicemi. Nejčastěji jde o hliník zpevněný částicemi karbidu křemíku nebo oxidu hlinitého. Takové zpevnění zvyšuje tuhost, pevnost a maximální pracovní teplotu bez vážného zvýšení hmotnosti. Kotouče kde hlavní příměs tvoří hliník, mají oproti kotoučům z šedé litiny vyšší tepelnou vodivost $182 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$ a představují tedy dobrý kompromis mezi litinovými a keramickými kotouči, avšak i přes tyto vlastnosti využívány nejsou z důvodu vyšší ceny.

Karbonové kotouče jsou v současné době tím nejlepším v oblasti brzdných výkonů vůbec. Lze je převážně najít na vozidlech Formule 1, ale i na různých automobilech spadající do kategorie „super sport“. Jejich vlastnosti jsou především dobrá tepelná vodivost $300 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$, nízká hmotnost, malé opotřebení během provozu atd. Kromě vysoké pořizovací ceny mají karbonové kotouče i určité technické obtíže. Jeden z hlavních problémů je provozní teplota. Brzdy začínají účinně fungovat až po dosažení $300 \text{ }^\circ\text{C}$ a s dále narůstající teplotou se jejich účinnost zvyšuje. Jejich optimální pracovní teplota je tedy mezi $400 - 600 \text{ }^\circ\text{C}$ avšak vydrží i teplotu o velikosti $1200 \text{ }^\circ\text{C}$. Z těchto důvodů tedy zatím není možná tyto kotouče používat u běžných městských osobních automobilů, jelikož při běžné jízdě nemůže v žádném případě dojít k zahřátí brzd natolik, aby byla dosažena alespoň minimální pracovní teplota. V této situaci by pak brzdě vlastnosti byly nedostatečné a vozidlo tudíž méně ovladatelné, než při použití klasických brzdných kotoučů.

Materiály brzdových destiček

Materiál nosného segmentu brzdové destičky, na který je brzdové obložení přilepeno se vyrábí převážně z měkké oceli. Tloušťka se pohybuje od 3 mm na malých destičkách, 6 - 7 mm pro lehké užitkové vozy, až po 10 mm u velkých destiček.

Materiály používané na brzdové obložení (Frikční kompozity) se běžně skládají z 15 až 40 složek. (pozn. V praxi je obtížné dohledat detailní informace o složení těchto kompozitů,

jelikož ty patří mezi přísně střežená firemní tajemství). Tyto složky lze, podle jejich převažující funkce, rozdělit do následujících 5. skupin.

1. Abraziva (ostřiva)

Lze je rozdělit podle druhu částic do tří skupin:

- kovové částice
- oxidy kovů
- silikáty

Mezi nejznámější abraziva patří zirkon ($ZrSiO_4$), korund (Al_2O_3) a karbid křemíku (SiC). Abraziva přímo určují součinitel tření výrobku a zajišťují jeho stabilitu při vysokých teplotách (pozn. náhlý pokles frikčních vlastností při zvýšených teplotách je označován jako tzv. „fade“ jev), v průběhu brzdění také odstraňují teplem degradovaný materiál, který vzniká na povrchu brzdové destičky v průběhu tření, a tím obnovují frikční povrch.

2. Funkční plniva (maziva)

Funkční plniva mají za úkol jednak vyplnit objem kompozitu, ale zároveň i přispět k některé z požadovaných vlastností. Typickým příkladem funkčních plniv jsou tuhá maziva, která se vylučují v průběhu brzdění a zabraňují "zakousnutí" brzd. Mezi nejznámější patří grafit (C), stibnit (Sb_2S_3) a sulfid molybdeničitý (MoS_2). Jejich přítomnost sice ve většině případů snižuje hodnotu frikčního koeficientu, ale bez jejich přítomnosti by byl průběh vlastního brzdění provázen „vibracemi“ brzdového pedálu. v kontaktu s rotujícím diskem).

3. Vlákné výztuže

Zastávají funkci soudržného systému a používají se tři skupiny výztuží:

- anorganická: kovová
 nekovová
- organická

Nejpoužívanější vlákna z oblasti organických výztuží jsou například kevlarová vlákna, nebo vlákna polymerních hmot (polyester). U anorganických nekovových například čedičová vlákna, či vlákna skleněná. V oblasti kovových anorganických vláken jsou to zejména ocelová vlákna, jejichž funkce spočívá ve zpevnění výsledného frikčního kompozitu.

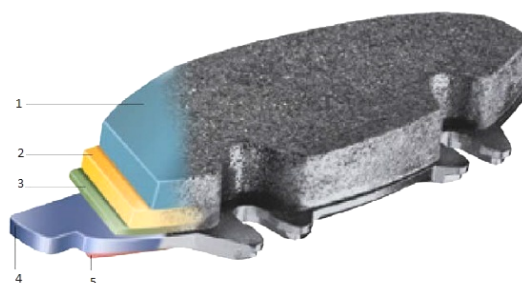
4. Plniva

Plniva jsou materiály, jejichž hlavním úkolem je vyplnit prostor vyrobeného vzorku. Jedním z nejznámějších plniv je například baryt ($BaSO_4$). Přestože jsou plniva považována za indiferentní složky, předpokládá se, že se podílejí na výsledných frikčně-otěrových vlastnostech.

5. Pojiva

Pojiva patří, vzhledem k jejich množství v těchto typech kompozitů, k majoritním složkám a rovněž se významně podílejí na funkčních vlastnostech kompozitů. Nejběžnějšími typy pojiv u frikčních kompozitů jsou fenol-formaldehydové, nebo epoxidové pryskyřice, z nichž převažují Novolaky, přičemž pojiva tohoto typu jsou schopna vydržet zatížení při teplotách do 250 °C.

Při volbě vstupních složek pro výrobu brzdových obložení je snahou použít pokud možno ekologicky šetrné materiály. Mezi tyto materiály patří zejména přírodní látky jako je zirkon, baryt, stibnit, vápenec apod., v současné době je také velká pozornost věnována využití obnovitelných materiálů jakými jsou rostlinná vlákna (jutová, konopná apod.), nebo drcené slupky různých ořechů, např. kokosových, vlašských či lískových ořechů. Nejběžněji používaným pojivem je fenol-formaldehydová pryskyřice, kterou nelze považovat za ekologicky šetrnou. Je třeba říci, že volba ekologicky šetrných složek pro výrobu brzdových destiček neznamena automaticky, že se jedná o ekologicky šetrný produkt. V průběhu brzdění dochází v místě styku frikčního kompozitu a litinového disku k nárůstu teploty, přičemž lokálně může dojít k ohřátí i na teploty okolo 1000°C. Vysoká teplota a tlak, který je v místě styku brzdové destičky a kotouče mají za následek reakci, která vytvoří nové chemické látky odlišného složení v porovnání s původními ekologicky šetrnými materiály použitými pro výrobu brzdových destiček.

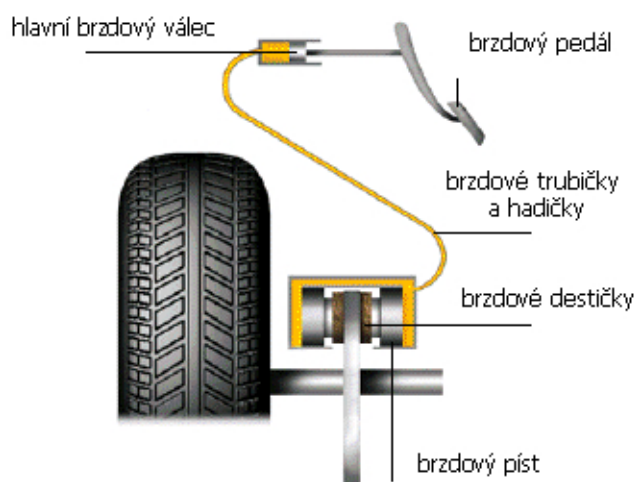


Obr. 24: Brzdová destička [10]

1 – třecí materiál, 2 – vložená deska, 3 - lepidlo, 4 – kovový nosný segment, 5 – tlumící materiál.

3.4 Brzdové kapaliny

Brzdová kapalina je náplň hydraulických brzdových systémů, které mají za úkol přenést sílu mezi hlavním brzdovým válcem a brzdovými válečky kol.



Obr. 25: Princip přenosu brzdné síly [10]

3.5 Základní požadavky na brzdovou kapalinu

Brzdová kapalina by měla splňovat následující požadavky:

- Minimální stlačitelnost kapaliny.
- Vysoký bod varu kapaliny (např. 260°C).
- Stálost při vysokých a nízkých teplotách (např. 60°C).
- Odolnost proti stárnutí.
- Minimální změna viskozity v závislosti na změně teploty.
- Mísitelnost s ostatními brzdovými kapalinami stejných specifikací.
- Snášelivost s pryžovými díly.
- Minimální hořlavost a toxicita.
- Co nejnižší hygroskopičnost (pohlcování vzdušné vlhkosti).
- Tepelná a chemická stabilita.

Všechny tyto požadavky jsou shrnuty v mezinárodních normách. Mezi základní normy, které se zabývají požadavky na brzdové kapaliny, patří americká norma FMVSS CFR 571.116, v jejímž rámci se používá specifikace DOT. Požadavky na brzdové kapaliny se také zabývá norma ISO 4925.

3.6 Vlastnosti brzdových kapalin

Brzdová kapalina musí být chemicky neutrální, aby se zabránilo vzniku koroze na kovových částech brzdného systému a nadále by neměla negativně působit i na jeho pryžové díly. Mezi základní vlastnosti lze zařadit i vlastnost nazývanou hygroskopičnost, tedy schopnost pohlcovat a udržovat vlhkost ve vázané formě. Vlhkost se do brzdové kapaliny dostává odvodušňovacími otvory ve vyrovnávací nádobce systému, nebo po otevření balení s brzdovou kapalinou. Pohlcováním vlhkosti se vlastnosti kapaliny zhoršují, protože již při nízké teplotě se v ní mohou tvořit bublinky vodních par, což může vést i k selhání brzd. Například bod varu brzdové kapaliny obsahující 3,5% vody je asi 140°C až 180°C, oproti brzdové kapalině obsahující 0% vody u které se teploty pohybují mezi 205°C až 260°C (záleží na druhu brzdové kapaliny). Brzdová kapalina je vysoce toxická a hořlavá, proto se nesmí skladovat v lahvích od nápojů. Nadále platí, že čím vyšší má brzdová kapalina bod varu, tím je vyšší spolehlivost brzdového systému při vysokém zatížení.

3.7 Druhy brzdových kapalin

V současné době existují tři základní druhy kapalin používané v hydraulických brzdových systémech k přenosu síly vyvinuté na brzdovém pedálu. Jsou to kapaliny na bázi:

- Silikonových olejů.
- Minerálních olejů.
- Alkoholu, to jsou zejména glykoly (glykoléterové směsi se speciálními přísadami).

Rozdělení glykolové brzdové kapaliny dle obchodního označení DOT, ISO, SAE.

Glykolové brzdové kapaliny lze zařadit do třech tříd jakosti DOT 3, DOT 4 a DOT 5.1 (viz tab. 1). Z tabulky 1 vyplývá, že důležitým ukazatelem jakosti brzdové kapaliny je suchý bod varu, který představuje bod varu brzdové kapaliny s hmotnostním procentuálním obsahem vody do max. 0,2 %. Tento údaj garantuje výrobce. V praxi však představuje pouze krátké období následující po otevření originálního balení. Z tabulky 1 lze nadále vyčíst, pro srovnání, i vlastnosti brzdové kapaliny s označením DOT 5, která je na bázi silikonového oleje. Používá se zcela výjimečně u některých motocyklů a starších vozidel. Tuto kapalinu není možné mísit, ani ji nikdy použít samostatně v systému pro kapalinu na bázi glykolu.

Brzdové kapaliny						
Norma	FMVSS CFR 571.116				SAE J 1703f	ISO 4925
	DOT 3	DOT 4	DOT 5.1	DOT 5		
Suchý bod varu (°C)	205	230	260	260	205	205
Mokrý bod varu (°C)	140	155	180	180	140	140
Kinematická viskozita při -40°C (mm ² /s)	Max. 1500	Max. 1800	Max. 900	Max. 900	Max. 1800	Max. 1500
Kinematická viskozita při +100°C (mm ² /s)	Min. 1,5	Min. 1,5	Min. 1,5	Min. 1,5	Min. 1,5	
Báze	poly-alkylenglykol/ glykoleter	ester kyseliny borité glykoleter	ester kyseliny borité glykoleter	silikonový olej	glykoleter	poly-alkylenglykol/ glykoleter

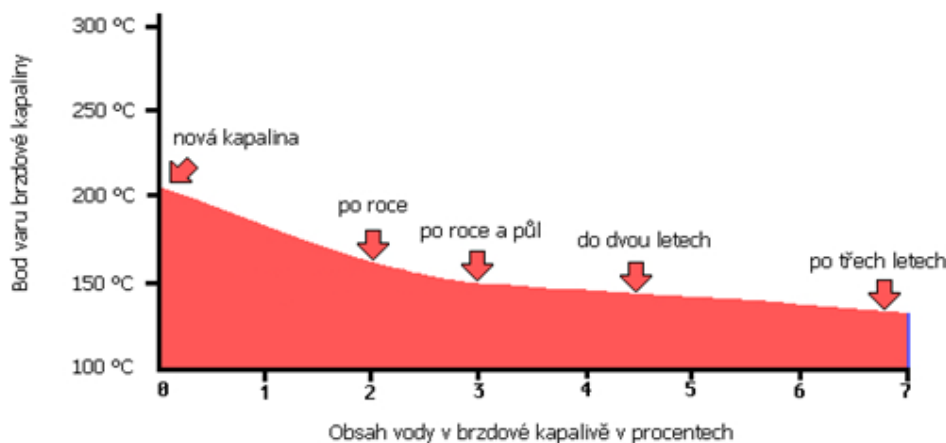
Tab. 2 Rozdělení glykolové brzdové kapaliny.

Mokrý bod varu brzdové kapaliny pak odpovídá hmotnostnímu procentuálnímu obsahu vody cca 3,5 %.

3.8 Životnost brzdových kapalin

Životnost brzdové kapaliny se pohybuje v rozmezí kolem 2 let, záleží na kvalitě kapaliny a provozních podmínkách. Během této doby kapalině klesá bod varu, díky zvyšujícímu se obsahu vody. Je doporučeno provádět kontrolu brzdové kapaliny každý rok ve vybraných servisech, kde kvalifikovaný personál provede přeměření bodu varu a tím i prověření kvality

brzdové kapaliny. Podle výsledků měření se určí bod varu kapaliny a nadále, je-li zjištěn nízký bod varu, i její výměna.



Obr. 26: Průběh bodu varu brzdové kapaliny DOT 3 [6]

4. Provozní problematika brzd

Jak již bylo řečeno v předchozích kapitolách, nejvíce jsou brzdy a brzdové soustavy ovlivňovány teplem vznikajícím při brzdění. Toto teplo, které vzniká mezi třecími částmi brzd, má za následek snižování účinnosti brzdové soustavy a to v několika směrech:

- 1) S narůstající teplotou se koeficient tření snižuje, a tudíž se zmenšuje i brzdný moment, obsluha pak při vysokých teplotách brzd musí vyvolat mnohem větší sílu na brzdový pedál, aby se dostavil očekávaný „brzdný efekt“.
- 2) Nebudou-li vozidla používána v mezích svých technických možností, může dojít vlivem vznikající vysoké teploty při intenzivním brzdění k jejich deformaci.
- 3) Nesprávné zvolení druhu brzdové kapaliny může vést k překročení bodu varu kapaliny a následně k jejímu vypaření, což má za následek propadnutí brzdového pedálu.

4.1 Ovlivňování kotoučů a bubnů teplem vznikajícím při brzdění

Bubnové brzdy

Při vícenásobném intenzivním brzdění z vysokých rychlostí nebo při dlouhém nepřetržitém brzdění ze svahu, se vytváří na brzdách jev nazývaný se fading. Příčinou fadingu brzd je velké množství tepla, které vzniká při silném tření. Takto vznikající teplo se nestačí v plné míře

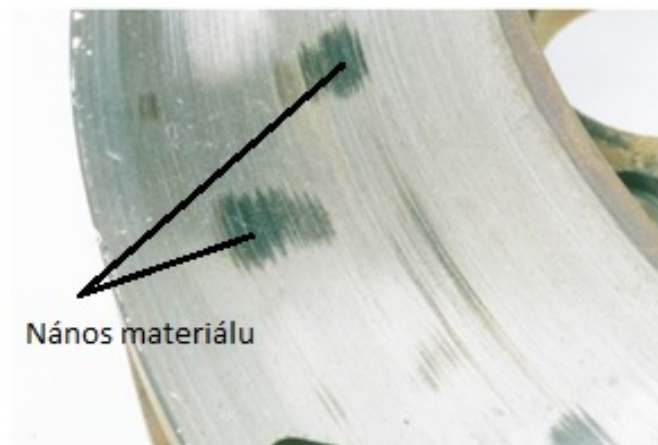
odvést a teplota brzdových kotoučů, nebo bubnů, nepříznivě stoupá a vzniká fading, který má za následek velký pokles brzdícího účinku.

Podstatou fadingu je tvarová deformace brzdového bubnu do tvaru kužele a enormní opotřebení brzdového obložení vlivem nadměrné teploty. Brzdové čelisti vykonávají větší dráhu, a protože jejich oblouk nesouhlasí s poloměrem deformovaného bubnu, bude brzdit jen část okrajové hrany brzdového obložení. Je zřejmé, že za těchto podmínek bude jejich brzdící účinek velmi slabý.

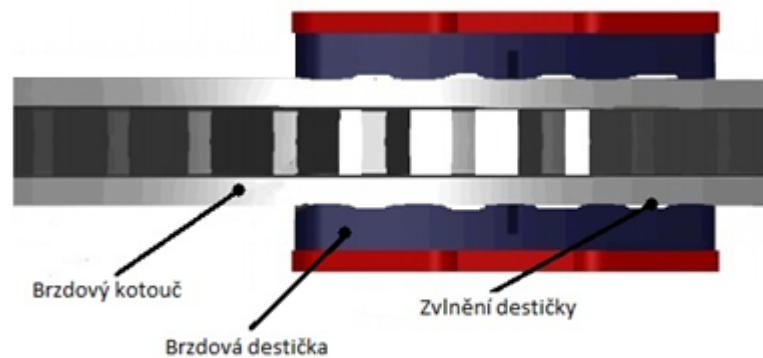
Kotoučové brzdy

Kotoučové brzdy mají sice mnohem lepší odvod tepla než bubnové, ale i zde se při přehřátí projevuje fading. Přestože tepelná roztažnost kotouče v podstatě nezhoršuje účinnost brzdění (neprodukuje ani dráhu pedálu), přeci se vlivem přehřátí, které může být kolem 800°C, se buď zdeformuje brzdové obložení (zvlní se), což má za následek snížení účinnosti brzd, jelikož destička nebrzdí celou svoji plochou, nebo daná teplota překročí použitelný teplotní limit destičky a materiál destičky se náhodně a nepravidelně začne nanášet na povrch kotouče. To má za následek vznik chvění a vibrací při brzdění, nebo pískání brzd.

Řešením pro řidiče zvyklé často a ostře brzdit by mohla být výměna obložení za tvrdší, které přináší podstatné zlepšení. Při takové výměně je nutno však počítat i s tím, že stoupne ovládací síla na brzdový pedál, vzroste sklon brzd k pískání v nižších rychlostech a déle trvá, než se tvrdší obložení přizpůsobí tvaru bubnu (resp. destičky tvaru kotouče). Proto při výměně destiček musíme vždy přerovnat brzdový kotouč.



Obr. 27: Nepravidelný nános materiálu brzdové destičky na brzdovém kotouči.



Obr. 28: Zvlnění brzdové destičky vlivem vysokých teplot.

4.2 Ovlivňování brzdové kapaliny teplem vnikající při brzdění

Při brzdění vznikají vysoké teploty, které se přenášejí jak do součástí brzd, tak do brzdové kapaliny. V extrémních případech může nastat jev, při kterém dojde k tomu, že brzdová kapalina překročí svůj bod varu a začne v brzdové soustavě vřít. Po překročení bodu varu brzdové kapaliny se začnou v kapalině vytvářet parní bublinky, které zpravidla způsobí úplné selhání brzdové soustavy. Když brzdová kapalina vře, je už pozdě. Pára v brzdové kapalině je stlačitelná a tím je přerušen hydraulický převod síly v podobě tlaku od hlavního brzdového válce ke kolovým brzdám, pedál se propadne až na podlahu a vůz se nedá zastavit.

Lze tedy říci, že čím vyšší má brzdová kapalina bod varu, tím je vyšší spolehlivost brzdového systému v extrémních podmínkách. Extrémní podmínky lze definovat jako dlouhodobé intenzivní brzdění, při kterém jsou komponenty brzd značně zahřívány.

4.3 Měření obsahu vody v brzdové kapalině

Přestože brzdová kapalina bývá často opomíjena, hraje v provozu a bezpečnosti automobilu velmi důležitou roli. Většinou bývá její kontrola doporučována dokonce dvakrát ročně. Nejsledovanějším parametrem je přitom již mnohokrát zmíněný bod varu brzdové kapaliny, pro jehož určení se používá několik různých metod i přístrojů:

Tester brzdové kapaliny

Speciální kompaktní zařízení schopné rychle a přesně zjistit bod varu a stav měřené kapaliny na bázi glykolu. Výhodou je vedle vysoké přesnosti také spolehlivost i při náročných provozních podmínkách. Přístroj může být napájen z akumulátoru zkoušeného vozidla nebo ze samostatného zdroje napětí 12 V, což umožňuje měření přímo ve vyrovnávací nádržce vozidla i externí použití v měrném kalíšku s odběrovou pipetou. Měření je prováděno

zahřátím odebraného vzorku na bod varu což trvá celkem cca 30 vteřin. Výsledek je zobrazen na digitálním displeji a je porovnán s nominálními hodnotami stanovenými pro použitelnost příslušného druhu brzdové kapaliny (DOT 3, DOT 4 nebo DOT 5.1) uloženými v paměti testeru. Na základě porovnání je pak na displeji zobrazeno případné doporučení k výměně kapaliny.



Obr. 29: Tester brzdové kapaliny s porovnávací pamětí [9]

Kapesní tester pro rychlou kontrolu

Elektronický přístroj velikosti plnicího pera umožňuje rychlé orientační zjištění stavu brzdové kapaliny. Napájený baterií 1,5 V AM4/LR03. Princip je založen na měření obsahu vody, který ovlivňuje bod varu. Sonda se ponoří do brzdové kapaliny a stiskne se tlačítko a barva rozsvícené LED-diody prozradí, zda je kapalina v pořádku (obsah vody do 1,5% = zelené světlo), nebo že ji bude nutné do 6 měsíců opět zkontrolovat (obsah vody od 1,5 do 3% = žluté světlo) případně vyměnit (obsah vody nad 3% = červené světlo). Toto měření ale není zcela přesné, a proto není výrobci kapalin příliš doporučováno!



Obr. 30: Kapesní tester brzdové kapaliny [9]

4.4 Problematika vzduchových brzd při dlouhodobém a intenzivním brzdění

Jak již bylo popsáno v předešlých kapitolách vzduchové (pneumatické) brzdy se používají především u nákladních automobilů, vlaků nebo trolejbusů. Největší problém těchto brzd nastává v okamžiku, kdy tyto brzdy vystavíme intenzivnímu brzdění, nebo když je budeme dlouhodobě nepřetržitě zatěžovat při brzdění ze svahu. Při takovémto zatížení začne vlivem tření v brzdách narůstat teplota, která může překročit teplotní limity daných třecích materiálů, ze kterých jsou dané brzdy vyrobeny. Po překročení těchto teplotních limitů, dojde k deformaci brzdového ústrojí, nebo spálení brzdového obložení. Aby nedocházelo k těmto deformacím, či spálení brzdového obložení, jsou nákladní automobily, vlaky, trolejbusy, vybaveny ještě odlehčovacemi brzdami nazývanými se retardéry. Princip retardéru je stejný jako u ostatních typů brzd, kde kinetickou energii vozidla přeměňujeme na energii tepelnou. U retardérů však nedochází k opotřebování, protože energii přeměňují bez tření. Retardér však není možné použít jako zajišťovací (parkovací) brzdu, jelikož slouží výhradně k regulaci rychlosti.

Retardéry se dělí na čtyři základní druhy:

1. Výfukové odlehčovací brzdy
2. Motorové odlehčovací brzdy
3. Elektrodynamické odlehčovací brzdy
4. Hydrodynamické odlehčovací brzdy

4.4.1 Výfukové odlehčovací brzdy

Pracují na principu snížení, či úplného odstavení, dodávky paliva do motoru. Tohoto jevu se docílí sundáním nohy z plynového pedálu a motor pak působí na pohybující se vozidlo jako brzda. Čím vyšší otáčky motoru jsou, tím více vozidlo brzdí. Tento brzdný účinek se dá ještě zvýšit tím, že omezíme nebo úplně znemožníme průchod spalin výfukovým potrubím. Uzavření výfukového potrubí se zpravidla provádí klapkou, nebo šoupátkem ovládaným pomocí pneumatického válce. Zábrana však nesmí být zcela plynotěsná, vždy musí být umožněn alespoň malý průtok spalin. V případě kdy by došlo k úplnému uzavření výfukového vedení, hrozilo by porušení těsnících prvků na potrubí, nebo k deformaci součástí klikového mechanismu.

4.4.2 Motorové odlehčovací brzdy

Vznětový motor nasává stále stejné množství vzduchu a potřebný výkon je regulován jen množstvím vstříknutého paliva. V režimu brzdění motorem je dodávka paliva zcela odstavena a ve válcích se při kompresním zdvihu stlačí nasátý vzduch, který se při expanzním zdvihu opět rozpíná. Výsledný efekt je nižší o mechanickou účinnost. Rozdílem je brzdý účinek motoru, který lze dále zvětšit zvýšením odporu proudění plynů - klapkou výfukové brzdy.

Další zvýšení účinku nastane pomocí dekompresní motorové brzdy, která zasahuje do časování rozvodu výfukových ventilů. Na konci kompresního zdvihu se pootevře výfukový ventil a stlačený vzduch se upouští do výfukového potrubí, aby svoji energii rozpínáním nevrátil pístu. Během expanzního zdvihu dochází ve válci ke vzniku podtlaku, čímž motor klade větší odpor a vozidlo brzdí více.

Dalšího zlepšení je dosaženo kombinací dekompresní brzdy s klapkou ve výfuku. Omezí to hluk způsobený odpouštěním stlačeného vzduchu na konci komprese a zvýšení tlaku ve výfukovém potrubí přinese další efekt ve zvýšeném odporu pohybu pístu při výfukovém zdvihu. Otevírání výfukového ventilu na konci komprese je řešeno speciálně upravenou konstrukcí ovládání standardního výfukového ventilu. Na vačce ventilu je kromě hlavního nálitku ještě jeden menší, který pootevře ventil na konci komprese. Aby se ventil neotevíral i v době, kdy je motorová brzda vypnuta, je mezi vačkou a výfukovým ventilem vůle, která se při aktivaci motorové brzdy vymezi naplněním hydraulického zdvihátka tlakovým olejem.

4.4.3 Elektrodynamické odlehčovací brzdy

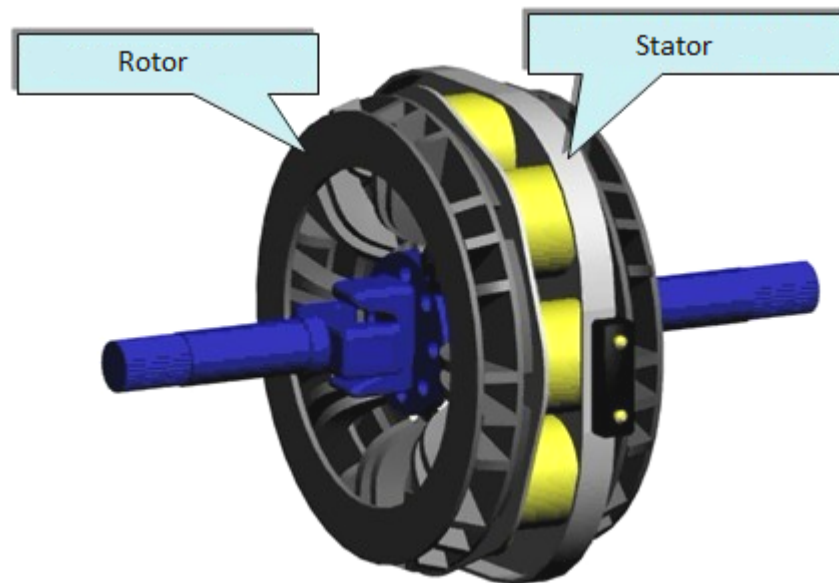
Tyto brzdy pracují na principu vířivých proudů. Brzda se skládá z kovového kotouče (rotoru) a elektromagnetů (statoru). Kotouč rotuje v magnetickém poli elektromagnetů. Tím v kotouči vznikají síly působící proti směru jeho rotace – kotouč je brzděný. V kotouči se indukují vířivé proudy, které způsobují jeho silný ohřev. Brzdný účinek lze regulovat intenzitou magnetického pole, to znamená velikostí proudu v elektromagnetech. Kotouč je vybaven žebry, která zlepšují chlazení - zvětší jeho povrch a zajistí nucený oběh vzduchu.

Elektrodynamické brzdy mají brzdnu sílu závislou přibližně na druhé mocnině rychlosti jízdy. Znamená to, že při malých rychlostech vozidla je jejich účinek prakticky nulový. Naopak při vysokých rychlostech mají účinek velmi vysoký.



Obr. 31: Elektrodynamická odlehčovací brzda [6]

1 – Kovový kotouč (rotor), 2 – Elektromagnety (stator), 3 – magnetické pole elektromagnetů.



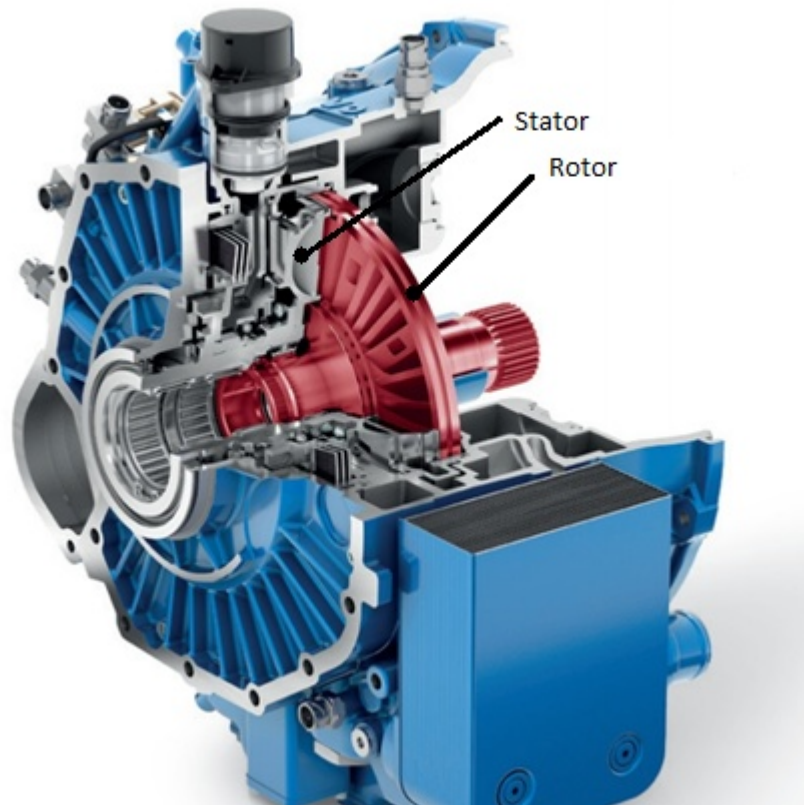
Obr. 32: Elektrodynamická odlehčovací brzda [6]

4.4.4 Hydrodynamické odlehčovací brzdy

Hydrodynamické brzdy přeměňují kinetickou energii vozidla na energii tepelnou, která se vytváří následkem vnitřního tření pracovní kapaliny, která je uzavřena v bubnu brzdy. Kapalina uvnitř cirkuluje mezi lopatkami statoru a lopatkami otáčejícího se rotoru. Rotorem je kapalina urychlována a odstředivou silou a tvarem lopatek směřována na stator. O lopatky statoru se kapalina zbrzdí a jejich tvarem je opět vrácena zpět na rotor. Tím se kapalina značně zahřívá a je třeba ji účinně chladit. Chlazení probíhá v chladiči, do kterého je kapalina odváděna a po zchlazení, je znovu přiváděna do brzdy.

Hydrodynamické brzdy jsou konstrukčně i funkčně podobné hydrodynamické spojce. Rozdíl je v tom, že stator je pevně spojen s rámem stroje a dochází tedy pouze k otáčení rotoru. Brzdný účinek lze plynule měnit změnou množství náplně brzdy. Jako náplň se používá většinou hydraulický olej.

Brzdění s hydrodynamickými brzdami je plynulé a bez rázů. Tyto brzdy mohou být umístěny buď na hnacím hřídeli, nebo přímo ve skříni převodovky.



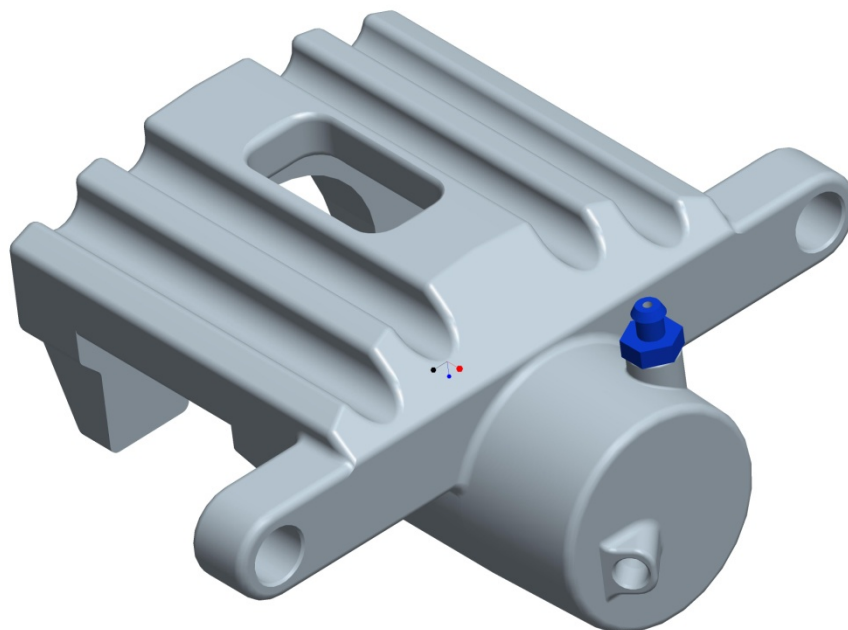
Obr. 33: Hydrodynamická odlehčovací brzda [6]

5. Konstrukční návrh určené komponenty třecí brzdy

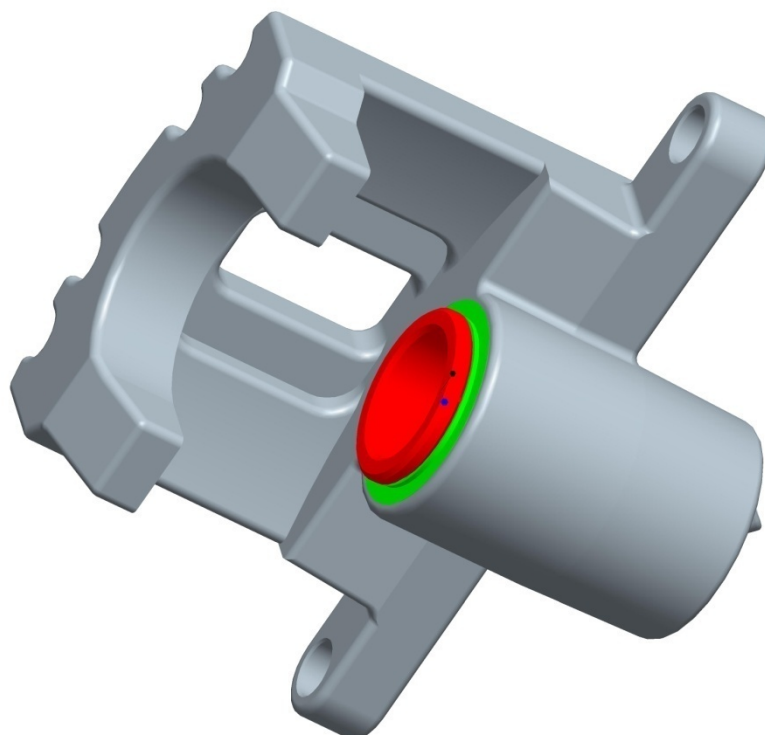
Tato část práce se zabývá konstrukčním návrhem plovoucího brzdového třmenu, využívaného u kotoučových brzd osobního automobilu. V následujících kapitolách jsou zobrazeny 3D modely jednotlivých částí a součástí plovoucího třmenu se stručnými popisy.

Výrobní výkresy jsou umístěny v příloze.

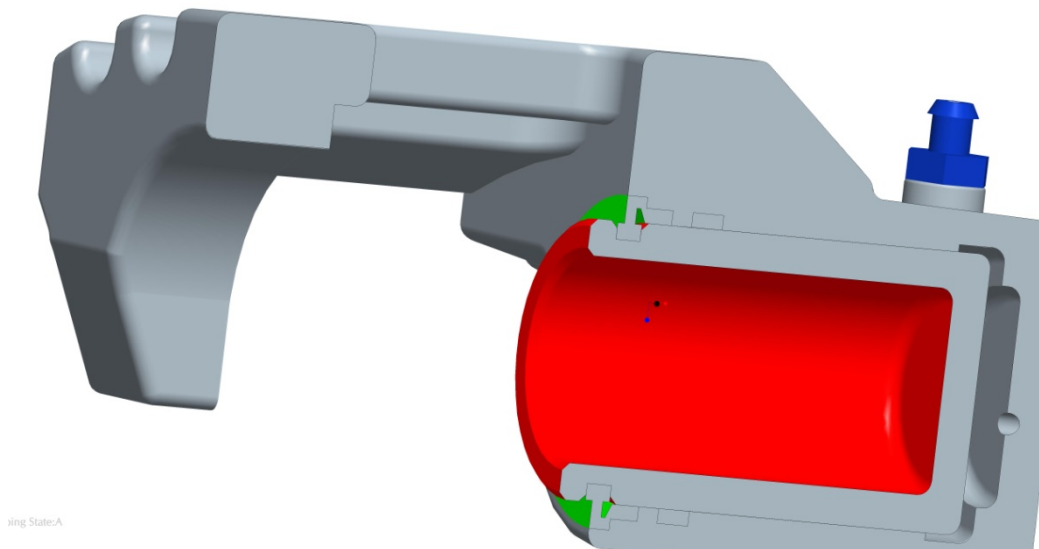
5.1 Model sestavy navrženého plovoucího třmene



Obr. 34: Model sestavy zadního třmene osobního automobilu.



Obr. 35: Model sestavy zadního třmene osobního automobilu.

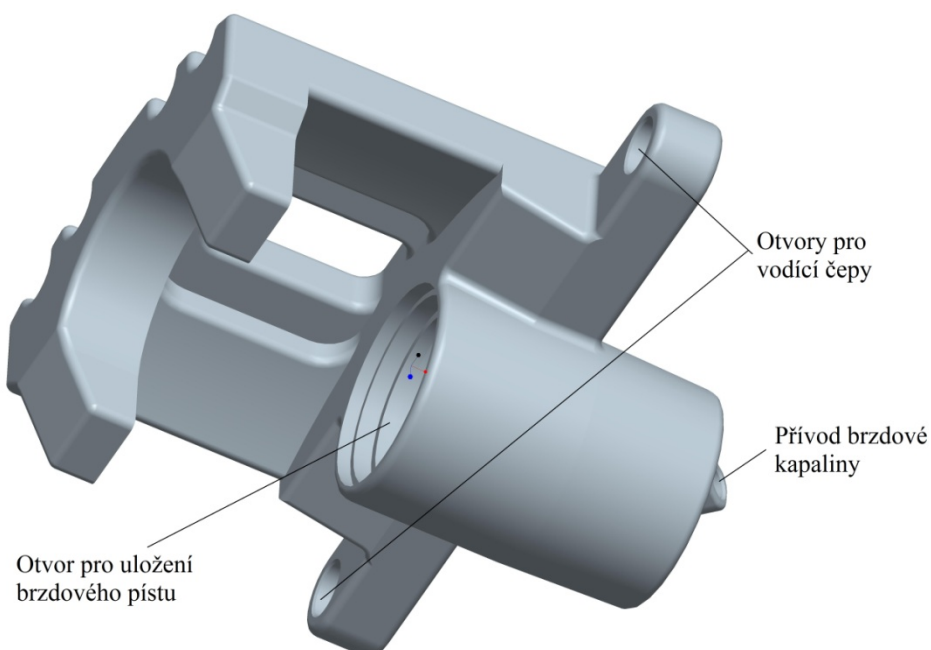


Obr. 36: Řez modelem sestavy zadního třmene osobního automobilu.

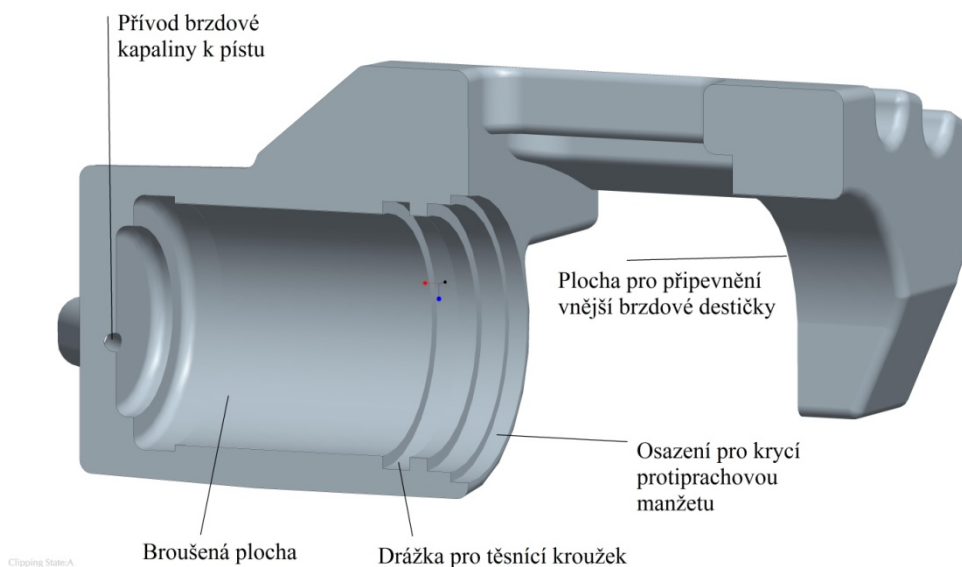
5.2 Třmen brzd

Třmen slouží pro uchopení brzdových destiček a zároveň je v něm uložen brzdový píst, který dané brzdové destičky přitlačuje směrem k brzdovému kotouči. Tento třmen je pak nadále uložen, s možností pohybu, pomocí vodících čepů v držáku, který je pevně spojen se závěsem kola.

Princip brzdění spočívá v tom, že píst ve třmenu tlačí na vnitřní brzdovou destičku proti brzdovému kotouči. Reakční síla pak plovoucí třmen posune a díky uložení na vodících třmenech se vytvoří tlak i na druhou vnější brzdovou destičku.



Obr. 37: Model třmene.



Obr. 38: Řez modelem třmene.

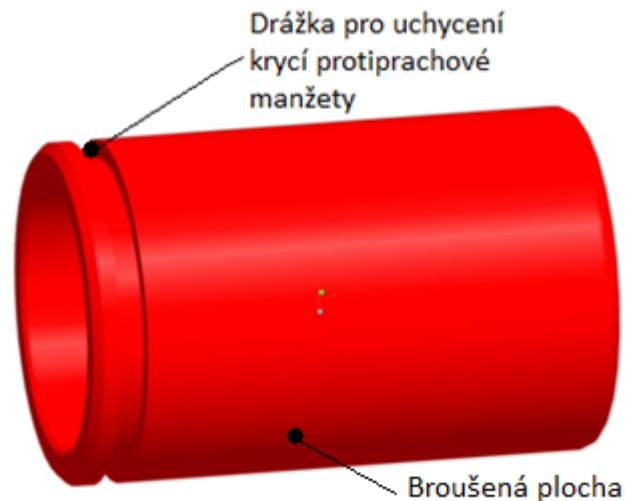
Výroba brzdového třmene

Pro výrobu brzdového třmene se nejprve musí vytvořit forma, do které následně bude daný třmen odlit. Po odlití bude odlitek očištěn a následně se na něm opracují funkční plochy.

Funkčními plochami jsou myšleny plochy, které budou v kontaktu s brzdovým pístem a nadále pak plochy pro upevnění brzdových destiček, těsnícího kroužku a protiprachové manžety.

5.3 Píst

Brzdový píst je utěsněn těsnícím kroužkem čtvercového profilu, který je uložen v drážce třmenu. Tento těsnící kroužek má vnitřní průměr menší, než je průměr pístu, čímž je dosaženo předpětí. Při pohybu pístu se těsnící kroužek zdeformuje. Po uvolnění brzdového pedálu klesne tlak kapaliny, těsnění se vrací do své původní polohy a vtáhne zpět i píst. Vrácení pístu do původní polohy je možné pouze v případě, že v potrubí brzdového okruhu nezůstane žádný tlak. Vzdálenost, o kterou se píst posune zpět, se nazývá brzdová vůle. Tato vůle má velikost asi 0.15 mm což je dostačující hodnota pro uvolnění brzdových kotoučů.



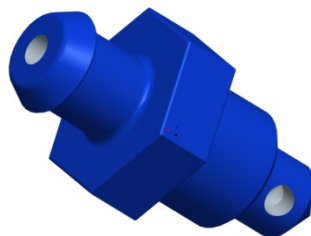
Obr. 39: Píst.

Výroba brzdového pístu

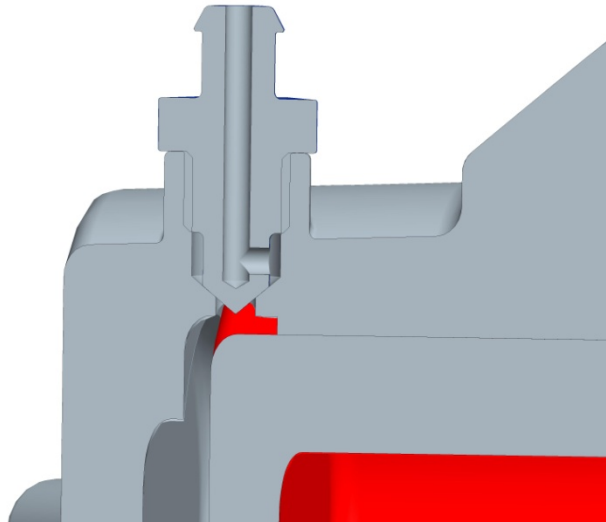
Jelikož vyráběný píst je válcového tvaru, bude polotovar pro výrobu, normalizovaná tyč s kruhovým profilem, válcovaná za tepla. Polotovar bude následně objemově tvářen za studena. Po tváření přichází na řadu soustružení na rozměry, které jsou dány výrobním výkresem. Jako poslední technologická operace je broušení vnější strany brzdového pístu na drsnost, která je taktéž zobrazena na výrobním výkresu.

5.4 Odvzdušňovací šroub

Při odvzdušňování se na hlavičku šroubu nasadí hadička, která je na druhém konci zavedena do plastové nádoby a šroub se povolí. Po odvzdušnění, kdy už z hadičky vytéká jen brzdová kapalina bez vzduchu, se šroub opět utáhne a tím je brzdový systém odvzdušněn.



Obr. 40: Odvzdušňovací šroub a jeho poloviční řez



Obr. 41: Odvzdušňovací šroub a jeho poloviční řez v sestavě třmene

5.5 Těsnící kroužek

Jak již bylo popsáno v předchozí kapitole těsnící kroužek, po uvolnění brzdového pedálu, plní funkci, která vrací brzdový píst zpět do původní polohy. Jeho další funkcí je také automatické vymezování vůle, která se zvětšuje opotřebením brzdových destiček. Při určitém opotřebení obložení je potřebné posunutí pístu větší než umožňuje deformace kroužku a píst se tak přesune do nové polohy, která se zároveň stane jeho novou polohou v odbrzděném stavu.

5.6 Krycí protiprachová manžeta

Funkce manžety spočívá jen v zabraňování vstupu nečistot do prostoru mezi brzdovým pístem a plovoucím třmenem. Je-li tato manžeta porušena může dojít ke snížení brzdového účinku nebo k úplnému zaseknutí brzdového pístu ve třmenu.

6. Závěr

Cílem práce bylo uvést a specifikovat nejčastěji používané druhy vozidlových třecích brzd, druhy brzdových soustav, třecí materiály a brzdové kapaliny. Nadále pak provést srovnání dvou základních typů vozidlových třecích brzd a analyzovat jejich provozní problematiku v určitých daných oblastech. Úkolem pro konstrukční část práce bylo navrhnout a vymodelovat stanovenou komponentu vozidlové třecí brzdy a vytvořit výrobní dokumentaci, která se nachází v přílohách této práce.

Vývoj automobilového průmyslu v posledních letech se stále zrychluje a jde stále dopředu.

Automobily a silniční vozidla všeobecně jsou čím dál výkonnější a proto je kladen velký důraz také na brzdové systémy. V současné době jsou brzdy silničních vozidel proto vybavovány dalšími elektronickými systémy, které buď zlepšují činnost vlastního brzdového systému za náročných provozních podmínek (ABS), nebo jej využívají pro zajištění jízdní stability (ESP). Velká perspektiva pro brzdové systémy se do budoucna otevírá v rámci rekuperace kinetické energie jedoucího vozidla, tzn. nahrazení třecích systémů, které doposud tepelnou energii vznikající třením odvádějí bez užitku do atmosféry, systémy které danou energii uchovávají a využijí jí nadále k pohonu vozidla.

V současnosti se již jednoho systému využívá. Je to systém KERS (Kinetic Energy Recovery System). Tento systém využívá kinetické energie vozidla, která se při brzdění akumulují a později je opět využita. Tato energie může být akumulována buď ve formě elektrické (baterie), nebo kinetické energie (setrvačnick). KERS je spíše koncipován ke krátkodobému uchování energie, kterou pak následně využije pro krátkodobé zvýšení celkového výkonu vozidla.

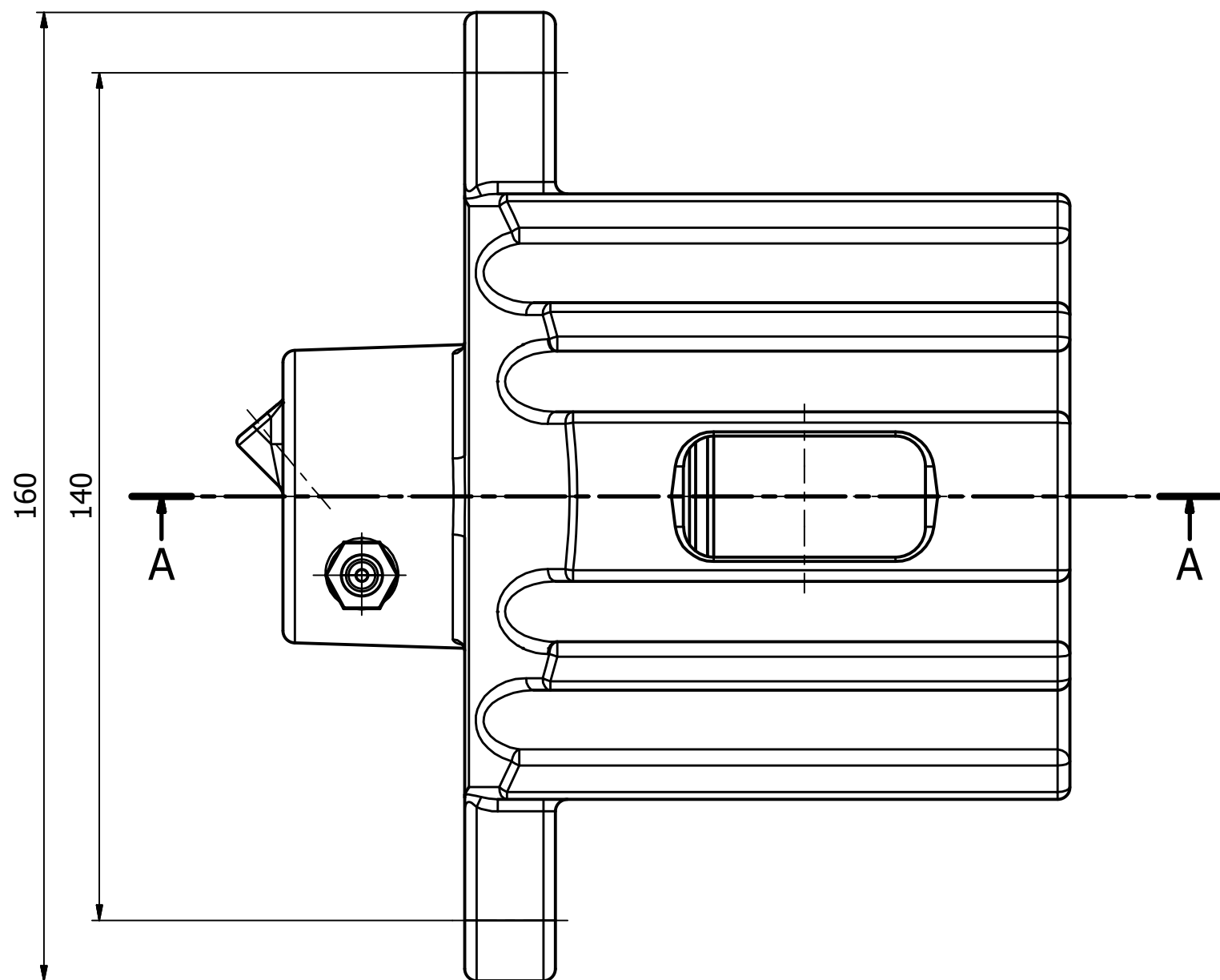
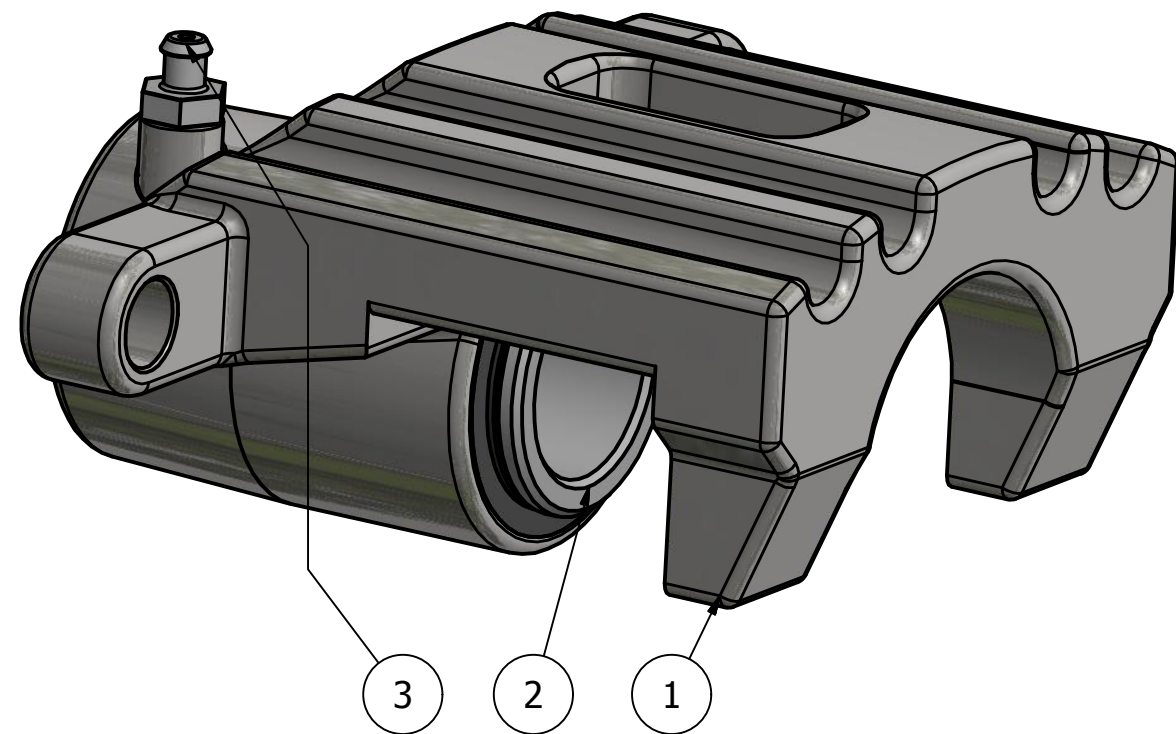
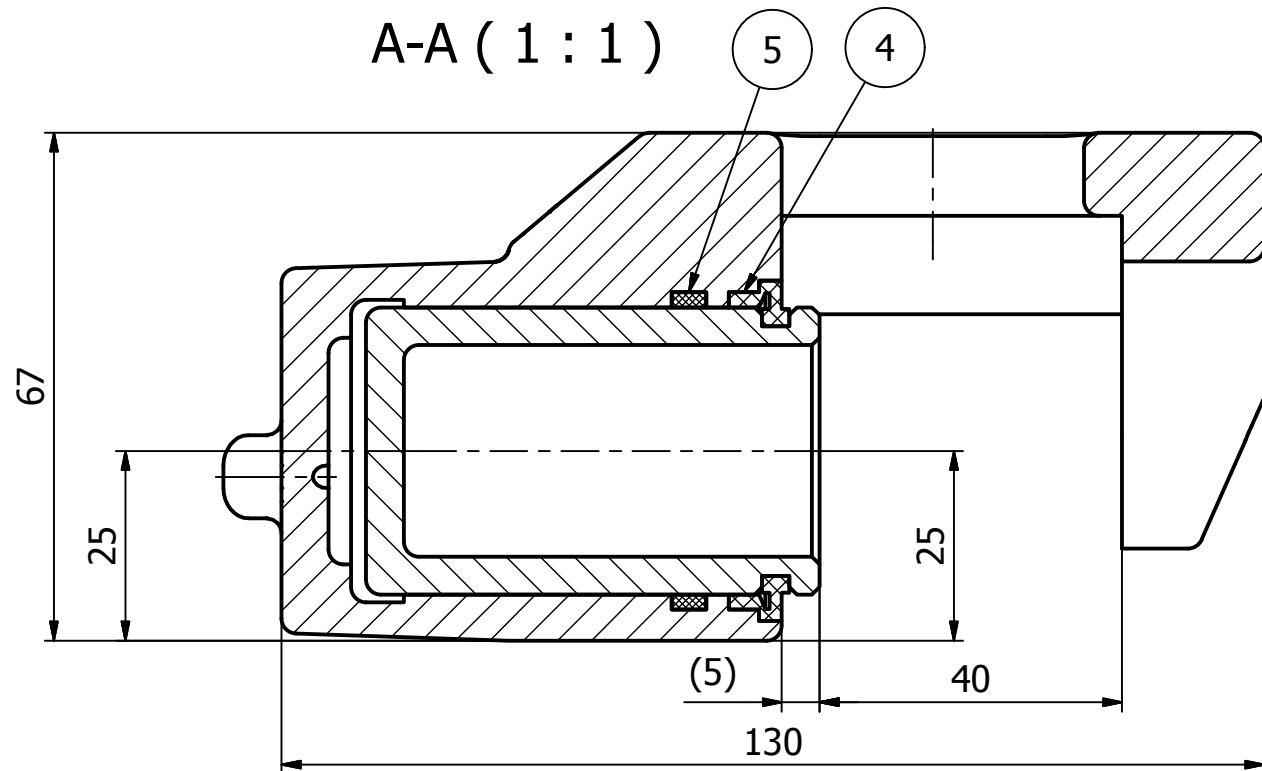
7. Přehled použité literatury

- [1] VLK, F., *Lexikon moderní automobilové techniky*. Brno: vlastním nákladem, 2005
- [2] VLK, F., *Podvozky motorových vozidel, 3. přepracované, rozšířené a aktualizované vydání*. Brno: vlastním nákladem, 2006
- [3] KLŮMA, J. a kolektiv. *Automobily I*. Praha: NADAS, 1981
- [4] JAN, Z., VÉMOLA, A., ŽDÁNSKÝ, B. *Automobily, I. Podvozek a převodová ústrojí*. Brno: CERM, 2003
- [5] GSCHEIDLE, R. a kolektiv. *Příručka pro automechanika*. Praha: Europa-Sobotáles, 2007
- [6] LIMPert, R. *Brake Design and Safety*. Newcomb: SAE Inc., 1992.
- [7] Dostupné na internetu <<http://www.matnet.sav.sk>>
- [8] Dostupné na internetu <<http://cs.autolexicon.net>>
- [9] Dostupné na internetu <<http://www.autoprofiteam.cz>>
- [10] Dostupné na internetu <<http://aa.bosch.cz>>
- [11] VÁVRA, P., LEINVEBER, J., *Strojnické tabulky*. Brno: ALBRA, 2005
- [12] Dostupné na internetu <<http://auto-pc.webnode.cz/automobily/kotoucova-brzda>>
- [13] Dostupné na internetu <<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/36-smykove-treni>>
- [14] Dostupné na internetu <<http://techmania.cz>>
- [15] Dostupné na internetu <<http://visual.merriam-webster.com>>
- [16] Dostupné na internetu <<http://www.skoda-dily.cz>>
- [17] Dostupné na internetu <<http://www.automobilrevue.cz>>

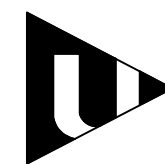
Seznam příloh

- Výkres sestavy brzdy (č.v. BP 1000).
Výrobní výkres třmene (č.v. BP 1001).
Výrobní výkres brzdového pístu (č.v. BP 1002).
Výrobní výkres odvodušňovacího šroubu (č.v. BP 1003).

A-A (1:1)



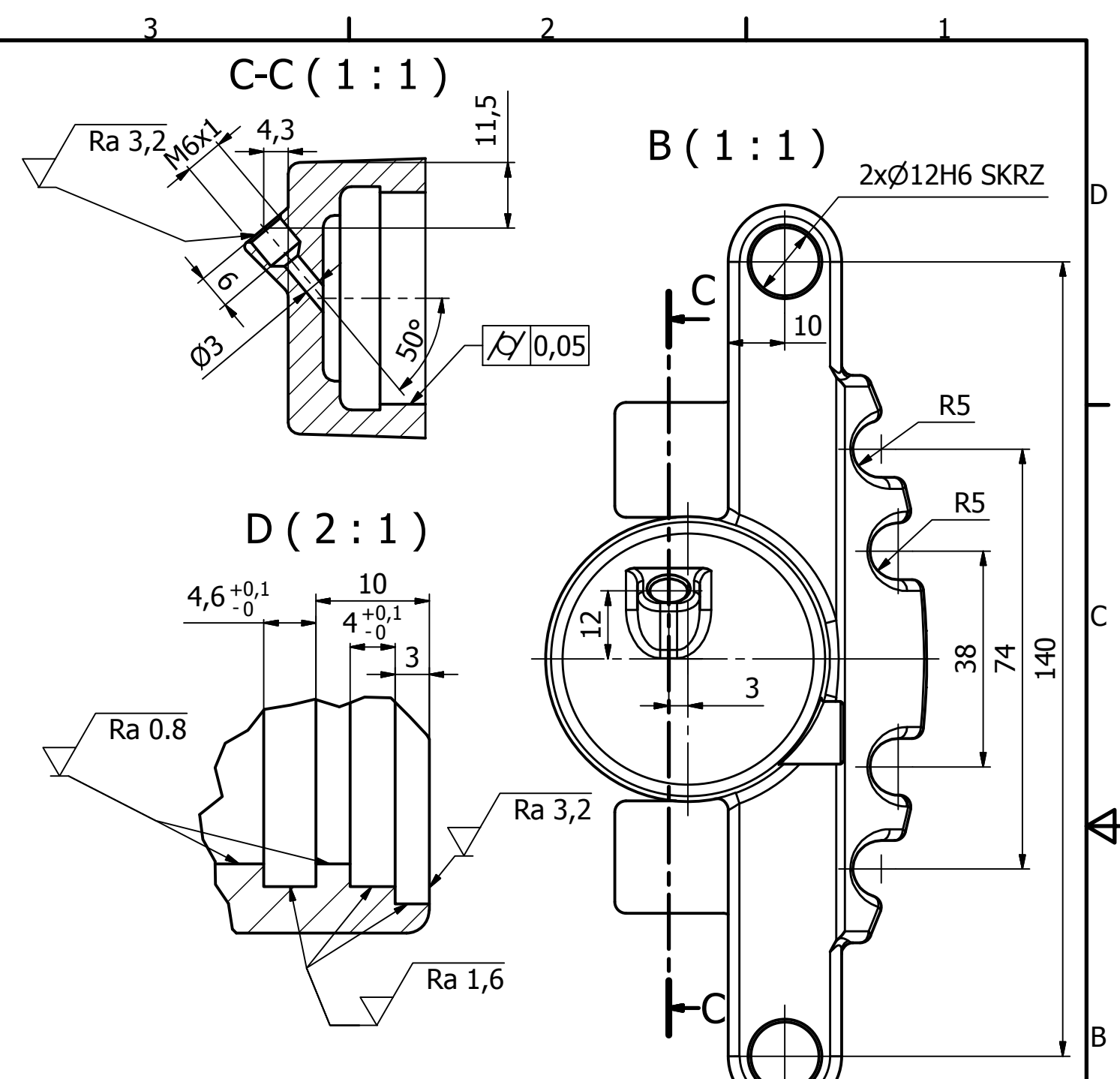
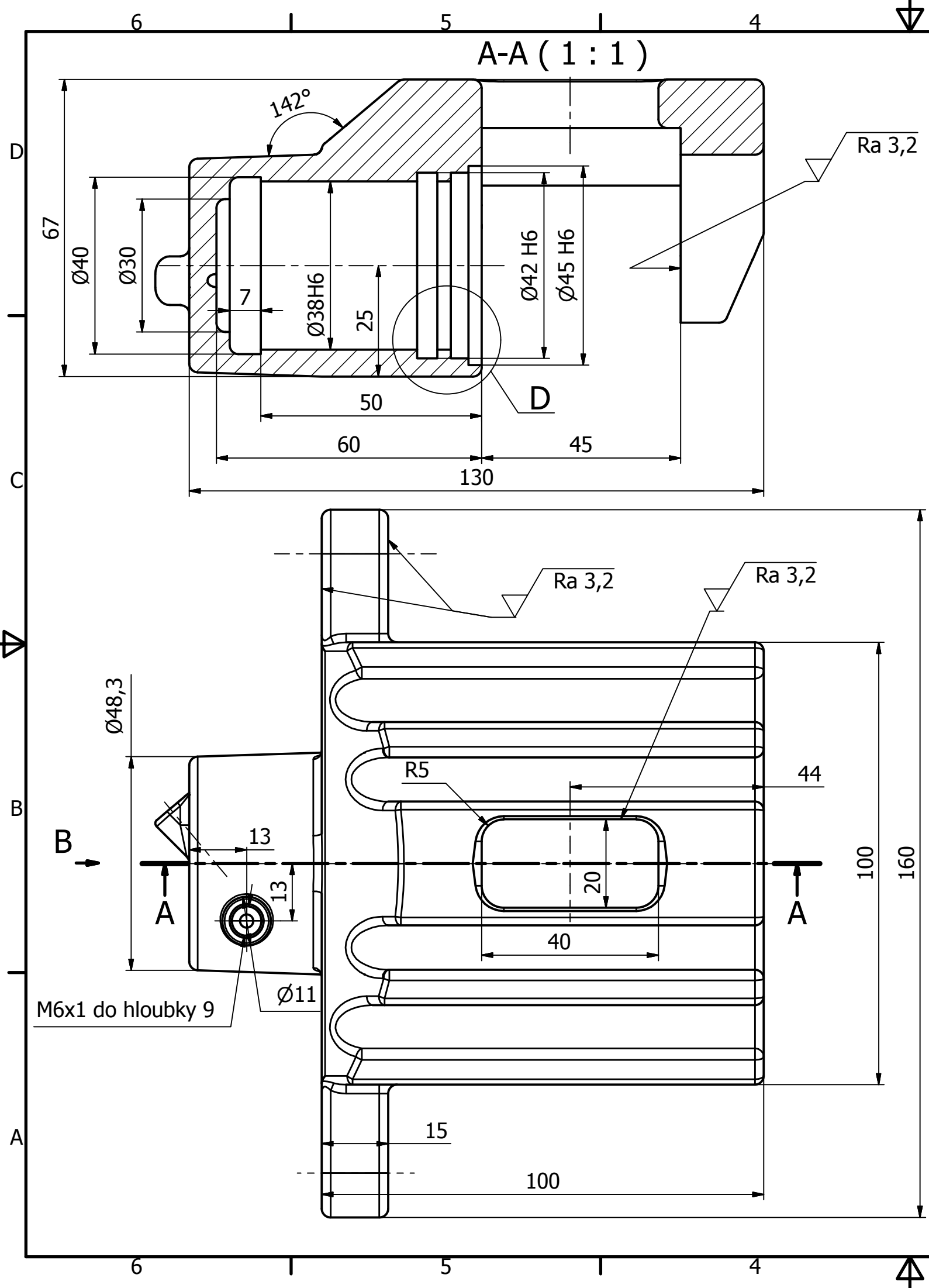
1	TŘMEN	BP - 1001	1	Ocel, litá	1,821 kg
2	PÍST	BP - 1002	1	Ocel	0,258 kg
3	ODVZDUŠŇOVACÍ ŠROUB	BP - 1003	1	Ocel	0,007 kg
4	PRACHOVKA	PN 029260.3	1	Pryž	0,003 kg
5	TĚSNĚNÍ	DIN 7603-A	1	Pryž	0,001 kg
POZ.	POPIS	ČÍSLO SOUČÁSTI	KS	MATERIÁL	HMOT.



FAKULTA STROJNÍ
ZÁPADOČESKÉ
UNIVERSITY
V PLZNI

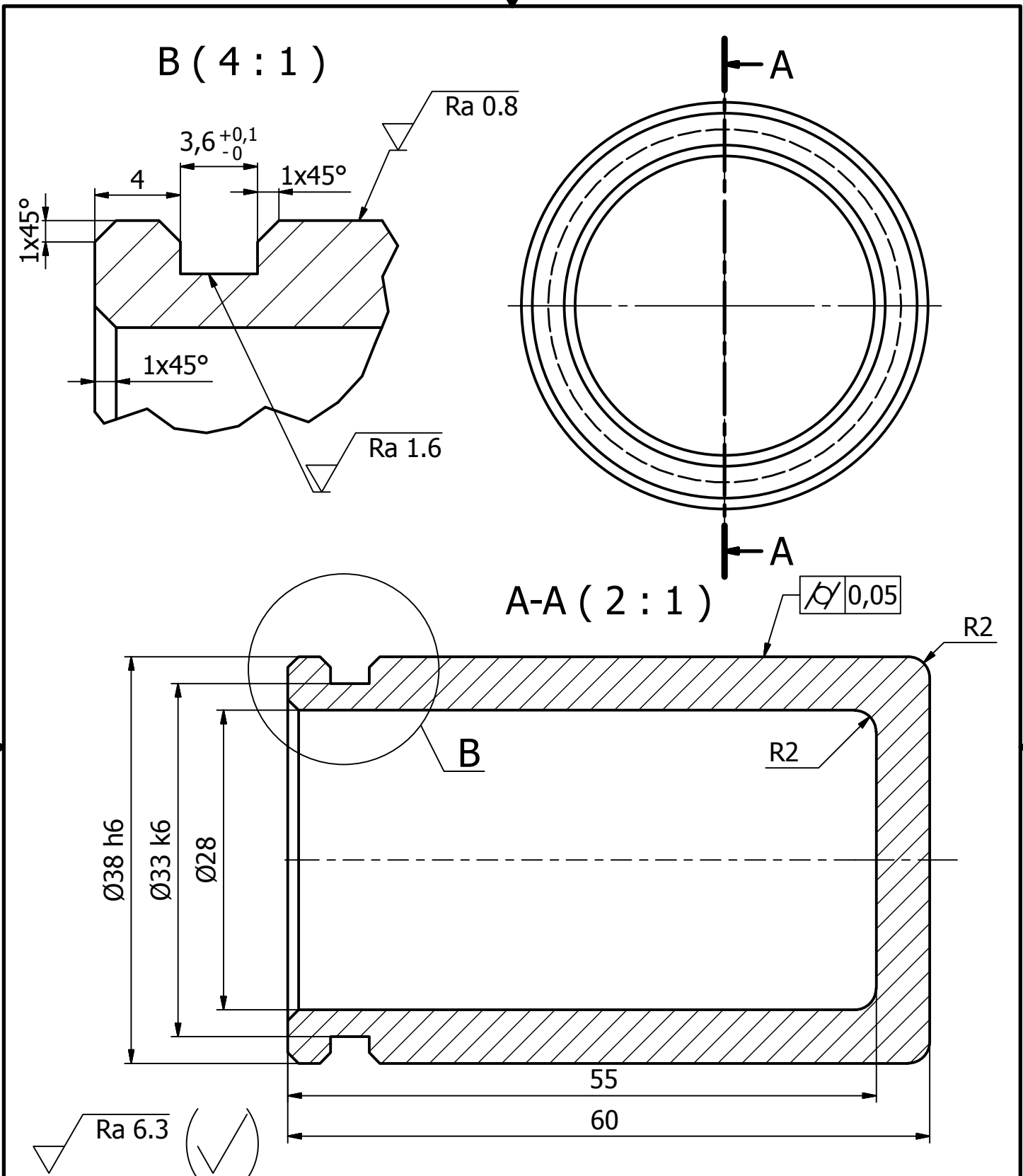
Katedra Konstruování Strojů

PROMÍTÁNÍ	MĚŘITKO	CELKOVÁ HMOTNOST	ZMĚNA 1
KRESLIL	Kopeccky	2,090 kg	ZMĚNA 2
TECH. REFERENT		DATUM	16.6.2015
SCHVÁLIL		DATUM	
NÁZEV	ISO 16016		TYP DOKUMENTU
BRZDA	ČÍSLO VÝKRESU		
	BP - 1000		



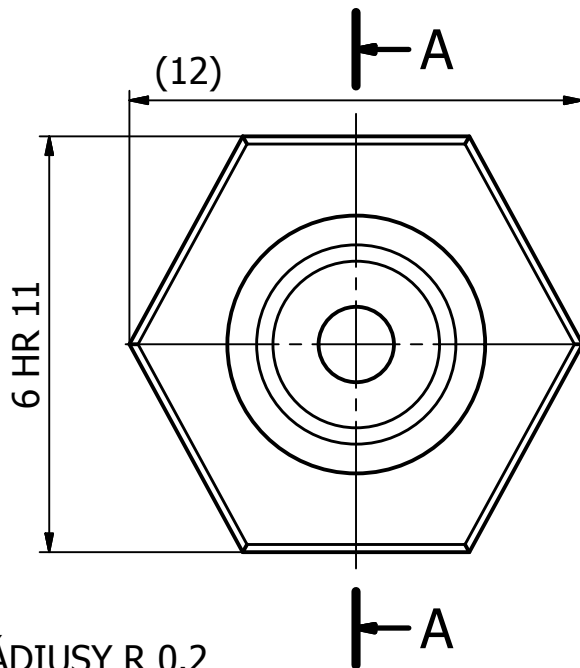
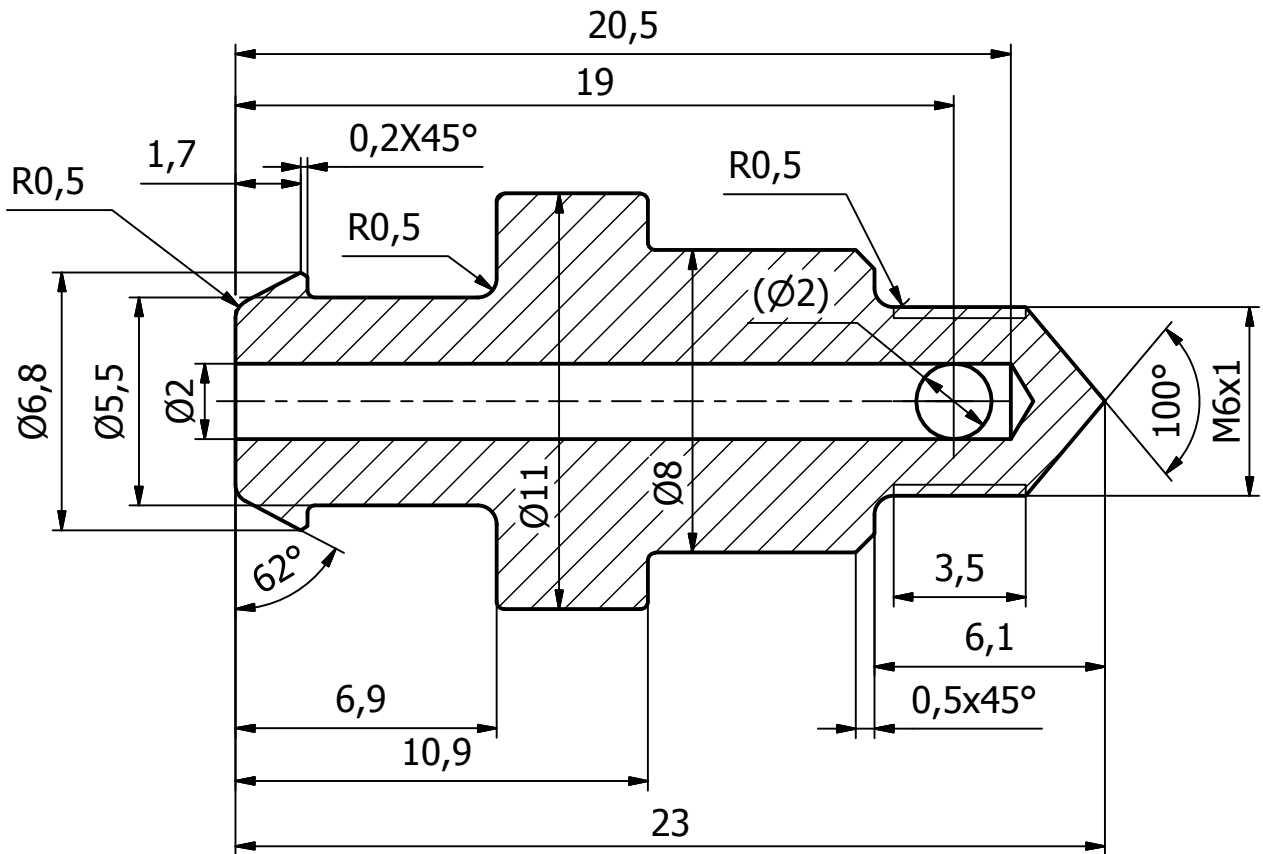
NEKOTOVANÉ RÁDIUSY R2
 NEKOTOVANÉ ÚKOSY 2°
 NEKOTOVANÉ ROZMĚRY DLE VÝKRESU ODLITKU
 OBROBĚNÉ PLOCHY OBROBIT PO VYJMUTÍ Z FORMY A OČIŠTĚNÍ
 DÍRY Ø12H6, Ø 3 VRTAT PO OBROBĚNÍ PLOCH
 ZÁVITY M6x1.25 ŘEZAT PO OBROBĚNÍ PLOCH

PROMĚTÁNÍ	MĚŘÍTKO	PŘESNOST ISO 2768 - mK	HMOTNOST	INDEX	ZNĚMA
	1:1	TOLEROVÁNÍ ISO 8015	1,821 kg		
		MATERIAL		ROZMĚR - POLOTOVAR	
Katedra Konstruování Strojů		42 2420		ODLITEK	
TECH.REFERENT		KRESLIL		DATUM	
Kopecky		Kopecky		16.6.2015	
SCHVÁLIL		SCHVÁLIL		DATUM	
NÁZEV			ISO 16016		
TŘMEN			TYP DOKUMENTU		
			ČÍSLO VÝKRESU		
			BP - 1001		



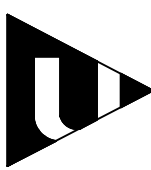

PROMĚTÁNÍ 	MĚŘÍTKO 2:1	PŘESNOST ISO 2768 - mK TOLEROVÁNÍ ISO 8015	HMOTNOST 0,258 kg	INDEX	ZJMĚNA
 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERSITY V PLZNI Katedra Konstruování Strojů		MATERIÁL S 355 JR	ROZMĚR - POLOTOVAR KR 40-70		
		KRESLIL Kopecky	DATUM 16.6.2015	ČÍSLO VÝKRESU SESTAVY	
		TECH.REFERENT	DATUM	ČÍSLO SEZNAMU POLOŽEK	
		SCHVÁLIL	DATUM	TYP DOKUMENTU	
		NÁZEV PÍST	ISO 16016	ČÍSLO VÝKRESU BP - 1002	

A-A (5 : 1)



Ra 3,2 (✓)

NEKOTOVANÉ RÁDIUSY R 0.2

 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERSITY V PLZNI Katedra Konstruování Strojů	PROMÍTÁNÍ 	MĚŘÍTKO 5:1	PŘESNOST ISO 2768 - mK TOLEROVÁNÍ ISO 8015	HMOTNOST 0,007 kg	INDEX _____	ZVĚNA _____
	MATERIÁL S 355 JR		ROZMĚR - POLOTOVAR KR 15 - 30			
KRESLIL _____		DATUM 16.6.2015		ČÍSLO VÝKRESU SESTAVY _____		
TECH.REFERENT _____		DATUM _____		ČÍSLO SEZNAMU POLOŽEK _____		
SCHVÁLIL _____		DATUM _____		TYP DOKUMENTU _____		
NÁZEV ODVZDUŠŇOVACÍ ŠROUB		ISO 16016		ČÍSLO VÝKRESU BP - 1003		